Karszt és Barlang 2009. I–II. p. 27–40. Budapest 2010.

Szanyi Gyöngyvér–Leél-Őssy Szabolcs–Surányi Gergely–Bada Gábor–Varga Zsolt

KALCITLEMEZ KORADATOK A RÓZSADOMB KÖRNYÉKI BARLANGOKBÓL

ÖSSZEFOGLALÁS

A Budai-hegységben, Budapest Rózsadomb városrészének közvetlen környékén már több mint 40 km barlangjáratot ismerünk (közülük már 7 járatai egyenként is meghaladják a 2 km-t). Ezekben a karsztvízszint közelében keveredési korrózióval kioldott, tektonikusan preformált termálkarsztos barlangrendszerekben gyakran előforduló ásvány a lemezes kalcit (cave raft), aminek kiválása az erózióbázisnak tekinthető Dunához kapcsolódó karsztvíz felszínén, légteres barlangjáratokban történt. Ezek a kiválások így a hegység kiemelkedésének, ill. a Duna bevágódásának következtében többé-kevésbé folyamatosan alászálló karsztvízszint igen jó indikátorai, korhatározásuk esetén az egyes paleokarsztvízszintek jól nyomozhatók.

Mivel a karsztvíz az uránt képes oldatban tartani, a tóriumot ellenben nem, viszonylag egyszerűen alkalmazható a karsztvízből kiváló képződményekre az uránsoros korhatározási módszer. A rózsadombi barlangok karsztvízből kiváló kalcit anyagú ásványai mindig rendelkeznek csekély, így az egészségre teljesen veszélytelen urán-tartalommal. Ez elegendő az uránsoros korhatározáshoz. A lemezes kalcit képződési kora a bomlási egyenletből meghatározható. A korhatározási eljárás az $^{234}U/^{230}Th$ izotóparány ICP-MS mérésén (a korábban végzett József-hegyi korhatározások esetében alfa-spektroszkópiás mérésen) alapul, ami kis mintamennyiséget, és 400–450 ezer évre visszamenő korhatározást tesz lehetővé. A datált minták jelenlegi erózióbázis (Duna szintje) feletti magasságának ismeretében a barlang környezetének kiemelkedési sebessége is becsülhetővé válik.

BEVEZETÉS

KORDOS (1976) már három évtizede rámutatott arra, hogy a barlangok – minden barlangkutatót foglalkoztató – korának megállapítása akkor lesz lehetséges, ha olyan szilárd halmazállapotú kitöltést (akár ásványt, akár ősmaradványt) találunk, amelynek a korát valamilyen módszerrel meg tudjuk határozni. Azonban ebben az esetben is csak a minimális kort ismerjük meg, hiszen arra nézve nem kapunk információt, hogy a barlang keletkezése és a kitöltés létrejötte között mennyi idő telt el.

A termálkarsztos barlangok esetében némileg kedvezőbb a helyzet, mint a cseppkőbarlangoknál, mert a barlangot kioldó meleg vízből kivált ásványok korának meghatározása lehetővé vált a tudomány fejlődésével. Ez esetben is azonban eltelt valamennyi, nehezen meghatározható idő a kioldás és a kiválás között. Mégis, ha egy barlangban jelentős magasságbeli különbséggel gyűjtött, a meleg vízhez köthető kalcit-kiválások korát tudjuk meghatározni, jó közelítéssel tudjuk becsülni, hogy mikor váltak légteressé a járatok. Erre kínálkozott lehetőség a tágabb értelemben vett Rózsadombon, elsősorban a Pál-völgyi- és a József-hegyi-barlangban. Mivel a barlangok kioldódása az erózióbázissal összefüggő karsztvíz szintjének közelében történik, ezekből az adatokból nemcsak az egyes barlangszintek keletkezésének korát becsülhetjük meg, hanem a barlangot magában foglaló hegytömeg kiemelkedési sebességére is információt kapunk, ha az erózióbázis abszolút magasságának változásától eltekintünk.

A magyar földtani szakirodalomban sokszor és sok oldalról vizsgált kérdéskör ez. A barlangok felfedezése, és a barlangszintek létének felismerése előtt is szembetűnő volt, hogy az Északi- és Dunántúli-középhegységet magában foglaló Magyar-középhegység folyóteraszai a hegység fokozatos kiemelkedésére utalnak, amivel lépést tartott a bevágódó Duna, létrejött a Visegrádi-szoros és tágabb környezete. A geomorfológiával, felszínfejlődéssel és tektonikával foglalkozó kutatók közül sokan kutatták ezt a kérdéskört (pl. *id. NOSZKY* 1935; *PÁVAI VAJNA* 1938; *LÁNG* 1955; *PÉCSI* 1956, 1959a,b; *SCHEUER & SCHWEITZER* 1988; *GÁBRIS* 1994; *RUSZKICZAY-RÜDIGER et al.* 2005a,b,c).

Munkánk során eddig nem vizsgált előfordulásokból szisztematikusan gyűjtöttünk mintákat és határoztuk meg képződési korukat, kifejezetten csak az erre a célra legjobban megfelelő kalcitlemezeket. Mivel különböző tengerszint feletti magasságokban gyűjtött anyagot vizsgáltunk, lehetőségünk nyílt a paleovízszint változásának meghatározására, ill. ebből kiindulva a Budai-hegység fiatal kiemelkedésére is következtetést levonni.

FÖLDTANI HÁTTÉR ÉS BARLANGKELETKEZÉS

Bár mind a Budai-hegység geológiai felépítése, mind a keveredési korróziós barlangkeletkezés elmélete általánosan ismert, mivel azonban ezek a kérdések munkánk alapját képezik, röviden összefoglaljuk az ismert, a barlangok szempontjából fontos tényeket. Számos szerző írt összefoglaló monográfiát a Budai-hegységről (*SZABÓ* 1858; *SCHAFARZIK & VENDL* 1929; *HORUSITZKY* 1939; *SCHRÉTER & HORUSITZKY* 1958; *WEIN* 1977; *FODOR et al.* 1994 stb.). Ezeken és terepi tapasztalatainkon alapul áttekintésünk, melyben a barlangokat egyetlen hatalmas feltárásként tekintjük.

A Rózsadomb a Budai-hegység középső részén helyezkedik el. A környéken az alaphegységet a triász időszakban, több mint 200 millió évvel ezelőtt tengeri üledékekből, főleg mikroszkopikus méretű ősmaradványok felhalmozódásából keletkezett karbonátos (mészkő és dolomit, helyenként erősen márgás) rétegek alkotják. Ezek a formációk (Dachsteini Mészkő, Mátyáshegyi Formáció, „fődolomit") a Rózsadomb közelében a felszínen is előfordulnak: a Mátyás-hegy nyugati oldalában látható régi kőfejtő tárja fel a Mátyás-hegyi Formációba sorolt, jól rétegzett, szürke, tűzkőgumós, de makroszkópos ősmaradványmentes Mátyás-hegyi Mészkövet és a Sashegyi Dolomitot. A „fődolomit"-ot a Balogh Ádám utcai Kisszikián, ill. az Apáthy-sziklán tanulmányozhatjuk, míg Dachsteini Mészkő legközelebb a János-hegy csoportjában látható.

Az alaphegységből a Mátyáshegyi Formáció rétegeit érik el egyes barlangok (Mátyás-hegyi-barlang, József-hegyi-barlang és Zsindely utcai-barlang) járatai. A Mátyás-hegyi-barlangban a mészköves kifejlődés fordul elő (ezt nevezi a régebbi szakirodalom „raibli rétegeknek"), míg a József-hegyi-barlang által feltárt triász időszaki rétegek kifejezetten márgásak (akárcsak a Vérhalom téren 1992-ben mélyített fúrásban).

A triász üledékciklus befejeződése után a terület valószínűleg hamarosan szárazulattá vált, ahol nem folyt üledékképződés. Nem tudhatjuk, hogy ez a szárazulattá válás már a triász idején bekövetkezett-e, vagy még a jura elején is folyt itt üledékképződés, az azonban biztos, hogy ha voltak is fiatalabb rétegek, azokat a szárazulati időben (mai ismereteink szerint ez min. 150 millió éven át tartott) az erózió nyom nélkül lepusztította.

A területen a következő üledékciklus kb. 40 millió évvel ezelőtt kezdődött, és az eocén végi tenger-elöntéshez kapcsolódik. Kezdetben egy alig 5–10 méter vastag és hézagos kifejlődésű képződmény, az ún. eocén alapkonglomerátum vagy alapbreccsa alakult ki. A Gellért-hegy számos feltárásában jól tanulmányozható ez a kőzet, de a Rózsadomb környékén csak a Zöldmáli-barlangban (Zsindely u. 27.), ill. a Ferenc-hegyi-barlang Mélyszintjén látható. Az üledékciklus második tagja a priabonai korszak idején keletkezett sekélyvízi Szépvölgyi Mészkő (régebbi nevén nummulinás mészkő, ill. nummuliteszes mészkő). Az összes Rózsadomb környéki nagybarlang járatainak többsége ebben a kőzetben oldódott ki. Ez a képződmény pl. a József-hegyi-barlangban 40–50 m vastag, de sehol sem több 100 méternél.

Meglehetősen agyagos (karbonát-tartalma általában csak 95% körüli), ezért sárgás színű. Ősmaradványokban gazdag, elsősorban nagyforaminiferákat, főleg Discocyclina-kat és Nummulites-eket találunk bennük. Ezek az esetenként 1–2 cm-es méretű egysejtűek adják a kőzet tömegének közel a felét. A másik felét mikroszkopikus méretű ősmaradványok (főleg kisebb foraminiferák) alkotják. Sokfelé találunk a kőzetben tengeri sün maradványokat: néha egész vázakat, leggyakrabban süntüske töredékeket. A kagylók, elsősorban a Pecten, ill. Chlamys-félék is igen gyakoriak a kőzetben. Néhol férgek lakócsövei is jól megőrződtek, speciális esetben (pl. a Mátyás-hegyi-barlang Nagy-termében) ki is preparálódtak a kőzetből, mivel anyaguk jobban ellenállt a meleg víz oldó hatásának, mint a befoglaló kőzet.

A tenger további mélyülésével egyre nagyobb lett az üledék agyagtartalma, így a később belőle keletkezett kőzeté is. Az így létrejött kőzet a Budai Márga, amelynek keletkezése már átnyúlik az oligocén kor idejére is. Alsóbb része a Szépvölgyi Mészkővel mintegy átmenetet képező ún. bryozoás márga, amelyben a névadó bryozoák, azaz mohaállatok mellett gyakorta találunk korall-maradványokat is. Ebben a kőzetben is sok a Pecten, ill. Chlamys kagyló és a tengeri sün lelet is. Legalsó rétegeiben nagy foraminiferákat is találunk. Sárgásszürke, helyenként lilás színű (ebben a kőzetben található a Molnár János-barlang jelentős része, ill. a Citadella-kristálybarlang járatai is, de az összes nagybarlang felső szakaszai mind ebben a kőzetben húzódnak).

A tenger folyamatos mélyülésével, és így a mozgatottságának csökkenésével párhuzamosan mind nagyobb lehetőség nyílt a finomszemű agyagszemcsék lerakódására. A típusos Budai Márga már közelebb áll az agyaghoz, mint a mészkőhöz. Gyakoriak benne a sekélyebb vízrétegekből tenger alatti csuszamlással, még az üledék konszolidálódása előtt átülepedett (reszedimentálódott) meszes rétegek, az ún. allodapikus mészkőpadok. Ezek többnyire mészalgákat, lithothamniumokat is tartalmaznak. Ez a szerkezet jól meg-figyelhető a Pusztaszeri út 5. sz. alatti védett geológiai feltárásban. Erre a kőzettípusra már inkább csak a mikroszkopikus méretű ősmaradványok a jellemzőek. Barlangjáratok ebben a kőzetben már nincsenek.

A további, a Budai-hegységben tanulmányozható fiatalabb, harmad- és negyedidőszaki üledékek (a Tardi Agyag, Hárshegyi Homokkő, Kiscelli Agyag, normál és csökkent sósvízi agyagos-homokos rétegek, az andezit vulkanizmus termékei, lajta mészkő és szarmata mészkő) a Rózsadomb körzetében csak részben fordulnak elő, és egyikben sem alakultak ki barlangjáratok. A miocén legvégén, a pannon korszakban képződött vékony homokkő rétegek nyomai a Ferenc-hegyi-barlangban (pl. a Törekvés-ágban) ma is láthatók.

A barlangokat kioldó források a karbonátos összleten áthaladva magas kalciumkarbonát-tartalomra tettek szert. A felszínre érve, a megváltozott nyomás- és hőmérséklet viszonyok között ezt lerakták, így keletkezett a Rózsadomb környékén tucatnyi helyszínen kis vastagságú édesvízi mészkőkiválás (pl. a József-hegyi-kilátó alatt).

A rózsadombi barlangok kialakulásával kapcsolatban *PÁVAI-VAJNA* (1931) korszakos cikke óta egyre elfogadottabbá vált a hévizes (korszerű szóhasználattal termálkarsztos) keletkezés. Emellett a legtöbb szerző kiemelte a tektonikus preformáció szerepét is. *BÖGLI* (1965) nagy jelentőségű munkája óta a keveredési korrózió szerepének elismerése is általánosan elfogadottá vált. A rózsadombi barlangvidékről számos összefoglaló munka keletkezett: *LEÉL-ŐSSY* (1957), *KOVÁCS & MÜLLER* (1980), *TAKÁCSNÉ BOLNER & KRAUS* (1989), *JAKUCS* (1994), *LEÉL-ŐSSY* (1995) stb.

A Rózsadomb térsége nem tipikus karsztterület. Egyrészt nem az, mert a felszínének nagy részét jelentős agyagtartalommal bíró márga borítja, másrészt kevés a csapadék és a karsztosodás szempontjából az optimálisnál alacsonyabb a hőmérséklet. A jelentős tektonikai mozgások kisebb rögökre tagolták a területet, így nem volt lehetőség felszíni vízfolyások és nagyméretű felszíni karsztjelenségek (pl. dolinák) kialakulására. A barlangjáratok általában viszonylag mélyen helyezkednek el a felszíntől.

A Rózsadomb speciális barlangtani viszonyait a mélyből feltörő források eredményezték. A langyos és meleg vizes források egy hatalmas vízkörzésnek köszönhetik kialakulásukat: a Budai-hegységben és

a Pilisben lehulló csapadék egy része beszivárog a mélykarsztba, ott felmelegszik, és sok száz, ill. sok ezer év alatt előbb keletre, majd nyugatra forduló pályát befutva éri el a Duna jobb partján lévő, a Budai-törésvonal mentén fakadó forrásokat.

A barlangok kioldódásáért elsősorban a keveredési korrózió a felelős. A karsztvíz szintje közelében a különböző helyről érkező, eltérő hőmérsékletű és eltérő ionos összetételű forrásvizek keverednek, és a keverék oldóképessége a mészkőre nézve az összetevőkéhez képest ekkor ugrásszerűen megnő. Így a víz jól tudja tágítani a tektonikai repedések, hasadékok oldalait. Különösen hatékony lesz a kioldás ott, ahol több tektonikai irány találkozik, ezeken a helyeken alakulnak ki a barlangi termek. A barlangok eredetileg forrásjáratok voltak, csak a terület kiemelkedése, a vízszint lejjebb húzódása után váltak száraz barlanggá. A keveredési korróziót az is erősíti, hogy a különböző hőmérsékletű, de általában meleg vagy langyos vizű forrásságak vize a keveredés körzetében a hozzájuk képest hideg (a felszín közelében az évi középhőmérsékletnek megfelelő hőfokú, azaz kb. 11 °C-os) karsztvízzel is elegyedik. A helyi erózióbázist képező Duna szintje alatt a karbonátos kőzetek repedéseit összefüggően tölti ki a lefelé haladva egyre melegebb karsztvíz. A közvetlen helyi beszivárgás, bár kis hozamú, szintén fokozza a keveredési korróziót.

A Budai-hegység összes ismert barlangjáratainak több mint 90%-a a tágabb értelemben vett Rózsadomb 5–6 km^2-es körzetében alakult ki, többségük 2,5 km^2-en belül koncentrálódik.

URÁNSOROS KORMEGHATÁROZÁS

Elméleti alapok

Az elmúlt évtizedekben az urán-sorozat szerinti korhatározás lett a barlangi kalcitlerakódások kormeghatározásának standard módszere. A módszer alapelveit és technikáját *ROSHOLT & ANTAL* (1962) alapfelvetése nyomán *IVANOVICS & HARMON* (1982) tárgyalja részletesen.

Az urán és leányelemei ugyan csak kis koncentrációban, de már mérhető mennyiségben fordulnak elő a negyedidőszaki képződményekben. A barlangi karbonátos kiválások korhatározását megkönnyíti, hogy az urán és leányelemének, a tóriumnak vízben oldhatósága jelentősen eltér. Míg az uránból oxidatív körülmények között VI-os oxidációs állapotú uranil ion (UO^{2+}) jön létre, ami vízben oldható vegyületeket, komplexeket [$UO_2(CO_3)_2^{2-}$] képez (*FAURE* 1977), addig a tórium csak IV-es oxidációs állapotban stabil és vegyületei általában vízben oldhatatlanok. Emiatt a tórium vízben hidrolizálódik és hamar megkötődik vízben oldhatatlan üledékek, például agyagszemcsék felületén. Így a tiszta karsztvízben az uránhoz képest csak elhanyagolható mennyiségben van tórium (*GEYH & SCHLEICHER* 1990). A karsztvízből kiváló karbonátos képződményekbe keletkezésük során ezért csak az urán tud beépülni, így a ma mérhető tóriumtartalmuk ideális esetben csak a radioaktív bomlásból származik. A korhatározás szempontjából azt az időpontot tekintjük a kiváló kőzet keletkezési idejének, amitől kezdve a belső izotóptartalom változása csak a radioaktív bomlás eredménye.

Törmelékes szennyeződésektől mentes mintáknál a keletkezési idő a következő, atomszámokra felírt egyenlet alapján számítható (*LUDWIG* 2003; *SURÁNYI* 2005):

$$\frac{^{230}Th}{^{238}U} = \frac{\lambda_{238}}{\lambda_{230}}\left(1 - e^{-\lambda_{230}t}\right) + \frac{\lambda_{234}}{\lambda_{230} - \lambda_{234}}\left(\frac{^{234}U}{^{238}U} - \frac{\lambda_{238}}{\lambda_{234}}\right)\left(1 - e^{\lambda_{234}t}\, e^{-\lambda_{230}t}\right)$$

ahol az ^{238}U, ^{234}U, ^{230}Th a vizsgált izotópok mért atomszámát jelölik, míg a λ_{238}, λ_{234}, és λ_{230} a hozzájuk tartozó bomlási állandókat, t pedig a kőzet képződése óta eltelt időt.

Az izotóptartalom meghatározása alfa- és tömegspektrometriás mérésekkel történt. Előbbi alkalmazhatóságának felső határa kb. 350 ezer év, míg az utóbbival laborkörülményeink között ez 400–450 ezer év. Kutatásunk során ICP-MS (*Inductively Coupled Plasma Mass Spectrometry*) méréseket végeztünk, ami az alacsony U–Th koncentráció ellenére lehetővé tette kis mennyiségű, mindössze néhány gramm kőzet feldolgozását, így a mintagyűjtés során csak kis mennyiségű lemezes kalcit begyűjtésére került sor. A minták kémiai feldolgozása az MTA–ELTE Geológiai, Geofizikai és Űrtudományi Kutatócsoport Radiometriai Laboratóriumában történt. A tömegspektrometriai méréseket az MTA Izotópkutató Intézetének ICP-MS laboratóriumában végeztük. A József-hegyi-barlangi képződményeken végzett korábbi vizsgálatok a Bergeni Egyetemen, Stein-Erik Lauritzen laboratóriumában, alfa-spektrometriás módszerrel készültek. A tömegspektrometriás mérések radiokémiai előkészítését és a korhatározás menetét részletesen *SZANYI et al.* (2009) cikkben mutatjuk be.

Korábbi kalcit korhatározások a rózsadombi nagybarlangokból

Hazánk barlangjaiból származó ásványkiválásokon először *FORD & TAKÁCSNÉ BOLNER* (1992) végeztek radiometrikus, alfa-spektrometriás uránsoros kormeghatározást. A Pál-völgyi-barlangban gyűjtött 11 kalcitminta közül mindegyik idősebbnek bizonyult a módszer határának megadott 350 ezer évnél. Méréseikből arra következtettek, hogy a karsztvízszint a mai 160–165 m tszf. magasságban több mint 350 ezer éve tartózkodott. Vizsgáltak egy, a Ferenc-hegyi-barlangból, 230 m tszf. magasságból származó borsókövet is, melynek kora 300 ezer (±59 ezer) évnek adódott. A szerzők ezt azzal magyarázzák, hogy már száraz, légteressé vált teremben keletkezett a borsókő. Az ICP-MS méréssel a korhatározás felső korlátja az alfa-spektormetriásnál közel 30%-kal magasabb, ezért érdemesnek tartottuk a kalcitlemez előfordulások újbóli datálását.

I. táblázat. FORD & TAKÁCSNÉ BOLNER (1992) kalcitlemez és apadási színlő koradatai a Pál-völgyi-barlangból származó mintákra. A szerzők minden esetben az alfa spektrometriás módszer felső határát jelentő 350 ezer évnél idősebb korokat mértek

Mintaszám	Lelőhely a barlangban	Megjegyzés	Kor (ezer év)
84 BUD P2	Gyöngyös-folyosó, egy 1,7 m vastagságú kalcitlemez-párkány teteje	kalcitlemez	> 350
84 BUD P4	Tollas-terem, apadási színlő-borda, törmelékből	apadási színlő	> 350
84 BUD P5	Tollas-terem, falat borító apadási színlőborda	apadási színlő	> 350
88 PAL 2 88 PAL 2B	Kalcit-galéria, kalcitlemez az álmennyezet alatt 20 cm-rel	kalcitlemez	> 350
88 PAL 6	Kalcit-galéria, kalcitlemez az álmennyezet középső szintjéről	kalcitlemez	> 350
88 PAL 7	Kalcit-galéria, kalcitlemez az álmennyezet tetejéről	kalcitlemez	> 350

A József-hegyi-barlang fejlődéstörténetének kutatása során a barlangból származó különböző karbonát ásványkiválásokon végeztünk uránsoros kormeghatározást, alfa-spektrometriás mérések alkalmazásával (*LEÉL-ŐSSY* 1997). A vizsgált 52 karbonát kiválásból 25 bizonyult 350 ezer évesnél idősebbnek, de az egyensúlyi görbék alapján mindegyik 1,2 millió évesnél fiatalabbnak adódott. A vizsgált kalcitlemezek koradatait a *II. táblázat* tartalmazza. A mért koradatok alapján a József-hegyi-barlang fő járatszintjében, 150–160 m tszf. magasságban, a Kinizsi-pályaudvaron és a Vár-teremben több mint 350 ezer éve volt a karsztvízszint. A Vár-terem egyik oszlopszerű felhalmozódásából, annak tetejéről származó, már nem lemez formájú kalcit csúcs kora 245 ezer (+42 ezer; -32 ezer) évnek adódott. A barlang legaljáról, 115–122 m tszf. magasságból, az Üvegpalotából származó lemezes kalcitok kora 66 és 86 ezer év, így joggal feltételezhetjük, hogy a karsztvízszint ekkor már az Üvegpalota mélységében volt.

II. táblázat. Alfa-spektroszkópiás kalcitlemez koradatok a Pál-völgyi-barlangból (LEÉL-ŐSSY 1997). A 10 mérésből csak 3 esetben volt fiatalabb a minta 350 ezer évnél

Mintaszám	Lelőhely a barlangban	Megjegyzés	Magasság (tszf. m)	Kor (+σ; −σ) (ezer év)
260196/1	Kinizsi-pályaudvar, Univerzum alatt	oldalfalhoz tapadt kalcitlemezek, felső szint	162	>350
260196/2	Kinizsi-pályaudvar, Univerzum alatt	oldalfalhoz tapadt kalcitlemezek, középső szint	161	>350
260196/3	Kinizsi-pályaudvar, Univerzum alatt	oldalfalhoz tapadt kalcitlemezek, legalsó szint	159	>350
260196/4	Kinizsi-pályaudvar	kalcitlemez az oszlopok alól	162	>350
240196/13a	Vár-terem	kalcitlemez oszlop alsó része	161	>350
240196/13f	Vár-terem	kalcitlemez oszlop felső része	162	245 (+45; −32)
240196/12	Vár-terem	földre hullott kalcitlemezek	160	>350
260196/13	Üvegpalota alja	megvastagodott kalcitlemezek	115	86 (+4; −4)
260196/15	Üvegpalota	vékony kalcitlemezkék	120	66 (+4; −4)
250196/5	Rulett-terem előtt	megvastagodott kalcitlemez	165–167	>350

Mintagyűjtés

Az uránsoros korhatározás szempontjából érdemes olyan ásványt választani, mely közvetlenül a karsztvízből válik ki, így ideális esetben tóriumos szennyeződéstől mentes, ami jelentősen megkönnyíti a korhatározást. A paleokarsztvízszint helyzetének változását az apadási színlő és a lemezes kalcit mutatják legjobban. Előbbi csak ritkán fordul elő, míg utóbbival számos helyen találkozhatunk a rózsadombi barlangokban, így célszerű volt kalcitlemezek korhatározását elvégezni. A lemezes kalcit jelentősége képződésében rejlik. Meleg állóvízből, kalcium-karbonátra nézve túltelített oldatból, annak felszínén válik ki, azaz a karsztvízszint egykori felszínét jelzi (recens példa a Gellért-hegyi-tároó, ill. a Sáros-fürdő medencéje). A kezdetben hártyavékony képződményt a legkisebb külső hatás is, mint például a víz hullámzása, buborék feláramlás vagy a csepegő víz könnyen eltörheti, és a hártya a víz alá süllyedhet. Ekkor a további mészkiválás nukleuszaként szolgál, így egyes esetekben akár a 2–3 cm-es vastagságot is elérheti (pl. a József-hegyi-barlangban az Üvegpalotában, vagy a Szemlő-hegyi-barlangban az Óriás-folyosóban). Abban az esetben, ha a víz felszínén keletkező hártya mindig ugyanabban a pontban törik el és süllyed le, karácsonyfára emlékeztető, oszlopszerű kúpot hozhat létre (ez állandó helyszínű vízcsepegés vagy buborék feláramlás esetén viszonylag gyakran előfordul). Mivel a víz alatt folyamatosan történik a kalcitkiválás, az összecementálja az egyes lemezkedarabokat, ezért tud meredek, szinte függőleges oldallal is megmaradni az oszlop (Pál-völgyi-barlang: Borókás-ág, Szemlő-hegyi-barlang: Hosszú-folyosó, József-hegyi-barlang: Kinizsi-pályaudvar és Vár-terem).

Bár a legtöbb rózsadombi nagybarlangban előfordul a lemezes kalcit, a nem folytonos megjelenés miatt az általuk adott információk korlátozottak. A Mátyás-hegyi-barlangban csak a Mozi-terem környékén, a Ferenc-hegyi-barlangban csak a 2003-ban felfedezett Mélyszinten fordul elő. A hosszadalmas előkészítést és vizsgálatot kívánó méréssorozatunk elvégzésekor a Harcsaszájú-barlang 2007-ben feltárt szakaszai még nem voltak a vizsgálatba bevonhatók. Maradt 3 nagybarlang: a Pál-völgyi-, a József-hegyi- és a Szemlő-hegyi-barlang. Ez utóbbiban bár bőven van kalcitlemez-előfordulás, azok néhány méteres eltéréssel azonos tengerszint feletti magasságban találhatók, így csak néhány helyről gyűjtöttünk be min-

tákat, melyek koradatai véleményünk szerint jól jellemzik a teljes barlangbeli lemezes kalcit-előfordulást. A József-hegyi-barlangban a kalcitlemezek 120 és 160 m tszf. magasságban helyezkednek el. Már egy évtizeddel ezelőtt végeztünk korhatározást az itteni karbonátos kiválásokon (*LEÉL-ŐSSY* 1997), most csak néhány pontosító és ellenőrző mérést tettünk. A Pál-völgyi-barlangban 148 m és 214 m tszf. magasság között sűrűn (*TAKÁCSNÉ BOLNER* személyes közlés), tengerszint feletti magasságukat tekintve néhány méterenként megtalálhatók az egyes előfordulások, így az innen származó minták korainak meghatározása képezte munkánk gerincét.

2007 januárjában felfedezett a Citadella-kristálybarlang (Gellért-hegy) mélypontján kis „karácsonyfák" találhatók, 167 m-es tszf. magasságban. A kutatás keretén belül az innen származó, vékony lemeztöredékek korhatározása is megtörtént.

A lemezes kalcit a karsztvízszint tetején válik ki, majd lesüllyed az aljzatra és ott folytatódik a kiválás. Ez azt jelenti, hogy a paleokarsztvízszint helyzetének becslésekor szükséges a barlangi termek méretének figyelembe vétele is, mivel nem tudhatjuk, hogy milyen vízállásnál kezdődött meg a ma aljzaton elhelyezkedő kiválások képződése. A Pál-völgyi-barlang szerkezetéből, az olykor magas, de keskeny hasadékok jelenlétéből adódóan azonban sok esetben nehéz megállapítani az adott terem belméreteit, így jelenleg ezt nem vettük figyelembe (ez eredményezhette *LEÉL-ŐSSY* 1997-ben közölt József-hegyi méréseinél is, hogy nem a legmélyebb ponton gyűjtött kiválások voltak a legfiatalabbak). Ugyanakkor a mintagyűjtéskor az adott helyen legfelül található, helyzetéből adódóan valószínűleg legutóbbi kiválásból történt, ezzel biztosítva, hogy azt a pillanatot örökítjük meg, melyben a karsztvízszint elhagyta a járatot. Minden odafigyelés ellenére megtörténhet az is, hogy a vizsgált lemezes kalcitok egy, a karsztvíztől független, magasabban elhelyezkedő kis tóban keletkeztek, pl. a karsztvíz alászállta utáni maradványtóból, vagy a csepegő vizekből kialakuló kis tóban. Ez fiatalabb koradatokat eredményezhet, mint azon lemezek, melyek ugyanazon a magasságon találhatók, és közvetlenül a karsztvízből váltak ki.

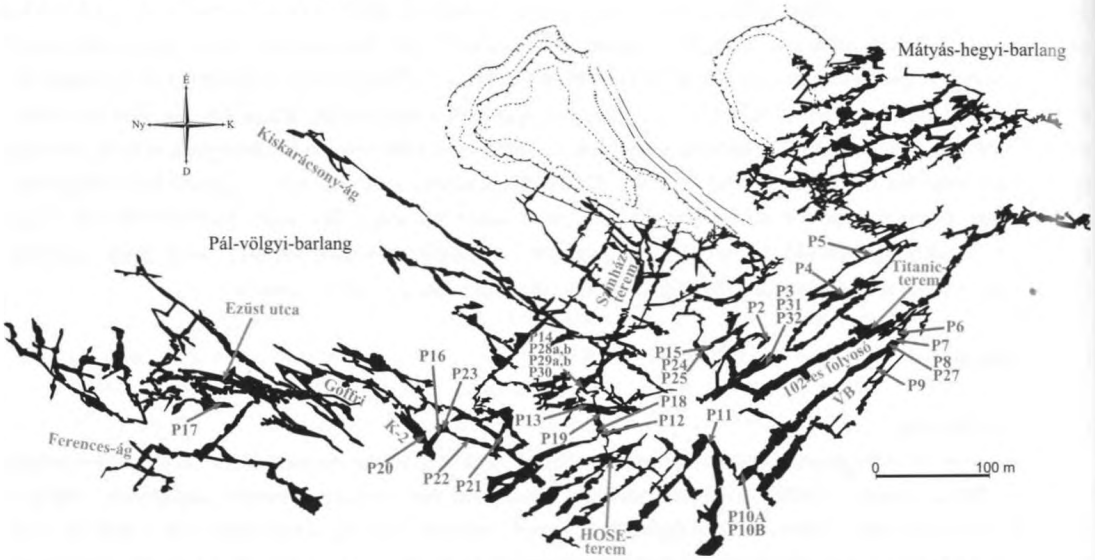
Új koradatok

Pál-völgyi-barlang

A Pál-völgyi-barlangban összesen 21 helyszínről gyűjtöttünk be kalcitlemezeket, ill. apadási színlőt (*1. ábra, III. táblázat*). Szükség esetén ismételt mintagyűjtést és korhatározást végeztünk. Néhány minta ICP-MS mérése többször is megtörtént, így a mérések hibája jelentősen csökkenthető volt. A kb. 160–165 m tszf. magasságban lévő kalcitlemezek egy része már elérte a módszer felső korlátját, így a Rockenbauer Pál-teremből és a Gyöngyös-átjáróból származó minták koradatait csak tájékoztató jelleggel vehetjük figyelembe. Az Ajándék-ágból származó minták többszöri feldolgozása is arra utal, hogy az itteni kalcitlemez-előfordulás legalább 400–500 ezer éves. Az új koradatok mellett méréseink egyúttal megerősítették *FORD & TAKÁCSNÉ BOLNER* (1992) eredményeit is, mivel a Kalcit-galériából és Gyöngyös-folyosóról származó minták koradatai a mostani mérések szerint is meghaladják a 350 ezer évet.

A 148–154 m közötti magasságtartományban gyűjtött lemezes kalcitok korát 10% alatti bizonytalansággal tudtuk meghatározni. A viszonylag sok koradat mindössze néhány tízezer évet fed le, ezért nagy biztonsággal megállapítható, hogy a Pál-völgyi-barlangban 310–280 ezer éve a karsztvízszint a jelenleg kb. 150 m tszf. magasságban elhelyezkedő folyosók és termek szintjén volt. A rózsadombi nagybarlangok fő járatszintjét jelentő 155–165 m-es magasságból származó lemezes kalcitok koradatai már nagyobb hibával terheltek, az idős kalcitlemezek koradatai kifejezetten bizonytalanok. Az ismételt mérések azonban megerősítették, hogy ezek a minták valóban legalább 400–500 ezer évesek. A meghatározott korok széles, közel 200 ezer éves időintervallumot fednek le, kb. 500–310 ezer év között, ami stagnáló karsztvízszintre utal. A kalcitlemezek tanúsága szerint tehát ebben az időben a ma 155–165 m tszf. magasságban elhelyezkedő járatok szintjén volt a karsztvíz tükre.

Néhány, 158–160 m közötti minta fiatalabb, mint az azonos magasságban lévő kalcitlemezek többsége. Erre magyarázatot adhat egy hirtelen vízszintemelkedés, ami azonban megkérdőjelezné azon alaphipotézisünket, mely szerint az erózióbázis tengerszint feletti magassága jelentősen nem változott a vizsgált időszakban. Véleményünk szerint ezek az adatok utalhatnak egy, a karsztvízszinttől független barlangi tó későbbi jelenlétére is. A K2 termében, az alsó létra alatt 5 m-rel és a Fodros-folyosó első oldalfülkéjében előforduló kalcitlemezek, melyek fiatalabbak az azonos magasságban lévő hasonló képződményeknél, a barlang Budai Márgában kioldódott járataiban helyezkednek el, szemben a többi, Szépvölgyi Mészkőben képződött járattal, ezért szükségesnek tartjuk több innen származó minta vizsgálatát, s jelenleg nem tekintjük még ezek koradatait megbízhatónak, annak ellenére, hogy jelentős tóriumos szennyeződést nem találtunk bennük. A legmagasabban elhelyezkedő képződményből, a *Karácsonyfá*-ból gyűjtött minta, melynek radiometrikus kora 409 ezer (+108 ezer, −56 ezer) év, a többi mintagyűjtési helytől viszonylag távol található (*1. ábra*). Hasonló korú képződményeket találunk 10 m-rel alacsonyabb tszf. magasságban a barlang egyéb részein (pl. Ajándék-ág). Mivel ebből a magasságtartományból csak ez az egy koradat származik, nem tekinthetjük szignifikánsnak.



1. ábra. A Pál-völgyi-barlang árnytérképe a mintagyűjtési helyekkel. A magasságadatokat és a meghatározott korokat a III. táblázat tartalmazza

József-hegyi-barlang

LEÉL-ŐSSY (1997) és *LEÉL-ŐSSY & SURÁNYI* (2003) számos koradatot közölt már a József-hegyi-barlangból. A 155–165 m közötti fő járatszintre vonatkozó koradataik nagymértékben hasonlítanak a Pál-völgyi-barlangi adatainkhoz, így az ott levont következtetéseik nem ellentétesek a József-hegyi-barlang koradataiból levonhatókéval. A 2007-es kutatás keretén belül a *LEÉL-ŐSSY* (1997) által, alfa-spektrometriás módszer alkalmazásával nem korolható, idős, a Kinizsi-pályaudvarról származó lemezes kalcit képződési korát kívántuk meghatározni (*2c. ábra*). A minta közel 500 ezer évesnek bi-

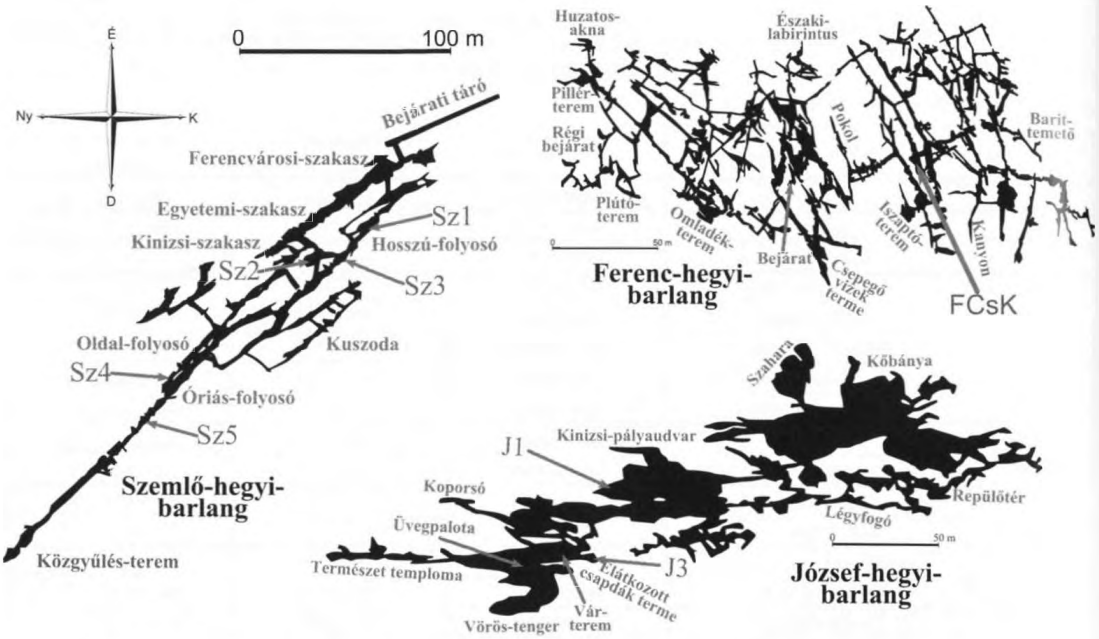
A megvizsgált kalcitlemez előfordulás az Üvegpalotában (József-hegyi-barlang 1984)

III. táblázat. A Pál-völgyi-barlangból gyűjtött mintákon végzett radiometrikus korhatározás eredményei a korok 68%-os konfidenciaintervallumaival. Az előfordulások magasságadatait TAKÁCSNÉ BOLNER (személyes közlés) alapján tüntettük fel

Mintaszám	Lelőhely a barlangban	Megjegyzés	Magasság (tszf. m)	Kor (+σ;−σ) (ezer év)
P2	Óriás-kifli vége	kalcitlemez	161–162	338 (+22; −18)
P3	Ajándék-ág	kalcitlemez	161	408 (+74; −25)
P4	Kalcit-galéria	kalcitlemez	163–165	372 (+32; −25)
P5	Osztrigás folytatás	kalcitlemez	164–166	323 (+18; −15)
P6	Karfiol-terem	kalcitlemez	152–153,5	294 (+13; −13)
P7	Karfiol2 VB eleje	kalcitlemez	152–153,5	298 (+21; −18)
P8	VB	kalcitlemez	152–153,5	313 (+22; −18)
P9	VB első párhuzamos	kalcitlemez	152	286 (+33; −27)
P10A	Bergman-cső	kalcitlemez	148–149	282 (+19; −27)
P10B	Bergman-cső, törmelékből	kalcitlemez	148–149	286 (+24; −20)
P11	Mellkas szorító	kalcitlemez	151–152	296 (+24; −19)
P12	Y-folyosó	kalcitlemez	152–153	281 (+13; −12)
P13	Tollas-terem, ny-i végpont	kalcitlemez	161	365 (+51; −36)
P14	Gyöngyös-átjáró	kalcitlemez	162–163,5	460 (+200; −70)
P15	Cserepes-folyosó	kalcitlemez	163–165	354 (+54; −37)
P16	Kút fölött	kalcitlemez	167	332 (+38; −30)
P17	Karácsonyfa	kalcitlemez	175	409 (+108; −56)
P18	Y-folyosó	kalcitlemez	152	288 (+26; −21)
P19	Műszer alatti	kalcitlemez	153–154	302 (+26; −22)
P20	K2 alatt, alsó létra alatt 5 m-rel	kalcitlemez	158	269 (+36; −29)
P21	Fodros folyosó, 1. oldalfülke apadási színlővel egy szintben	kalcitlemez	160	278 (+28; −23)
P22	Kút előtt	apadási színlő	159	255 (+18; −16)
P23	Kút fölött	apadási színlő	164	396 (∞;−69)
P24	Rockenbauer Pál-terem	kalcitlemez	164,5	512 (∞;−151)
P25	Rockenbauer Pál-terem	kalcitlemez	165	547 (∞;−161)
P27	VB	kalcitlemez	153,5	378 (+85; −48)
P28a	Gyöngyös-folyosó	kalcitlemez	163,5	> 500
P28b	Gyöngyös-folyosó	kalcitlemez	163,5	391 (+173; −69)
P29a	Gyöngyös-folyosó	kalcitlemez	162	> 500
P29b	Gyöngyös-folyosó	kalcitlemez	162	> 500
P30	Gyöngyös-folyosó	kalcitlemez, törmelékből	162-163,5	> 500
P31	Ajándék-ág	kalcitlemez	161	> 500
P32	Ajándék-ág	kalcitlemez	161	> 500

zonyult, így a magas kor (*IV. táblázat*) és a nagy bizonytalanság miatt ez a koradat nem tekinthető megbízhatónak, csupán annyit mondhatunk, hogy a kiválás idősebb 410 ezer évnél (68%-os konfidenciaszinten). Ez egyben azt jelenti, hogy a Kinizsi-pályaudvarban már több mint 410 ezer éve kialakult a karsztvíz szintjének csökkenése következtében légteres rész. Mérésünk egyben megerősítette *LEÉL-ŐSSY* (1997) eredményét is.

Az Elátkozott csapdák terméből származó lemezes kalcit korát nagy pontossággal sikerült meghatároznunk. Ez az adat arra utal, hogy kb. 100 ezer éve már 125 m-re süllyedt a karsztvízszint, ami kiegészíti *LEÉL-ŐSSY* (1997) eredményét, mely szerint 66–86 ezer éve már 115 m mélyen volt a víztükör.



2. ábra. Mintagyűjtési helyek a Szemlő-hegyi- (a), Ferenc-hegyi- (b), és József-hegyi-barlangban (c). A magasságadatokat és a meghatározott korokat a IV. táblázat tartalmazza

IV. táblázat. A Szemlő-hegyi-, József-hegyi- és a Ferenc-hegyi-barlangban, valamint a Citadella-kristálybarlangban gyűjtött mintákon (Sz, J, F és C jelzéssel ellátott minták a fenti sorrendben) végzett korhatározás eredményei a 68%-os konfidenciaintervallumokkal, valamint a minták jelenlegi tszf. magasságai. A J(SG-10) minta korát alfa-spektroszkópiával határoztuk meg

Mintaszám	Lelőhely a barlangban	Magasság (tszf. m)	Kor (+σ; −σ) (ezer év)
J1	Kinizsi-pályaudvar	165	489 (+287; −79)
J3	Elátkozott csapdák terme	125	107 (+3; −2)
J(SG-10)	Üvegpalota alja	115	95 (+23; −17)
Sz1	Hosszú-folyosó	176	374 (+59; −40)
Sz2	liftakna mellett	175	415 (+98; −54)
Sz3	Hosszú-tároló elágazás	178	442 (+185; −68)
Sz4	Óriás-folyosó alja	172	295 (+23; −19)
Sz5	Hópalota	171	285 (+21; −19)
FCsK	Csontváz-terem, középről	180	∞
C1	Citadella-kristálybarlang	167	195 (+11; −10)

Szemlő-hegyi-barlang

A Szemlő-hegyi-barlangban számos helyen találhatunk lemezes kalcitot, de ezek vertikális magasságkülönbsége viszonylag kicsi, így csak 5 mintát gyűjtöttünk és dolgoztunk fel (*2.a ábra*). Mérésünk eredményét a *IV. táblázat* tartalmazza.

A Szemlő-hegyi-barlangból származó lemezes kalcitok közül az alacsonyabban elhelyezkedő minták méréseink szerint jelentősen fiatalabbak, mint a néhány méterrel magasabban találhatók (*IV. táblázat*). A minták származási helye között azonban csak néhány méter függőleges különbség van, a korok mégis széles időtartományt fednek le. Ez, és az a tény, hogy a Szemlő-hegyi-barlang járatai helyenként

a 40 m-es függőleges kiterjedést is elérik, arra utalnak, hogy a Pál-völgyi-barlanghoz hasonlóan a járatokat hosszú ideig, folyamatosan kitöltötte a karsztvíz. Meg kell azonban jegyeznünk, hogy a Szemlőhegyi-barlangban a ~300–450 ezer éves minták 171–178 m tszf. magasságban találhatók, kb. 10 m-rel magasabban, mint a Pál-völgyi-barlangban.

Ferenc-hegyi-barlang

A Ferenc-hegyi-barlang Mélyszintjéről, a Csontváz-teremből származó (*2.b ábra, FCsK jelzés*), vékony lemeztöredékeket is feldolgoztunk. Sajnos azonban ezen minta kora (*IV. táblázat*) meghaladja az ICP-MS módszer alkalmazhatóságának felső határát. Ez arra utal, hogy az összes többi mintagyűjtő helyszínünknél magasabban elhelyezkedő Csontváz-terem több mint 500 ezer éve vált (legalább is részben) szárazzá, ami nem mond ellent a Pál-völgyi-barlangi adatainknak sem.

Citadella-kristálybarlang

A 2007 januárjában felfedezett Citadella-kristálybarlangban a számos gipsz-képződmény mellett lemezes kalcitkiválás is található. Ez a képződmény a barlang mélypontján, a Sárkányfejnél fordul elő, tehát potenciálisan a barlang legfiatalabb meleg vizes kiválásának tekinthető. A 167 m tszf. magasságból származó minta 195 ezer (+11 ezer, -10 ezer) éves, tehát a barlang mélypontja kevesebb mint 200 ezer éve vált légteressé. A rózsadombi barlangok hasonló magasságából származó mintái ennél sokkal idősebbek, aminek oka lehet az eltérő barlanggenetika vagy az intenzívebb emelkedés. Nem kizárható az a korábban már ismertetett lehetőség sem, hogy a vizsgált lemezes kalcit nem az összefüggő karsztvízből vált ki, hanem attól függetlenül, egy később (is) létező tóban képződött.

A KORADATOK TÁGABB ÉRTELMEZÉSE

A geológia tudománya a terepen végzett megfigyeléseken és méréseken, valamint az ott gyűjtött minták anyagvizsgálatán alapul, de ezek a mérések, elemzések nem öncélúak, hanem eszköznek tekinthetők, a kapott adatokból következtetéseket lehet levonni a tágabb környezet kialakulására, fejlődéstörténetére vonatkozóan.

Esetünkben, mivel a kalcitlemezek a mindenkori karsztvízszinten keletkeznek, a fellelt kiválások kora és a lelőhely tengerszint feletti magassága alapján az előzőekben már vázoltuk a paleokarsztvízszint változásait. A karsztvízszint mindig összefüggésben áll az erózióbázissal, amit kutatási területünkön a Duna szintje képvisel. Ha feltesszük, hogy a paleovízszint barlangbeli alászállása csak a hegység emelkedése miatt történt, valójában a Duna szintjének és a karsztvízszintnek tszf. magasságában nem volt jelentős változás, akkor a vízszint változását dokumentáló lemezes kalcitok segítségével a terület kiemelkedésének történetére következtethetünk.

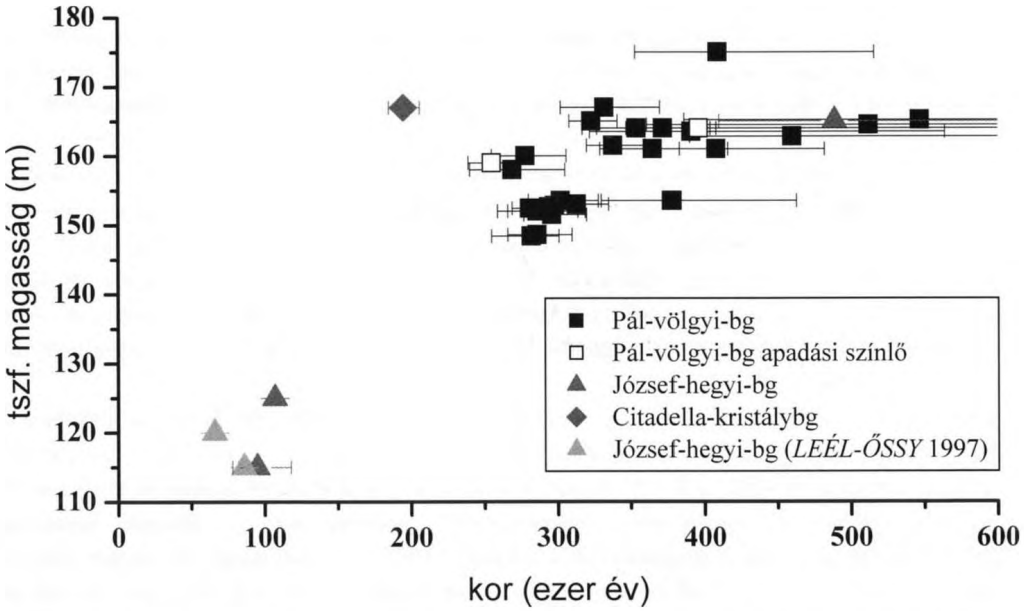
Ez a kérdés régen vizsgált témája a magyar földtani szakirodalomnak. *PÉCSI* (1956, 1959b) a Duna-teraszok magassági helyzete és ősmaradványok kora alapján vont le ilyen irányú következtetéseket, *SCHEUER & SCHWEITZER* (1988) pedig a Gerecse- és a Budai-hegység édesvízi mészköveit vizsgálta geológiai-geomorfológiai, biosztratigráfiai, paleomágneses és abszolút kronológiai (^{14}C, Th/U, ESR) mód-szerek segítségével. *LEÉL-ŐSSY* (1997) a József-hegyi-barlangból származó karbonátkiválások uránsoros korhatározásai alapján próbált meg becslést tenni a hegység kiemelkedési ütemére. *RUSZKICZAY-RÜDIGER et al.* (2005a,b) és *RUSZKICZAY-RÜDIGER* (2007) a Duna-teraszok kitettségi korhatározását végezték el, kozmogén ^{3}He izotópok segítségével. Eredményeik szerint a teraszok jelentősen fiatalabbak, mint amit a korábbi kutatások meghatároztak, így a kiemelkedés is intenzívebb.

A Budai-hegység kiemelkedése a kalcitlemez koradatok alapján

A kalcitlemezek kormagasság diagramja felfogható egy, a kiemelkedést szemléltető ábrának is (*3. ábra*). Az egyes kalcitlemez-szintek helyzete a kiemelkedés következtében egyre magasabbra került. A függőleges magasságkülönbségek és a kalcitlemez korok segítségével becsülhető a terület emelkedési sebessége. Ezzel a kérdéskörrel a Földtani Közlönyben (*SZANYI et al.* 2009) megjelent cikkünkben foglalkozunk részletesen. Ott publikált következtetéseinket itt csak vázlatosan ismertetjük.

A meglévő koradatok, melyeket alfa-spektroszkópiás és ICP-MS mérésekkel határoztunk meg, mintegy 400 ezer éves intervallumot fednek le. Ezek alapján, az erózióbázis helyzetét esetleg befolyásoló klimatikus hatások figyelmen kívül hagyásával a Rózsadomb és ezzel együtt tágabb környezetének, a Budai-hegységnek szakaszos kiemelkedése valószínűsíthető. 500–310 ezer évvel ezelőtt lassú emelkedés jellemezte a területet, ami a karsztvízszint helyzetének állandóságában nyilvánul meg, az emelkedési ráta becslése erre az időszakra a korhatározások jelentős hibahatára miatt igen nehézkes. A 280–70 ezer éves intervallumban gyorsabban, átlagosan 0,16 mm/év-es ütemben emelkedett a terület, amennyiben a barlangok esetleges differenciált tektonikus mozgását nem vesszük figyelembe. Az elérhető csekély adatmennyiség miatt azonban erre az időszakra pontosabb információink nincsenek.

RUSZKICZAY-RÜDIGER és szerzőtársai az irodalomban fellelhető koradatok felhasználásával tettek becslést a Budai-hegység emelkedési rátájára (*RUSZKICZAY-RÜDIGER et al.* 2005c). 360 ezer évtől napjainkig az édesvízi mészkő szintek alapján 0,18 mm/éves, a Duna-teraszok alapján pedig 0,14 mm/éves kiemelkedési rátát számítottak, ami jól egyezik a 280–70 ezer évre vonatkozó 0,16 mm/év-es becslésünkkel. Ugyanakkor adatainkból az derül ki, hogy *RUSZKICZAY-RÜDIGER* és szerzőtársai (2005b) felvetésével ellentétben nem 360 ezer éve, hanem valamivel később, kb. 310 ezer éve gyorsulhatott fel a Budai-hegység kiemelkedése.



3. ábra. A kutatás keretén belül meghatározott kalcitlemez és apadási színlő koradatok (68%-os konfidenciaintervallummal) a tengerszint feletti magasság függvényében

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A kutatást a T 049713, NK 60445 és F 043715 ny. számú OTKA projektek, valamint a Nemzeti Kutatási és Technológiai Hivatal támogatta. Köszönjük az MTA Izotópkutató Intézetének az ICP-MS mérési lehetőséget, a Bergeni Egyetemnek a korábbi, alfa-spektroszkópiás mérések elvégzéséhez adott segítségét. Külön szeretnénk megköszönni Takácsné Bolner Katalinnak a lemezes kalcit-előfordulások magasságadatait, Regős Szilárdnak a mintagyűjtésben nyújtott hathatós segítségét, valamint a Duna-Ipoly Nemzeti Parknak, ill. a Közép-Duna-völgyi Környezetvédelmi, Természetvédelmi és Vízügyi Felügyelőségnek a mintagyűjtés engedélyezését és munkánk támogatását.

IRODALOM

BÖGLI A. (1965): *The role of corrosium by mixed water in cave forming.* – In: STEKL O. (szerk.): Problems of the Speleological Research, Czechoslovakia. – Academy of Science, Prague, 125–131.

FAUGRE G. (1977): *Principles of isotope geology.* – Wiley New York 197–225.

FODOR L., MAGYARI Á., FOGARASI A. & PALOTÁS K. (1994): *Tercier szerkezetfejlődés és késő paleogén üledékképződés a Budai-hegységben.* – Földtani Közlöny 124/2, 130–305.

FORD D. C. & TAKÁCSNÉ BOLNER K. (1992): *Abszolút kormeghatározás és stabil izotóp vizsgálatok budai barlangi kalcitmintákon.* – Karszt és Barlang 1991/I–II, 11–18.

GÁBRIS GY. (1994): *Pleistocene evolution of the Danube in the Carpathian Basin.* – Terra Nova 6/5, 495–501.

GEYH M. A. & SCHLEICHER, H. (1990): *Absolute Age determination: Physical and Chemical Dating Methods and Their Application* – Springer-Verlag, 503 p.

HORUSITZKY, H. (1939): *Budapest Duna jobbparti részének hidrogeológiája.* – Hidrológiai Közlöny 18, 1–404.

IVANOVICS, M. & HARMON, R. (1982): *Uranium series disequilibrium: applications to environmental problems.* – Clarendon Press, Oxford, 571 p.

JAKUCS L. (1994): *A Budai-hegység hidrotermális karsztja.* – Földrajzi Értesítő XLIII/3–4, 235-246.

KORDOS L. (1976): *A szpeleokronológia elméleti és gyakorlati kérdései.*- Karszt és Barlang 1976/I–II. 15–21.

KOVÁCS J. & MÜLLER P. (1980): *A Budai hegyek hévizes tevékenységének kialakulása és nyomai.* – Karszt és Barlang1980/II, 93–98.

LÁNG S. (1955): *A Mátra és a Börzsöny természetföldrajza.* – Akadémiai Kiadó, Budapest, 512 p.

LEÉL-ŐSSY S. (1957): *A Budai-hegység barlangjai.* – Földrajzi Értesítő VI. 155–167.

LEÉL-ŐSSY SZ. (1995): *A budai Rózsadomb és környékének különleges barlangjai.* – Földtani Közlöny 125/3–4, 363–432.

LEÉL-ŐSSY SZ. (1997): *A József-hegyi-barlang (Budapest) geológiai viszonyai, fejlődéstörténete és a Rózsadomb környéki termálkarsztos barlangok genetikája.* – Kandidátusi értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 114 p.

LEÉL-ŐSSY SZ. & SURÁNYI G. (2003): *Peculiar hydrothermal caves in Budapest, Hungary.* – Acta Geologica Hungarica 46/4, 407–436.

LUDWIG K. (2003): *Mathematical-Statistical Treatment of Data and Errors for ^{230}Th/U Geochronology.* – Reviews in Mineralogy and Geochemistry 52, 631–656.

NOSZKY J. ID. (1935): *Adatok a Visegrádi Dunaszoros teraszképződményeinek geológiai ismeretéhez.* – Földtani Intézet Évi Jelentés 1933–1935, 1523–1563.

PÁVAI-VAJNA F. (1931): *A forró oldatok és gőzök-gázok szerepe a barlangképződésnél.* – Hidrológiai Közlöny 21, 115–122.

PÁVAI-VAJNA F. (1938): *Az 1938. évi budapestkörnyéki kiegészítő geológiai felvételi jelentésem.* – Földtani Intézet Évi Jelentés. 1936-1938. évekről, 399–438.

PÉCSI M. (1956): *Újabb völgyfejlődéstörténeti és morfológiai adatok a Dunavölgy Pozsony (Bratislava)–Budapest közötti szakaszáról.* – Földrajzi Értesítő 5, 21–41.

PÉCSI M. (1959a): *A magyarországi Duna-völgy kialakulása és felszínalaktana.* – Akadémiai Kiadó, Budapest, 346 p.

PÉCSI M. (1959b): *A negyedkori tektonikus mozgások mértéke a Dunavölgy magyarországi szakaszán.* – Geofizikai Közlemények VIII/1–2, 73–83.

ROSHOLT J. N. & ANTAL P. S. (1962): *Evaulation of the Pa^{231}/U – ^{230}Th/U method for dating Pleistocene carbonate rocks.* – United States Geological Survey Professional Paper 450, 108–111.

RUSZKICZAY-RÜDIGER ZS. (2007): *Tectonic and climatic forcing in Quaternary landscape evolution in the Central Pannonian Basin: A quantitative, geomorphological, geochronological and structural analysis* – Doktori értekezés, Vrije Universiteit, Amsterdam, 149 p.

RUSZKICZAY-RÜDIGER ZS., DUNAI T. J., BADA G., FODOR L. & HORVÁTH E. (2005a): *Middle to late Pleistocene uplift rate of the Hungarian Mountain Range at the Danube Bend, (Pannonian Basin) using in situ produced ^{3}He.* – Tectonophysics 410, 173–187.

RUSZKICZAY-RÜDIGER ZS., DUNAI T., FODOR L., BADA G., LEÉL-ŐSSY SZ. & HORVÁTH E. (2005b): *A negyedidőszaki függőleges kéregmozgások számszerűsítése a Duna völgyében a korábbi kronológiai adatok és új, kozmogén ^{3}He kitettségi kor mérések alapján.* – Földtani Közlöny 135/3, 373–403.

RUSZKICZAY-RÜDIGER ZS., FODOR L., BADA G., LEÉL-ŐSSY SZ., HORVÁTH E. & DUNAI T. J. (2005c): *Quantification of Quaternary vertical movements in the central Pannonian Basin: A review of chronologic data along the Danube River, Hungary.* – Tectonophysics 410, 157–172.

SCHAFARZIK F. & VENDL A. (1929): *Geológiai kirándukások Budapest környékén.* – Stádium Sajtóvállalat Rt. 342 p.

SCHEUER GY. & SCHWEITZER F. (1988): *A Gerecse- és a Budai-hegység édesvízi mészkőösszletei.* – Földrajzi Tanulmányok 20, 129 p.

SCHRÉTER Z. & HORUSITZKY F. (1958): *Budapest és környékének geológiája.* – In: Pécsi M (szerk): Budapest természeti képe, Akadémiai Kiadó, 35–148.

SURÁNYI G. (2005): *Módszerfejlesztés az $^{234}U/^{230}Th$ izotóparány mérésén alapuló uránsoros kormeghatározás terén.* – Doktori értekezés, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Budapest, 93 p.

SZABÓ J. (1858): *Pest-Buda környékének földtani leírása.* – Pest, 1858

SZANYI GY., BADA G., SURÁNYI G., LEÉL-ŐSSY SZ., VARGA ZS. (2009): *A Budai-hegység pleisztocén kiemelkedéstörténete barlangi lemezes kalcitkiválások uránsoros kormeghatározása alapján.* – Földtani Közlöny, 139/4, p. 445–468.

TAKÁCSNÉ BOLNER K. & KRAUS S. (1989): *A melegvizes eredetű barlangok kutatásának eredményei.* – Karszt és Barlang 1989/I-II, 61–66.

WEIN GY. (1977): *A Budai-hegység tektonikája.* – Magyar Állami Földtani Intézet Alkalmi kiadványa, Budapest, 76 p.