

Az utóbbi 20 év barlangkutatói eredményei a Budai-hegységben (különös tekintettel a Rózsadomb környékére)

LEÉL-ŐSSY Szabolcs, VIRÁG Magdolna

Eötvös Loránd Tudományegyetem, Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/c
losz@geology.elte.hu, virag.magdi@gmail.com

Developments in the speleology of the Buda Hills in the last two decades (with a special focus on the Rózsadomb and its surroundings)

Abstract

In 1995 LEÉL-ŐSSY Sz. published in this bulletin an overview of the caves of the Buda Hills. Due mainly to the progress in investigation methods and to new building construction sites in the area, since LEÉL-ŐSSY's work there have not only been new discoveries but new results have emerged from research into the genetics and minerals of local hypogene caves. To give one example, in 1995 30 km of cave passages were known in the Rózsadomb; now that figure is 55 km. Among the new theories related to genetics, the most important one focuses on altered zones and the source and the mixing of the ascending thermal water that created the caves. The number of known mineral species in the Buda caves has increased from 15 to 31. This was the time of the first age determinations, which provided us with actual dates.

Today there are 239 known caves in the Buda Hills and 176 caves in Budapest (including the caves in Róka Hill, which belongs to the Pilis Hills). In the area of Rózsadomb there are 102 caves on the list of the Hungarian Cave Register.

In the last 20 years, the most important cave discoveries in the Rózsadomb area were in Molnár János Cave (mainly in the phreatic zone), and in the Hideglyuk, Harcsaszájú and Pál-völgy Caves. After the discovery of the connecting passages between the last three mentioned caves and the Mátyás-hegy Cave, this Pál-völgy Cave System is recently the longest known cave system (31 km long) in Hungary. Its length exceeds the Baradla Cave in Aggtelek–Jósvafő (together with the part of the Baradla Cave in Slovakia — there known as the Domica Cave). Furthermore, a major result of the speleological investigations has been the discovery of the Mélyszint (deep part) of the Ferenc-hegy Cave; formerly, knowledge about this cave was based on the surface-close passages. The discovery of three "new" small caves — the Citadella Crystal Cave, the Királylakai Cave and the József-hegy No. 4 Cave — is also significant. This is due to their having valuable mineral precipitations and their potential for further investigations. In addition to these three important caves, over the last 20 years 28 small caves have been found by explorers: mainly in the Rózsadomb area and in the Buda Hills.

Keywords: hypogenic speleogenesis, Pál-völgy Cave System, Citadella Crystal Cave, Királylakai Cave, altered zones, age of the speleothems

Összefoglalás

LEÉL-ŐSSY Sz. 1995-ben közölt összefoglalót a Budai-hegység barlangjairól e lap hasábjain. Az azóta eltelt időszakban — a kutatási módszerek fejlődésének, és a megszorított hegyvidéki építkezéseknek köszönhetően — nemcsak új feltárások történtek (főként a Rózsadomb térségében, ahol az 1995-ben ismert 30 km-es járathossz csaknem a duplájára, 55 km-re növekedett), hanem az itteni hipogén barlangok genetikájával, ásványvilágával kapcsolatban is számos új eredmény született. A keletkezéssel kapcsolatos új elméletek közül az elváltozott (kovás) zónákkal és a barlangot kioldó aszcendens termákvizek eredetével és keveredésével kapcsolatos új eredményeket kell kiemelniünk. A Budai-hegységben ismert barlangi ásványfajok száma az akkori 15-ről 31-re emelkedett. Ebben az időszakban születtek az első konkrét eredményeket tartalmazó korhatározások is.

Az egész Budai-hegységben ma 239 barlangot ismerünk. Budapesten (a Pilishez tartozó Róka-hegyen lévővel együtt) 176 barlang található. A Rózsadomb térségében 102 barlangot kataszterizáltak az Országos Barlangnyilvántartásban.

Az elmúlt 20 évben a legfontosabb barlangfelfedezések a víz alatti Molnár János-barlangban, a Hideglyuk- és Harcsaszájú, valamint a Pál-völgyi-barlangban történtek. Az utóbbi három barlang és a Mátyás-hegyi-barlang közötti összekötő járatok feltárásának köszönhetően, közel 31 km-es hosszával a Pál-völgyi-barlangrendszer lett Magyarország leghosszabb barlangja, megelőzve az aggtelek-jósvafői Baradla-barlangot (beleértve a Baradla szlovákiai részét, a Domica-barlangot is). Nagy eredmény az eddig csak felszín közeli járatairól ismert Ferenc-hegyi-barlangban a Mélyszint megtalálása. Három új

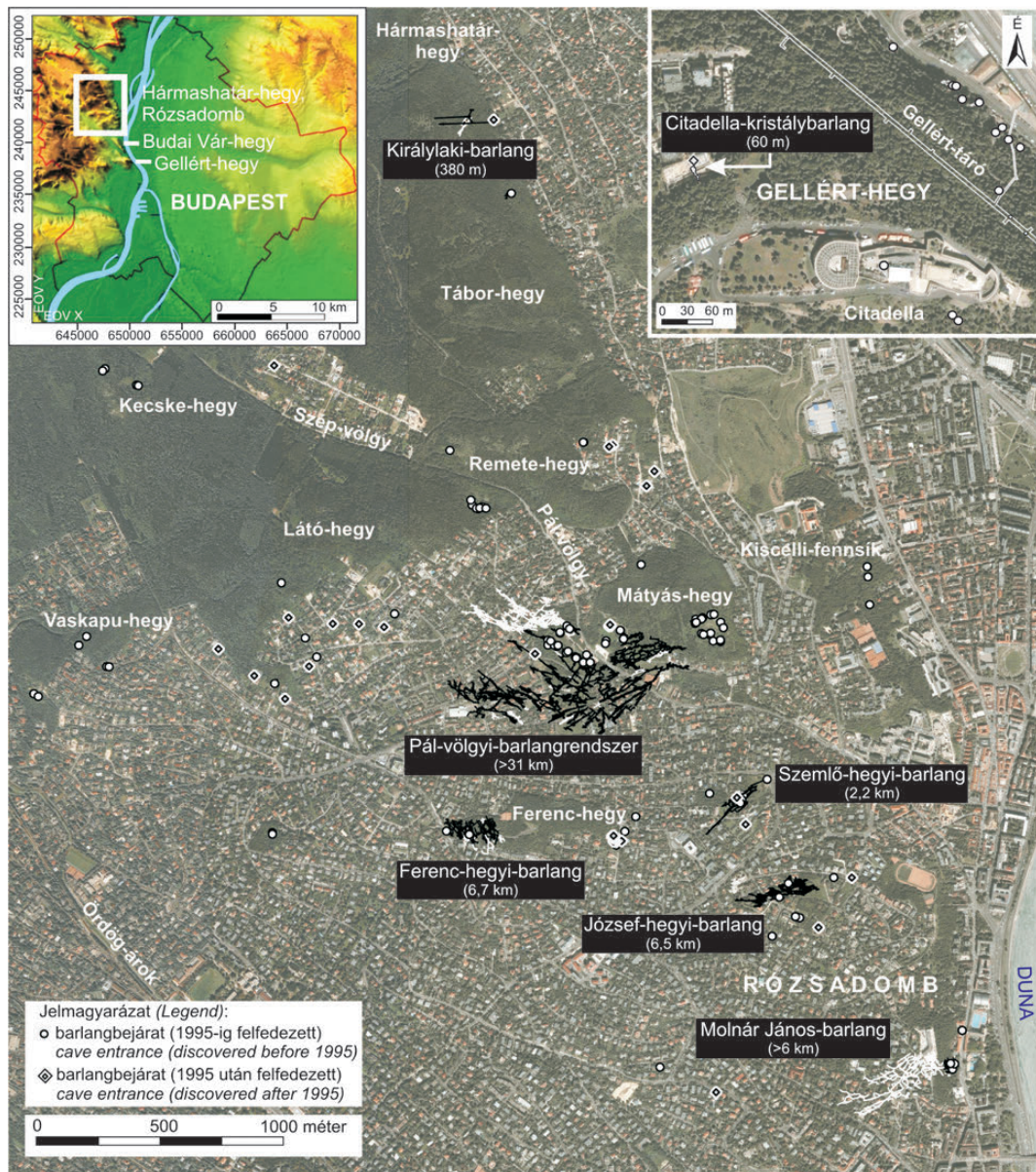
kisbarlang: a Citadella-kristálybarlang, a Királylaki-barlang és a József-hegyi 4. sz. barlang felfedezése pedig különösen értékes ásványkiválásai, ill. nagyon perspektivikus továbbkutatási lehetőségei miatt nagyon jelentős. Ezen kívül további 32 kisbarlangot találtak a kutatók az elmúlt 20 évben a Budai-hegységben, elsősorban a Rózsadomb térségében.

Tárgyszavak: hipogén barlangkeletkezés, Pál-völgyi-barlangrendszer, Citadella-kristálybarlang, Királylaki-barlang, kovás elváltozott zónák, barlangi kiválások kora

Bevezetés, előzmények

A Budai-hegység barlangjai közül a történelmi idők előtt csak a Máriaremetei-szurdokvölgy kis forrásbarlangjai (Remete-barlang, Remete-kőfülke, Hétlyuk-zsomboly) voltak ismertek. Ezek közül a Remete-barlang gazdag ősem-

beri lelőhelynek bizonyult. A Gellért-hegyi-barlang (Szent Iván-barlang) 10 méternél nagyobb bejáratát már az őskortól használhatták. Itt ősemberi leleteket nem találtak, de a középkortól kezdve biztosan lakott hely volt. Egyes vélemények (DÉNES in ADAMKÓ et al. 1992) szerint ez a barlang lehet fővárosunk egyik névadója.



1. ábra. A budai Rózsadomb és Gellért-hegy barlangjainak (barlangpoligonok) térképe (barlangadatok: Országos Barlangnyilvántartás 2017, térkép alap: Google Earth, IKONOS; VIRÁG in MINDSZENTY (szerk.) 2013: 86. fotótábla után módosítva). Az 1995 után felfedezett barlangszakaszokat fehér vonallal jelöltük

Figure 1. Cave-polygons displayed on the Google Earth IKONOS map of Rózsadomb area and Gellért Hill and its surrounding (speleological data from the Hungarian Cave Register 2017; modified after VIRÁG in MINDSZENTY (ed.) 2013 (Photo table no 86). The cave passages discovered since 1995 marked with a white line

A hipogén karsztbarlangok közül először a Vár-hegy különálló kis üregeit találták meg, amikor a tatárjárás után IV. Béla parancsára beépült a Vár-hegy platója, és az új házak kertjében kutakat ástak. A kutak 6–10 m mélységben, az édesvízi mészkő paplan aljában harántolták a 0,5–1,0 m belvilágú oldásos gömbfülkéket. Ezeknek a kis üregeknek az összenyitásából, lemélyítéséből alakult ki napjainkra a több mint 3 km-es Budai Vár-barlang.

A rózsadombi barlangok megismerése a 19. század közepén kezdődött, amikor MOLNÁR János a Malom-tó fölött egy 12 m mély üreget talált. A nagy felfedezések sorát a 20. század elején a kőbányászat nyitotta meg (1904, Pál-völgyi-barlang). A század közepétől a barlangfeltárásokat az urbanizációhoz kapcsolódó egyéb műszaki beavatkozások (házalaposítás, csatorna- és nyomóvezeték fektetés, kútásás, fúrás, teraszosítás, tároshajtás stb.) feltárásai tették lehetővé (pl. 1984, József-hegyi-barlang — LEÉL-ŐSSY SZ. 2003, 2014).

Az elmúlt egy-két évtizedben általánosan elterjedté vált a piropatronok használata. Így vált lehetővé olyan, több méter hosszú, ember által járhatatlan méretű szűkületek kibontása, amik tágas járatokat kötnek össze. Így több esetben sikerült évtizedek óta ismert rövid barlangokból kiindulva több km-es hatalmas rendszereket felfedezni, és számos új kisbarlangot találni (I. ábra, I. táblázat).

A Rózsadomb környéki barlangok genetikája

Már MOLNÁR J. (1869) megfigyelte, hogy a Duna-parti források felszíne néha szinte buzog a távozó szén-dioxidtól és kén-hidrogéntől. Ugyanakkor a 20. sz. első felében CHOLNOKY (1925), SCHAFARZIK-VENDL (1929), KADIĆ (1931) a „mészkő hasadékaiban beszívargó víz” oldó hatásának tulajdonították a Pál-völgyi-barlang járatainak kialakulását. PÁVAI-VAJNA (1930) rögzítette először, hogy a mélyből feltörő forró oldatok, ill. gőzök-gázok is alakíthatnak ki oldásformákat, tágíthatják barlangjárat méretűre a hasadékokat.

KESSLER (1931, 1934, 1936), az általa feltárt Szemlő-hegyi- és Ferenc-hegyi-barlangot „hévízes” eredetűnek tekintette. Később a budai barlangok kapcsán KERÉKES (1944) és JAKUCS (1948) hévízes barlangkeletkezést említ. A hideg vizes (epigén) keletkezést tartotta elsődlegesnek CHOLNOKY (1925, 1944) PANOŠ (1960) és

KORPÁS (2000). CHOLNOKY felismerte ugyan a hévízforrások elsődleges szerepét, de a nagyméretű barlangjáratot a későbbi víznyelőbarlangtól származtatta. A 20. század második felében megjelent összefoglaló barlangos munkák (LEÉL-ŐSSY S. 1957; BERHIDAI 1964; ERNST 1965; BALÁZS 1966; KOVÁCS & MÜLLER 1980; SZUNYOGH 1982, 1984, 1987; TAKÁCSNÉ BOLNER & KRAUS 1989; NÁDOR 1991, 1992; LEÉL-ŐSSY SZ. 1995) többségükben azonban már a hévízes/hidrotermás/termálkarsztos/hipogén eredetet (ki melyik hasonló jelentésű jelzőt használta) fogadták el. Ebben nagy szerepet játszottak a keveredési korrózió elméletének barlangtani alkalmazását tárgyaló külföldi munkák (BÖGLI 1963, 1965, 1971; RUNNELS 1969; PLUMMER 1975; BAKALOWICZ et al. 1987; FORD & WILLIAMS 1989; DUBLYANSKY 1991, 1995, 2000) is.

A 20. század első felében keletkezett munkákban azonban még nem volt tisztázott a hévízforrások magas hőmérsékletének oka, ill. a szén-dioxid eredete. SCHRÉTER (1912) szerint a néha 70 °C feletti hévízforrás hőmérséklet a Visegrádi-hegység badeni andezitvulkánosságának köszönhető. A ma elfogadott álláspont szerint ennek inkább a Pannon-medence alatti földkéreg kivékonyodásának köszönhető magas

I. táblázat. Az 1995 óta felfedezett barlangok, hosszúságuk és vertikális kiterjedésük (barlangadatok: Országos Barlangnyilvántartás 2017)

Table I. Caves discovered after 1995 and their horizontal and vertical extent (speleological data from the National Cave Register 2017)

Kataszteri szám	Barlangnév	Felfedezés éve	Hosszúság (méter)	Vertikális (méter)
4762-24	Decimus-barlang	1996	28	13
4762-28	Verecke út 115. szám alatti barlang	1996	24	4,9
4763-35	Remetehegyi köz 1. sz. barlang	1998	15	0
4763-36	Remetehegyi köz 2. sz. barlang	1998	3	0
4762-19	Törökvézi út 133d barlangja	1998	15	10,2
4762-20	Törökvézi út 121b barlangja	1999	2,4	2,1
4762-29	Szalamandra-utcai-barlang	1999	15	13
4762-66	Pusztaszeri-barlang	2000	27	10
4762-56	Ferenc 1. sz. barlang	2001	32	11
4762-57	Ferenc 2. sz. barlang	2001	15	10,1
4762-58	Ferenc 3. sz. barlang	2001	10	4,5
4762-59	Ferenc 4. sz. barlang	2001	18	7,8
4762-60	Ferenc 5-6. sz. barlang	2001	103	30
4763-8	Óbuda 1. sz. barlang	2001	18,7	9,7
4763-7	Óbuda 2. sz. barlang	2001	21	7
4750-6	Tamara-barlang	2001	18	8,7
4762-23	Alibi 1. sz. barlang	2002	22	13
4762-22	Alibi 2. sz. barlang	2002	19	8,5
4763-3	Patricia-barlang	2003	2,5	2,5
4763-9	Kiscelli-barlang	2004	50	10
4762-65	Felhévízi-barlang	2005	11	9
4732-29	Citadella-kristálybarlang	2007	60	18
4762-73	Pünkösdi-barlang	2007	13	9,4
4762-75	Origo-barlang	2008	26	16
4762-5	Szent Lukács-kristályág	2008	36	4,5
4762-77	József-hegyi 4. sz. barlang	2009	31	8,5
4763-37	Mátyás-hegyi köfajtó 2. sz. ürege	2009	8	2,5
4763-38	Mátyás-hegyi köfajtó 3. sz. ürege	2009	8	5
4762-80	Kanális-barlang	2010	23	6,3
4762-79	Nagyboldogasszony-barlang	2010	11	6,5
4763-39	Királylakai-barlang	2011	380	34
4762-82	Verecke út 69. szám alatti barlang	2015	8,4	6,5

hőfluxus az oka (POROS 2011, POROS et al. 2012), amint azt korábban ALFÖLDI (1978, 1979) is felvetette. KESSLER (1936) megelégedett azzal, hogy az aszcendens vizek széndioxidot is tartalmaznak. KOVÁCS & MÜLLER (1980) megpróbált magyarázatot adni a jelenségre: ők a mélybe került karbonátos kőzetek metamorfózisából származtatták a szén-dioxidot. POROS et al. (2012) a Pesti-síkság alatti rétegekből származó, szervesanyag-éréshez is kötődő, mélyből feláramló medenceeredetű fluidumoknak tulajdonítja az agresszív gázok (pl. CO₂ és CH₄) eredetét.

VIRÁG (2016) áttekintést ad a budai barlangok keletkezésére vonatkozó elméletekről, ill. magáról a kioldódási folyamatról.

A Budai-termálkarszt világszerte elismerten a hipogén barlangok típusterületének számít. A hipogén barlangok genetikájáról összefoglaló munkák is megjelentek (pl. KLIMCHOUK et al. 2000, PALMER 2007, KLIMCHOUK 2007, FORD & WILLIAMS 2007, KLIMCHOUK & FORD 2009). Ezekben a munkákban kitérnek a Budai-termálkarszt problémakörére. A világ hipogén karsztos területeivel és barlangjaival foglalkozó legújabb könyvben a Budai-termálkarsztról (annak hidrogeológiájáról és barlangjairól) több fejezet is szól (MÁDL-SZŐNYI et al. 2017, LEÉL-ŐSSY SZ. 2017).

A hipogén barlangokat kioldó folyamat első lépcsője a csapadékvíz beszivárgása. A Budai-hegység és a Pilis területére hulló viszonylag kis mennyiségű csapadék (évi 500–600 mm, ami az ezredforduló óta 350 és közel 1000 mm között ingadozott) nagy része elpárolog, lefolyik, felhasználja a növényzet, és csak kisebb része szivárog át az epikarszton, és jut be a karbonátos kőzet repedéseibe. MAUCHA (1998) jósvafői mérései szerint a triász időszi, a Budai-hegységénél tisztább karbonátok esetében 20–25% közötti a kőzet repedéseibe beszivárgó csapadékvíz aránya. (A budai-hegységi, magasabb agyagtartalmú eocén kőzetek esetében ez az érték nyilván alacsonyabb.) Ez a víz kerül később ismét a felszínre. SCHAFARZIK (1921) alkotta meg a „vízkörzés” alapmodelljét, amit az újabb információk tükrében több szerző is korszerűsített (VENDEL & KISHÁZI 1964; KOVÁCS & MÜLLER 1980; ALFÖLDI 1981; ERŐSS 2010; ERŐSS et al. 2010, 2012). TÓTH J. (1963, 2009) munkáiban részletezi a különböző rendű áramlási pályák jellemzőit. Eszerint a lokális ág esetében a be- és kiáramlási zóna közel van egymáshoz, az áramlásban részt vevő víz viszonylag rövid ideig tartózkodik a felszín alatt — ez az idő években, évtizedekben és talán évszázadokban mérhető —, nem jut el nagyobb mélységbe, emiatt nem is melegszik fel jelentősen. Ismét a felszínre lépve hideg vízü forrásként jelentkezik (vö. Városkút-forrás). Az intermedier ág hosszabb időt (évszázadokat, egy-két évezredet) töltve a föld alatt már nagyobb mélységbe jut le, jobban felmelegszik, és kilépéskor langyos vízü forrást alkot (pl. Molnár János-barlang: Boltív-forrás, Alagút-forrás).

A regionális ág lokális és intermedier ágakat fog közre, nagyobb utat tesz meg, nagyobb mélységbe jut le, akár több tízezer évig is a felszín alatt tartózkodhat (ALFÖLDI 1979). Meleg hévforrásokat (pl. Gülbaba-forrás) táplál a megcsa-

polási zónában. Új megállapítás, hogy ezeknek a forrásoknak a vizét nemcsak a fő vízgyűjtő területen (a karbonátos Budai- és Pilis hegységben) lehullott és a föld alatt körpályát bejárt csapadék adja, hanem egy része a Gödöllői-dombság területéről érkezik hozzá. Ezt már ALFÖLDI (1981) felvetette, és ERŐSS (2010), ERŐSS et al. (2010, 2012) és POROS (2011), ill. POROS et al. (2012) is elfogadta. Újabb hidrogeológiai kutatások (MÁDL-SZŐNYI et al. 2015, MÁDL-SZŐNYI & TÓTH Á. 2015) rámutatnak arra, hogy a Gödöllői-dombságon beszivárgó víz (a lokális megcsapolódás mellett) a sziliciklasztos üledékes kőzeteken átszivároghat hozzákeveredik a Pesti-síkság alatti regionális áramlási pályához, és a Duna mentén megcsapolódó forrásokhoz járul hozzá. SZABÓ V. et al. (2009) kénizotópos vizsgálatai is valószínűsítik, hogy az eltemetett, miocén kori evaporitokkal érintkező víz is bekerül a regionális ágba.

Az utánpótlódási területéről kiinduló vízármlások keleties vergenciával, 1000 méternél is mélyebbre jutnak le a Pesti-síkság alá, majd ott a korlátozottan vízáteresztő, agyagos fedőüledékek alatt visszafordulnak nyugat felé, és a Duna jobb partján húzódó forrásokban kerülnek egymással keveredve ismét a felszínre. (Ezt a „köráramlást” LORBERER (2002) szerint a beszivárgási és a megcsapolási területek közti magasságkülönbség, a két terület vizeinek sűrűségkülönbségében jelentkező eltérő hőmérséklete és eltérő ionkoncentrációja, az ún. hőlift-hatás alakítja ki.) Mélybe áramlásuk közben a környezetüktől hőt vonnak el, fokozatosan felmelegsznek. A különböző áramlási pályákon mozgó, különböző mélységbe eljutó, és ismét a felszín felé tartó, eltérő hőmérsékletű és iontartalmú vizek elegyedésekor lép fel a keveredési korrózió jelensége (l. még később). Ennek során az áramlásukat lehetővé tevő litoklázisok, ill. nyílt repedések oldalfalát oldva, ember által is járható méretű barlangi folyosókat hoznak létre. A korábbi feltételezésekkel szemben a keveredés és oldódás nemcsak a felszín közvetlen közelében zajlik: a Molnár János-barlang ezredforduló után felfedezett egyes ágai (l. később) a karsztvíz szintje alatt közel 100 méterrel húzódnak. A Pesti-síkság alatti fúrások több száz méter mélyen is harántoltak tágas üregeket, melyeket MÁDL-SZŐNYI & TÓTH J. (2015) munkája alapján vélhetően a fent említett, Gödöllői-dombságon beszivárgó víz és a Pesti-síkság alatti regionális áramlás keveredésének oldó hatása alakított ki. ERŐSS (2010), ill. ERŐSS et al. (2012) pedig bebizonyította, hogy a Gellért-hegy térségében csak termálvíz megcsapolódás zajlik, és nem tapasztalható keveredési korrózió. Ezen a területen a dolomitban nem is alakultak ki jelentősebb barlangjáratok. ERŐSS (2010) a kisméretű járatok kialakulásáért más üregképző tényezőket tesz felelőssé (l. később).

A keveredési korrózió során a két, eltérő hőmérsékletű és/vagy eltérő ionkoncentrációjú, külön-külön telített oldat elegyedésekor létrejövő új oldat telítetlen, tehát a karbonátra nézve oldóképes lehet, agresszív CO₂-t tartalmaz (pl. VERESS 2004). A folyamatosan bekövetkező elegyedés pedig folyamatos oldódást eredményez, és egyre tágasabb barlangjáratok kialakulásához vezet. A belső méreteknek a kőzet mechanikai tulajdonságai, és a repedezettség mértéke szab

határt: a Budai-hegység litoklázisokkal, vetőkkel sűrűn átjárt közettömegében nem jöhettek létre 100 méteres óriás barlangtermek — vagy ha igen, hamar beomlottak. A kialakuló folyosók minden esetben a korábbi töréseket követik: ezt a jelenséget, a „tektonikus preformációt” már számos szerző felismerte az elmúlt évtizedek során (JAKUCS 1948, 1971, 1994; LEÉL-ŐSSY S. 1957; BERHIDAI 1964; MÜLLER 1974; KRAUS 1978; TAKÁCSNÉ BOLNER & KRAUS 1989; NÁDOR 1991; FODOR et al. 1991; LEÉL-ŐSSY SZ. 1995, 1997a). Az alulról felfelé irányuló kioldódás következménye, hogy a budai barlangok képződése teljesen független a felszín topográfiájától. Kialakulhatnak hegyoldal alatt (Szemlő-hegyi-barlang), hegytetői helyzetben (Ferenc-hegyi-barlang), vagy akár völgyek alatt is (Pál-völgyi-barlangrendszer Szépvölgyi-ága és Természetbarát-szakasza). Gyakori eset, hogy egy hálalozás során, sokszor a rejtett gömbfülke felett 20 cm-re sem lehet tudni, hogy ott egy barlangjárat húzódik, csak amikor már a sziklabontás harántolja az üreget. Az utóbbi évtizedekben több tucat kisebb-nagyobb barlangot (pl. a József-hegyi-barlangot vagy a Pusztaszeri-barlangot) sikerült így megtalálni.

A keveredési korrózió mellett jelentős szerepe lehet a barlangok kioldásában annak a közismert fizikokémiai ténynek, hogy a hideg víz több CO_2 -t tud oldatban tartani. Tehát a felszín felé áramló meleg vizes oldatok az egyre hűvösebb környezetükkel érintkezve folyamatosan hűlnek, és ezáltal jelentős oldásra képesek (FORD 1988, NÁDOR 1991, ERŐSS 2010, PALMER 2007, LEÉL-ŐSSY SZ. 2014). A terület kiemelkedése, és ehhez kapcsolódóan a karsztvíz szintjének csökkenése következtében a korábban kioldott barlangjáratokban a barlangi tó szabad tükrű lesz, fölötte légtér jön létre. A karsztvíz szintjében és közvetlenül alatta pedig azonnal megindul a kigázosodás jelensége (a CO_2 eltávoztása), ami karbonátkicsapódáshoz vezet, mivel a kisebb CO_2 tartalmú víz kevesebb karbonátot tud oldatban tartani. Ennek köszönhető a budai barlangok változatos és igen látványos karbonátos ásványkiválásainak jelentős része (l. később).

A MOLNÁR (1869) által észlelt CO_2 és H_2S kigázosodás egyes rózsadombi és Gellért-hegyi termálforrások vizéből (pl. Iszaptó-forrás, a Császárszár- és a Királyfürdő kén-hidrogén-szagú vize és kéntartalmú kiválásai) hatással lehet a barlangképződésre is. A H_2S oxidációja során ugyanis kénsav képződik, és a karbonátos kőzetekkel reakcióba lépve CO_2 szabadul fel, ami az oldó hatást még tovább fokozza (FORD & WILLIAMS 2007, PALMER 2007). KLIMCHOUK (2007) néhány magyarországi barlang esetében — kizárólagosan (Bátori-barlang, Sátorköpusztai-barlang), vagy a szénsavas oldódással vegyesen (József-hegyi-barlang: CO_2 és H_2S) — lehetségesnek tartja a kénsavas barlangképződés folyamatát is. SZABÓ V. et al. (2009) szerint a kén az evaporitok (gipsz, anhidrit) beoldódásából ered. Ugyanakkor a szulfát a Tardi Agyag Formációban lévő pirit oxidálódásából is származhat (pl. ERŐSS 2010; ERŐSS et al. 2011a; POROS 2011; POROS et al. 2010, 2012). POROS et al. (2012) szénhidrogén-tartalmú fluidzárvány-vizsgálat eredményei, repedéskitöltő ásványvizsgálatai és a recens analógiák

alapján feltételezi, hogy a budai barlangok képződésében a fent említett szerves anyagok szénhidrogénné éréséhez kötötten, a medence eredetű fluidumokkal érkező agresszív gázok: a CO_2 , CH_4 (CO_2 -vé oxidálódva) és a H_2S vizes közegben történő oxidációja és ezáltal a kénsavas oldás is szerepet játszhatott.

A Budai-termálkarszt barlangjainak képződésében (megcsapolódási területenként különböző mértékben) a keveredési korrózió mellett szerepet játszhat a mikrobák és a redox folyamatok által befolyásolt kénsavas barlangképződés, és zárt rendszerben a folyamatosan hűlő termálvíz fent említett karbonátoldó hatása is (vö. GOLDSCHIEDER et al. 2010, ERŐSS 2010, MÁDLNÉ SZŐNYI et al. 2013). E hipogén karsztosodási folyamatokat részletesen pl. PALMER (2007) és FORD & WILLIAMS (2007) összefoglaló munkái is tárgyalják.

ERŐSS (2010), ERŐSS et al. (2008; 2011b; 2012a, b), MÁDL-SZŐNYI & ERŐSS (2011, 2013), MÁDL-SZŐNYI & TÓTH Á. (2015, 2017), MÁDL-SZŐNYI et al. (2015), BODOR et al. (2014, 2015), DÉRI-TAKÁCS et al. (2015) és ERHARDT et al. (2017) munkáikban a Budai-termálkarszton zajló oldódási és kiválási folyamatokat, vagyis a barlangképződést és a kiválások létrejöttét is hidrogeológiai kontextusban, a különböző rendű, felszín alatti vízáramlási rendszerek megcsapolódási jelenségeiként vizsgálják és kezelik. Ezek alapján a nagyobb léptékű vízáramlások hipogén barlangképződésre gyakorolt hatásai a fent említett megcsapolódási terület sajátosságaira vezethetők vissza, amely kiemelt (fedetlen) karbonátos hegység és vastag sziliciklasztos üledékes kőzetekkel fedett karbonátos, süllyedő medence találkozásánál helyezkedik el (vö. MÁDL-SZŐNYI & TÓTH Á. [2015] általános koncepció modellje). Ezáltal a gravitációsan vezérelt áramlási pályák vizei a beszivárgási terület távolsága és a topográfia függvényében eltérő mélységből érkeznek, és eltérő hidrogeológiai tulajdonságokkal (vízkémiai összetétel, oldott gáztartalom, hőmérséklet stb.) rendelkeznek. E kiáramlási terület tehát különböző rendű áramlási pályák megcsapolódási területe, ahol az erózióbázison ezek keveredésével a karbonátos kőzetekben, (a Rózsadomb térségében) a keveredési korrózió a fő üregképző tényező. A Gödöllői-dombság és Pesti-síkság alatt is történik keveredési korrózió és ehhez kapcsolódóan a karbonátos kőzetekben üregképződés a Gödöllői-dombság felől beáramló, sziliciklasztos üledékes kőzeteken keresztül mélybe jutó, és a mélyből a karbonátos kőzetekben feláramló termálvizek áramlási pályáinak érintkezésekor. A budai oldal irányából érkező áramlási pályák lokális-intermedier rendszerének vizeiben a HCO_3^- , míg mélyebb helyzetű, regionális pályák vizeiben a SO_4^{2-} anion a domináns. A pesti oldalon a sziliciklasztos üledékes kőzetfedő jelenléte miatt a felszín alatti vizekben leginkább a Na^+ és Cl^- ion a jellemző. A regionális pályákon a Pesti-síkság irányából, a medence mélyebben elhelyezkedő, magasabb hőmérsékletű rétegei felől meleg víz érkezik (pozitív hőanomália), melynek hűlése a feljebb már szintén részletezett módon megnövekedett oldóképességet eredményez. A pesti oldalon a süllyedő, sziliciklasztos fedőjű karboná-

tos üledékes medencében szervesanyag-érés is lejátszódik, melynek következtében szénhidrogén, CH_4 -, CO_2 - és H_2S -gáz jut a mélyben a felszín alatti vízbe. A regionális áramlási pálya mentén a Duna (helyi erózióbázis) menti törésvonalak felé vándorolnak, és többnyire a felszín közelében (sekélyebb mélységben) oxidatív környezetbe jutnak, ahol az oxidáció hatására még nagyobb mértékű CO_2 -felszabadulás, így további szénsavas és kénsavas oldás játszódik le. A redukív-oxidatív zóna határán, a redox folyamatokhoz és így általában a kénsavas oldódáshoz is kötődve mikrobák is közreműködhetnek az oldódás és kiválás folyamatában, azonban pontosabb szerepük jelenleg még ismeretlen. A biofilm kialakulásának körülményeit és a fenti folyamatokban játszott szerepét a Gellért-hegy alagútjában, egy kísérlet keretein belül, BODOR et al. (2017) kutatja.

A barlangok fő üregképződése a keveredési korrózió, és emellett a mélységből feláramló meleg vizekkel érkező, vízben oldott gázok (CO_2 , H_2S), a termásvíz hűlése, a kénsavas oldódás és egyéb hipogén folyamatok hatására, freatikus körülmények között zajlott.

A barlangjáratok 3D helyzetét figyelembe véve a Rózsadomb és a Gellért-hegy esetében is vannak kitüntetett üregesedési szintek, melyeket térinformatikai elemzések is alátámasztanak (vö. VIRÁG et al. 2013a). A rózsadombi nagy barlangok és kőzetpedések porozitásának mértékére térfogat modellezés is készült (ALBERT 2010, ALBERT et al. 2015). A Pál-völgyi-barlang jelentős részére, a teljes Szemlő-hegyi-barlangra és a Molnár János-barlang 2002 előtt ismert (kb. 450 m hosszú) régi részére készült elemzések alapján a magasabb helyzetben húzódó, inaktív, jellemzően Szépvölgyi Mészköben, alárendelten Budai Márgában kialakult üregeket befogadó kőzettömeg 0,5 m-nél nagyobb oldott járatokat magába foglaló makroporozitása hasonló (Pál-völgyi-barlang: 1,46%, Szemlő-hegyi-barlang: 1,66%). Ugyanakkor a döntő részt freatikus zónában elhelyezkedő, még jelenleg is képződő Molnár János-barlang jellemzően márgában húzódó „régirészének” üregeit befogadó kőzettest makroporozitása mindössze 0,92%.

A budai barlangok ásványvilága

A barlangokban képződött ásványkiválások (például cseppkő, borsókö, kalcitlemez stb.) gyűjtőneve speleotéma (speleothems) (HILL & FORTI 1997). Adott kiválási környezetben az arra jellemző morfológiájú barlangi kiválások jönnek létre. A nemzetközileg elfogadott 38 morfológiai kiválástípus (HILL & FORTI 1997, PALMER 2007) közül a budai barlangokban 28 megtalálható. Hazai viszonyok között elsőként a Szemlő-hegyi-barlangban találták meg és írták le a borsókövet, a „barlangi karfiolt”, kalcitlemezt, „barlangi karácsonyfát” és a gipszkristályszálat; a Pál-völgyi-barlangból az apadási színlőt, a csepegő-szivárgó hideg vizekhez kötődő cseppkőtornyocskákat, és a száradási repedéseket kitöltő „septária-boxwork”-ot, valamint a kelyhek; a József-hegyi-barlangból pedig a gipsztöröket, gipszhólyagokat, medenceujjakat és a borsóköttálcákat (vö.

TAKÁCSNÉ BOLNER 2011). E barlangok egyben e kiválások hazai típuslelőhelyének is számítanak. HILL & FORTI (1997) a világ barlangjaiból összesen 255 ásványfajt említ, melyeknek száma 2011 márciusában már 319-re emelkedett (ONAC & FORTI 2011). A Budai-termálkarszt barlangjaiból, üregeiből a jelen munkában ismertetett eredményekkel együtt eddig 31 ásványfajt sikerült kimutatni.

A barlangképződéssel egy időben, illetve azt követően keletkezett barlangi kiválástípusokat és képződési környezetüket a II. táblázat mutatja be. A budai barlangok kiválásainak vizsgálatával és genetikai értelmezésével az elmúlt harminc évben sokan foglalkoztak. A főként morfológiai alapokon történő kiválástípus-vizsgálatok (pl. KRAUS 1982, 1990, 1993, 2006; NÁDOR 1991; SÁSDI 1993; TAKÁCSNÉ BOLNER 1980, 1989, 1993, 2005a, b, 2011) mellett, jellemzően a József-hegyi-barlang képződésén, LEÉL-ŐSSY SZ. (LEÉL-ŐSSY SZ. 1995, 1997a, b, 2005, 2014; LEÉL-ŐSSY & SURÁNYI 2003; LEÉL-ŐSSY et al. 2011) már műszeres anyagvizsgálatokat is végzett. NAGY S. (2008), ERŐSS (2010), POROS (2011), POROS et al. (2012), GYÓRI et al. (2011), valamint újabban VIRÁG et al. (2011, 2013a–k, 2015, 2016) és VÖRÖS et al. (2013) további budai barlangok képződésüket vizsgálta.

A hipogén keletkezésű budai barlangokban térben együtt tanulmányozhatóak az időben elkülönülő folyamatok (például miocén hidrotermás események, pleisztocén–holocén termálkarsztos fázis és hideg vizes beszivárgás) során, különböző környezetben létrejött kiválások. A vadózus zónában a beszivárgó csapadékvízhez kötődő kiválások (például a cseppkövek) a klíma- és beszivárgástörténet rekonstrukciójában játszanak szerepet (l. később). A barlangi tavak felszínén, és a vízszint alatt néhány méterrel, már freatikus környezetben létrejött termálkarsztos speleotémák vizsgálata és kormeghatározása segítségével nyomon követhető a karsztvízszint változása és a járatok vadózus zónába kerülésének ideje. Ezek értelmezéséhez a termálfürdők és források mai kiválásai is analógiát nyújtanak (VIRÁG et al. 2013b–f). A Budai-termálkarszt részét képezik a hipogén barlangok képződésével összefüggő (a felszín alól kiáramló meleg és langyos vizekből kivált) travertínok is (vö. KELE 2009; KELE et al. 2009, 2011).

Az 1995 óta megismert ásványkiválások és kiválástípusok megtalálása az azóta feltárt barlangjáratok, a több budai barlangban végzett szisztematikus mintagyűjtés, az újabb műszeres anyagvizsgálati lehetőségek és eszközök fejlődésének az együttes eredménye (l. később 2–5. ábra, II. táblázat). U–Th kormeghatározással és stabilizotóp-geokémiai vizsgálatokkal a pleisztocén–holocén paleoklíma- és környezetváltozásokról, valamint a termálvízszint változásáról (ingadozásáról) nyerhetünk újabb információkat (l. alább).

Ásványvizsgáló módszerek

A szisztematikus begyűjtött barlangi kiválások műszeres vizsgálata az alábbi módszerekkel, műszerekkel és helyszíneken történtek:

ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék: sztereomikroszkópos vizsgálatok (OLYMPUS SZX9), mikropetrográfiai vizsgálatok: polarizációs mikroszkóp (OLYMPUS BH-2); katód lüminoszóp (CL) (OLYMPUS MAAS Nuclide ELM-3R, hideg katódos); MTA-ELTE Geológiai, Geofizikai és Űrtudományi Kutatócsoport: UV fluoreszcens mikroszkóp, kék fény gerjesztés (ZEISS

Axioskop 40, Hg gőzlámpa). További petrográfiai, szöveti és kémiai, ásványos összetételbeli vizsgálatok és elemterképek készültek az ELTE TTK Ásványtani Tanszékén: röntgen pordiffrakció (XRD) (Siemens D-5000), transzmissziós elektronmikroszkópos (TEM) (JeolJen100) és differenciál termikus analízis (DTA) vizsgálat; az ELTE TTK Kőzettani és Geokémiai Tanszékén: pásztázó elektron

II. táblázat. A budai barlangok ásványkiválásai (KRAUS 1990, 1993, 2006; LEÉL-ŐSSY 1995, 1997b, 2005, 2014; TAKÁCSNÉ BOLNER 2005a, 2011 munkái és újabb eredmények alapján összeállította: VIRÁG M. in VIRÁG et al. 2013k, módosítva és kiegészítve (hivatkozások a szövegben); nevezéktan: HILL & FORTI 1997 és PALMER 2007 nyomán)

Table II. Cave minerals in the Buda Thermal Karst (based on KRAUS 1990, 1993, 2006; LEÉL-ŐSSY 1995, 1997b, 2005, 2014; TAKÁCS-BOLNER 2005a, 2011, modified after VIRÁG M. in VIRÁG et al. 2013k; (partly based on new results; see references in the text) terminology based on HILL & FORTI 1997, PALMER 2007).

Ásvány	Összetétel	Kiválástípus	Képződési környezet
--------	------------	--------------	---------------------

Barlangi kiválások (a fő üregképződéssel egyidejű vagy később keletkezett); *barlangképződésnél idősebb; (*) kovás elváltozott zóna:

KARBONÁTOK:

kalcit	CaCO ₃	pát, telér*/ ~farkasfog kalcit (szkalenoéder), izometrikus „gömbkalcit”	mélyfreatikus zóna/hidrotermás
		boxwork*	freatikus zóna
		freatikus (karfiolszerű) kalcitkéreg, ~barlangi karfiol, ~rétegzett kalcitbevonat	nyílt tükrű tó, freatikus zóna
		kalcitlemez (halmaza: barlangi kúp, barlangi „karácsonyfa”)	nyílt tükrű tó, freatikus-vadózus határa
		apadási színlőborda	nyílt tükrű tó, freatikus-vadózus határa
		medenceujj	nyílt tükrű tó, freatikus-vadózus határa
		borsókő (közönséges ~, huzat ~, üveggömb ~, porózus borsókő)	felszálló pára/beszivárgó víz (evaporáció), vadózus
		borsókőkúp ~ borsókőoszlop (logomit), borsókőfüggöny (logotit)	felszálló pára/beszivárgó víz? (evaporáció), vadózus
		tálca, perem	felszálló pára, vadózus zóna
		barlangi gyöngy	beszivárgó víz (tóba csepegő víz), vadózus zóna
		sztalaktit, sztalagmit, cseppkőoszlop	beszivárgó víz (csepegő víz), vadózus zóna
		(mikro) tetarata, „mésztafagát”	beszivárgó víz (folyó víz), vadózus zóna
		cseppkőkéreg, lefolyás, cseppkőzászló	beszivárgó víz (lefolyó víz), vadózus zóna
		heliktit	beszivárgó víz (kapillaris víz), vadózus zóna
		cseppkőszínlő (gallér), medencepát (~hideg vizes kalcit romboéder), kehely	beszivárgó víz (tó), vadózus zóna
cseppkő-tornyocska, cseppkőtölcsér	beszivárgó víz, vadózus zóna		
szeptária-boxwork (száradási repedésben kalcit)	beszivárgó víz, vadózus zóna		
hegyitej, por	beszivárgó víz (evaporáció), vadózus zóna		
aragonit	CaCO ₃	kristálybokor (kristálytű), „frostwork”	felszálló pára/beszivárgó víz (evaporáció), vadózus
hidromagnezit	Mg ₃ (CO ₃) ₂ (OH) ₂ ·4H ₂ O	hegyitej, por	felszálló pára/beszivárgó víz (evaporáció), vadózus
huntit	CaMg ₂ (CO ₃) ₂	hegyitej, por	felszálló pára/beszivárgó víz (evaporáció), vadózus
dolomit	CaMg(CO ₃) ₂	por, tű, „hegyitej” (mikrobiális?)	felszálló pára? (mikrobiális!), vadózus zóna
magnezit	MgCO ₃	borsókő, por	felszálló pára/beszivárgó víz (evaporáció), vadózus

OXIDOK és HIDROXIDOK:

kvarc, kova (*)	SiO ₂	póruskitöltés mikropát (*), üledékkitöltés	elváltozott zóna/üledékkitöltés
goethit (*)	FeO(OH)	bevonat, telér*, gumó* (oxidáció)/ sznottit (mikrobiális), „cseppkő”, üledék	nyílt tükrű tó (felett)/oxidáció/elváltozott zóna (freatikus, vadózus zóna)
hematit	Fe ₂ O ₃	bevonat (mikrobiális), telér* (oxidáció), üledék	nyílt tükrű tó (felett)/oxidáció (freatikus, vadózus zóna)
romanechit	(Ba, H ₂ O) ₂ (Mn ²⁺ , Mn ³⁺) ₂ O ₁₀	bevonat (mikrobiális), üledék	nyílt tükrű tó (felett)/oxidáció (freatikus, vadózus zóna)
hollandit	Ba (Mn ²⁺ , Mn ³⁺) ₂ O ₁₆		
todorokit?	(Na, Ca, K, Ba, Sr) _{1-x} (Mn, Mg, Al) ₆ O ₁₂ ·3-4H ₂ O		
birnessit?	(Na _{0.3} Ca _{0.1} K _{0.1})(Mn ⁴⁺ , Mn ³⁺) ₂ O ₄ ·1,5 H ₂ O		

II. táblázat. Folytatás

Table II. Cont.

Ásvány	Összetétel	Kiválástípus	Képződési környezet
Barlangi kiválások (a fő üregek képződéssel egyidejű vagy később keletkezett); *barlangképződésnél idősebb; (*) kovás elváltozott zóna:			
SZULFÁTOK:			
barit	BaSO ₄	pát, telér*/ mikropát (mikrobiális?)	mélyfreatikus zóna/hidrotermás/vadózus zóna?
gipsz	CaSO ₄ × 2H ₂ O	gipsztör, gipszcillár (durva kristályos)	freatikus/vadózus zóna?
		durvakristályos kéreg, aprókristályos bevonat	evaporáció, vadózus zóna
		gipszvirág, gipszkigyó	evaporáció, vadózus zóna
		gipsz szál (árvalányhaj), gipsztű (agyag felszínén)	evaporáció, vadózus zóna
		gipsz hólyag	evaporáció, vadózus zóna
		gipsz „cseppkő” (sztalaktit)	beszivárgó víz (evaporáció), vadózus zóna
		szelenit (áttetsző durva kristályok, agyagban), gipsz „tövis”	evaporáció, vadózus zóna
		gipszcillag (mikrobiális?)	evaporáció, vadózus zóna
cölesztin	SrSO ₄	mikropát	(gipszkéreg-szubsztrátum határán), vadózus zóna
thenardit	Na ₂ SO ₄	kristálysálak	evaporáció, vadózus zóna
pentahidrit	MgSO ₄ × 5H ₂ O	kristálysálak, „por”	evaporáció, vadózus zóna
hexahidrit	MgSO ₄ × 6H ₂ O	kristálysálak, „por”	evaporáció, vadózus zóna
epszomit	MgSO ₄ × 7H ₂ O	virág, kigyó	evaporáció, vadózus zóna
alunit (*)	KAl ₃ (SO ₄) ₃ (OH) ₆	póruskitöltés (mikropát)	elváltozott zóna
jarosit (*)	KFe ₃ (SO ₄) ₃ (OH) ₆	póruskitöltés (mikropát)	elváltozott zóna
EGYEBEK (nem szorosan a barlangképződéshez kötődő ásványok, ásványcsoportok):			
SZULFIDOK:			
pirit*	FeS ₂	telér, gumó (oxidálódik goethitté), hintett	mélyfreatikus zóna?/hidrotermás/üledékes kőzetben
markazit*	FeS ₂	gumó (oxidálódik goethitté)	mélyfreatikus zóna?/hidrotermás/üledékes kőzetben
cinnabarit	HgS	pát, telér, hintett*	hidrotermás
metacinnabarit	HgS	pát, telér, hintett*	hidrotermás
HALOGENIDEK:			
fluorit*	CaF ₂	telér	mélyfreatikus zóna?/hidrotermás
„Agyagásványok” (SZILIKÁTOK):			
kaolinit (*)	Al ₂ [Si ₄ O ₁₀ (OH) ₈]	póruskitöltés (mikropát (*), „por”), üledékkitöltés	elváltozott zóna/üledékkitöltés
halloysit	Al ₂ [Si ₄ O ₁₀ (OH) ₈](H ₂ O) ₄	póruskitöltés (mikropát)	elváltozott zóna
szepiolit	Mg ₃ Si ₆ O ₁₅ (OH) ₂ × 6 H ₂ O	pórusokban „por”	(gipszkéreg-szubsztrátum határán), vadózus zóna
illit*	(K, H ₂ O)(Al, Mg, Fe) ₃ (Si, Al) ₄ O ₁₀ [(OH) ₂ , (H ₂ O)]	üledékkitöltés, (elváltozott zónában)	üledékkitöltés/elváltozott zóna
szmektit csop.	(Na, Ca) _{0.33} (Al, Mg) ₂ (Si ₄ O ₁₀)(OH) ₂ × nH ₂ O	üledékkitöltés, (elváltozott zónában)	üledékkitöltés/elváltozott zóna
cirkon	ZrSiO ₄	üledékkitöltésben	üledékkitöltés
gránát (csoport), piroxén (csoport) – augit?		üledékkitöltésben	üledékkitöltés

mikroszkóp (SEM+EDX) (AMRAY 1830i) vizsgálat; és nyomelem összetételbeli mérések az MTA ATOMKI HEKAL jóvoltából, Debrecenben (Agilent 4100 MP-AES és Agilent 8800 ICP-MS Triple Quad). Az U–Th kor meghatározások SURÁNYI G. (Izotóp laboratórium) jóvoltából ICP-MS készüléssel (KFKI), a radiokarbon vizsgálatok MOLNÁR M. segítségével (MTA ATOMKI HEKAL, Debrecen, AMS laboratórium, Environ MICADAS típusú gyorsító tömegspektrométer), a ¹³C és ¹⁸O stabilizotóp geokémiai elemzések az MTA CsFK Földtani és Geokémiai Intézet Stabilizotóp-laboratóriumában (Finnigan delta plus XP vivőgáz tömegspektrométer) készültek.

Hidrotermás eseményekhez kötődő repedéskitöltő ásványok

A repedéseket kitöltő ásványtársulásokat (kalcit, barit, pirit, fluorit, kvarc, „limonit”, cinnabarit, metacinnabarit, aragonit stb.) az elmúlt száz évben a témával foglalkozó kutatók különböző paragenetikai sorrendekbe állították, többféle képződési fázisba sorolták, és létrejöttüket általában utóvulkáni tevékenységhez kötötték (pl. SCHRÉTER 1912; SCHARFARZIK 1921; SCHERF 1922; TAKÁCSNÉ BOLNER & KRAUS 1989; NÁDOR 1991; SÁSDI 1993; LEÉL-ŐSSY SZ. 1995, 1997a; NAGY S. 2008).

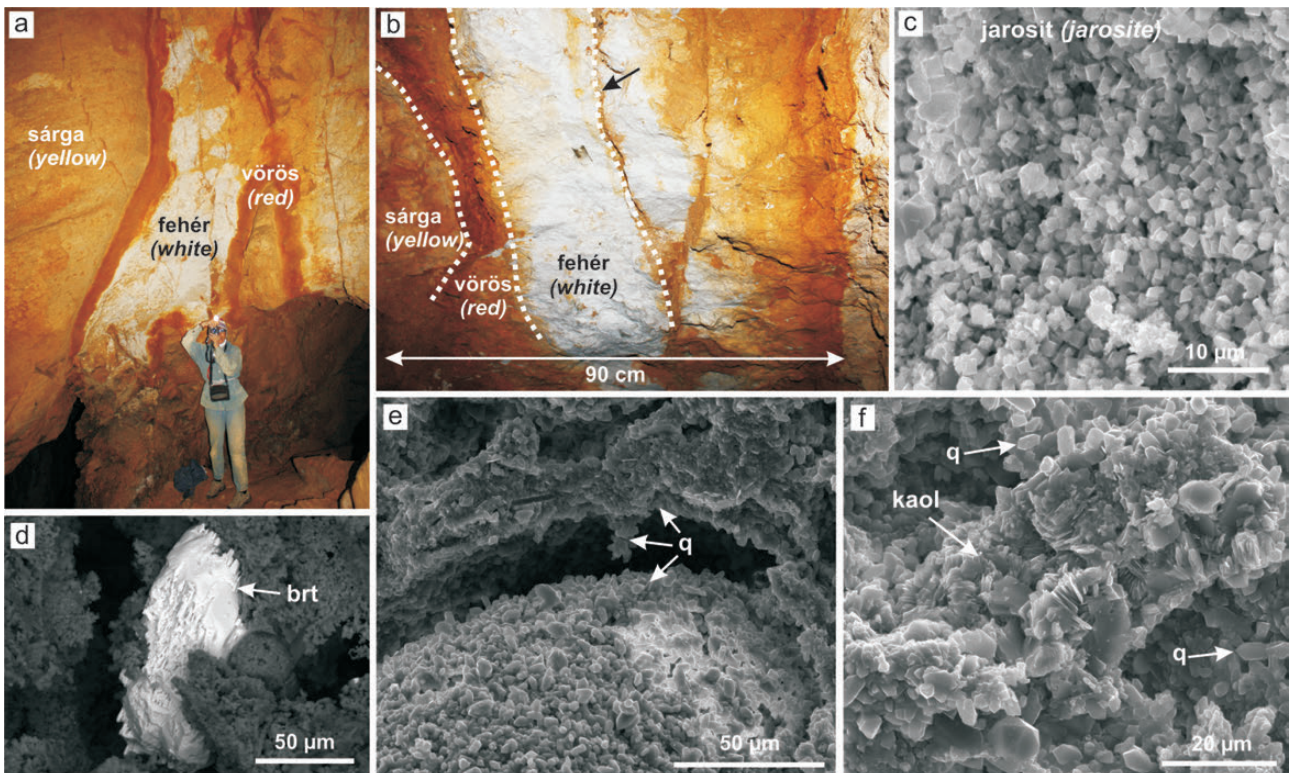
POROS (2011), GYÓRI et al. (2011) és POROS et al. (2012) munkái alapján a befogadó kőzet repedéseit, üregeit kitöltő ásványkiválások (jellemzően kalcit–barit–szulfid-, pirit-vagy markazittelések) — helyzetük, irányuk alapján — feltehetően a miocén hidrotermális események során, jellemzően 17–15 millió évvel ezelőtt, a kora-miocén végén–középső-miocén elején, 60–80 °C-os képződési hőmérsékleten, akár 800 m vastag üledéktakaróval fedetten, hosszú ideig fennálló freatikus környezetben, „lefojtott” hidrogeológiai viszonyok közt keletkeztek. Az ásványtelésekben néhány lelőhelyen fluoritot (a Kis-Sváb-hegyen és a Gellért-hegy K-i peremén) találtak. Cinnabaritot a Róka-hegyen azonosítottak, NAGY B. & PELIKÁN (1976) munkájában közölt cinnabarit és metacinnabarit-előfordulás nyomán. FÜREDI (1993) a cinnabarit barlangi megjelenését a Pál-völgyi-barlangban több barittel kapcsolatban is felveti. NÁDOR (1991), SÁSDI (1993), és NAGY S. (2008) a Ferenc-hegyi-barlangból ugyancsak barittal társuló cinnabaritot említene. Fluorit a Vérhalom–1 fúrás anyagából és a Pusztaszeri-barlangból is előkerült.

A repedéskitöltő kiválásokat (pl. kalcitot és baritot) a későbbi barlangképződési folyamatok feltárták, mivel később főként e repedések mentén zajlott a barlangjáratok kioldódása is (POROS 2011, POROS et al. 2012). A Molnár János-barlang víz alatti szakaszaiban és tárójában is (a kő-

zetben hintetten, gumó és telér formájában, ill. az üledékben) még üde pirit található, azonban a vadózus zónában, és a jelenleg már száraz, magasabb orográfiai helyzetben húzódozó barlangokban a pirit már goethitté és hematittá oxidálódott.

Kovás elváltozott zónák

A rózsadombi barlangokban (legáltalánosabban a Pál-völgyi-barlangrendszerben, ritkábban a Molnár János-, a Ferenc-hegyi-, a Szemplő-hegyi- és a József-hegyi-barlang egyes szakaszaiban) több helyen is megfigyelhető, hogy a barlang mennyezetét átszelő vékonyabb–vastagabb törések/repedések mentén a befogadó, magas agyagtartalmú eocén kőzet (főként márga) színe és állaga (porozitása) a repedéssel/töréssel párhuzamos sávban, 0,5–1,5, ritkán 2 méter vastagságban megváltozik (2. ábra, a, b). Ezek azok a kovás, porózus „elváltozott zónák”, melyeket a korábbi szerzők „kovás teléseknek” neveztek. A „kovás telések” létrejöttét SCHRÉTER (1912) után közel száz éven át az utóvilági működéshez kapcsolták, csak az átalakulás feltételezett kora és néhány apró részlet tekintetében mutatkoztak kisebb különbségek (pl. SCHAFARZIK 1921; SCHERF 1922; KADIĆ 1936; JASKÓ 1948; JAKUCS 1950; KÁRPÁT 1985; TAKÁCSNÉ BOLNER 1989, 1990; TAKÁCSNÉ BOLNER &



2. ábra. Kovás elváltozott zónák a rózsadombi barlangokban. a) Ásványtelések mentén létrejött kovás elváltozott zóna (Pál-völgyi-barlang); b) Elváltozott zóna részlete, az eredeti ásványtelér közepén nyílall jelölve (Pál-völgyi-barlang); c) Jarosit (Molnár János-barlang, SEM); d) Részben korrodálódott/erodálódott barit (brt) az elváltozott zóna közepén (Hideg-lyuk, SEM); e) Kioldódott kagylóhéj helyén képződött kvarc/kova (q) (Mátyás-hegyi-barlang, SEM); f) Elváltozott zóna fehér sávjában képződött kaolinit (kaol) és kvarc/kova (q) (Pál-völgyi-barlang, SEM)

Figure 2. Siliceous altered zones in the caves of Rózsadomb. a) Siliceous altered zones along the mineral veins (Pál-völgy Cave); b) Details of an altered zone. The original mineral vein indicated by white arrow (Pál-völgy Cave); c) Jarosite (Molnár János Cave, SEM); d) Partly corroded/eroded barite (brt) in the middle of the altered zone (Hideg-lyuk, SEM); e) Quartz/silica (q) cement replacing the dissolved carbonate shell of a Pecten (Mátyás-hegy Cave, SEM); f) Kaolinite (kaol) and Quartz/silica (q) precipitated in the white band of altered zone (Pál-völgy Cave, SEM)

KRAUS 1989; NÁDOR 1991; SÁSDI 1993; NAGY S. 2008; részletesen I. VÖRÖS 2013; VÖRÖS et al. 2013).

GYŐRI et al. (2011) a Mátyás-hegy DK-i kőfejtőben található „kovás” elváltozást megvizsgálva — SÁSDI (1993) véleményéhez hasonlóan — azt feltételezi, hogy a fent említett elméletekkel ellentétben nem kovásodás történt, hanem a márga CaCO_3 -tartalma oldódott ki. Ő cementfázisként kovát — egyetlen, belső kovacementtel kitöltött ősmaradvány kivételével — nem talált. Úgy gondolja, hogy a kőzet visszamaradt, oldhatatlan fázisai: a detritális kvarc- és az agyagásványok alkotják a könnyű és nagy porozitású kőzetet. Az elváltozott márga másodlagos pórusaiban fenn-nőtt alunítokristályokat mutatott ki, melyek képződéséhez szükséges kéntartalmú oldat forrásaként alternatívaként, a pirit-oxidáció hatására kialakult savas környezetet, vagy a törések mentén feláramló H_2S -tartalmú fluidumokat jelölte meg. Szerinte a kénsavas oldás eredményének tekinthető elváltozott zónák képződése a miocén kalcit- és barittelérek képződése után, az azok mentén áramló felszín alatti víz hatására történt, de megelőzte a fő barlangképződési fázis eseményeit, így ezt a jelenséget feltételesen a pliocén idejére teszi.

Az alunit azonosítása fontos eredmény, mert POLYAK & PROVENCIO (2001), POLYAK et al. (2006) és PALMER (2007) leírásaiból tudjuk, hogy olyan barlangokban, ahol agyagtartalmú kőzetek (márgák) kénsavas oldatokkal kerültek kölcsönhatásba, reakciótermékként alunitot, kaolinitet (halloysit) és kovakiválást lehet megfigyelni. Ez alapján a rózsadombi barlangok elváltozott zónáiban megfigyelt ásványok közül nemcsak a márgás eocén kőzetek és a kéntartalmú fluidumok reakciótermékeként, az illitből és a detritális földpátszemcsékből származó K felhasználásával létrejött alunit megjelenését, hanem a pórusokban történő kovadásulást is lehet a kénsavas oldatokkal való kölcsönhatással magyarázni. Oxidatív környezetben, a márga mésztartalma és az oldat kéntartalma következtében a pórusokban gipsz is megjelenhet.

A Pál-völgyi-barlangrendszerben, a Ferenc-hegyi-barlangban és a Molnár János-barlang Kessler-termében végzett vizsgálatok újabb eredményekkel járulnak hozzá a kovás elváltozott zónák képződésének megértéséhez (VÖRÖS 2013, VÖRÖS et al. 2013). Az újabb modell szerint a Budai Márgában a korábbi repedéskitöltő hidrotermás, pirittartalmú (FeS_2) ásványtelérek mentén, feltehetően a pirit vizes közegben lejátszódó oxidációja hatására felszabaduló kénsavas oldatok „oldó” hatásának következménye lehet a kovás, porózus elváltozott zónák kialakulása. A Budai-termálkarszton a miocén pirites ásványtelérek mellett a nagyobb méretű piritgumók, pirites fészkek, ill. egyes esetekben a Budai Márga, a Tardi Agyag és a Kiscelli Agyag diszperz pirittartalmának oxidációja járulhat hozzá lokálisan a kőzetek kénsavas oldódásához. A márgában helyenként dúsuló diszperz pirit oxidációjának köszönhető a kőzet 1–2 cm átmérőjű, kerekded oldásos bemélyedéseinek a kialakulása (pl. az Alibi-barlangok esetében). A nagyobb tömegű pirit-fészkek átalakulása pedig ökolny méretű goethitcsomók kialakulását eredményezte (pl. a József-hegyi- és a Mátyás-hegyi-barlangban).

A lokálisan erősen savas környezetben a márga karbonáttartalma kioldódott, és a helyen keletkező pórusokban, üregekben az agyagásványok kénsav hatására történő átalakulásából származó kvarc (kova) és kaolinit vált ki (2. ábra, e, f). A márga agyagásványai és a kénsavas fluidum kölcsönhatásának eredményeként a fentiek mellett kis mennyiségben alunit (GYŐRI et al. 2011) és jarosit is kimutatható (2. ábra, c). A pirittartalmú érkitöltésből származó Fe^{2+} -ból az oxidáció során Fe^{3+} keletkezett, és az oxidált állapotú vas-ionok oldalirányba vándoroltak, majd a savas oldat miatt megnövekedő pH-jú közegben a karbonátos mellékkőzettel kölcsönhatásba lépve a vas amorf ferrihidrit formájában kivált, és idővel goethitté alakult. Az oldódási-kiválási jelenség eredménye a korábbi telért követő sáv mentén kialakult jellegzetes fehér-vörös-(sárga) elszíneződésű, gyakorlatilag karbonátmentes, ősmaradványhéjak „kovásodott” maradványait tartalmazó (2. ábra, e), könnyen morzsolható, porózus elváltozott zóna (pl. Mátyás-hegyi-barlang, Névtelen-folyosó). A korábbi pirit-kalcit-barittelérek mentén a kalcit kioldódása, a barit részleges degradációja (2. ábra, d) és a pirit oxidációja, ill. agyagásványosodás tapasztalható. A folyamat a hosszan elnyúló barlangképződés idején (a pleisztocénben) történhetett, amikor a barlangjárat már a karsztvízszint közelében lehetett. Tehát a barlangot kioldó fluidumok elősegítették és erősítették a pirit oxidálódását, és ezáltal az elváltozott zónák kiszélesedését is. A freatikus zóna hátárán a kőzet mikroporozitását kitöltő víz, a vadózus zónában pedig a kapilláris víz oldottoxigén-tartalma tudta biztosítani a piritoxidáció feltételeit. Természetesen nem zárható ki, hogy a korábban már említett, törések mentén feláramló, termálvízben megtalálható H_2S -tartalmú fluidumok is szerepet játszottak az elváltozás létrejöttében (VÖRÖS et al. 2013).

A hipogén barlangképződéshez (termálkarsztos fázis) kötődő ásványok

Mélyebb helyzetben lévő freatikus, viszonylag állandó kémiai, hőmérsékleti és nyomásviszonyokkal jellemezhető környezetben, adott ionra nézve helyenként túltelített oldatból keletkezhetnek a jellemzően nagyméretű (több cm), sajátalakú üreg- (és repedés-) kitöltő durvapátos kalcit- és baritkristályok (vö. HILL & FORTI 1997, PALMER 2007; l. következő fejezet).

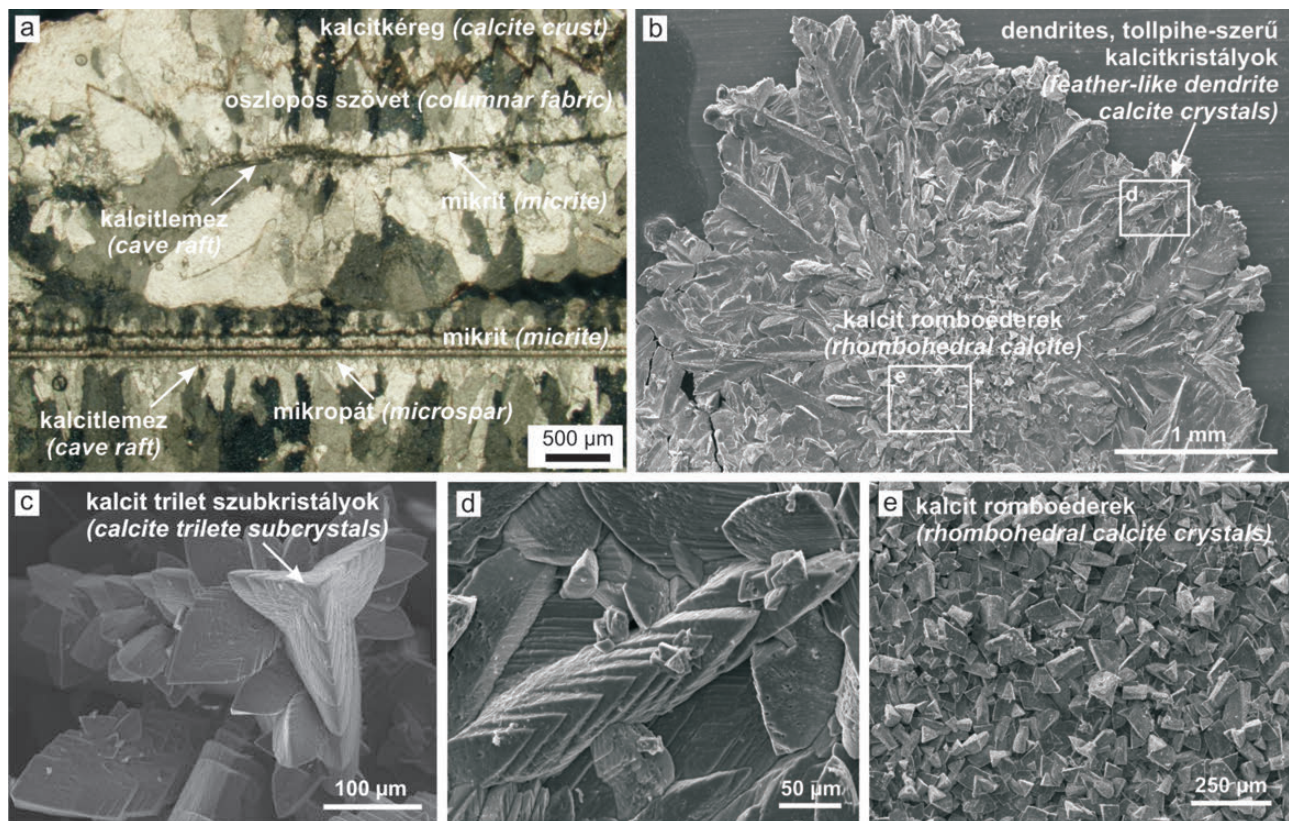
A terület kiemelkedésével és a karsztvízszint egyidejű csökkenésével a járatok a freatikus zónából fokozatosan a vadózus zónába kerültek. Egyes barlangjáratokban (elsősorban a magasra felnyúló hasadékokban) a meleg víz hosszú ideig (akár több tízezer, vagy akár százezer évig) is tartózkodhatott (SZANYI 2007; SZANYI et al. 2009, 2012). Előfordulhatott, hogy a járat alsó részében még a keveredési korrózió folyamatával jellemezhető freatikus, a felső részében már — kondenzvíz korróziót is feltételezve — vadózus viszonyok uralkodtak. Jelenlegi példa erre a földtani helyzetre a Molnár János-barlang Kessler-terme. A járatokat oldó, eredetileg agresszív víz idővel, a mellékkőzet oldódása következtében, telítetté vált. A karbonátkiválás ak-

kor indulhatott meg, amikor a vízszint felett már levegős részek is voltak, azaz már megvolt a lehetőség a vízben oldott CO₂ eltávozására („kigázosodás”) és a párolgásra (a vadózus zónában, a járatok főtéjén kondenzvíz korrózióra és gömbfülkék képződésére, vö. MÜLLER 1974; SZUNYOGH 1982, 1984, 1989; KRAUS 1993; AUDRA et al. 2007). A karbonátos kőzetek oldódása és a kigázosodás eredményeként a víz fokozatosan túltelítetté vált. A Szemlő-hegyi-barlangban végzett speleotéma-térképezés eredményei alapján a kiválás több mint 500 ezer évvel ezelőtt indulhatott meg, amikor a barlangot meghatározó ÉK–DNy-i csapásirányú járatok aljában feltehetően néhány (1,5–9 méter) mély, gáttal elválasztott langyos, karbonátra túltelített vizű, egymástól elkülönülő tavak húzódtak (VIRÁG et al. 2015, 2016). A jellemzően karbonátásványokból álló termálkarsztos kiválások a képződési környezetnek megfelelően változatos morfológiájúak. Ehhez igazodik osztályozásuk és ez kínál lehetőséget a környezeti rekonstrukcióra. FORD (1995) megfigyelései szerint a fenti körülmények között a barlangi kiválások képződése általában a vízszint alatt 2 méterrel a legintenzívebb, és a vízszint alatt ~10 méterrel már jellemzően nem következik be.

A barlangot részben kitöltő meleg vizű tóban, a vízszint

alatt (annak feltehetően a felső néhány méterén) a túltelítetté váló vízből lassú, hosszan elhúzódó folyamat során, freatikus körülmények közt vált ki a járatok — főként gömbfülkék — falait egyenletes vastagságban borító, összefüggő kalcitkéreg, vagy karfiolszerű kalcitkéreg (cave clouds, mammillary crust). Keresztmetszetben jól látszik, hogy az akár 3–10 cm vastag kalcitkéregtömöten egymás mellé rendeződő, durvakristályos, megnyúlt, oszlopos kristályok alkotják (pl. Szemlő-hegyi-barlang, József-hegyi-barlang).

A járatot kitöltő, nyugodt víztükrű tó felszínén, a vízszintben válik ki a kalcitlemez („barlangi tutaj”, cave raft; 3. ábra, a; BLACK 1953), amelynek képződése például a Gellért-hegy forrásaiban vagy a Molnár János-barlang Szt. Lukács-kristályágában ma is megfigyelhető. A CO₂-kigázosodás eredményeként a meleg víz túltelítetté válik. A párolgó vízfelszínen kezdetben vékony mészhártya válik ki, amelyet a felületi feszültség tart fent. A lebegő vékony lemez a tó felszínére cseppenő víz által keltett hullámzás hatására eltörik, és lesüllyed a tó fenekére. A túltelített, víz alatti környezetben a kalcitkéreghez hasonló módon a kalcitlemezek tovább növekednek, vastagodnak (3. ábra, b–e). Jellemzően a lemezek oldalsó peremén dendrites, „tollpihe-szerű” kristályok, kalcit trilet szubkristályok (vö. JONES 2005,



3. ábra. Kalcitlemezek. a) Víz alatt tovább vastagodott kalcitlemez mikroszkópi képe (Szemlő-hegyi-barlang, XN; nevezéktan: FRISIA & BORSATO 2010); b) Kalcitlemez belső alap romboéderei és dendrites, tollpiheszerű kalcitkristály tovább növekedései a szegélyen (Gellért I. Ősforrás, SEM; nevezéktan: JONES 2005, JONES & RENAUT 2010); c) Kalcit dendrites kristályok trilet szubkristályai (Gellért táro, SEM); d) Kalcit trilet szubkristályok (3. ábra, b) (Gellért I. Ősforrás, SEM); e) Kalcitlemez kezdeti, belső alap romboéderei (3. ábra, b) (Gellért I. Ősforrás, SEM)

Figure 3. Cave rafts. a) Cave rafts and its phreatic overgrowth of calcite crust under polarization microscope (Szemlő-hegy Cave, XN; terminology based on FRISIA & BORSATO 2010); b) Cave raft and its details. Rhombohedral calcite crystals on central base of cave raft. Feather-like dendrite calcite crystals overgrowth on the edge of the central part of cave raft (Gellért I. Spring, SEM; terminology based on JONES 2005, JONES & RENAUT 2010); c) Calcite trilete subcrystals of dendritic fabric (Gellért tunnel, SEM); d) Details of calcite trilete subcrystals on Figure 3, b (Gellért I. Spring, SEM); e) Details of rhombohedral calcite crystals on central part of Figure 3, b (Gellért I. Spring, SEM)

JONES & RENAUT 2010) figyelhető meg (3. ábra, c, d). Amíg az Ősforrásban képződő kalcitlemezek fent említett formái csak mikroszkóppal látszódnak, a Királylaki-barlang pátos kristályai szabad szemmel is jól megfigyelhetők. Az Ősforrás kalcitlemezei vékonyak, egymáshoz kevésbé cementálódtak, ami azt jelzi, hogy ott a lesüllyedést követően az idő és a körülmények nem voltak megfelelők a jelentősebb megvastagodáshoz (VIRÁG et al. 2013d). A mészhártyák lesüllyedése gyakran megismétlődött. Az Ősforrás mellett többek között a Török-forrás-barlangjában és a Molnár János-barlang Szt. Lukács-kristályágában is intenzív, recens kalcitlemez-képződés figyelhető meg. Kalcitlemez jóval lassabb ütemben, hideg vízzel tavakban is kiválthat; pl. Pál-völgyi-, Béke- és Baradla-barlang. A jelenleg már kiemelt helyzetben lévő, inaktív budai barlangokban több tízezer év is rendelkezésre állt ehhez a folyamathoz. Ebből adódóan például a Szemlő-hegyi- és a József-hegyi-barlang, vagy a Királylaki-barlang járataiban sok helyen láthatunk ilyen megvastagodott és egymáshoz cementálódott lemezeket, amelyek középső részén megfigyelhető az eredeti vékony lemez és a körülötte megvastagodott szegély is, amellyel ezek a kiválások a 2–3 cm vastagságot is elérhetik (3. ábra, a). A lemezek vastagsága eredetileg max. 0,5–1 mm lehetett. Az egyedi kalcitlemezekből álló felhalmozódások vastagsága meghaladhatja a 0,5–1 métert is (pl. a Pál-völgyi-barlangban). A kalcitlemezek tömeges jelenléte arra utal, hogy keletkezésük idején nagy szabad felülettel rendelkező, összefüggő karsztvíz töltötte ki a járatokat, és hosszú időn keresztül zavartalanul folyhatott a CaCO₃ kiválása. Ez a jelenség feltehetően összefügg a tó mélységével és a víz telítettségével, valamint a rendelkezésre álló idővel. A Szemlő-hegyi-barlang egykori tavainak feltételezett szegélyén és a kalcitlemez-halmok legfelső szakaszán már csak mm vékony, cementáció nélküli kalcitlemezek láthatóak (VIRÁG et al. 2015, 2016). A Citadella-kristálybarlangban és a Ferenc-hegyi-barlangban csak alárendelt mennyiségben található vékony kalcitlemezek. A Pál-völgyi-barlangban sok helyen megfigyelhető, hogy a kalcitlemez-lerakódások nem az aljzaton, hanem a járatok falához cementálódva őrződtek meg, kijelölve így az egykori aljzat helyét. E színlőszerű, párkányokat és álmennyezeteket alkotó horizontok akár tágas folyosókon keresztül is követhetők a barlangon belül. Helyenként ezek alsó részén jellegzetes poligonális bordázat (szeptária-boxwork) figyelhető meg. A vízszint lecsökkenésekor kiszáradt agyagos üledék repedéseiben válhatott ki az újabb vízelöntés során a kalcit, amely így megőrizte az egykori agyagos aljzat száradási repedéseinek nyomait. (Legkívül gyakran gipszkristálykák borítják a felszínét pl. a József-hegyi-barlangban: ADAMKÓ & LEÉL-ŐSSY 1984.) Az újabb jelentős vízszint-csökkenés idején a kalcitlemezek alól áthalmozódott az agyag, így az egykori üledékfelszín morfológiája megőrződött (KISS & TAKÁCSNÉ BOLNER 1987). A jelenség hasonló a Gellért-hegyi-aragonitbarlangban észlelt „V” alakú száradási repedésekkel kapcsolatos kiválásokhoz.

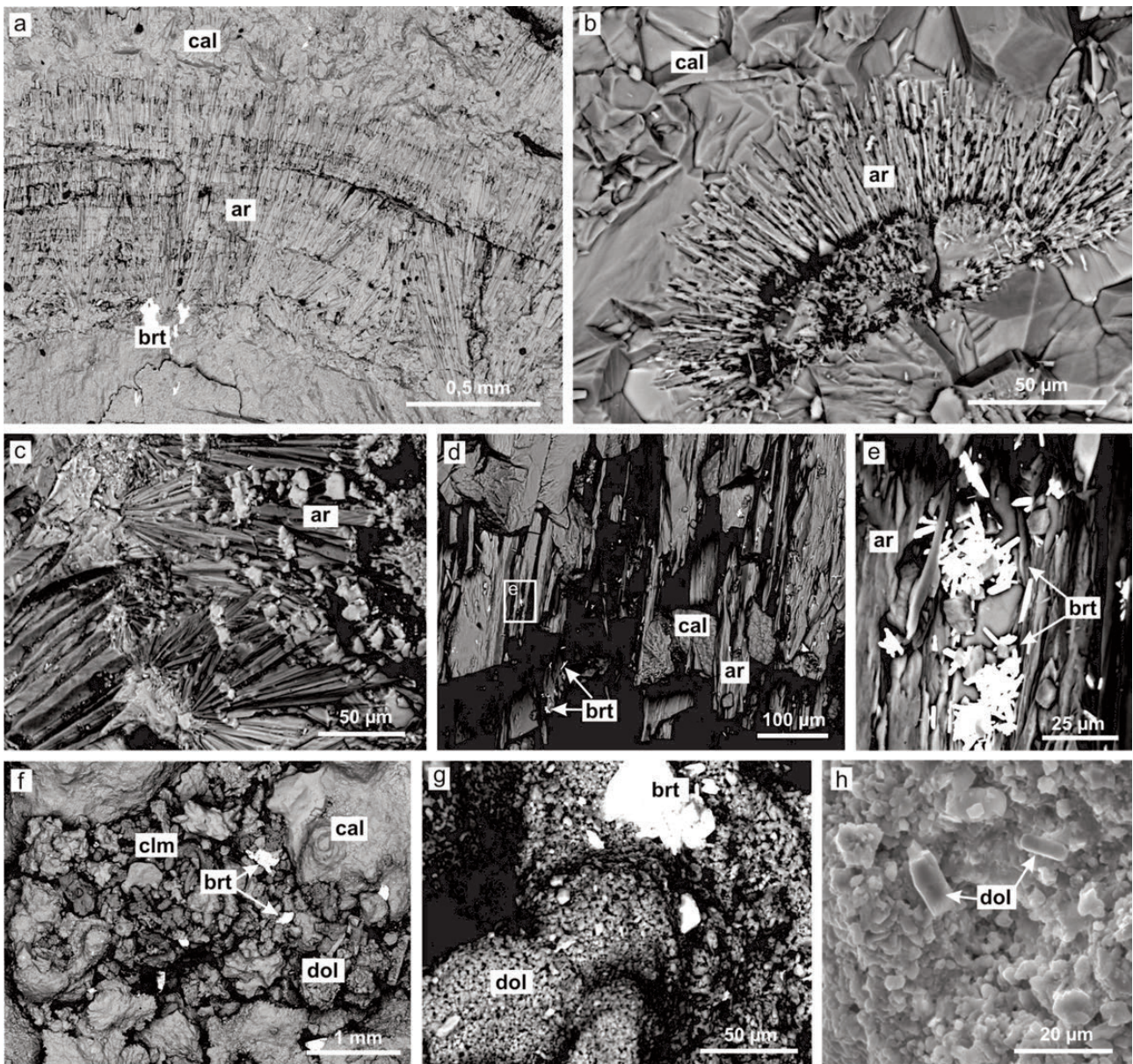
A tó felszínét érő állandó csepegés, vagy egy-egy buborékfeláramlási hely környezetében a kalcitlemezek hosszú

időn keresztül ugyanazon helyen süllyedhetnek le, így egy ponton halmozódnak fel és cementálódnak össze, oszlopszerű képződményt, kalcitlemez-kúpokat („barlangi karácsonyfákat”; cave cone) hozva létre (pl. Pál-völgyi-, Szemlő-hegyi-, József-hegyi- és Citadella-kristálybarlang).

A vízszintjelző kalcitkiválások közé tartoznak a fokozatosan süllyedő vízszint mentén fejlődő, egymás alatt szabályos távolságra húzódnó, horizontálisan elnyúló kiválások sorozatából álló ún. apadási színlőbordák (folia; pl. Pál-völgyi-barlangrendszer, Királylaki-barlang, Gellért-hegy Török-forrás-barlangja, Tamara-barlang). Ezek a tó egykori peremvonalának helyzetét örökítik meg.

A főként kalcit (és kisebb részt aragonit) anyagú közönséges borsókó (sárga vagy fehér színű, koncentrikus szerkezetű gömböcskék halmaza; cave coralloid, popcorn) már a vadózus zónában, a meleg vízzel tó szintje felett, evaporáció és CO₂-kigázosodás eredményeként (vagy a felszínről beszivárgó, és a barlangi huzat hatására bepárlódó vízből) keletkezett. HILL & FORTI (1997), KOLESAR & RIGGS (2004) és mások szerint ez a kiválástípus többféle módon is létrejöhet: (1) a párolgó tó felszínéről a vele érintkező, mállott kőzetfelületen kapillárisan felkúszó, túltelített vízfilm elpárolgásával; (2) a magasból lecseppenő víz szétporladásával („spricc” borsókó); (3) a kiálló falfelületeken a lecsapódó vízpárát (aeroszolt) vagy a falfelületen szivárgó vízfilm „szárító” huzat hatására („huzatborsókó”). Borsókó kiválhat a következő folyamat során is: (4) a meleg vízzel párolgásával a magasabban húzódnó hideg falfelületre kondenzvízként lecsapódó vízpára a légtér CO₂-ját felvéve (esetleg a beszivárgó vízzel elegyedve, a keveredési korrózió jelenségének köszönhetően oldóképessé válik). Az üreg falfelületén lecsorgó, kezdetben még agresszív, telítetlen vízfilm azonban lejjebb, a tóhoz közeledve egyre melegebb kőzetfelületen, fokozatosan túltelítetté válik, és a vadózus zóna alsóbb járatszakaszain, a CO₂-kigázosodás és párolgás következtében, borsókóként válik ki belőle a CaCO₃ (pl. AUDRA et al. 2007). A rózsadombi barlangok borsókóveinek létrejöttéért főként az (1) és (4) folyamatok lehetnek felelősek (l. még MÜLLER (1974) és KRAUS (1993) modelljeit). Pontos genetikájuk ma sem teljesen tisztázott. A közönséges borsókó gyakori a Szemlő-hegyi-, Ferenc-hegyi-, József-hegyi- és Királylaki-barlangban. A képződmény hegyén vagy bázisán gyakran aragonit kristálytűcsomói (frostwork) figyelhető meg (l. még később), amelyek a kiválás növekedése során az egyes sávok közt is belső laminákat alkothatnak (4. ábra, a–c). A kezdeti aragonittűk közti pórusokban és a tűk felszínén kalcit és táblás baritkristályok növekedhetnek (4. ábra, d, e). Az ún. porózus borsókó („kalcitszivacs”) apró borsókóformái között nagy porozitással rendelkezik, és az apró üregekben változatos ásványtársulás figyelhető meg (pl. huntit, dolomit — l. később, — barit, agyagásványok; (4. ábra, f–h); VIRÁG et al. (2015, 2016).

A meleg vízhez kötődő légteres részekben, ha a környezet kedvez a párolgásnak, további ásványfajok és kiválástípusok keletkeznek. Kalcit (főleg borsókó) és aragonit-tűkristályok együttes megjelenésével jellemezhetőek a lefelé



4. ábra. Borsókó. a) Borsókó belső sávjai: kalcit- (cal) és aragonit- (ar) tűk, közte apró barit (brt) (Szemplő-hegyi-barlang, SEM); b) Borsókó bázisa (kezdeti aragonittűk: ar), és rajta tovább növekedő kalcit- (cal) kristályok (Szemplő-hegyi-barlang, SEM); c) Aragonittűk (ar) részlete (Szemplő-hegyi-barlang, SEM); d) Aragonit- (ar) tűk között képződő kalcit- (cal) és táblás barit- (brt) kristályok (Szemplő-hegyi-barlang, SEM); e) Aragonit (ar) tűkön növekedő táblás barit (brt) részlete (Szemplő-hegyi-barlang, SEM); f) Porózus borsókó pórusaiban képződött barit (brt), dolomit (dol) és agyagásványok (clm) (Szemplő-hegyi-barlang, SEM); g) A pórusokban képződött dolomit (dol) és barit (brt) részlete (Szemplő-hegyi-barlang, SEM); h) Feltehetően mikrobiális közreműködéssel képződött? dolomit- (dol) kristályok (Szemplő-hegyi-barlang, SEM)

Figure 4. Cave coralloid. a) Calcite (cal) crystals, aragonite (ar) needles with small sized barite (brt) forming the internal bands of cave coralloid (Szemplő-hegy Cave, SEM); b) Base of cave coralloid made of aragonite (ar) needles overgrown by calcite (cal) crystal on the needles (Szemplő-hegy Cave, SEM); c) Details of aragonite (ar) needles (Szemplő-hegy Cave, SEM); d) Calcite (cal) and tabular barite (brt) crystals among the aragonite (ar) needles (Szemplő-hegy Cave, SEM); e) Details of tabular barite (brt) growth on the aragonite (ar) needles (Szemplő-hegy Cave, SEM); f) Barite (brt), dolomite (dol) and clay minerals (clm) in the pores of porous cave coralloid (Szemplő-hegy Cave, SEM); g) Details of dolomite (dol) and barite (brt) crystals growth in the pores (Szemplő-hegy Cave, SEM); h) Possibly microbially mediated dolomite (dol) crystals (Szemplő-hegy Cave, SEM)

talszerűen elvégződő tálcsák, borsókófüggönyök (logotit) és borsókóoszlopok (logomit) (Szemplő-hegyi-barlang, József-hegyi-barlang); vö. KRAUS (2006). Tágasabb járatba torkolló szűk repedéseken feláramló meleg, nagy CO₂-tartalmú levegő kiáramlásának környezetében hasonló (szintén párolgás–kigázosodás által kiváltott) folyamatok során jön létre a repedések szájánál képződő borsókóperem (pl. Szemplő-hegyi-barlang). A légtér barlangszakaszokban

termásvíz párolgásához, CO₂-kigázosodáshoz, a mélyebbről feláramló meleg levegő szárító hatásához („evaporációhoz”) köthetően képződő kiválások létrejöttének meteorológiai körülményeit a Szemplő-hegyi- és a Molnár János-barlangban jelenleg WEIDINGER et al. (2017) vizsgálja. Az aragonit tűkristályok és kristálypamacsok, „bokorszerű” (frostwork) képződmények szintén „evaporációs” eredetűek (pl. József-hegyi-barlang, Szemplő-hegyi-barlang, Király-

laki-barlang, Citadella-kristálybarlang). Aragonit hideg vízből is kiválhat, ha a vízben jelentős a kalcit kristályosodását gátló Mg-ionok koncentrációja ($> 12 \text{ mol\% MgCO}_3$), de a szulfátaktivitás is kalcitkiválást gátló, az aragonit kiválását elősegítő tényező lehet (GONZALEZ & LOHMANN 1988). A Mg-ionok jelenlétével és az intenzív párolgással hozzák összefüggésbe a nagy víztartalmú, kenhető hegyitej (montmilch), kiszáradva por formájában megjelenő, ill. apró kristálytűk, borsókó formájában is megfigyelhető magas Mg-tartalmú karbonátásványok: hidromagnezit (pl. Királylaki-barlang, József-hegyi-barlang, Ferenc-hegyi-barlang), magnezit (Erdőhát úti-barlang), huntit, és dolomit (utóbbiak pl. Molnár János-barlang, Szemlő-hegyi-barlang, Citadella-kristálybarlang, József-hegyi-barlang) kekekezését (HILL & FORTI 1997). A dolomitásvány előfordulását először BOGNÁR (1986) azonosította a József-hegyi-barlangban. A dolomitásványok (a képződéshez szükséges körülményeket ismerve) itt feltehetően mikrobák közreműködése által segített módon (vö. JONES 2010) jöhettek létre (4. ábra, g, h). Ugyanakkor egyes szerzők az aragonit, huntit vagy hidromagnezit dolomitá alakulását is feltételezik (pl. HILL 1987, POLYAK 1992).

A karbonátos kiválások képződéséért alapvetően a CO_2 -kigázosodás és/vagy az evaporáció (párolgás) és a víz túltelődése felelős.

A legújabb vizsgálatok megállapították (ERŐSS 2010; BORSODI et al. 2012; ANDA et al. 2014, 2015, 2017; MAKK et al. 2016; BODOR et al. 2017), hogy elsősorban a Gellért-hegy térségében, jelenleg az üregek oldódásában és az ásványkiválásban a kénsavas barlangképződést mikrobiális tevékenység is segítheti. Fenti szerzők olyan szulfátredukáló, szulfidoxidáló, illetve $\text{Fe}^{2+} \rightarrow \text{Fe}^{3+}$ oxidációval kolloidális ferrihidrit — $\text{Fe}(\text{OH})_3$ kiválását előidéző mikrobaközösségeket azonosítottak, amelyeket korábban már például ENGEL (2007) mint a kénsavas barlangokra jellemző életközösségeket írt le.

A redox viszonyoknak a vízfelszín közelében, ill. fölötté, a vadózus zónában észlelhető megváltozása a barlang falán vagy a korábbi kiválások felületén jellegzetes, vas-mangán-oxidos (-hidroxidos) kiválást, feketés, vörösesbarnás bevonatot eredményez (5. ábra, h). Ezek létrejötte valószínűleg (részben) mikrobák közreműködésével történik (vö. PALMER 2007). Jelenleg a Molnár János-barlang freatikus (keveredési?) zónájában, ill. a tavak szintje fölötti kb. 80 cm-es sávban figyelhető meg barnásfekete bevonat (5. ábra, c). Helyenként az aláhajló felületekről nyálkás állagú, függőceppkőre emlékeztető, feltehetően szintén mikrobiális eredetű, barnásfekete alakzatok nyúlnak alá (sznottitok; 5. ábra, j). A bevonatokhoz gyakran gipszkristályok társulnak. A vas-oxid (-hidroxid) ferrihidrit, goethit és hematit formájában, a mangán-oxid (-hidroxid) pedig romanechit, hollandit (NAGY S. 2008), todorokit vagy birnessit ásványként jelenik meg, azonban — főleg az utóbbiak — azonosítása, amorf képződmények lévén, meglehetősen bizonytalan. Fekete mangán-oxid (hidroxid) gyakran figyelhető meg a vadózus zónabeli barlangok karbonátos kiválásainak bázisán (pl. borsókó: József-hegyi-barlang, Szemlő-hegyi-barlang, Királylaki-barlang), a Ferenc-hegyi-bar-

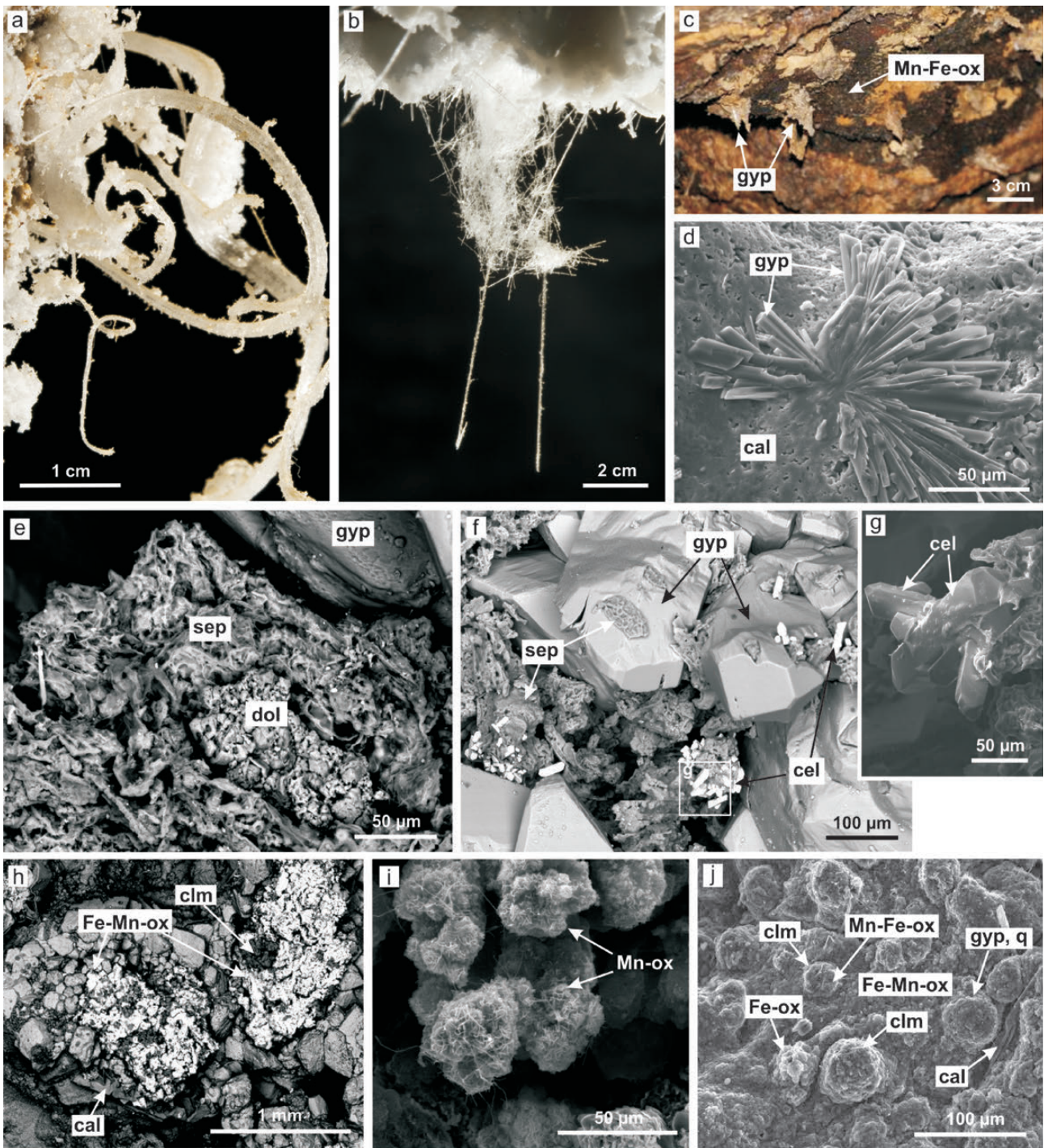
langban, vagy „porszerű” formában a Királylaki-barlangban (5. ábra, i). Az aljzati üledéket pl. a Szemlő-hegyi-barlangban a vas-mangán-oxidos kiválás vörösre és feketére színezi.

A mikrobák közreműködéséhez kötöten, pl. a Gellért-hegy üregeiben recensen (biofilm) képződő ferrihidritet azonosítottak (pl. Török-forrás-barlangja), melynek fosszilis (goethit, ill. helyenként hematit) „üledék” megfelelőjét is megtalálták a Gellért-hegyi-aragonitbarlangban (ERŐSS 2010, PÁSZTOR 2016).

A termálkarsztos fázishoz és/vagy felszínről beszivárgó vízhez kötődő ásványok

A hófehér vagy áttetsző gipsz képződhet a termálvíz hatására is: a vízzel feláramló H_2S kénsavvá oxidálódik, és ez lép reakcióba — jellemzően a víztükör fölötti, légtéres szakaszban a nedves felületű karbonátos alapközzel, vagy a barlangi kiválásokkal. Általános jelenség a mészkőben és márgában hintve vagy gumó formájában, illetve a barlangnál idősebb ásványtelérekben található pirit (vagy markazit) oxidációja során keletkező kénsavas víz karbonátokkal való reakciója és az ezt követő evaporáció eredményeként a gipszkiválás. A beszivárgó víz oxidálhatja a fedőkőzetben található piritet, és a keletkező szulfátot a barlangüregbe juttatja, amely jellemzően gipszkiválást eredményez. A József-hegyi-barlangból kerültek leírásra a legnagyobb tömegben és legváltozatosabb formában megjelenő gipszképződmények. A légtéres járatokba szivárgó víz párolgása miatt kiváló szulfátásvány megjelenhet gipszceppkő, a falakat nagy felületen beborító (a rózsadombi barlangokban leginkább elterjedt) gipszkéreg, a faltól növekedés közben eltávolodó gipszhólyag, a falból kiálló (1–2 cm hosszú, 1–3 mm széles) vagy aljzaton heverő, akár 20 cm hosszúságú, 3 mm széles gipsztűk formájában. A gipszvirág és a gipszkígyó általában 5–15 cm hosszúságú (5. ábra, a). A gipszkígyók alig pár mm átmérőjűek, a kristálytani C-tengelyük körül csavarodó, megnyúlt, kunkorodó hófehér képződmények. A gipszvirágok rostos száalai az 1 cm-es vastagságot is meghaladhatják, és gyakran egy pontból kiindulva 360° -ban terülnek szét. Az ún. árvalányhaj hajlékony gipszszáalai hajszálvékonyak (5. ábra, b), hosszúságuk akár az 1 métert is megközelítheti. Sokszor vattaszerű, kusza csomókban halmozódnak fel az aljzaton, máskor az oldal-falról nőnek ki, vagy a mennyezetről lógnak le. Elképzelhető, hogy a termálvizes időszakban, még freatikus körülmények közt képződtek a barlang látványos, több centiméter hosszú, durvakristályos, vastag gipsztőrei, gipszcsillárjai (pl. LEÉL-ŐSSY SZ. 1995; 1997a, b; 2014).

Az utóbbi időben felfedezett Citadella-kristálybarlangban is gazdag formakincsű gipszkiválások jellemzőek (gipszkéreg, -hólyag, -kígyó, -virág, -szál; LEÉL-ŐSSY SZ. et al. 2007). A Molnár János-barlang Kessler-termében a vízszint fölötti 40–90 cm közti szakaszon durvakristályos gipsz-„tövisek” (5. ábra, c), az agyagban áttetsző durva gipszkristályok (szelenitek), gipszcsillagok, a magasabb zónában pedig helyenként 1,5–5,5 m-rel a vízszint fölött nagyobb



5. ábra. Gipsz és vas-mangán-oxid (-hidroxid) kiválások. a) Gipsz-„kigyók” (Citadella-kristálybarlang); b) Gipszszálak, -tűk (Citadella-kristálybarlang); c) Gipsz-„tővisék” (gyp) és mangános-vas-oxidos (Mn-Fe-ox) bevonat az agyagos, oldott márga oldalfalon (Molnár János-barlang); d) Gipszcsillagok (gyp) a kalcit- (cal) kiváláson (apadási színlobordán) (Török-forrás-barlangja, SEM); e) Gipszkéreg (gyp) és kalcitkiválások kontakt zónájában: dolomit (dol) és sepiolit (sep) (Szemplő-hegyi-barlang, SEM); f) Gipszkéreg (gyp) kontakt zónájának pórusaiban cölesztin (cel) és sepiolit (sep) (Szemplő-hegyi-barlang, SEM); g) Cölesztin (cel) (5. ábra f) (Szemplő-hegyi-barlang, SEM); h) Kalciton (cal) vas-mangán-oxidos (Fe-Mn-ox) kiválás és agyagásványok (clm), a kalcitkristályok felületének visszaoldódásával (Királylakai-barlang, SEM); i) Mangán-oxidos (Mn-ox) kiválás, bevonat (Molnár János-barlang, Szt Lukács-ág, SEM); j) Sznottit felületének ásványkiválásai: Mn-Fe-oxidos (Mn-Fe-ox) bevonat, agyagásványok (clm), gipsz (gyp), kvarc (q) és visszaoldott kalcitkristály (cal) (Molnár János-barlang, SEM)

Figure 5. Gypsum and Fe-Mn-oxide (hydroxide) speleothems. a) Gypsum „snake” (Citadella Crystal Cave); b) Fibrous gypsum and cave cottons (Citadella Crystal Cave); c) Gypsum „thorns” (gyp) and Mn-Fe-oxide coated speleothems on the clayey originally marl cave wall (Molnár János Cave); d) Gypsum „stars” (gyp) on the folia calcite speleothems (Török Spring Cave, SEM); e) Dolomite (dol) and sepiolite (sep) at the altered contact zone between the gypsum crust (gyp) and its calcite substratum (Szemplő-hegy Cave, SEM); f) Celestite (cel) and sepiolite (sep) in the pores of altered contact zone between the gypsum crust (gyp) and its calcite substratum (Szemplő-hegy Cave, SEM); g) Celestite (cel) (Details of Figure 5, f) (Szemplő-hegy Cave, SEM); h) Fe-Mn-oxide coated speleothems and clay minerals (clm) on the dissolved surface of calcite (cal) crystals (Királylakai Cave, SEM); i) Manganese-oxide (Mn-ox) coated speleothems (Molnár János Cave, St Lukács passage, SEM); j) Mn-Fe-oxide coated speleothems, clay minerals (clm), gypsum (gyp), quartz (q) and dissolved calcite (cal) crystals as cave minerals on surface of snottite (Molnár János Cave, SEM)

méretű gipsz-„tövisék” és gipszkígyók figyelhetőek meg a világosszürke kovás–agyagos falon. A Szt. Lukács-kristályágban, az agyagos oldalfalban az előbbihez hasonlóan sok helyen áttetsző, durvakristályos gipsz található, a vas-mangán-oxidos bevonat (pl. goethit) fölött pedig összefüggő gipszkéreg jellemző. Helyenként (az oldalfalon és az agyagos főten egyaránt) változó méretű gipszkígyók és gipszvirágok, ill. apró gipszszálak, -tűk is megfigyelhetőek. A gipszkéreg és karbonátos alapközet kontakt zónájában, illetve a gipszkéreg alatti és fölötti szakaszon dolomit és huntit, ill. aragonittűk (és apró kalcit borsókövek) is keletkeztek (VIRÁG et al. 2016).

A Szemlő-hegyi-barlang egyik jelentős hasadékjában (és alárendelten a hozzá csatlakozó hasadékokban is) 0,5–3 cm vastag, egyes részekben összefüggő gipszkéreg jellemző, amely a korábbi karbonátos képződményeket egyenletesen borítja. A gipszkéreg és karbonátok kontakt zónájában cölesztin, szepiolit, dolomit és további agyagásványok találhatóak (VIRÁG et al. 2015, 2016; 5. ábra, e–g).

A Pál-völgyi-barlangrendszer egyes szakaszain — alárendelten — szintén előfordulnak gipszkiválások: vékony gipszkéreg, apró gipszvirágok és -kígyók, gipszcsillagok, valamint az agyagos aljzaton apró gipsztűk.

A Gellért-hegy üregeiben a gipszkéreg, -szálak és gipszvirágok, -kígyók mellett vékony szálak és apró kristálytűk formájában pentahidrit (KARDOS 2011) és hexahidrit, a Gellért-hegyi-aragonitbarlangban továbbá epszomitvirág, -kígyó (PÁSZTOR 2016) is található. A Török-forrás-barlangjában a vadózus zónában falakat borító jelentős gipszkéreg mellett a vízszintben található apadási színlobordák felszínén apró gipszcsillagok (5. ábra, d) képződnek.

A Szemlő-hegyi-barlang és a Molnár János-barlang betonfalú tárójában thenardit kristálysálak képződnek.

A gipsz (és egyéb szulfátásványok) létrejöttéért feltehetően — részben? — mikrobák által segített folyamatok is szerepet játszhatnak (vö. HILL 1987).

Az agyagásványok jellemzően a barlangüreg oldódásához kapcsolódóan, vagy egy későbbi esetleges felszínre nyílás során is felhalmozódhattak üledékként a járatokban. Létrejöhetnek szénsavas és kénsavas fluidumok hatására is. A Szemlő-hegyi-barlangból jellemzően gipsz kísérványaként került elő — feltehetően — szepiolit (VIRÁG et al. 2015, 2016), bizonytalanként meghatározott halloysit pedig a Citadella-kristálybarlang üledékéből származik (LEÉL-ŐSSY Cs. et al. 2007). Mind az aktív Molnár János-barlangból, mind a vadózus zónabeli barlangokból üledékkitöltésként nagy mennyiségű kaolinit, illit, szmektit-csoportba sorolható rétegszilikát és kvarc (oxid) azonosítható (VIRÁG et al. 2016). A József-hegyi-barlang üledékéből továbbá cirkont, gránátot és piroxént sikerült kimutatni (LEÉL-ŐSSY SZ. 1995, 1997a, 2014).

Felszínről beszivárgó vízhez kötődő ásványok

A felszínről beszivárgó csapadékvízhez kötődnek a vadózus zónába került járatok kalcitkiválásai. Ide tartoznak a közismert cseppkőképződmények is. Színük sokféle lehet,

amit általában a szilárd zárványként beépülő, vagy a felületet színező (például Fe-, Mn-oxidos) vegyületek határoznak meg. A rózsadombi barlangokban a termálvizes eredetű képződményekhez képest — többnyire alárendelten — számos cseppkőtípus ismert (l. alább). A Pál-völgyi-barlangrendszer a legcseppkőesebb rózsadombi nagybarlang: a cseppkődobok kivételével a hazánkban ismert összes típus megtalálható itt (vö. TAKÁCSNÉ BOLNER 2005a,b).

A repedéseken keresztül beszivárgó vízből, a mennyezeten megjelenő vízcseppből képződik a függőcseppkő (sztalaktit). A víz lecseppenve az aljzaton a állócseppkővet (sztalagmit) hoz létre. Ezek összeépülése esetén jön létre a cseppkőoszlop. A rózsadombi barlangokban a leggyakoribb cseppkőforma a kőzeten szivárgó-lefolyó vízből képződő cseppkőlefolys (flowstone), és az agyagos aljzaton cementáló cseppkőbekéregzés. Az áthajló felületeken végigcsordogáló vízből szépen sávzott cseppkőzászlók jönnek létre. Valószínűleg nagyon lassú vízutánpótlódás esetén, az oldalfalon bepárlódó vízfilmről apró, néhány mm-es, szabályos gömböt formáló üveggömb borsókő válhat ki (vö. LEÉL-ŐSSY SZ. 1997a). Az erős barlangi légáramlás hatására bekövetkező bepárlódás hatására az irányított elhelyezkedésű „huzatborsókő” is gyakori. A kapilláris méretű közetporusokból kifelé szivárgó vízcseppkőből keletkező kiválások a görbecseppkővek (heliktitek). A laza, agyagos aljzatra hulló vízcseppkehez kötődnek a sekély, mozgatott vízü medencékben, az odajutott törmelékzemcsék köré koncentrikusan kiváló barlangi gyöngyök, a nyugodt vízü medencék peremeit gallérléte szegélyező cseppkőszínlők, és a lehulló vízcsepp vájta mélyedéseket bélelő cseppkőcsészék. A nyugodt vízü medencék belsejében a saját alakú pátos kalcitkristályok válnak ki („medencepát”). A Pál-völgyi-barlangban, egyes helyeken vázkristályszerű, pár cm-es, üreges „kelyhek” is megfigyelhetőek. Az intenzíven csepegő víz eróziója az agyagos aljzaton „badland”-ekhez hasonló üledéktornyokat hoz létre, amelyek felületét később kalcit vonhatja be. A „mésztufagátak” (tetaráták) a járatok alján a vízfolyás irányára merőlegesen képződtek. Kis méretben a cseppkőlefolysok felszínét a lefolyó vízből kiváló mikrotetaráták tagolhatják, amelyek belsejében apró „medencepátok” fejlődnek. Kisebb méretben és változatosságban, a József-hegyi- és a Szemlő-hegyi-barlangban is számos, fehér, sárga, vörös és barna cseppkőtípus megtalálható.

A rózsadombi barlangok kora

A barlangok lepusztulási folyamat (oldódás) során létrejövő képződmények, így keletkezésük korából nincsenek dokumentumok, korukra csak a későbbi ásványkiválásaik vizsgálata alapján következtethetünk, azaz korukat csak felülről tudjuk lehatárolni (KORDOS 1976).

Maguknak a barlangjáratoknak a kioldódási idejét a képződményeik alább ismertett kormeghatározásai alapján csak becsülni tudjuk. LEÉL-ŐSSY SZ. (1997a, 2014) becsülése alapján a rózsadombi barlangok minimum 500–700

ezer évvel ezelőtt már a maihoz hasonló méretű járatrendszert alkothattak.

A termálvizes képződmények kora

A budai barlangok ásványain FORD & TAKÁCSNÉ BOLNER (1991) végzett először spektrometriás U–Th korhatározásokat. A begyűjtött példányok azonban (egy, a Ferenc-hegyi-barlangból származó borsókövet kivéve) idősebbek voltak a módszer akkor 350 ezer éves határánál, így konkrét koradattal nem szolgáltak.

1997-ben készült el LEÉL-ŐSSY Sz. kandidátusi disszertációja, ami a Bergeni Egyetemen végzett uránsoros: ^{234}U – ^{230}Th izotóparányt vizsgáló korhatározásain alapult, és aminek a vizsgált alanyai a József-hegyi-barlang ásványkiválásai voltak (LEÉL-ŐSSY Sz. 1997a, 2014; LEÉL-ŐSSY & SURÁNYI 2003; RUSZKICZAY-RÜDIGER et al. 2005; LEÉL-ŐSSY Sz. et al. 2011).

A József-hegyi-barlangból LEÉL-ŐSSY Sz. (1997a) által vizsgált, kis oldott üregekben elhelyezkedő idősebb kalcit-szkalenoéderek kora (l. az előző fejezetet) fiatalabb, mint 1,2 millió év. A Molnár János-barlangból SURÁNYI (2005) által vizsgált fenn-nőtt, durvapátos kalcitkristályok maximális kora 1,5 millió év, vagyis azok is már a pleisztocén idején keletkeztek, és nem a miocén hidrotermás esemény részeként jöttek létre. A kalciton fenn-nőtt táblás baritok még ennél is fiatalabbak lehetnek.

A barlang fejlődéstörténetére levont következtetéseket a koradatok mellett a korábbi morfológiai megfigyelések tették lehetővé, amik az ásványok előző fejezetben bemutatott csoportosítását alapozták meg. A paleovízszint változásaira értelemeszerűen az egykori barlangi tavat alkotó karsztvíz felszínén kivált kalcitlemezek elemzéséből lehetett következtetni. Ezekből derült ki, hogy kb. 400 000 éve a karsztvízszint a fő járatszint közelében (kb. 160 m tszf-en) helyezkedett el. A víz szintje folyamatosan lejjebb helyeződött, és mintegy 65 000 éve süllyedt a barlang 115 m tszf-en húzóódó legalsó pontja alá. A 35 koradat bizonyította azt a korábbi feltételezést is, hogy a közönséges borsókö nem víz alatti, hanem légtéres képződmény: az egyes helyszíneken a kora átlag 100 000 évvel fiatalabb volt, mint az ugyanonnan származó kalcitlemezé. Sikertelen kimutatni egy, a riss-würm interglaciálisshoz köthető vízszintemelkedést is: ekkor a fő járatszinten már korábban kiszáradt agyagos barlangi üledéket (a Kinizsi-pályaudvaron és a Fagylaltos-folyosóban) újra elöntötte a megemelkedő karsztvíz, és a belőle kivált néhány mm vastag kalcitkéreg pszeudomorfózáként megőrizte a korábban összeropadozott agyagfelszín formáját. A vizsgálatokból sikerült megállapítani a karsztvízszint csökkenésének és a hegy emelkedésének eredőjét: ez évenként 0,2 mm-nek adódott. Azóta ezt RUSZKICZAY-RÜDIGER kitett-ségi vizsgálatai is megerősítették, ill. kismértékben módosították (részletesen l. később).

A Budai-hegység kiemelkedésére, ill. a termálvízszint csökkenés idejének meghatározásához további korvizsgálatokat végzett SZANYI Gy. is főleg Pál-völgyi-barlangi kalcitlemezekon (SZANYI 2007; SZANYI et al. 2009, 2012). Szintén

az ^{234}U – ^{230}Th izotóparányt elemezte. 24 mérést végzett Pál-völgyi-, és további 9 mérést pedig Szemlő-hegyi- és Ferenc-hegyi-barlangi példányokon, és a Citadella-kristálybarlang egy mintáján.

A Pál-völgyi-barlangban még gyakoribbak a kalcitlemezek, mint a József-hegyi-barlangban, de a felső szintek kiválásai idősebbek a módszer max. fél millió éves határánál. SZANYI adatai kétütemű, részben kissé lassúbb, részben kissé gyorsabb mozgást mutattak ki (Pál-völgyi-barlang: 0,15 mm/év az utóbbi 351 ezer évben, Szemlő-hegyi-barlang: 0,21 mm/év az elmúlt 289 ezer évben, József-hegyi-barlang: 0,32 mm/év az utóbbi 217 ezer és 66 ezer éves intervallumban), mint LEÉL-ŐSSY Sz. korábbi mérései, amelyek még alfa-spektroszkópiás módszerrel készültek. SZANYI évtizeddel későbbi mérései pontosabbak, ő már ICP-MS készüléket használhatott. KELE et al. (2011) rózsadombi travertínokon végzett vizsgálati eredményei (0,20–0,25 mm/év) jó egyezést mutatnak a fenti barlangi kiválásokon végzett elemzésekkel (0,15–0,32 mm/év az elmúlt kb. 350 ezer év alatt).

A Gellért-hegyen a legmagasabb helyzetben lévő Citadella-kristálybarlangból (167 m tszf) gyűjtött kalcitlemezek kora 195 ezer (185–206 ezer) év (LEÉL-ŐSSY Cs. et al. 2007). A Gellért-hegyi-aragonitbarlangból (110 m tszf) ERŐSS (2010) és VIRÁG et al. (2013g) végzett kormeghatározást: a karfiolszerű kalcitkéreg kora kb. 130 ezer év (az utóbbi esetben 130,5 ezer [125–136 ezer] év), a goethites üledék repedéseiben kivált „lemezszerű” kalcit pedig 55 ezer (53,5–57 ezer) éves. KARDOS (2011) a Gellért-hegy néhány további kis barlangjából előkerült vízszintjelző barlangi kiválások (kalcitlemez, apadási színlőborda, karfiolszerű kalcitkéreg) U–Th kormeghatározását végezte el, melyek további korvizsgálatokkal lettek kiegészítve (VIRÁG et al. 2013h). Az eredmények alapján a karfiolszerű kalcitkéreg kora: 128 m tszf, 217 ezer (194–244 ezer) év és 192 ezer (178–208 ezer) év; 120 m tszf, 132 ezer (123–141 ezer) év és 97 ezer (91–103 ezer) év; az apadási színlőborda (106 m tszf) pedig 75 ezer (69–80 ezer) év. KARDOS (2011) a fentiek közül a legalacsonyabban (106 m tszf) és a legmagasabban (167 m tszf) található ismert korú kalcitkiválások U–Th adatai és tszf magassága alapján a Gellért-hegy kiemelkedési ütemét 0,49 mm/évnek határozta meg. Ez jól egyezik KELE (2009), ill. KELE et al. (2009) által a Gellért-hegyi travertínok korából számolt 0,47–0,52 mm/év kiemelkedési ütemmel.

Legújabbán VIRÁG M. végez (SURÁNYI G. segítségével) U–Th (ICP-MS) korhatározásokat a rózsadombi barlangok ásványkiválásain. Ennek alapján például a Mátyás-hegyi-barlang Mikulás-ágából származó karfiolszerű kalcitkéreg kora 500 ezer év körüli, a vastagabb kalcitlemezek 402 ezer (342–523 ezer), a papírvékony lemezek pedig 339 ezer (295–406 ezer) évesek. A termálvízből tehát az adott barlangszakaszon fél millió éve már karbonátkiválás történt, és 300–400 ezer évvel ezelőtt pedig a tó nyílt víztükörrel rendelkezett (VIRÁG et al. 2014). A Szemlő-hegyi-barlang vízszintjelző karbonátképződményein történt újabb U–Th kormeghatározások alapján feltételezhető, hogy a járatokban a nagy mennyiségű ásványkiválás kezdete — a Mátyás-

hegyi- és József-hegyi-barlanghoz hasonlóan — kb. 500 ezer évre tehető. A Molnár János-barlang Szt. Lukács-kristályága már kb. 6860 évvel ezelőtt részben a víz szintje felett húzódnak (VIRÁG et al. 2016).

A cseppkövek kora

A Pál-völgyi-barlangrendszerben a közelmúltban DEMÉNY et al. (2013) részletesen vizsgálták a VB-folyosó egyik cseppkővének stabilizotóp összetételét. Kutatásai-ból kirajzolódott, hogy az izotóp-geokémiai adatok jól tükrözik a cseppkő által dokumentált mintegy 6000 év (BP 11–5 ezer év) jelentősebb nagyfrekvenciájú éghajlatváltozásait: 8–9 ezer, ill. 4,5–5,5 ezer évvel ezelőtt a mainál szárazabb, míg kb. 7000 évvel ezelőtt egy jelentősen nedvesebb klímaperiódust tudtak azonosítani. Egyben felvetették a száraz, ill. nedves időszakokban más és más helyről érkező légtömegek hatásának lehetőségét.

A Pál-völgyi-barlang 2,5 m magas, 4–5 m széles Búboskemenca nevű cseppkőfolyására merőlegesen, 2010 júliusában 3 cm átmérőjű, 23 cm hosszú fúrás mélyült, amely a cseppkővet 15 cm vastagságban harántolta. A mag több részéből is készült U–Th (ICP-MS) és radiokarbon (AMS, MOLNÁR M.) kormeghatározás (VIRÁG et al. 2011, 2013i). Az eddigi eredmények alapján a középső-pleisztocénben, 222 ezer (209–236 ezer) évvel ezelőtt indult meg a karbonátkiválás, amely később hosszabb időre megszakadt. A következő kiválási szakasz már jóval fiatalabb, késő-pleisztocén; 53,8 ezer (49,2–58,5 ezer) évvel ezelőtt lassú cseppkőképződés indult meg, és az agyagos sávok közbe-retegződése arra utal, hogy közben többször szünetelhetett is. A pleisztocén végétől, holocén elejétől a cseppkőképződés felgyorsult: 12,3 ezer (10,4–14,3 ezer) évtől napjainkig a kiválás feltehetően közel folyamatos volt. Mindez nagy felbontású, folytonos, ¹³C, ¹⁸O, D és nyomelem-geokémiai és mikropetrográfiai vizsgálatokon alapuló holocén paleoklíma- és környezetrekonstrukciót tesz lehetővé (az adatok elemzése jelenleg még folyamatban van).

A Pál-völgyi-barlang legmagasabban fekvő részében (Negyedik Negyed), a folyosó magasabb szakaszán található az Óriás-cseppkő (3–4 m magas, sötétbarna színű cseppkőoszlop-pár és cseppkőzászlók). Egy aljzaton heverő cseppkőzászló-darabkából 1992-ben D. FORD U–Th-spektrometriás módszerrel kormeghatározást végzett. A képződés kezdetén fejlődött sztalaktit kora a módszer határánál, 350 ezer évnél idősebbnek adódott, a ránőtt cseppkőzászló legkülső részének kora pedig 290 ± 44 ezer év (TAKÁCSNÉ BOLNER 1998). A 20 évvel később újravizsgált cseppkőzászló egy másik darabjának kora is középső-pleisztocénnek bizonyult. VIRÁG M. és SURÁNYI G. (in VIRÁG et al. 2013j) U–Th ICP-MS mérései alapján a minta belső, legidősebb részének kora ~415 ezer (328 ezer –), legkülső részé pedig ~153 ezer (146 ezer–160 ezer) év. Az eredmények alapján az Óriás-cseppkő eddig az ország legidősebb datált cseppkőve. A Szemlő-hegyi-barlang sötétbarna cseppkő-és fehér, sárga borsókő rétegeinek váltakozásából álló minta elemzése során a két elkülönülő sötétbarna cseppkősáv kora középső-

pleisztocénnek bizonyult: 227 ezer (213–244 ezer) év és 182 ezer (172–193 ezer) év (VIRÁG et al. 2015, 2016). A középső-pleisztocén sötétbarna cseppkővek és a korábban említett kalcitlemezek kora (SZANYI 2007; SZANYI et al. 2009, 2012; VIRÁG et al. 2016) bizonyítja, hogy a beszivárgás és cseppkőképződés epigén karsztos folyamata már abban az időben is zajlott, amikor még az alsóbb barlangszakaszokon hipogén karsztos hatás érvényesült.

Újonnan megismert barlangszakaszok régen ismert barlangokban

Az elmúlt 20 évben lendületet kapott a fővárosi barlangkutatás, és — jelentős részben az újabb kutatási módszereknek köszönhetően — valamennyi budai-hegységi jelentősebb barlangban történtek felfedezések.

Az első nagy jelentőségű feltárás 2001 decemberében történt, amikor sikerült megtalálni az évtizedek óta keresett átjárót a Pál-völgyi- és a Mátyás-hegyi-barlang között. Erre a korábbi években a két barlangban talált újabb szakaszok (pl. Szépvölgyi-ág) megismerése adott lehetőséget. Korszerű módszereket (pl. rádióhullámos keresés) is felhasználtak. A felfedezés szakmai jelentőségét növeli, hogy korábban úgy vélték, hogy a Pál-völgy tektonikus árka miatt nem lehet összeköttetés. Úgy tűnik azonban, hogy az egymillió évnél fiatalabbra becsült barlangkeletkezés későbbi, mint a tektonikai működés. A barlangrendszer térképén jól látható, hogy több járat is keresztezi a völgy legmélyebb szakaszán haladó Szépvölgyi utat.

Alig egy év múlva következett be az áttörés a Molnár János-barlang kutatásában. KALINOVITS S. csapata negyedszázadon át kutatta a 430 méteres, majdnem teljesen víz alatti aktív hipogén barlangot, amikor GYURKA Zs.-nek 2002 végén sikerült egy melegvíz-beömlés mellett az omladékban egy úszható méretű nyílást nyitnia, miáltal megnyílt a barlang hátsó szakasza. Lényegében bontás nélkül, mára már több mint 6 km-nyi járatrendszert sikerült itt feltárni a bűvároknak. Alig pár szakaszon nyúlnak a járatok a karsztvíz szintje fölé. A legnagyobb ilyen szakasz a Kessler-terem, amelybe 2008 őszén ADAMKÓ P., LEÉL-ŐSSY SZ. és SURÁNYI G. vezetésével, előzetes geofizikai vizsgálatokat követően (SURÁNYI et al. 2010) egy 9 méteres segédterem kihajtásával sikerült a József-hegyi-táróból is bejáratot nyitni, így a vízszint fölött kb. 10 m magas és 20 m átmérőjű terem (a 22 000 m³-es terem 90%-a a víz alatt van) száraz lábbal is megközelíthető lett. A tó vize a felső kb. 10 méteren 27 °C-os. Az újonnan felfedezett járatok a Rómer Flóris utcáig elnyúlnak, beérnek a több 10 m vastag oligocén agyag alá is. A tektonikus hasadékok mentén kialakult folyosók általában több m szélesek, és magasságuk felülmúlja szélességüket. A járatok a bejáratához (a karsztvíz szintjéhez) képest megközelítik a 100 méteres mélységet is. Mivel a barlangjáratok jelentős része a freatikus zónában még aktívan oldódik, a többi rózsadombi barlanghoz képest itt még kevés az ásványkiválás. Több helyen látványos, 2–3 cm élhosszúságú, általában vékony mangán-oxidos kéreggel

borított, a barlangjáratoknál idősebb baritkristályok láthatók a víz alatt. Ezek néhol több cm-es kalcit-szkalenoódekre váltak ki. A légtér járatokban néhol több cm-es gipsztűket, gipsz-„töviseket” találhatunk a falakon. Látványosak a több méteres a gömbfülkék, pedig a járatok a Budai Márka bryozoás márga tagozatában oldódtak ki, néhol elérve a Szépvölgyi Mészkövet. Különösen érdekes a Kessler-teremben a vízszint fölötti egy-két m szélességű, mindent beborító, leheletvékony vas-mangán-oxidos (-hidroxidos) kéreg. Az említett segédjáró főtéjében egy pár cm széles, pirittartalmú kalcittelelér látható. A terem oldalfala előtt ez a telér elkezd szélesedni, majd a Kessler-terem főtéjében már egy-két m szélességű kovás elváltozott (és kissé omlékony) zónát alkot. Ez a jól látható, szerencsés földtani környezet jó lehetőséget adott ezen (régebben kovás teléreként emlegetett) képződmény genetikájának megismeréséhez (VÖRÖS 2013, VÖRÖS et al. 2013, VIRÁG & SZABÓ Z. 2013).

A Budai Márka bryozoás tagozatában a kovás elváltozott zóna mentén kialakult Szt. Lukács-kristályágat 2007-ben bontották ki ADAMKÓ P., LEÉL-ŐSSY Sz. és KOVÁCS M. vezetésével. A József-hegyi-táróban 1976-ban, az alagút kihajtásakor előkerült 1,5 méteres gipszkéreggel borított gömbfülkét nem burkolták le. Alsó részének megbontásával sikerült bejutni egy 15 méter hosszú folyosóba, aminek laza, agyagos az alja, és oldalfalán nagyon látványos gipszkiválások (gipszkéreg, durvakristályos gipsz, gipszkígyó, gipszszálak), kalcit, aragonit, huntit, dolomit anyagú képződmények és vas-mangán-oxidos (-hidroxidos) bevonatok vannak (VIRÁG & SZABÓ Z. 2013, VIRÁG et al. 2016). 10 méteres mellékágában az előbbieken túl gömbfülkék és 10 cm-t elérő gipszkristályok is láthatók. A barlangszakasz egyértelműen a Molnár János-barlang része, nem rendelkezik önálló kataszteri számmal, de nincs járható összeköttetése a Molnár János-barlanggal. A folyosó behúzódik a Kessler-terem alsó része fölé, így ha az alján lévő agyagdugót átbontanák, a terem vízszintje alá nyúló járatokat elöntené a víz. A barlangi tó időnkénti vízszintemelkedése (azaz a dunai árvizek során) a Szt. Lukács-kristályág alján kisebb „pocsolyák” alakulnak ki, melyekben a kalcitlemez jelenlegi kiválása is megfigyelhető.

A Ferenc-hegyi-barlang kutatása során a Guru csoport tagjai NAGY S. vezetésével 2000-től kezdve több mint tucatnyi helyszínen találtak új járatokat (Milleneumi-szakasz, Törekvés-ág, Kettős-delta, Elefánt stb). Legjelentősebb felfedezésük a 2003-ban megtalált Mélyszint, ahol több lépcsőben, több mint 500 métert találtak. Ezzel a barlang mélysége (aminek az addig ismert része jórészt felszín közeli járatokból állt) 40-ről 87 méterre növekedett. A Mélyszint eléri az eocén alapkonglomerátumot. Az ezredforduló előtt 4 km-es barlang hossza így mára elérte a 6700 métert, de a feltérképezetlen szakaszokkal még több is lehet.

2014-ben a régi bejárat közelében egy csatorna bekötéshez ásott árok a Törökvész úton, 3 méteres mélységben egy közel 3 m átmérőjű, kitöltetlen gömbfülkét tárt fel. Ennek az alját megbontva ADAMKÓ P. (SLÍZ Gy. segítségével) 15 méternyi új járatot tárt fel, ami a végén visszavezetett a Ferenc-hegyi-barlang eredeti, felfedező ágába.

A József-hegyi-barlangot felfedező Rózsadombi Kinizsi SE tagjai három évtizeden át kutatták a barlangot. Az ezredforduló után, az „új generáció” felnövésével megelénkült a kutatás. A legjelentősebb új szakasz LEÉL-ŐSSY Cs. felfedezése volt, amikor megtalálta a Kulcs-termet, amin keresztül a CO₂- és léghőmérséklet-mérések tanúsága szerint jó lehetőség nyílik a barlang feltételezett „másik felének” a megtalálására. Azóta ifj. ADAMKÓ P., LEÉL-ŐSSY Zs. és társaik kutatásának köszönhetően a barlang már ismert, bár még nem teljesen feltérképezett hossza 6500 m körüli.

Az alig 320 m hosszú Harcsaszájú-barlang újrakutatását a Barit csoport tagjai NYERGES A., NAGY G. D. és SZABÓ L. vezetésével 2006-ban kezdték meg. 2008-ban túljutottak a Turista-folyosón, és egy cseppkövekben gazdag, sokfelé igen agyagos, kiterjedt járatrendszert fedeztek fel, aminek a hossza 4700 m körüli.

2005-ben a Szabó József csoport tagjai NAGY A. vezetésével megkezdték a Pál-völgyi-kőfejtő mélypontján nyíló Hideg-lyuk-barlang újrakutatását. Számtalan bontással töltött hétvége után, 2009-ben jutottak be a barlang hátsó részébe. Nagyméretű, omladékos termeket találtak, jelentős cseppkőlefolysókcal, kalcitkristályokkal, érintetlen agyagfelszínekkel. Szintén kb. 4 és fél km-es barlangot találtak. Mára már a veszélyes szűkületet kikerülve, a Gábor-Áron-barlangon keresztül nyitottak egy kényelmes bejáratot a Hideg-lyuk újonnan felfedezett részeibe.

2010 márciusában sikerült kibontani az összeköttetést a Harcsaszájú-barlanggal. Ekkor a 8 km-es Harcsaszájú-Hideg-lyuk-barlangrendszer alig 30 méterre volt a közel 20 km-es Pál-völgyi-Mátyás-hegyi-barlangrendszertől. A megerősödő intenzív kutatásban legalább 100-an dolgoztak az összeköttetés megtalálásán a két rendszer között. A munkát végül az újonnan felfedezett Meta-barlangon (és a Kis-hideg-lyuk-barlangon) keresztül siker koronázta, és 2011 decembere óta a hajdan négy különálló nagybarlang (és több kisebb) ma már egy rendszert alkot, amit Pál-völgyi-barlangrendszernek neveztek el. Ez immár Magyarország leghosszabb (több mint 31 km összhosszúságú) barlangja.

Közben az eredeti Pál-völgyi-barlangban és a Mátyás-hegyi-barlangban is történtek újabb feltárások. A Pál-völgyi-barlangban a Bekey Imre Gábor Barlangkutató Csoport KISS A. és TAKÁCSNÉ BOLNER K. vezetésével, majd az utóbbi években TÓTH A. irányítása mellett 1998-ban 300 méteres új szakaszt fedezett fel a Delfin farkánál, majd egy évvel később a Lapátolhat szálkőnél 300 métert találtak. 2010-ig nem történt átütő feltárás, de a rövidebb új járatok összesített hossza ebben az évtizedben is elérte az 1 km-t. 2012-ben 200 m lett meg a Papp Ferenc-ág új szakaszában, és végül 2016-ban a Fürdős Q 700 méteres, és a Sztriptíz-terem kb. 100 méteres új része jelenti a legfrissebb sikert.

Az eredeti Mátyás-hegyi-barlangban egy rövidebb, új szakaszt találtak a felső szinten, az Ebédlő felett, ami azonban a barlang többi részéhez képest képződményekben szokatlanul gazdag (pl. borsókövek borítják az oldalfalat). Az alsó szinten, a Mozi alatt kb. 40–50 méterrel egy 260 méteres új részt tártak fel az Anubisz és az Adrenalin Egyesület barlangkutatói TÚRI Z. vezetésével. Szűk,

törmelékes hasadékok jellemzik, melyekben érezhető a légáramlás, ami biztató a további feltárások szempontjából. A Névtelen-folyosónál és a Tűzoltó-ágban is történt továbbjutás.

A Szemlő-hegyi-barlangban is zajlottak közben kutatások. KIS J., BARCZIKAI D., KRAUS S. és STIEBER J. vezetésével több kisebb új szakaszt is megismertek, amelyek közül a Gyöngyös-folyosó a legjelentősebb. Itt nemcsak érintetlen borsókövek, kalcitlemezek fordulnak elő, hanem a barlangban szokatlan szépségű álló és függő cseppkövek is kialakultak. Ebben a barlangban fokozottan vigyázni kell az új feltárásokkal, nehogy azok megváltoztassák a légáramlási viszonyokat, mert a Szemlő-hegyi-barlangban, az Óriás-folyosóban a Szt. János kórház orvosainak irányításával légzőszervi megbetegedésekben szenvedők (elsősorban gyerekek) gyógykezelése is folyik — kiváló hatásokkal. (Középtávon tervezik az Agyagos-szakasz bevonását is a barlangterápiába, de ehhez még további vizsgálatok szükségesek.) Hazánkban a Tapolcai-barlangrendszer részét képező Tapolcai Kórház-barlang mellett jelenleg csak a Szemlő-hegyi-barlang rendelkezik gyógybarlang minősítéssel. A feltárásokon túlmenően a barlangban nagyarányú járatrendezések (tágítások, törmelékek áthelyezése) is történtek.

Új kisbarlangok a Budai-hegységben

Citadella-kristálybarlang

2006-ban egy kicsiny üreg nyílt meg a Gellért-hegy Budai Vár néző oldalában, a legmagasabban fekvő utcában, egy családi ház alapozása közben. A szokatlanul nagy (15 000 m³-es) alapozó gödör aljában egy kicsiny üreg nyílt meg a Budai Mária meszes kifejlődésében. 2007 januárjában került sor a megkutatására. LEÉL-ŐSSY SZ., ADAMKÓ P. és LEÉL-ŐSSY CS. vezetésével két hét alatt sikerült feltárni a 3 teremből és egy kanyargós aknából álló, 70 m hosszú és 18 m mély barlangot. Különös értékét a benne lévő páratlanul látványos, hófehér gipszképződmények (gipszkéreg, gipszvirágok, gipsztűk, árvalányhaj) és több cm-es aragonit kristálytűkből álló pamacsok adják. Az alján kalcitlemezekből álló kis barlangi kúpok is előfordulnak. Ezek kora SURÁNYI G. uránsoros korhatározása szerint mindössze 195 000 év (LEÉL-ŐSSY CS. et al. 2007). Legelső szakaszán 18 °C a hőmérséklet, ami csálthatatlanul utal a 60 méterrel lejjebb fakadó meleg vizes forrásokkal való légtér összeköttetésre. Különleges értékei miatt mindössze néhány hónap alatt fokozottan védetté nyilvánították. Sajnos, bejárata magántulajdonú telken nyílik, megközelítése jelenleg nehézségekbe ütközik.

József-hegyi 4. sz. barlang

2009 telén víz nyomóvezetékét fektettek a Józsefhegyi úton. A meszes Budai Márgában ásott árokban, 1,5 m mélyen egy 2,5 m átmérőjű gömbfülke nyílt meg, alján nagy mennyiségű törmelékekkel.

Az omladékot eltávolítva ADAMKÓ P., LEÉL-ŐSSY SZ., LEÉL-ŐSSY CS., LEÉL-ŐSSY ZS. és ifj. ADAMKÓ P. egy lejtős folyosóba jutott, és a gödör DK-i oldalán egy másik, nagyméretű zárógömbfülke nyílt meg, ami alatt egy közel 2 m átmérőjű, teljesen kitöltött hévforrásokból indul lefelé. Az először megbontott lejtős folyosó alig 3–4 méteres mélységben keresztezi a Józsefhegyi utat, és ott kettéágazik. Látványos oldásformák között az egyik ág szinte függőlegesen vezet lefelé: ezt 12 méteres mélységig sikerült kibontani, de egy agyagos–bentonitos kitöltésben vész el a járat, barlangi huzat (légmozgás) nincs. Sajnos, a kutatógödör több mint egy éven keresztül nyitott volt, a lejtős Józsefhegyi út egyenesen ide vezette a csapadékot: a barlang szinte víznyelőként működött. A behordott nagy mennyiségű törmelék jelentős mértékben újra feltöltötte az aknát.

A másik bontási pont, a hévforrások vége is elveszett a bentonitos kitöltésben: itt is 8 m mélyre hatoltak le, teljes szelvényben kibontva a járatot, de itt sem észlelhető légmozgás.

Amíg nyitva volt a gödör (később kibetonozták, vasbeton födémmel látták el), telenként jelentős méretű jégesedés csapódott le a kiáramló meleg levegőből. Valahol tehát kellett lennie egy huzatoló végpontnak is. Meglepő módon ezt a mélybe vezető akna elágazásánál pár méterrel távolabb, a felszín alatt mindössze 5–6 méterrel húzódo végponton találták meg: STIEBER J. vizsgálómérnök mérései szerint itt telenként 18 °C-os levegő jön ki érezhető huzattal, és a József-hegyi-barlangnál egy nagyságrenddel magasabb CO₂-tartalom utal a mélybe vezető kapcsolatra. Földrajzi elhelyezkedése is mutatja, hogy ez a bontáspont lehet a kulcsa a József-hegy tetején már megismert járatrendszer, és a Molnár János-barlang közötti, feltételezett barlang megismerésének. Már több mint 80 m³ agyagot termeltek ki itt a felszínre, és a kutatások folytatódnak.

Királylaki-barlang

Az 1950-es években gáztározót akartak létesíteni a Hármashatár-hegy tömbjében. 5 m átmérővel kb. 500 m hosszú körszelvényű alagútrendszert létesítettek a Mátyáshegyi Formáció dolomitjában. Bár az alagutakat túlnyomó részt lebetonozták, rövid szakaszokat kihagytak. Egy ilyen szakaszon, egy hasadékba bemászva, azt kitisztítva fedezték fel 2011-ben SZENTHE I., BORKA P. és KOVÁCS R. a ma már 380 m hosszban és 34 méteres mélységig ismert barlangot.

A teljes egészben tűzköves dolomitban kialakult barlang szokatlanul nagyméretű járatrendszer, gazdag ásványkiválásokkal. (A kezdeti megfigyelések eredményei pl. SZABÓ Z. & LEÉL-ŐSSY SZ. [2013] munkájában olvashatók.) Adott barlangszintben előfordulnak a hipogén barlangokra jellemző, mm-es és közel cm-es kalcitlemezek, melyeket gyakran borítanak a kalcit cm-es, pátos kristályai. Az oldalfalakon helyenként apadási színlőbordák látszanak, és az oldott barlangüregben szinte mindent elborítanak a hófehér-halványbarna–világosszürke borsókövek. Az utóbbiak bázisán és az oldalfalakon gyakoriak a bevonatként vagy porszerű formában megjelenő mangán-oxid-kiválások. A „tűpárnáká”

összeálló vékony, fehér kristálytűkből álló aragonit- és hidromagnezit-halmazok is sokfelé megjelennek. Külön érdekesség, hogy a fehér kristályok sokszor a sötét tűzkő gumók felszínére váltak ki. A barlang egy-egy szakasza — ahhoz képest, hogy dolomitban képződött — meglepően gazdag cseppkövekben is. Nemcsak lefolyásokkal találkozhatunk, hanem közel egy m magas, arasznyi átmérőjű álló cseppkövekkel és több cm széles, fél méter hosszú függő cseppkövekkel is.

Az eredeti barlangüreg helyenként feljebb harapódzott, így látványos feltárást hozott létre a Mátyáshegyi Formáció Sashegyi Dolomit Tagozatának tanulmányozásához. A barlangból származó tűzköves dolomit kora a legújabbban elvégzett conodonta vizsgálatok alapján középső nóri (KARÁDI et al. 2016).

További, kisebb jelentőségű, rövidebb, új barlangok a Budai-hegységben

A tágabb értelemben vett Rózsadombon, a Duna és a Látó-hegy csúcsa között rengeteg új építkezés kezdődött az elmúlt 20 évben. A házalapozások, ill. az új beépítésekhez kapcsolódó közműépítések az előző fejezetben ismertetett 3 budai barlangon kívül további 28 kisbarlang feltáráshoz vezettek (1. ábra, 1. táblázat). Ezekből a barlangokból egyelőre nem lett komolyabb barlang, de a lehetőséget biztosítják a jövő kutatóinak a feltáráásra.

A Decimus-barlang 1996-ban került elő a Látó-hegyre vezető Verecke-lépcső mellett, egy családi ház építése során, de már belekerült a Földtani Közlemények 1995-ös számába (LEÉL-ŐSSY SZ. 1995), így erről itt most nem szólunk részletesebben.

Verecke út 115. barlangja: 1996-ban került elő egy építkezés során a 24 m hosszú és 4 m mélyre vezető barlang. KRAUS S. kutatta.

A Remete-hegyi köz 1. és 2. sz. barlangja 1998-ban került elő. Vízsintes kisbarlangok, amelyek közül a 2. sz. alig 3 méteres, de az 1. sz. 15 méter hosszú, képződménymentes, érdekes formákkal tagolt két kisebb tereméből áll. KOVÁCS R. kutatta.

Törökvész út 133/d barlangja: 1998-ban egy építkezésen találta és bontotta meg a Rózsadombi Kinizsi SE ADAMKÓ P. és LEÉL-ŐSSY SZ. vezetésével. 15 m hosszú és 10 m mély a Budai Márgában kialakult barlang. Vakon elvégződő aknája törmeléken és képződménymentes.

Törökvész út 121/b barlangja: 1999-ben került elő a jelentéktelen, a barlangméret határát jelentő 2 méterre csak meghaladó hosszúságú (és egyben mélységű) kicsiny, képződménymentes akna. KRAUS S. vizsgálta.

Szalamandra utcai-barlang: 1999-ben egy társasház alapozása közben Budai Márgában megnyílt 1 méternél is kisebb, kitöltött gömbfülkét bontottak meg ADAMKÓ P. és LEÉL-ŐSSY SZ. vezetésével. A függőlegesen induló, majd meredeken lejtőssé váló barlangot 13,5 méteres mélységig bontották ki. 15,5 m után azonban a hasadék annyira összehúzult, hogy lehetetlenné vált benne dolgozni. Az ásványkiválásokat szerény baritelőfordulás képviseli. Az új (piro-

patronos) technikával érdemes lenne tovább bontani: talán a feltételezett nagy, látó-hegyi barlangrendszer egyik kulcsa lehet ez a kisbarlang.

Pusztaszeri-barlang: 2000-ben egy építkezésen egymás mellett két, 3 métert is meghaladó átmérőjű, gömbfülke került elő a Budai Márgában, aminek oldalát borsókőkiválás díszítette. Sajnos, az építkezés annyira meggyengítette az egyik gömbfülke oldalát, hogy azt fel kellett számolni. A másik gömbfülkéből rövid járat indult ki, amelyben ADAMKÓ P. és LEÉL-ŐSSY SZ. vezetésével 10 m mélyre hatoltak le. Itt egy újabb, alig fél méteres gömbfülke alatt lehetne megkísérelni a továbbjutást. Mivel a gömbfülke éppen a lakótelep közös garázsába nyílt, azt egy vasbeton fedéllel lezárták, és az épületen kívül egy aknával lyukasztották rá a tovább vezető járatra. Így az először felfedezett gömbfülkébe most kerülővel, a barlangba az új bejáraton át lemenve, majd onnan fölfelé mászva lehet bejutni. Az alapozó gödörben, közvetlenül a gömbfülke mellett az ELTE Ásványtani Tanszékéről SZENTPÉTERY K. 2–3 mm-es, fenn-nőtt fluoritkristályokat gyűjtött.

Óbuda 1–2 sz. barlang: 2001-ben az óbudai Remete-hegy oldalában, a Haránt közben egy társasház építése során az alapozó gödör oldalában 3 barlangra utaló nyom került napvilágra a Budai Márgában. A Rózsadombi Kinizsi SE kutatói ADAMKÓ P. és LEÉL-ŐSSY SZ. vezetésével mind a hármat megbontották. Az első két bontási pont egy közös barlangba vezetett: a 21 m hosszú, közel vízszintes, majd enyhén lejtőssé váló, omladékos járatban 7 m mélyre sikerült lejutni. Kezdetleges gömbfülkék és kevés borsókő fordul elő benne. A másik bontáspontból induló járat meredekben lejtett, de szűkebb keresztmetszetű volt. Ebben a 18 m hosszú járatban 9 m mélyre sikerült lejutni. Említésre méltó természetvédelmi érték nem fordul elő a barlangban. A bejáratot egy betonlagút segítségével kivezették a közterületre.

Ferenc-barlangok: A Ferenc-hegy keleti gerincén, a fennsík felé vezető Ferenchegyi út végében, a hegy déli oldalán 2001-ben egy családi ház Budai Márgába mélyülő alapozó gödrében egymás után 7 gömbfülke nyílt meg rövid idő alatt. A Rózsadombi Kinizsi SE kutatta ezeket a kisbarlangokat. Először fordult elő, hogy egyetlen alapozó gödör ennyi barlangot talált. Az építkezés során a ház alapja körül 270°-ban egy betonfolyosót alakítottak ki. Mindegyik barlang ebből a folyosóból nyílik.

A Ferenc 1. sz. barlang 32 m hosszú és 11 m mélyre vezet le. A beton körfolyosó legvégében, egy széles, létrával ellátott aknával indul. Az eredeti, legalább 3 m átmérőjű gömbfülke, amiből a járat indult, beomlott, ezért kellett a helyszínt kibiztosítani. A létrán leereszkedve 6 m mélyen egy 5–6 m átmérőjű terembe érünk, ahol borsókővek láthatók. Innen vezet ferdén lefelé a Budai-hegység talán legszebb, legépebben megmaradt, közel 1 m átmérőjű hévforráscsőve, amit nagyméretű borsókővek is díszítenek. A járat omladékban végződik.

A Ferenc 2. sz. barlang egy széles, ferdén lefelé haladó hasadék, ami egy omladékos, borsókővekkel gazdagon díszített tereméből indul. A lejtős rész fokozatosan össze-

szűkül, és egy közel 1 m széles kovás zónába torkollik. Ebben a zónában még 2 métert ástak függőlegesen lefelé. A barlang itt vakon elvégződik.

A Ferenc 3. sz. barlang tk. egy 4–5 m körátmérőjű omladék, ahol az omladék és az oldásos falú szálkőzet határán majdnem teljesen körbe lehet menni. 10 m hosszú és mindössze 3 m mély. A legmélyebb pontján egy kis oldalterembe lehet bekúszni. Képződménymentes.

A Ferenc 4. sz. barlang, bár egy ígéretes kinézetű, határozott szilahasadékból indul, a kutatás szempontjából nem perspektivikus. 4 méteres mélységben kitágul és onnan kezdve nagy mennyiségű, puha, földes agyag tölti ki, amiben a feltárás „elvész”: a szálkő oldalfal nem található. Képződménymentes.

A Ferenc 5–6 sz. barlang a kutatás során összenyílt, és magában foglalja a 7. sz. gömbfülkét is. (Jelenleg ez viseli a Ferenc 5. sz. barlang nevet.) Ez a legmagasabb pontja a rendszernek: az alagút kialakítása előtt, a felső kijáratként működő gömbfülkében télen nagy mennyiségben vált ki jégcsap a kifelé tartó, párás barlangi levegőből. A barlang SZABÓ Z., SZÁMADÓ I., KUNISCH P., PÉTER D. és KAPOSI J. munkája nyomán ma már több mint 100 m hosszú, és közel 30 m mélyre vezet le. Az eredetileg 5. sz. barlang bejáratát a nagyfokú omlásveszély miatt kibetonozták: járatába a 6. sz. barlangba bemelve, alulról felfelé közelíthető meg. Csak a két bejárat terem volt nyitott, a barlang további szakasza teljesen kitöltött volt. A kitöltést eltávolították, és ma egy oldásos barlangjáratban lehet lemenni a végpontig. A mélypont felett 10 méterrel egy közel 10 m hosszú, lefelé összeszűkülő nyílt, borsóköves hasadék tárult fel. Az új bontási technikával érdemes lenne ennek a végpontját megkutatni. A barlang legalja „elvész” a törmeléken kitöltésben, itt légmozgás már nem tapasztalható.

A Tamara-barlangot Máriaremetén, triász időségi Dachsteini Mészköben bontották ki 2001-ben ADAMKÓ P. és LEÉL-ŐSSY SZ. vezetésével, MARÁCZI J. segítségével. Szintén egy családi ház építkezésekor került elő az azonos nevű utcában. Egyetlen más budai kisbarlang sem rendelkezik olyan gazdag ásványkiválásokkal, mint ez. Az alig 18 méteres, és 9 m mélyre levezető kis barlang roskadozik a kalcitlemez, apadási színű, borsókő és cseppkő kiválásaitól.

Alibi-barlangok: 2002-ben a Ruthén utca felső, zsákutcaszerűen elvégződő végében, egy új társasházhoz készülő, sziklába vágott garázs kialakításakor több gömbfülkét is találtak ADAMKÓ P. és LEÉL-ŐSSY SZ. vezetésével, amiket megbontva két különálló kis barlangot tártak fel a Budai Márgában. Az egyik, kb. 3 m átmérőjű gömbfülke falát kagylószerű, 1–3 cm-es bemélyedések díszítik: itt kisebb pirit-szemcsék alakultak át „limonittá”, és a közben keletkező kénsav oldott ki parányi üregeket. A gömbfülke mögött a folytatás gyorsan összeszűkül. A másik barlangot 9 méteres mélységig sikerült kibontani. Eredetileg két bejárat nyílása volt, amiből az első 5 m teljesen kitöltetlen, nyílt üreg volt. A barlangok jelenleg az elkészült, az utcáról 20 méteres alagúton keresztül megközelíthető garázsból nyílnak.

A Pál-völgy felső szakaszának folytatásában, a Szépvölgyben, a kisméretű Patrícia-barlang található legmesz-

sebb a Dunától. A barlang definíciójának határát alig meghaladó méretű üregére ADAMKÓ P. és LEÉL-ŐSSY SZ. bukkant 2003-ban egy családi ház építése közben.

A Mátyás-hegy Dunára néző oldalában, a Haránt utcában 3 kis barlangindikáció nyílt meg 2004-ben. Ezek közül az egyik kettős, szabályos kis nyílt gömbfülkéje egy lejtős barlangjáratba vezetett. ADAMKÓ P. és LEÉL-ŐSSY SZ. vezetésével kutatták meg ezt a Kiscelli-barlangot, és LEÉL-ŐSSY CS., HAVASI A. és ifj. SZÁMADÓ I. egy 5 m hosszú, 10 m mély rendszert talált a Budai Márgában, amelyik nagyon omladékos. A végponton egy ferde, omladékos hasadék eltömődött szakasza jelenti a barlang végét. A hasadék elején egy omladékos, felfelé vezető vakkürtő is nyílik.

A Szeréna út és Csejtei utca sarkánál 2005-ben 3 épület csatornázásakor megnyílt kis gömbfülkéből bontották ki ADAMKÓ P. és LEÉL-ŐSSY SZ. vezetésével a Felhévizi-barlangot. PÉTER D., HAVASI A., BALÁZS G. és MEIXNER ZS. 9 m mélyre bontott le a 11 m hosszú, szerény borsókövekkel díszített barlangban. Bejárat szakaszát kibetonozták és kilétrázták.

A Szemlő-hegyi-barlang ÉK–DNy-i csapású járataitól pár méterre ÉNy-i irányban 2007-ben egy parkoló alapozásakor a Szépvölgyi Mészköben alig 1–2 méteres mélységben 2 barlangjáratot talált ADAMKÓ P. A Rózsadombi Kinizsi SE kutatói ADAMKÓ P. és LEÉL-ŐSSY SZ. vezetésével kutatták ezeket. Az első kutatási helyszínen BARCZA M.-el 4 méteres mélységben egy agyagos, nagyeesű hasadékba jutottak. Ezt követve, egy 5 méteres függőleges szakasz után, közel 5 m vastag, masszív agyagos kitöltést eltávolítva jutottak be a Szemlő-hegyi-barlang Agyagos-szakaszának tetejére. Mivel az új barlangbejárat megváltoztatta a gyógybarlang légáramlási viszonyait, a felszínen a bejárat végleges elzárásra került: egy vasbeton lemezzel zárták le a frissen kibontott bejáratot. Így az új szakasz már csak a Szemlő-hegyi-barlang felől közelíthető meg. A másik bontási pontból kiindulva egy jelenleg önálló, 27 m hosszú és 10 m mély barlangot fedeztek fel. Bejáratának megtalálási időpontjáról nevezték el Pünkösdi-barlangnak. Egy kb. 1 m átmérőjű, mennyezeti zárógömbfülke alatt egy szűk, oldásos falú, gömbfülkékkel tagolt, meredek, helyenként függőleges hévforráscsőben haladtak lefelé, amit helyenként tágitani kellett. Sok hegyitej, kevés borsókő és kalcitkristály található a barlangban, amely egy kitöltött hasadékba érkezik. Nagy valószínűséggel a Szemlő-hegyi-barlang egy máig ismeretlen főhasadékába vezet. Érdemes lenne tovább bontani. Ezek a barlangfelfedezések egyúttal érdekes feltárásoknak számítanak, amik értékes adatokat szolgáltatnak a terület tektonikai viszonyairól. A Pusztaszeri-barlangnak az alja is Budai Márgában húzódik, de tőle 30 méterre ÉNy-i irányban, a Szemlő-hegyi-barlang folyosói felett már csak néhány méter vastag a márga. További 20 m után, ugyanebben az irányban a Pünkösdi-barlangnál már a Szépvölgyi Mészkö van a felszínen. Továbbhaladva ÉNy felé mintegy 80 méterre az ADAMKÓ P., LEÉL-ŐSSY SZ., BORKA P. és KORNIS G. által 30 éve megtalált Zsindely utcai-barlang járata 6 m után már a Mátyáshegyi Formáció tűzköves rétegeit harántolja.

2008-ban került elő közvetlenül a látó-hegyi Árpád-

kilátó alatt egy Szépvölgyi Mészköbe mélyülő alapozó gödör mértani közepén (innen a neve) az Origo-barlang. A ki-fejezetten szűk kisbarlangot először a Rózsadombi Kinizsi SE tagjai kutatták, majd az FTSK kutatói jutottak le PINTÉR G. vezetésével 16 m mélyre a 25 m hosszú, gyakorlatilag képződménymentes barlangban, aminek bejárata a felépült ház garázsából nyílik.

A Mátyás-hegyi-kőfejtő 2. sz. barlangját 2009-ben találták meg az Anubisz és az Adrenalin Egyesület barlangkutatói TÚRI Z. vezetésével. 8 m hosszú hasadékában mindössze 2,5 méter mélyre lehet lehatolni. Oldalfala oldott.

A Mátyás-hegyi-kőfejtő 3. sz. barlangját szintén 2009-ben találták meg az Anubisz és az Adrenalin Egyesület kutatói TÚRI Z. vezetésével. Ez is 8 méter hosszú, oldott falú hasadék, amelynek egy részét a bánya működése során lerobbantották. A végében, 5 méteres mélységben egy bontásra alkalmas kis kereszthasadékot ér el. A két kisbarlang eredetileg valószínűleg összefüggött egymással.

2010-ben lett meg a Kanális-barlang 23 m hosszú, 6 m mélyre vezető járata. Szintén az Anubisz és az Adrenalin Egyesület barlangkutatói bontották ki. A Zöldkő utca és a Pálvölgyi út sarkán nyíló kicsiny lyukból feltörő páraoszlopokra felfigyelve tágították ki a bejáratát. Egy kb. 6 méteres tereméből lehetett továbbjutni, a vetületben innen alig néhány méterre, azonban 20–30 méterrel lejjebb húzódó ismert barlangját, a Pál-völgyi-barlang Kiskarácsony-ágának a vége közelében. Huzatos, bontható végpontja van. Lehetséges, hogy a felszín és a mélyben húzódó Kiskarácsony-ág között is vannak további levegős járatok.

2010-ben, a Budai Várban, közvetlenül a Mátyás-templom főbejárata előtt gázvezeték-fektetés során az edesvízi mészköbe mélyülő árokban, 1,5 méteres mélységben egy téglalobozat tetejét ütötték át. A nyílásba leereszkedve LEÉL-ŐSSY Sz. egy évszázadokkal korábban már ismert üregbe jutott ADAMKÓ P.-vel és LEÉL-ŐSSY Zs.-vel. 6 méteres mélységben megtalálták az eredeti hévízfeltörés helyszínét. A 11 m hosszú barlang mélypontja 6,5 méteren van. A barlangot a középkorban nagymértékben átalakították, oldalfalát, mennyezetét levésték, de egy-két kisebb gömbfülke így is látható még benne. A barlangban egy tereplépcsőt is kialakítottak. A szikla- és téglatörmelék majdnem az egész üreget kitölti. Török kori mázas cseréptöredékeket, állatcsontokat is találtak benne. A törmelék kitermelésére, a fölötte álló templomról elnevezett Nagyboldogasszony-barlang és a Vár-barlang feltételezett összeköttetésének felderítésére nem nyílt lehetőség. A Szentháromság tér átépítése során a bejáratot kibetonozták és a járdára helyezték át.

A Budai-hegységben a mai napig utolsónak előkerült barlangot a Verecke út 69-ben ADAMKÓ P. találta. Házalapozás közben nyílt meg 2015-ben. A meglehetősen agyagos Budai Márgában kialakult, 8,5 m hosszú kisbarlang 6,5 m mélyre vezet.

Összegzés

Az elmúlt évtizedekben számos előrelépés történt a budai barlangok megismerésében, úgy a korábban rejtett járatok feltárásában, mint a barlangok képződményeinek, a kiválás körülményeinek, korának, és a barlangokat létrehozó oldatok eredetének és a kioldási folyamatoknak a tisztázásában. Az öt rózsadombi nagybarlangot és a közel 100 kisbarlangot, valamint az építkezések, műszaki beavatkozások során előkerülő barlangindikációkat számos barlangkutató csoport és egyéni kutató vizsgálja. A barlangokat létrehozó fluidumok viselkedésével, a szeleotómák vizsgálatával pedig — elsősorban az ELTE-n, az MTA CSFK Geokémiai Kutató Intézetében és az ATOMKI HEKAL laboratóriumában — több, OTKA által is támogatott projekten dolgoznak jellemzően geológus, geográfus és (geo-) fizikus szakemberek. Jelen cikkben velük közös munkánk eredményeit is felhasználtuk. Bizton állíthatjuk, hogy a közeljövőben több új, jelentős eredményre számíthatunk ezen a területen.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozunk MINDSZENTY Andreának széleskörű szakmai segítségéért és hasznos tanácsaiért, NÉMETH Tibornak az ásványtani vizsgálatokban (XRD, DTA), DÓDONY Istvánnak a transzmissziós elektronmikroszkóp elemzésekben, BENDŐ Zsoltnak a pásztázó elektronmikroszkópos, HIPS Kingának pedig az UV fluoreszcens mikroszkópos vizsgálatokban nyújtott segítségért. Az U–Th kormeghatározások Prof. Stein-Erik LAURITZEN és SURÁNYI Gergely, a radiokarbon vizsgálatok MOLNÁR Mihály, a nyomelem mérések BRAUN Mihály, a karbonát stabilizotóp mérések pedig DEMÉNY Attila és munkatársai jóvoltából valósultak meg. Köszönjük KISS Klaudia, VÖRÖS Péter és HEGEDŰS András terepi munkában és mintafeldolgozásban nyújtott segítségét.

Köszönjük a fotók felhasználási lehetőségét KOVÁCS Richárdnak (5. ábra, a, b) és BENDŐ Zsoltnak (SEM: 2. ábra, c–f, 3. ábra, b, d, e). Az aktuális barlangadatokat az Országos Barlangnyilvántartásból EGRI Csaba bocsátotta rendelkezésünkre.

A kézirat alapos bírálásáért és építő jellegű megjegyzéseikért CZUPPON Györgyöt, FODOR Lászlót és POROS Zsófiát illeti köszönet.

A vizsgálatokat az OTKA 72590 K projekt támogatta. A kutatást az Európai Unió és Magyarország támogatta az Európai Regionális Fejlesztési Alap társfinanszírozásában a GINOP-2.3.2.-15-2016-00009 azonosítószámú 'IKER' pályázatban. A munka részben az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-17-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

Irodalom — References

- ADAMKÓ P., DÉNES GY. & LEÉL-ŐSSY SZ. 1992: *Budai barlangok*. — Fővárosi Önkormányzat kiadványa, Budapest, 47 p.
- ADAMKÓ P. & LEÉL-ŐSSY SZ. 1984: Budapest új csodája: a József-hegyi-barlang. — *Karszt és Barlang* **1984/I**, 1–8.
- ALBERT G. 2010: A budapesti Pál-völgyi-barlang üreg- és porüstérfogatának modellezése. — *Földtani Közlemények* **140/3**, 263–280.
- ALBERT, G., VIRÁG, M. & ERŐSS, A. 2015: Karst porosity estimations from archive cave surveys — studies in the Buda Thermal Karst System (Hungary). — *International Journal of Speleology* **44/2**, 151–165. <http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.44.2.5>
- ALFÖLDI L. 1978: *Budapest hévizei*. — Kandidátusi dolgozat, Budapest, 156 p.
- ALFÖLDI L. 1979: Budapesti hévizek (a kandidátusi dolgozat kivonata). — *VITUKI Közlemények* **20**, 102 p.
- ALFÖLDI L. 1981: A budapesti geotermikus áramlási rendszer modellje. — *Hidrológiai Közlemények* **1981/9**, 397–403.
- ANDA, D., BÜKI, G., KRETT, G., MAKK, J., MÁRIALIGETI, K., ERŐSS, A., MÁDL-SZŐNYI, J. & BORSODI, A. 2014: Diversity and morphological structure of bacterial communities inhabiting the Diana-Hygieia Thermal Spring (Budapest, Hungary). — *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica* **61/3**, 329–346. <http://doi.org/10.1556/AMicr.61.2014.3.7>
- ANDA, D., MAKK, J., KRETT, G., JURECSKA, L., MÁRIALIGETI, K., MÁDL-SZŐNYI, J. & BORSODI, A. 2015: Thermophilic prokaryotic communities inhabiting the biofilm and well water of a thermal karst system located in Budapest (Hungary). — *Extremophiles* **19**, 787–797. <http://doi.org/10.1007/s00792-015-0754-1>
- ANDA, D., KRETT, G., MAKK, J., MÁRIALIGETI, K., MÁDL-SZŐNYI, J. & BORSODI, A. K. 2017: Comparison of bacterial and archaeal communities from different habitats of the hypogenic Molnár János Cave of the Buda Thermal Karst System (Hungary). — *Journal of Cave and Karst Studies* **79/2**, 113–121, DOI: 10.4311/2015MB0134
- AUDRA, P., HOBLEA, F., BIGOT, J.-Y. & NOBECOURT, J.-C. 2007: The role of condensation-corrosion in thermal speleogenesis: study of a hypogenic sulfidic cave in Aix-Les-Bains, France. — *Acta Carsologica* **36/2**, 185–194. <https://doi.org/10.3986/ac.v36i2.186>
- BAKALOWICZ, M. J., FORD, D. C., MILLER, T. E., PALMER, A. N. & PALMER, M. V. 1987: Thermal genesis of dissolution caves in the Black Hills, South Dakota. — *Geological Society of America Bulletin* **99**, 729–738. [https://doi.org/10.1130/0016-7606\(1987\)99%3C729:tgodci%3E2.0.co;2](https://doi.org/10.1130/0016-7606(1987)99%3C729:tgodci%3E2.0.co;2)
- BALÁZS D. 1966: A keveredési korrózió szerepe a karsztosodásban. — *Hidrológiai Közlemények* **46/4**, 179–185.
- BERHIDAI GY. 1964: Budapest barlangjai. — In: SCHAFARZIK F., VENDL A. & PAPP F. (szerk.): *Geológiai kirándulások Budapest környékén*. Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 86–100.
- BLACK, D. M. 1953: Aragonite rafts in Carlsbad Caverns, New Mexico. — *Science* **117/3030**, 84–85. <https://doi.org/10.1126/science.117.3030.84>
- BODOR P., ERŐSS A., MÁDLNÉ SZŐNYI J. & CZUPPON GY. 2014: A Duna és a felszín alatti vizek kapcsolata a rózsadombi megcsapolódási területen. — *Karsztfelődés* **19**, 63–75.
- BODOR P., ERŐSS A., MÁDLNÉ SZŐNYI J. & KOVÁCS J. 2015: A csapadék hatása a rózsadombi források utánpótlódási és megcsapolódási területén. — *Földtani Közlemények* **145/4**, 385–396.
- BODOR, P., ANDA, D., BURKUS, V., ÓVÁRI, M., HORVÁTH, Á., KUZMANN, E., HOMONNAY, Z., FUTÓ, I., MAKK, J., BORSODI, A., MINDSZENTY, A. & MÁDL-SZŐNYI, J. 2017: Evolution of bacterial biofilms and chemical precipitates in thermal springs depending on flow kinetics (Buda Thermal Karst, Hungary). — In: POSAVEC, K. & MARKOVIĆ, T. (eds): *44th Annual Congress of the International Association of Hydrogeologists (IAH), „Groundwater Heritage and Sustainability”, 25 to 29. September 2017, Dubrovnik, Croatia, Books of Abstracts*, p. 317.
- BOGNÁR L. 1986: Ásványérdekességek kristálybarlangjainkból. — *Ásványgyűjtő Figyelő* **3**, 16–18.
- BORSODI, A., KNÁB, M., KRETT, G., MAKK, J., MÁRIALIGETI, K., ERŐSS, A. & MÁDL-SZŐNYI, J. 2012: Biofilm bacterial communities inhabiting the cave walls of the Buda Thermal Karst System, Hungary. — *Geomicrobiology Journal* **29**, 611–627. <https://doi.org/10.1080/01490451.2011.602801>
- BÖGLI, A. 1963: Beitrag zur Entstehung von Karsthöhlen. — *Die Höhle*, 63–68.
- BÖGLI, A. 1965: The role of corrosion by mixed water in cave forming. — In: STEKL, O. (ed.): *Problems of the Speleological Research*, Czechoslovakia. Academy of Science, Prague, 125–131.
- BÖGLI, A. 1971: Corrosion by mixing of karst waters. — *Trans. Cave Res. Group G.B.* **13/2**, 109–114.
- CHOLNOKY J. 1925: Elnöki megnyitó. — *Földrajzi Közlemények* **53/1–3**, 141–145.
- CHOLNOKY J. 1944: Budapest, a legérdekesebb barlangok városa. — Posztumusz tanulmány. — *Karszt és Barlang* **1982/I**, 9–16.
- DEMÉNY, A., CZUPPON, GY., SIKLÓSY, Z., LEÉL-ŐSSY, SZ., LIN, K., SHEN, C.-C. & GULYÁS, K. 2013: Mid-Holocene climate conditions and moisture source variations based on stable H, C and O isotope compositions of speleothems in Hungary. — *Quaternary International* **293**, 150–156. <https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.05.035>
- DÉRI-TAKÁCS, J., ERŐSS, A. & KOVÁCS, J. 2015: The chemical characterization of the thermal waters in Budapest, Hungary by using multivariate exploratory techniques. — *Environmental Earth Sciences* **74/12**, 7475–7486. <http://doi.org/10.1007/s12665-014-3904-3>
- DUBLYANSKY, Y. V. 1991: A Budai-hegység hidrotermás paleokarsztja — a folyadékzárvány vizsgálatok első eredményei. — *Karszt és Barlang* **1991/I–II**, 19–24.
- DUBLYANSKY, Y. V. 1995: Speleogenetic history of the Hungarian hydrothermal karst. — *Environmental Geology* **25**, 24–35. <https://doi.org/10.1007/bf01061827>
- DUBLYANSKY, Y. V. 2000: Hydrothermal Speleogenesis in the Hungarian Karst. — In: KLIMCHOUK, A. B., FORD, D. C., PALMER, A. N. & DREYBRODT, W. (eds): *Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers*. National Speleological Society, Huntsville, Alabama, USA, 298–303.
- ENGEL, A. S. 2007: Observations on the biodiversity of sulfidic karst habitats. — *Journal of Cave and Karst Studies* **69/1**, 187–206.

- ERHARDT, I., ÖTVÖS, V., ERŐSS, A., CZAUNER, B., SIMON, SZ. & MÁDL-SZŐNYI, J. 2017: Hydraulic evaluation of the hypogenic karst area in Budapest (Hungary). — *Hydrogeology Journal* **25/3**, 1–21. (in press) <http://doi.org/10.1007/s10040-017-1591-3>
- ERNST L. 1965: A keveredési korrózió kérdéséhez. — *Karszt és Barlang* **1965/II**, 61–63.
- ERŐSS, A. 2010: *Characterization of fluids and evaluation of their effects on karst development at the Rózsadomb and Gellért Hill, Buda Thermal Karst, Hungary*. — PhD Dissertation, Eötvös L. University, Budapest, 171 p.
- ERŐSS, A., MÁDL-SZŐNYI, J. & CSOMA, A. É. 2008: Characteristics of discharge at Rose and Gellért Hills, Budapest, Hungary. — *Central European Geology* **51/3**, 267–281. <https://doi.org/10.1556/ceugeol.51.2008.3.8>
- ERŐSS, A., MÁDL-SZŐNYI, J. & CSOMA, A. É. 2010: *The effects of mixed hydrothermal and meteoric fluids on karst reservoir development, Buda Thermal Karst, Hungary*. EMR Final Report, SIEP Rijswijk, 120 p.
- ERŐSS, A., POROS, ZS., MÁDL-SZŐNYI, J., MINDSZENTY, A., MOLNÁR, F., RONCHI, P. & CSOMA, A. É. 2011a: Role of karstic and basinal fluids in porosity evolution in the Buda Hills, Hungary. — *AAPG International Conference and Exhibition 2011, Following Da Vinci's footsteps to future energy resources. Innovations from outcrops to assets*, Milan, Italy, Paper 1071554.
- ERŐSS, A., MÁDL-SZŐNYI, J., BORSODI, A., KNÁB, M., CSOMA, É. A. & MINDSZENTY, A. 2011b: Results of in situ dissolution experiment to understand hypogenic karstification processes, Buda Thermal Karst, Hungary. — In: BERTRAND, C., CARRY, N., MUDRY, J., PRONK, M. & ZWAHLEN, F. (eds): *Proceedings of the H2Karst, 9th Conference on Limestone Hydrogeology*, Besançon, France, 161–164.
- ERŐSS, A., MÁDL-SZŐNYI, J., SURBECK, H., HORVÁTH, Á., GOLDSCHIEDER, N. & CSOMA, A. É. 2012: Radionuclides as natural tracers for the characterization of fluids in regional discharge areas, Buda Thermal Karst, Hungary. — *Journal of Hydrology* **426–427**, 124–137. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2012.01.031>
- ERŐSS, A., MÁDL-SZŐNYI, J. & CSOMA, A. É. 2012b: Hypogenic karst development in a hydrogeological context, Buda Thermal Karst, Budapest, Hungary. — In: MALOSZEWSKI, P., WITCZAK, S. & MALINA, G. (eds): *Groundwater quality sustainability, IAH selected papers on hydrogeology* **17**, London, CRC Press — Taylor and Francis Group, 119–133. <http://doi.org/10.1201/b12715-12>
- FODOR, L., LEÉL-ÖSSY, SZ. & TARI, G. 1991: En-echelon fractures in a dextral shear zone — tectonic heritage for a hydrothermal cave (Budapest, Hungary). — *Terra Nova* **4**, 165–170. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3121.1992.tb00467.x>
- FORD, D. C. 1988: Characteristics of dissolution cave systems in carbonate rocks. — In: JAMES, N. P. & CHOQUETTE, P. W. (eds): *Paleokarst*. Springer-Verlag New York, 25–57.
- FORD, D. C. 1995: Some thoughts on hydrothermal caves. — *Cave and Karst Science* **22/3**, 107–118. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3748-8_2
- FORD, D. C. & TAKÁCSNÉ BOLNER K. 1991: Abszolút kormeghatározás és stabil izotóp vizsgálatok budai barlangi kalcitmintákon. — *Karszt és Barlang* **1991/I–II**, 11–18.
- FORD, D. C. & WILLIAMS, P. W. 1989: *Karst Geomorphology and Hydrology*. — Unwin Hyman, London, 601 p. https://doi.org/10.1007/978-94-011-7778-8_5
- FORD, D. C. & WILLIAMS, P. W. 2007: *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. — John Wiley & Sons, Chichester, 562 p. <https://doi.org/10.1002/9781118684986.ch5>
- FRISA, S. & BORSATO, A. 2010: Karst. — In: ALONSO-ZARZA, A. M. & TANNER, L. H. (eds): *Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments and Processes*. Elsevier, Amsterdam, 269–318.
- FÜREDI V. 1993: Hidromagnezit és cinnabarit (?) előfordulása a Pál-völgyi-barlangban. — In: KISS A. & TAKÁCSNÉ BOLNER K. (szerk.): *Jelentés a Bekey Imre Gábor Barlangkutató Csoport 1992. évi munkájáról*, MKBT, 88–91.
- GOLDSCHIEDER, N., MÁDL-SZŐNYI, J., ERŐSS, A. & SCHILL, E. 2010: Review: Thermal water resources in carbonate rock aquifers. — *Hydrogeology Journal* **18**, 1303–1318. <https://doi.org/10.1007/s10040-010-0611-3>
- GONZALEZ, L. A. & LOHMANN, K. C. 1988: Controls on mineralogy and composition of spelean carbonates: Carlsbad Caverns, New Mexico. — In: JAMES, N. P. & CHOQUETTE, P. W. (eds.): *Paleokarst*. Springer-Verlag New York, 81–101. https://doi.org/10.1007/978-1-4612-3748-8_4
- GYÓRI O., POROS ZS., MINDSZENTY A., MOLNÁR F., FODOR L. & SZABÓ R. 2011: Budai-hegységi paleogén karbonátos kőzetek diagenézistörténete. — *Földtani Közlemények* **141/4**, 341–361.
- HILL, C. A. 1987: Geology of Carlsbad Cavern and other caves in the Guadalupe Mountains, New Mexico and Texas. — *New Mexico Bureau of Mines and Mineral Resources Bulletin* **117**, 150 p.
- HILL, C. A. & FORTI, P. 1997: *Cave minerals of the World*. — National Speleological Society, Huntsville, Alabama, USA, 463 p.
- JAKUCS L. 1948: A hévforrásos barlangkeletkezés földtani és fizikai tényezői. — *Hidrológiai Közlemények* **28/1–4**, 53–58.
- JAKUCS L. 1950: Újabb hozzászólások a Budai-hegység hidrotermáinak eredetéhez. — *Hidrológiai Közlemények* **30**, 233–235.
- JAKUCS L. 1971: *A karsztok morfológiájának, a karsztfejlődés variációi*. — Akadémiai Kiadó, Budapest, 310 p.
- JAKUCS L. 1994: A Budai-hegység hidrotermális karsztja. — *Földrajzi Értesítő* **43/3–4**, 235–246.
- JASKÓ S. 1948: A Mátyáshegyi-barlang. — *Beszámoló vitáulésekről* **10**, 3. szakülés, 133–144.
- JONES, B. 2005: Growth patterns and implications of complex dendrites in calcite travertines from Lýsuhóll, Snéfellssnes, Iceland. — *Sedimentology* **52**, 1277–1301. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3091.2005.00742.x>
- JONES, B. 2010: The preferential association of dolomite with microbes in stalactites from Cayman Brac, British West Indies. — *Sedimentary Geology* **226**, 94–109. <https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2010.03.004>
- JONES, B. & RENAULT, R. W. 2010: Calcareous spring deposits in continental settings. — In: ALONSO-ZARZA, A. M. & TANNER, L. H. (eds): *Carbonates in Continental Settings: Facies, Environments and Processes*. Elsevier, Amsterdam, 177–224. [https://doi.org/10.1016/s0070-4571\(09\)06104-4](https://doi.org/10.1016/s0070-4571(09)06104-4)
- KADIĆ O. 1931: Budapest — barlangváros. — *Turisták Lapja* **43**, 249–250.
- KADIĆ O. 1936: Budapest a barlangok városa. — Különlenyomat a *Földtani Értesítő Új folyam* **1/4** és következő számaiból (**2/4-ig**), Magyar Barlangkutató Társaság, Budapest, 20 p.
- KARÁDI V., PELIKÁN P. & HAAS J. 2016: A Budai-hegység felső-triász medence kifejlődésű dolomitjainak conodonta biosztratiográfiája. — *Földtani Közlemények* **146/4**, 371–386.

- KARDOS A. 2011: *A Gellért-hegy barlangjai*. — Diplomamunka, ELTE-TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Budapest, 102 p.
- KÁRPÁT J. 1985: *Jelentés az Acheron Barlangkutató Csoport 1984-ben végzett munkáiról*. — Kézirat, MKBT adattár, 81–87.
- KELE S. 2009: *Édesvízi mészkövek vizsgálata a Kárpát-medencéből: paleoklimatológiai és szedimentológiai elemzések*. — Doktori disszertáció, ELTE-TTK és MTA Geokémiai Kutatóintézet, Budapest, 176 p.
- KELE, S., SCHEUER, GY., DEMÉNY, A., SHEN, C.-C. & CHIANG, H.-W. 2009: U-series dating and isotope geochemical study of the Gellért Hill (Budapest) travertine. — *Central European Geology* **52/3–4**, 199–224. <https://doi.org/10.1556/ceugeol.52.2009.3-4.1>
- KELE S., SCHEUER GY., DEMÉNY A., SHEN, C.-C. & CHIANG, H.-W. 2011: A Rózsadomb (Budapest) édesvízi mészköveinek U/Th sorozatos kormeghatározása és stabilizotóp-geokémiai vizsgálata. — *Földtani Közöny* **141/3**, 293–312.
- KEREKES J. 1944: A Buda környéki hévizes barlangokról. — *Földrajzi Zsebkönyv*, 21–33.
- KESSLER H. 1931: A Szemlőhegyi cseppkőbarlang. — *Turisták Lapja* **43**, 250–252.
- KESSLER H. 1934: A Ferenc-hegyi aragonit barlang Budapest székesfőváros határában. — *Barlangvilág* **4/2**, 20–21.
- KESSLER H. 1936: *Barlangok mélyén*. — Franklin Társulat, Budapest, 134 p.
- KISS A. & TAKÁCSNÉ BOLNER K. 1987: Újabb jelentős feltárások a Pál-völgyi-barlangban. — *Karszt és Barlang* **1987/I–II**, 3–8.
- KLIMCHOUK, A. 2007: *Hypogene Speleogenesis: Hydrogeological and Morphogenetic Perspective*. — Special Paper No.1, National Cave and Karst Research Institute, Carlsbad, NM, 106 p.
- KLIMCHOUK, A. & FORD, D. C. (eds) 2009: Hypogene Speleogenesis and Karst Hydrogeology of Artesian Basins. — *Ukrainian Institute of Speleology and Karstology, Special Paper 1*, Simferopol, 292 p.
- KLIMCHOUK, A., FORD, D. C., PALMER, A. N. & DREYBRODT, W. (eds) 2000: *Speleogenesis. Evolution of Karst Aquifers*. — National Speleological Society, Huntsville, Alabama, USA, 527 p.
- KOLEGAR, P. T. & RIGGS, A. C. 2004: Influence of depositional environment of Devils Hole calcite morphology and petrology. — In: SASOWSKY, I. D. & MYLROIE, J. (eds): *Studies of Cave Sediments. Physical and Chemical Records of Paleoclimate*. Kluwer Academic, Plenum Publishers, New York, 227–241. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9118-8_12
- KORDOS L. 1976: A szeleokronológia elméleti és gyakorlati kérdései. — *Karszt és Barlang* **1976/I–II**, 15–20.
- KORPÁS L. (szerk.) 2000: *Budapest, a barlangok fővárosa*. — Millenniumi Barlangnap 2000. június 23–25., MKBT, Budapest, 65 p.
- KOVÁCS J. & MÜLLER P. 1980: A Budai-hegyek hévizes tevékenységének kialakulása és nyomai. — *Karszt és Barlang* **1980/II**, 93–98.
- KRAUS S. 1978: *A budapesti Szemlőhegy és Ferenchegy hévizes eredetű üregrendszerének tektonikai vizsgálata*. — Egyetemi szakdolgozat, ELTE TTK
- KRAUS S. 1982: A Budai-hegység hévizes barlangjainak fejlődéstörténete. — *Karszt és Barlang* **1982/I**, 29–34.
- KRAUS S. 1990: A budai barlangok hévizes karbonátkiválásai. — *Karszt és Barlang* **1990/II**, 91–96.
- KRAUS S. 1993: A Szemlő-hegyi-barlang vízszintváltozásai. — *Karszt és Barlang* **1993/I–II**, 47–53.
- KRAUS S. 2006: Újabb megismert barlangi kiválások. — *Karszt és Barlang* **1995–1996**, 9–12.
- LEÉL-ŐSSY CS., LEÉL-ŐSSY SZ. & ADAMKÓ P. 2007: A Citadella-kristálybarlang. — *Karszt és Barlang* **2007/I–II**, 67–78.
- LEÉL-ŐSSY S. 1957: A Budai-hegység barlangjai. — *Földrajzi Értesítő* **6/2**, 155–169.
- LEÉL-ŐSSY SZ. 1995: A budai Rózsadomb és környékének különleges barlangjai. — *Földtani Közöny* **125/3–4**, 363–432.
- LEÉL-ŐSSY SZ. 1997a: *A József-hegyi-barlang (Budapest) termálkarsztos keletkezése és fejlődése*. — Kandidátusi értekezés, MTA, 114 p.
- LEÉL-ŐSSY SZ. 1997b: A József-hegyi-barlang ásványai. — *Karszt és Barlang* **1997/I–II**, 45–54.
- LEÉL-ŐSSY, SZ. 2003: Effects of anthropogeneous activities on cave exploration in the Buda Mountains. — In: HORVÁTH, G. (ed.): *Soil effect on karst processes. Workshop Proceedings, 12–16. September 2002, Budapest-Aggtelek*, 127–141.
- LEÉL-ŐSSY SZ. 2005: A budai termálkarsztos barlangok genetikája és értékei. — In: HAZSLINSZKY T. (szerk.): *Hévizes barlangok genetikája és képződményei. Nemzetközi konferencia a Pál-völgyi-barlang felfedezésének 100. évfordulója alkalmából, Előadások, Budapest, 2004. június 21–24., MKBT*, 45–53.
- LEÉL-ŐSSY SZ. 2014: *Kristálybarlang a nagyváros alatt. A budapesti József-hegyi-barlang*. — GeoLitera, SZTE TTK Földrajzi és Földtani Tanszékcsoport, Szeged, 190 p.
- LEÉL-ŐSSY, SZ. 2017: Caves of the Buda Thermal Karst. — In: KLIMCHOUK, A., PALMER, A. N., DE WAELE, J., AULER, A. S. & AUDRA, P. (eds): *Hypogene Karst Regions and Caves of the World*, Springer, Cham, 279–298. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53348-3_18
- LEÉL-ŐSSY, SZ. & SURÁNYI, G. 2003: Peculiar hydrothermal caves in Budapest, Hungary. — *Acta Geologica Hungarica* **46/4**, 407–436. <https://doi.org/10.1556/ageol.46.2003.4.5>
- LEÉL-ŐSSY, SZ., SZANYI, GY. & SURÁNYI, G. 2011: Minerals and Speleothems of the József-hegy Cave (Budapest, Hungary). — *International Journal of Speleology* **40/2**, 191–203. <https://doi.org/10.5038/1827-806x.40.2.11>
- LORBERER Á. 2002: Budapest hévizei mérnökgeológiai szemmel. — *Alagút és Mélyépítő szakmai napok, „Milleneum után, Európával, jövőnk környezetéért” konferencia, Eger*, 71–78.
- MAKK, J., TÓTH, E., ANDA, D., PÁL, S., SCHUMANN, P., KOVÁCS, A. L., MÁDL-SZŐNYI, J., MÁRIALIGETI, K. & BORSODI, A. K. 2016: *Deinococcus budaensis* sp. nov., a mesophilic species isolated from biofilm sample of a hydrothermal spring cave. — *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology* **66/12**, 5345–5351. <https://doi.org/10.1099/ijsem.0.001519>
- MAUCHA L. 1998: *Az Aggteleki-hegység karszthidrológiai kutatási eredményei és zavartalan hidrológiai adatsorai 1958–1993*. — VITUKI, Budapest, 413 p.
- MÁDL-SZŐNYI, J. & ERŐS, A. 2011: Hypogenic karstification processes and products in flow system framework. — *Proceedings of the 9th Conference on Limestone Hydrogeology, Besançon, France*, 315–318.
- MÁDL-SZŐNYI, J. & ERŐS, A. 2013: Effects of regional groundwater flow on deep carbonate systems focusing on discharge zones. — In: *Proceedings of the International Symposium on Regional Groundwater Flow: Theory, Applications and Future development, 21–23 June Xi'an, China. China Geological Survey, Commission of Regional Groundwater Flow, IAH*, 71–75.

- MÁDL-SZŐNYI, J. & TÓTH, Á. 2015: Basin-scale conceptual groundwater flow model for an unconfined and confined thick carbonate region. — *Hydrogeology Journal* **23/7**, 1359–1380. <http://doi.org/10.1007/s10040-015-1274-x>
- MÁDL-SZŐNYI, J. & TÓTH, Á. 2017: Topographically Driven Fluid Flow at the Boundary of Confined and Unconfined Sub-basins of Carbonates: Basic Pattern and Evaluation Approach on the Example of Buda Thermal Karst. — In: RENARD, P. & BERTRAND, C. (eds): *Advances in Karst Science, EuroKarst 2016, Neuchâtel, Springer, Cham*, 89–98. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45465-8_10
- MÁDLNÉ SZŐNYI J., ERŐSS A. & VIRÁG M. 2013: A hipogén karsztosodás folyamatai a felszín alatti vízáramlások tükrében. — In: MINDSZENTY A. (szerk.): *Budapest: földtani értékek és az ember. Városgeológiai tanulmányok („In urbe et pro urbe”)*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 81–83.
- MÁDL-SZŐNYI, J., PULAY, E., TÓTH, Á. & BODOR, P. 2015: Regional underpressure: a factor of uncertainty in the geothermal exploration of deep carbonates, Gödöllő Region, Hungary. — *Environmental Earth Sciences* **74/12**, 7523–7538. <https://doi.org/10.1007/s12665-015-4608-z>
- MÁDL-SZŐNYI, J., ERŐSS, A. & TÓTH, Á. 2017: Fluid Flow Systems and Hypogene Karst of the Transdanubian Range, Hungary — With Special Emphasis on Buda Thermal Karst. — In: KLIMCHOUK, A., PALMER, A. N., DE WAELE, J., AULER, A. S. & AUDRA, P. (eds): *Hypogene Karst Regions and Caves of the World*, Springer, Cham, 267–278. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53348-3_17
- MINDSZENTY A. (szerk.) 2013: *Budapest: földtani értékek és az ember. Városgeológiai tanulmányok („In urbe et pro urbe”)*. — ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 311 p.
- MOLNÁR J. 1869: A hévízek Buda környékén. — *Math. és Természettudományi Közlemények* **7**, 163–244.
- MÜLLER P. 1974: A melegforrás barlangok és gömbfülkék képződéséről. — *Karszt és Barlang* **1974/1**, 7–10.
- NAGY B. & PELIKÁN P. 1976: Metacinnabarit és cinnabarit a csillaghegyi Róka-hegyen. — *MÁFI Évi Jelentés 1973-ról*, Magyar Állami Földtani Intézet, Budapest, 51–55.
- NAGY S. 2008: *A Budai-hegység hidrotermális folyamatainak szerepe a Bátor-barlang és a Ferenc-hegyi-barlang kialakulásában*. — Diplomamunka, ELTE TTK Ásványtani Tanszék, Budapest, 91 p.
- NÁDOR A. 1991: *A Budai-hegység paleokarszt jelenségei és fejlődéstörténetük*. — Doktori disszertáció, ELTE TTK Általános és Történeti Földtani Tanszék, Budapest, 171 p.
- NÁDOR, A. 1992: Palaeokarstic features in Triassic-Eocene carbonates — Multiple unconformities of a 200 million year karst evolution, Buda Mountain, Hungary. — *Zbl. Geol. Palaeont.*, Stuttgart, Teil I.H. **11/12**, 1317–1329.
- ONAC, B. & FORTI, P. 2011: State of the art and challenges in cave minerals studies. — *Studia UBB Geologia* **56/1**, 33–42.
- PALMER, A. N. 2007: *Cave Geology*. — Cave Books, Dayton, Ohio, 454 p.
- PANOŠ, V. 1960: A Budai-hegység hévforrásos karsztja és különleges lerakódásai. — *Hidrológiai Közlemények* **40/5**, 391–395.
- PÁSZTOR D. 2016: *Hipogén karsztosodási indikátorok a Gellért-hegyi Aragonit-barlangban*. — Diplomamunka, ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Budapest, 98 p.
- PÁVAI-VAJNA F. 1930: A forró oldatok, gőzök és gázok szerepe a barlangképződésnél. — *Hidrológiai Közlemények* **10**, 115–122.
- PLUMMER, L. N. 1975: Mixing of seawater with calcium carbonate groundwater. — *Geol. Soc. Amer. Memoirs* **142**, 219–236.
- POLYAK, V. J. 1992: *The mineralogy, petrography, and diagenesis of carbonate speleothems from caves in the Guadalupe Mountains, New Mexico*. — Unpub. M.S. Thesis, Texas Tech. University, 165 p.
- POLYAK, V. J. & PROVENCIO, P. 2001: By-product materials related to H₂S-H₂SO₄ influenced speleogenesis of Carlsbad, Lechuguilla, and other caves of the Guadalupe Mountains, New Mexico. — *Journal of Cave and Karst Studies* **63/1**, 23–32. <https://doi.org/10.1346/ccmn.2000.0480302>
- POLYAK, V. J., MCINTOSH, W. C., PROVENCIO, P. & GÜVEN, N. 2006: Alunite and natroalunite tell a story — the age and origin of Carlsbad cavern, Lechuguilla Cave, and other sulfuric-acid type caves of the Guadalupe Mountains. — In: *New Mexico Geological Society Guidebook, 57th Field Conference, Caves and Karst of Southeastern New Mexico*, 203–210.
- POROS, Zs. 2011: *Fluid migration and porosity evolution in the Buda Hills, Hungary — selected examples from Triassic and Paleogene carbonate rocks*. — PhD Dissertation, Eötvös L. University, Budapest, 141 p.
- POROS, Zs., ERŐSS, A., MÁDL-SZŐNYI, J., MINDSZENTY, A., MOLNÁR, F., RONCHI, P. & CSOMA, A. É. 2010: Mixing of karstic and basinal fluids affecting hypogene cave formation and mineralization in the Buda Thermal Karst, Hungary. — In: 20th General Meeting of the International Mineralogical Association, IMA2010, 21 to 27 August 2010, Budapest, Hungary, *Acta Mineralogica Petrographica Abstract Series* **6**, p. 465.
- POROS, Zs., MINDSZENTY, A., MOLNÁR, F., PIRONON, J., GYÓRI, O., RONCHI, P. & SZEKERES, Z. 2012: Imprints of hydrocarbon-bearing basinal fluids on a karst system: mineralogical and fluid inclusion studies from the Buda Hills, Hungary. — *International Journal of Earth Sciences (Geol. Rundsch.)* **101**, 429–452. <https://doi.org/10.1007/s00531-011-0677-8>
- RUNNELS, D. D. 1969: Diagenesis, chemical sediments and the mixing of natural waters. — *Jour. of Sed. Petr.* **39**, 1188–1201. <https://doi.org/10.1306/74d71dca-2b21-11d7-8648000102c1865d>
- RUSZKICZAY-RÜDIGER, Zs., FODOR, L., BADA, G., LEÉL-ÖSSY, Sz., HORVÁTH, E. & DUNAI, T. J. 2005: Quantification of Quaternary vertical movements in the central Pannonian Basin: A review of chronologic data along the Danube River, Hungary. — *Tectonophysics* **410**, 157–172. <https://doi.org/10.1016/j.tecto.2005.05.048>
- SÁSDI L. 1993: A Budai-hegység paleokarsztjai és fejlődéstörténetük. II. Termális hatást tükröző paleokarsztok. — *Karszt és Barlang* **1993/I–II**, 39–46.
- SCHAFARZIK F. 1921: Visszapillantás a budai hévforrások fejlődéstörténetére. — *Hidrológiai Közlemények* **1**, 9–14.
- SCHAFARZIK F. & VENDL A. 1929: *Geológiai kirándulások Budapest környékén*. — Magyar Királyi Földtani Intézet, Stadium Sajtóvállalat, Budapest, 341 p.
- SCHERF E. 1922: Hévízforrások okozta kőzetváltozások (hidrotermális kőzetmetamorfózis) a Buda-Pilisi hegységben. — *Hidrológiai Közlemények* **2**, 19–88.

- SCHRÉTER Z. 1912: Harmadkori és pleisztocén hévforrások tevékenységének nyomai a Budai hegyekben. — *A Magyar Királyi Földtani Intézet Évkönyve* **19/5**, 181–231.
- SURÁNYI G. 2005: *Módszerfejlesztés az $^{234}\text{U}/^{230}\text{Th}$ izotóparány mérésén alapuló uránsoros kormeghatározás terén.* — PhD értekezés, ELTE TTK Geofizikai Tanszék, Budapest, 93 p.
- SURÁNYI, G., DOMBRÁDI, E. & LEÉL-ŐSSY, SZ. 2010: Contributions of geophysical techniques to the exploration of the Molnár János Cave (Budapest, Hungary). — *Acta Carsologica* **39/3**, 565–576. <https://doi.org/10.3986/ac.v39i3.84>
- SZABÓ V., FÓRIZS I., HALAS, S., PELC, A. & DEÁK J. 2009: A budapesti hévizek szulfátjának eredete stabilizotópos mérések alapján. — *Geotudományok. A Miskolci Egyetem Közleménye, A sorozat, Bányászat* **77**, 73–81.
- SZABÓ Z. & LEÉL-ŐSSY SZ. 2013: Az óbudai Királylaki-barlang — a budai barlangok legújabb „ékszerdoboz”. — In: MINDSZENTY A. (szerk.): *Budapest: földtani értékek és az ember. Városgeológiai tanulmányok („In urbe et pro urbe”)*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 232–234.
- SZANYI GY. 2007: *Budai barlangok kalcitkiválásainak uránsoros kormeghatározása.* — Diplomamunka, ELTE TTK Geofizikai Tanszék, Budapest, 58 p.
- 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**, 353–366.
- SZANYI, GY., SURÁNYI, G. & LEÉL-ŐSSY, SZ. 2012: Cave development and Quaternary uplift history in the Central Pannonian Basin derived from speleothem ages. — *Quaternary Geochronology* **14**, 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.quageo.2012.09.001>
- SZUNYOGH G. 1982: A hévizes eredetű gömbfülkék kioldódásának elméleti vizsgálata. — *Karszt és Barlang* **1982/II**, 83–88.
- SZUNYOGH G. 1984: A gömbfülkék kondenzvíz-korróziós kialakulásának elméleti fizikai leírása. — *Karszt és Barlang* **1984/I**, 19–24.
- SZUNYOGH G. 1987: A hévizes eredetű gömbfülkék víztükör alatti kioldódásának elméleti vizsgálata. — *Karszt és Barlang* **1987/I–II**, 29–31.
- SZUNYOGH, G. 1989: Theoretical investigation of the development of spheroidal niches of thermal water origin — Second approximation. — *Proceedings of the 10th International Congress of Speleology, 13–20. August 1989, Budapest, III*, 766–768.
- TAKÁCSNÉ BOLNER K. 1980: Új feltárások a Pál-völgyi-barlangban. — *Karszt és Barlang* **1980/II**, 87–92.
- TAKÁCSNÉ BOLNER, K. 1989: Regional and special genetic marks of the Pál-völgy Cave, the largest cave of thermal water origin in Hungary. — *Proceedings of the 10th International Congress of Speleology, 13–20. August 1989, Budapest, III*, 819–822.
- TAKÁCSNÉ BOLNER K. 1990: A Pál-völgyi-barlang üledékkitöltésének vizsgálatai. — In: KISS A. & TAKÁCSNÉ BOLNER K. (szerk.): *Jelentés a Bekey Imre Gábor Barlangkutató Csoport 1989. évi munkájáról*, MKBT, 44–52.
- TAKÁCSNÉ BOLNER K. 1993: Ritka karbonátkiválás-típusok. — *Karszt és Barlang* **1993/I–II**, 29–38.
- TAKÁCSNÉ BOLNER K. 1998: Külső szakértők által végzett speciális vizsgálatok a Pál-völgyi-barlangban. — In: KISS A. & TAKÁCSNÉ BOLNER K. (szerk.): *Jelentés a Bekey Imre Gábor Barlangkutató Csoport 1997. évi munkájáról*, MKBT, 48–51.
- TAKÁCSNÉ BOLNER K. 2005a: A rózsadombi barlangok morfológiájának és ásványegyüttesének összehasonlító elemzése. Comparative analysis on the morphology and mineralogy of Rózsadomb caves. — In: HAZSLINSZKY T. (szerk.): *Hévizes barlangok genetikája és képződményei. Nemzetközi konferencia a Pál-völgyi-barlang felfedezésének 100. évfordulója alkalmából, Előadások, Budapest, 2004. június 21–24., MKBT*, 125–131.
- TAKÁCSNÉ BOLNER K. 2005b: A Pál-völgyi-barlang képződmény-ritkaságai. Rare speleothems found in Pál-völgy Cave. — In: HAZSLINSZKY T. (szerk.): *Hévizes barlangok genetikája és képződményei. Nemzetközi konferencia a Pál-völgyi-barlang felfedezésének 100. évfordulója alkalmából, Előadások, Budapest, 2004. június 21–24., MKBT*, 118–124.
- TAKÁCSNÉ BOLNER K. 2011: A Rózsadomb barlangjainak szerepe a magyar speleológia fejlődésében. The Rózsadomb caves and their contribution to the development of Hungarian speleology. — In: HAZSLINSZKY T. (szerk.): *100 éves a szervezett magyar barlangkutató, Konferencia előadások, Budapest, 2010. május 7–9., MKBT*, 162–171.
- TAKÁCSNÉ BOLNER K. & KRAUS S. 1989: A melegvizes eredetű barlangok kutatásának eredményei. — *Karszt és Barlang* **1989/I–II**, 61–66.
- TÓTH, J. 1963: A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. — *Journal of Geophysical Research* **68/16**, 4795–4812. <https://doi.org/10.1029/jz068i016p04795>
- TÓTH, J. 2009: *Gravitational System of Groundwater flow: Theory, Evaluation, Utilization.* — Cambridge University Press, USA, New York, 91–102. <https://doi.org/10.1017/CBO9780511576546>
- VENDEL M. & KISHÁZI P. 1964: Összefüggések melegforrások és karsztvizek között a Dunántúli-középhegységben megfigyelt viszonyok alapján. — *MTA Műszaki Tudományok Közleményei Osztályának Közleményei* **32**, 393–417. és **33**, 205–234.
- VERESS M. 2004: *A karszt.* — Berzsenyi Dániel Főiskola, Szombathely, 215 p.
- VIRÁG M. 2016: Történeti áttekintés a budai barlangok keletkezéséről — a klasszikus karsztfejlődéstől a hipogén barlangképződésig. — *Karszt és Barlang* **2012–14**, 24–46.
- VIRÁG M. & SZABÓ Z. 2013: Molnár János-barlang — a rendszer jelenleg is aktív tagja. — In: MINDSZENTY A. (szerk.): *Budapest: földtani értékek és az ember. Városgeológiai tanulmányok („In urbe et pro urbe”)*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 228–232.
- VIRÁG, M., MINDSZENTY, A., SURÁNYI, G. & LEÉL-ŐSSY, SZ. 2011: Infiltration history of the last 50 thousand years as reflected by the anatomy of a flowstone type speleothem precipitated from dripwaters of the Pál-völgy-Mátyáshegy Cave System (Buda Thermal Karst, Budapest, Hungary). — In: CAPEZZUOLI, E., BROGI, A., RICCI, M. & BERTINI, A. (eds): *Rend. Online Soc. Geol. It.* **16**, 39–41.
- VIRÁG M., KÁLMÁNFINÉ ÁST H. & MINDSZENTY A. 2013a: Barlangszintek, barlangi kiválások és travertínók térbeli jellemzése. — In: MINDSZENTY A. (szerk.): *Budapest: földtani értékek és az ember. Városgeológiai tanulmányok („In urbe et pro urbe”)*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 259–263.
- VIRÁG M., MINDSZENTY A. & BENDŐ ZS. 2013b: A Városliget-II. fúrás (Széchenyi fürdő) ásványkiválásainak tanulságai a Budai Termálkarszt barlangjai számára. — In: MINDSZENTY A. (szerk.): *Budapest: földtani értékek és az ember. Városgeológiai tanulmányok („In urbe et pro urbe”)*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 270–274.

- VIRÁG, M., MINDSZENTY, A., BENDŐ, Zs. & HEGEDŰS, A. 2013c Unusual speleothems from a non-spelean environment — Mineral precipitates of the Széchenyi Spa (Buda Thermal Karst, Budapest, Hungary). — In: MÁDL-SZŐNYI, J., ERŐSS, A., MINDSZENTY, A. & TÓTH, Á. (eds): *International Symposium on Hierarchical Flow Systems in Karst Regions — In honour of Professor József Tóth in celebration of his 80th birthday*, 4-7 September 2013, ELTE, Budapest, Hungary, p. 140.
- VIRÁG M., MINDSZENTY A. & BENDŐ Zs. 2013d: Az Ósforrás kalcitlemezei. — In: MINDSZENTY A. (szerk.): *Budapest: földtani értékek és az ember. Városgeológiai tanulmányok („In urbe et pro urbe”)*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 188–191.
- VIRÁG M., MINDSZENTY A., WEIDINGER T., MOLNÁR M., BENDŐ Zs., TANOS P. & MÁDLNÉ SZŐNYI J. 2013e: A Rudas fürdő travertínója. — In: MINDSZENTY A. (szerk.): *Budapest: földtani értékek és az ember. Városgeológiai tanulmányok („In urbe et pro urbe”)*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 191–199.
- VIRÁG, M., MINDSZENTY, A., BENDŐ, Zs., WEIDINGER, T., MOLNÁR, M., PÁLL-SOMOGYI, K., MÁDL-SZŐNYI, J. & VERES, V. 2013f: Anthropogenically modulated hydrological changes recorded by a ~120 years old flowstone-like travertine (Rudas Spa, Budapest, Hungary). — In: MÁDL-SZŐNYI, J., ERŐSS, A., MINDSZENTY, A. & TÓTH, Á. (eds): *International Symposium on Hierarchical Flow Systems in Karst Regions — In honour of Professor József Tóth in celebration of his 80th birthday*, 4-7 September 2013, ELTE, Budapest, Hungary, p. 138.
- VIRÁG M., MINDSZENTY A., LEÉL-ŐSSY SZ. & SURÁNYI G. 2013g: Gellérthegyi-aragonitbarlang. — In: MINDSZENTY A. (szerk.): *Budapest: földtani értékek és az ember. Városgeológiai tanulmányok („In urbe et pro urbe”)*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 181–186.
- VIRÁG M., SURÁNYI G., KARDOS A. & MINDSZENTY A. 2013h: A Gellért-hegyi kisbarlangok vízszintjelző kiválásai. — In: MINDSZENTY A. (szerk.): *Budapest: földtani értékek és az ember. Városgeológiai tanulmányok („In urbe et pro urbe”)*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 257–259.
- VIRÁG M., MINDSZENTY A., SURÁNYI G., MOLNÁR M. & LEÉL-ŐSSY SZ. 2013i: A Búboskemence cseppkőlefolyás. — In: MINDSZENTY A. (szerk.): *Budapest: földtani értékek és az ember. Városgeológiai tanulmányok („In urbe et pro urbe”)*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 245–248.
- VIRÁG M., TAKÁCSNÉ BOLNER K. & SURÁNYI G. 2013j: A Budai-hegység legidősebb vizsgált cseppkőve: az Óriás-cseppkő. — In: MINDSZENTY A. (szerk.): *Budapest: földtani értékek és az ember. Városgeológiai tanulmányok („In urbe et pro urbe”)*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 243–245.
- VIRÁG M., TAKÁCSNÉ BOLNER K. & LEÉL-ŐSSY SZ. 2013k: Barlangi kiválástípusok (szpeleotémák). — In: MINDSZENTY A. (szerk.): *Budapest: földtani értékek és az ember. Városgeológiai tanulmányok („In urbe et pro urbe”)*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 248–252. (110. fotótábla, p. 249.)
- VIRÁG M., HEGEDŰS A. & SURÁNYI G. 2014: Szpeleotéma-térképezéssel az egykori termálvizek nyomában. — In: VERESS M. & ZENTAI Z. (szerk.): *Karsztféjlődés 17*, Absztrakt kötet, 2014.május 30 – június 1, Bük–Szombathely, p. 13.
- VIRÁG M., MINDSZENTY, A., KISS, K., KELE, S., CZUPPON, GY., PALCSU, L., SURÁNYI, G., BRAUN, M., WEIDINGER, T., HEGEDŰS, A. & LEÉL-ŐSSY, SZ. 2015: Superimposition of hypogenic and epigenic karst processes documented by speleothems of the Szemlő-hegy Cave (Budapest, Hungary). — In: *Abstract Book of 31st IAS Meeting of Sedimentology*, International Association of Sedimentologists, Polish Geological Society, 22-25 June 2015, Krakow, Poland, p. 564.
- VIRÁG M., MINDSZENTY, A., KELE, S., CZUPPON, GY., SURÁNYI, G., BRAUN, M., PALCSU, L., FUTÓ, I., HEGEDŰS, A., KISS, K., SZIEBERTH, D. & LEÉL-ŐSSY, SZ. 2016: Study of speleothems and other thermal-karst features in the caves of Rózsadomb (Budapest, Hungary). — In: OTONICAR, B. & GOSTINCAR, P. (eds): *Paleokarst — 24th International Karstological School “Classical Karst”*, 13–17 June 2016, Karst Research Institute ZRC SAZU, Postojna, Slovenia, Abstract & Guide Book, p. 34.
- VÖRÖS P. 2013: *Kovács elváltozások vizsgálata rózsadombi barlangokban*. — Diplomamunka, NyME–SEK–TTK Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, és ELTE TTK Általános és Alkalmazott Földtani Tanszék, Budapest, 78 p.
- VÖRÖS P., VIRÁG M., MINDSZENTY A., BENDŐ Zs., NÉMETH T. & LEÉL-ŐSSY SZ. 2013: Eocén kőzeteket átszelő repedéskitöltésekhez kapcsolódó elváltozott zónák a budai barlangokban. — In: MINDSZENTY A. (szerk.): *Budapest: földtani értékek és az ember. Városgeológiai tanulmányok („In urbe et pro urbe”)*, ELTE Eötvös Kiadó, Budapest, 34–39.
- WEIDINGER T., VIRÁG M., TORDAI Á., LUKÁCS D., LEÉL-ŐSSY SZ. & MINDSZENTY A. 2017: Barlangklimatológiai mérések a Budai-termálkarszton. — In: CSERNY T. & ALPEK B.L. (szerk.): *HUNGEO 2017, „Bányászat és környezet — harmóniában”*, Magyar Földtudományi Szakemberek XIII. Világítalkozója, Program és előadás kivonatok, Pécs, 2017. augusztus 16–20, Magyarhoni Földtani Társulat, 32–33.

Kézirat beérkezett: 2017. 06. 07.

