

A BERMUDA-SZIGETEK KORALLHOMOKKŐ-BARLANGJAI

TAKÁCSNÉ BOLNER KATALIN

KvVM Barlang- és Földtani Osztály, 1025 Budapest, Szépvölgyi út 162/b.
takacsne@mail.kvvm.hu

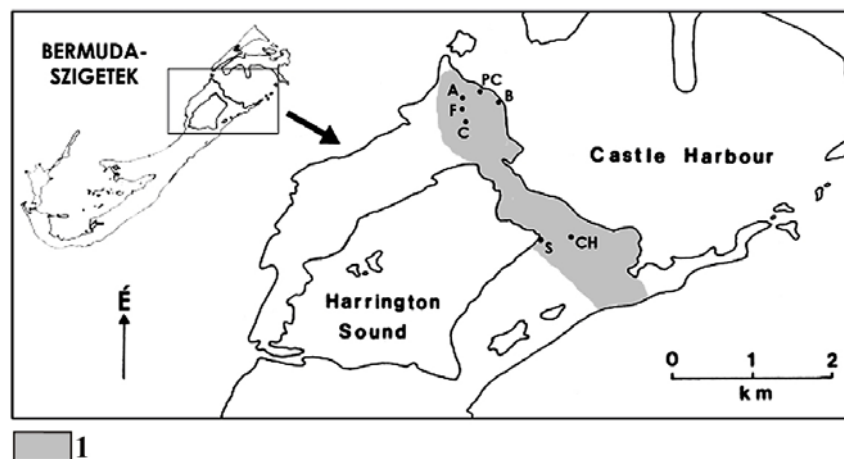
Abstract: The 5th ISCA Congress, hold in Bermuda, 2006 October, provided also an insight to the speleogenic processes of young carbonate-covered islands. Formation of the major caves here is related to glacioeustatic sea level lowstands (MYLROIE-CAREW 2000), when vadose dissolution along the contact of Pleistocene eolian calcarenites and their volcanic basement resulted in wide undercuts with subsequent collapses. Character of the visited aerated caves well correlate with the above model: they open via collapses, they consist of large rooms with breakdown morphology, and all of them extend below the present sea level, where they are filled by tidal lakes with brackish water. Their rich and spectacular dripstone formations, however, are also present in the greatest depth reached by the divers in Bermuda caves (-24 m below the sea level), which suggest that these rooms must have already existed prior the latest sea level lowstand.

Bevezetés

Az Idegenforgalmi Barlangok Nemzetközi Szövetsége (ISCA) 5. Kongresszusának megrendezésére 2006. október 21-26. között, a Bermuda-szigeteken került sor, amelynek keretében a résztvevők megismerkedhettek a szigetcsoport néhány barlangjával is. E viszonylag kis kiterjedésű, de rendkívül képződménygazdag barlangok kialakulását és fejlődését az óceáni sziget-környezet sajátosságai határozták meg, azaz olyan folyamatokba kínálnak bepillantást, amelyek a klasszikus, kontinentális karsztokon nem tanulmányozhatók. A cikk a mindezekre vonatkozó ismereteket és megfigyeléseket foglalja össze.

Földrajzi és földtani viszonyok

A Bermudák az Atlanti-óceánból kiemelkedő magányos szigetcsoport az északi szélesség kb. 32° és a nyugati hosszúság 65°-án. A legközelebbi szárazulat Észak-Amerika keleti partvidéke, ami a szigetektől mintegy 1000 km távolságra húzódik. A szigetcsoport négy nagyobb és legalább 120 apróbb szigetből áll, amelyek egy 26 km hosszúságú és 8 km szélességű karéjban helyezkednek el. Együttes kiterjedésük mindössze 53 km² (ami Budapest területének kb. egynegyede), a legmagasabb pont, a Gibbs Hill csupán 73 m-re emelkedik a tengerszint fölé (1. ábra).



1. ábra: A tárgyalt barlangok elhelyezkedése (PALMER et al., 1977 és ILIFFE, 1993 nyomán)
 Jelmagyarázat: 1. a Walsingham Formáció tengerszint feletti elterjedése, A. Admiral's barlang, B. blue üreg, C. Crystal barlang, Ch. Church barlang, F. Fantasy barlang, PC. Prospero barlang & Cathedral barlang, S. Sharks' üreg

Fig. 1: Situation plan of the referred caves (after PALMER et al., 1977 and ILIFFE, 1993)
 Legend: 1. exposure of the Walsingham Fm. above the sea level, A. Admiral's Cave, B. blue hole, C. Crystal Cave, Ch. Church Cave, F. Fantasy Cave, PC. Prospero Cave & Cathedral Cave, S. Sharks' Hole

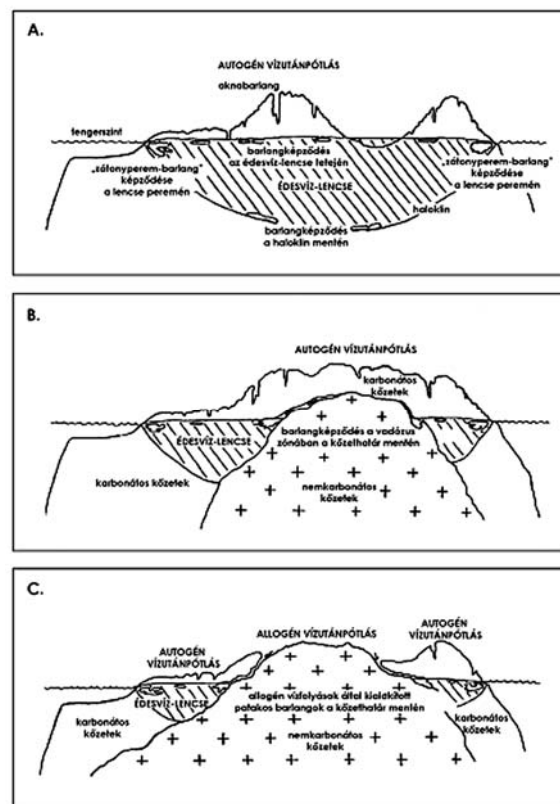
A szigetcsoporthoz alapzatát egy kréta időszak, mintegy 100 millió éves vulkáni tömeg alkotja, ami annakidején az óceánközépi hátság részeként keletkezett, s az Atlanti-óceán tágulásával, azaz az óceánfenék szétsodródásával került fokozatosan a mai helyére (ILIFFE, 1993). E vulkáni alapzat, illetve a rá települt korallzátony kiterjedése azonban a sokszorosa a jelenlegi szárazulatának. Ez a kiterjedt zátonytest a pleisztocén glacioeusztatikus tengerszintingadozásai során – amikor a jelenleginél 100-125 m-rel alacsonyabb vízállások is előfordultak – több alkalommal is a felszínre került. Az aprózódásából származó korallhomokot a szelek dűnékbe halmozták, amelyek mészhanyaga a beszivárgó vizek oldó illetve cementáló hatására laza kötésű mészhomokkővé, kalkarenitté alakult át. Ami a Bermuda-szigetektől ma a tenger fölé emelkedik, azt zömmel ilyen, többé-kevésbé diagenetizálódott mészhomok-dűnék építik fel, amelyeket az azokat tagoló narancsvörös, agyagos paleotalaj-rétegek alapján 5 formációba sorolnak. A legidősebb, legjobban diagenetizálódott Walsingham Formáció kora alsó-pleisztocén; a két további jelentős elterjedésű rétegcsoporthoz közül a Belmont Formáció korát a gүнz/mindel interglaciálisra, a Paget Formációét a felső-pleisztocénre helyezik (PALMER et al., 1977).

Ebből a földtani felépítésből adódóan a szigeteken – a nedves szubtrópusi éghajlat bőséges, 1400 mm/év csapadékmennyisége dacára – felszíni vízfolyások nincsenek. A felszínre hulló csapadék a porózus alapkövetben

hamar beszivárog és a tengerszinten kisebb fajsúlyánál fogva édesvíz-lencsét alkot (PALMER *et al.*, 1977), ez azonban a szigetcsoport tagoltsága miatt több elkülönülő kis víztestből áll. A fehérre meszelt háztetőkről gondosan ciszternákban gyűjtött esővíz mellett ezek a kis vízlencsék biztosítják a mintegy 65.000 fős lakosság teljes ivóvízellátását is.

Karbonátos szigetek üregképződési folyamatai

A karsztfejlődés szempontjából az óceáni környezet két speciális tulajdonsággal is rendelkezik: az egyik az édesvíz és a sós víz keveredésének zónájában fellépő keveredési korrózió hatása, a másik az eusztatikus tengerszint-ingadozások közvetlen hatása. A szigetek esetében ezekhez még egy harmadik tulajdonság is járul, nevezetesen hogy felszín alatti vizeik kizárólag a saját területükre hulló csapadékból származnak.



2. ábra: Karbonátos szigetek barlangképződési folyamatai (MYLROIE-CAREW 2000)

Jelmagyarázat: A. egyszerű-karbonát szigetek, B. karbonáttal fedett szigetek, C. karbonátos szegélyű szigetek

Fig. 2: Cave development of carbonate islands (MYLROIE-CAREW 2000)

Legend: A. simple carbonate islands, B. carbonate-cover islands, C. carbonate-rimmed islands

A karbonátos kőzetekből álló óceáni szigeteket – hangsúlyozva, hogy olyan szigetekről beszélünk, amelyek sosem voltak valamely kontinens részei – MYLROIE- CAREW (2000) az üregképző hatások szempontjából három csoportba sorolja. Az elsőbe tartoznak az egyszerű karbonát-szigetek (2/a. ábra), amelyek kizárólag, de legalább a pleisztocén legalacsonyabb tengerszint-állásának mélységéig terjedően csak karbonátos kőzetekből állnak – ilyenek, pl. az Atlanti-óceánban a Bahamák vagy a Kajmán-szigetek. Ezek esetében a barlangképződésnek három fő színtere van. Az egyik az epikarszt, ahol a diffúz beszivárgás kitüntetett megcsapolási pontjaiban aknabarlangok keletkeznek, ezek mélysége azonban a 10 m-t csak ritkán haladja meg. A következő a szárazföld alatt kialakuló édesvíz-lencse teteje, ahol a telítetlen és a telített zóna határán fellépő keveredési korrózió hatását a felhalmozódó szervesanyag bomlása során felszabaduló CO₂ is fokozhatja. Végül hasonló keveredési korróziós hatás érvényesül a vízlencse alján, az édesvíz és a sós víz határfelülete (az ún. haloklin) mentén is. E két utóbbi zónában kialakuló barlangok jellemzően pár tíz m-ig terjedő átmérőjű, széles de alacsony üregek, amelyek csak utólagos felszakadás esetén válnak hozzáférhetővé. A felszakadási folyamat eredményeként visszamaradó, fél- vagy akár egész körívet alkotó sziklaereszeket az angol szaknyelv „banánlyuknak” (banana hole) nevezi.

Az ilyen szigeteken jelentősebb kiterjedésű barlangok csak a lencse elvékonyodó peremén képződnek, ahol a két határfelület folyamatai összeadódnak. E típus képviselőit vékony falakkal elválasztott, nagyméretű teremsorok jellemzik, amelyekhez csak hirtelen záruló, kis csőszerű oldalnyúlványok kapcsolódnak; megnevezésükre az angol a „*flank margin cave*” (magyarul kb. zátonyperem-barlang) kifejezést használja. Ha a vízlencse elegendően nagy méretű, benne kitüntetett áramlási pályák és így hosszú, freatikus vízvezető barlangok is kialakulhatnak. Ezeknek azonban minden ismert képviselője a jelenleginél alacsonyabb tengerszinthez kötődik (amikor a szigetek szárazulatainak kiterjedése a mainak a többszöröse volt), következésképpen csak búvárok számára hozzáférhető.

A második csoportba tartoznak az ún. karbonáttal fedett szigetek (2b. ábra), ahol a felszínen ugyan csak karbonátos kőzetek vannak, de alattuk a kritikus zónában nem-karbonátos kőzetek is előfordulnak. A Bermuda-szigetek ennek a típuspéldája: a vulkáni alapzat átlag -30 m-rel van a jelenlegi tengerszint alatt, azaz az alacsony vízállású időszakokban bőven a vadózus zónában helyezkedett el. Ez a felépítés nemcsak az édesvíz-lencse méretét és alakját módosítja, de a fentiekhez képest egy további üregképző hatást is eredményez, nevezetesen a kőzethatár mentén oldalirányú szivárgásra kényszerített vizek általi oldást. Ez a folyamat viszonylag kis vízho-

zam esetén is széles sávban oldhatja alá a karbonátos tömeget, ahol a nagy fesztávolságú alátámasztatlan felületek kedveznek az omlásos felharapódzásnak. Így ezt a barlangtípust többnyire tágas, omlott felületekkel határolt terek képviselik, amelyek zömét ma víz tölti ki.

Végül a harmadik csoportot a jelentős egyéb kőzetkibúvásokkal is rendelkező ún. karbonátos szegélyű szigetek alkotják (2/c. *ábra*), ilyen, pl. Puerto Rico szigete. Ezeken a felszín alatti vizek utánpótlásában a nem karbonátos felszínekről érkező allogén vízfolyások is komoly szerepet játszanak, így barlangjaik között a jelentős hosszúságú, klasszikus víznyelő- és patakos barlangok is megtalálhatók.

A Bermuda-szigetek barlangjainak áttekintése

A XVI. század elején, egy Juan de Bermudez nevű portugál hajós által felfedezett szigetcsoport barlangjainak megismerése gyakorlatilag egyidős a szigetek 1609-ben megkezdődött betelepülésével, amikor is egy Virginiába tartó angol hajót, a viharban súlyosan megsérült Sea Venture-t a kapitánya kénytelen volt itt partra futtatni. Első – közvetett – említőjük nem kisebb személyiség, mint Shakespeare, akinek 1611 körül íródott *A vihar* c. drámáját a fentemlített hajótörés ihlette (a mű egy szigeten lévő barlangban és annak környékén játszódik). A bermudai barlangok első konkrét dokumentuma, miszerint „*egyes helyeken igen különös, sötét, ormótlan üregek*” vannak, 1623-ból származik. A barlangok látványosságát taglaló számos XIX. századi leírás, sőt költemény mellett az első tudományos értekezés 1866-ban került publikálásra, amiben D. M. Home az Admiral's Cave-ből 1819-ben az Edinburghi Egyetem számára kiemelt 3 m magas állócseppkő korát – a csonkján azóta fejlődött sztalagmit-embriók mérete alapján – 600.000 évre (!) becsülte (ILIFFE, 1993).

A Bermuda-szigeteken jelenleg mintegy 150 barlang ismeretes, ezek eloszlása azonban közel sem egyenletes. Több mint kétharmaduk a Castle Harbour és a Harrington Sound öblök között, azon a maximum 800 m széles földszávon található (<http://www.tamug.edu/cavebiology/index2.html>), ahol a legidősebb Walsingham Formáció kalkarenitjei a tengerszint felett helyezkednek el (1. *ábra*).

Ez a terület volt a színhelye az ISCA kongresszusának is, ahol a hivatalos program keretében bemutatott három idegenforgalmi barlang (Admiral's, Fantasy és Crystal Cave) mellett a rendezvénynek otthont adó Grotto Bay szálloda kertjében és a környező parkokban sötétlő számos további barlangszáj kiválóan érzékeltette a térség barlangokban való gazdagságát. A nevezett három barlang – legalábbis ami a légteres részeket illeti –

egyben a szigetek legnagyobb barlangjai közé tartoznak; de az 500 méteres hosszúságot egyikük kiterjedése sem haladja meg. A kisebb barlangok egy része a kiépített ösvények tanúsága szerint egykor ugyancsak turisztikai célt szolgált, illetve szolgál ma is. A szálloda területén nyíló Cathedral Cave kristálytisza tavacskája például fedett úszómedenceként, a szomszédos, napközben kivilágított Prospero (korábbi nevén Island) Cave pedig szabadon látogatható látványossággént áll a vendégek rendelkezésére.



*1. kép: A Blue Hole Park névadó karsztjelensége (Fotó: Székely K.)
Picture 1: Blue Hole Park was named after this feature (by K. Székely)*

A látott barlangok közös tulajdonsága, hogy bejáratukat felszakadások: kisebb szakadékdolinák, a lejtőhátrálás következtében felnyílt szádák, vagy elmozdult kőzetblokkok között fennmaradt hasadékok alkotják. Egyeségesek abban a tekintetben is, hogy mindegyikük mélyebb a jelenlegi tengerszintnél, ami alatt brakkvizű tavak töltik ki őket; ezek szintje az árapályt követve mintegy 45 cm-es napi ingadozást mutat (PALMER *et al.*, 1977). Bár a bermudai barlangok víz alatti kutatása még kezdeti fázisban van, az ebben rejlő feltárási potenciált jól mutatja a teljes egészében a víz alatt elhelyezkedő Green Bay-rendszer, ami 2 km-es ismert hosszával jelenleg a szigetcsoporthoz leghosszabb barlangja. A barlangokban eddig elért legnagyobb vízmélység -24 m, ez megközelíti a vulkáni alapzat átlagos tengerszint alatti mélységét (-30 m). Egyes barlangok tavai a beúszkáló halak alapján (pl. Sharks Hole) közvetlen kapcsolatban állnak a tengerrel; a legnagyobb, kb.

40x40 m vízfelületű barlangi tó pedig a Church Cave-ben található (<http://www.tamug.edu/cavebiology/index2.html>).

E tavasbarlangok sajátos képviselői azok a karsztjelenségek, melyeket az angol nyelvű szakirodalom „kék lyuk”-nak (blue hole) nevez. Ezek olyan, jellemzően alacsony tengerszint feletti magasságban nyíló barlangok, amelyeknek nincsen „járható” aljzata: a víz közvetlenül egy felszínre nyíló, függőleges falakkal határolt sziklakútban jelenik meg (1. kép). Kialakulásmódjukat tekintve ezek lehetnek határzóna-üregek vagy akár nagyobb barlangok felszakadásai, avagy a tengerszint emelkedésével víz alá került vadózus aknák is (MYLROIE-CAREW, 2000). Tehát nem önálló genetikai típust képviselnek; elnevezésüket az őket kitöltő, gyakran jelentős mélységű víztömeg jellegzetes színe alapján nyerték. Átmérőjük itt Bermudán a pár métertől a pár tíz méterig terjed, ez utóbbiak minden bizonnyal felszakadásos eredetűek.

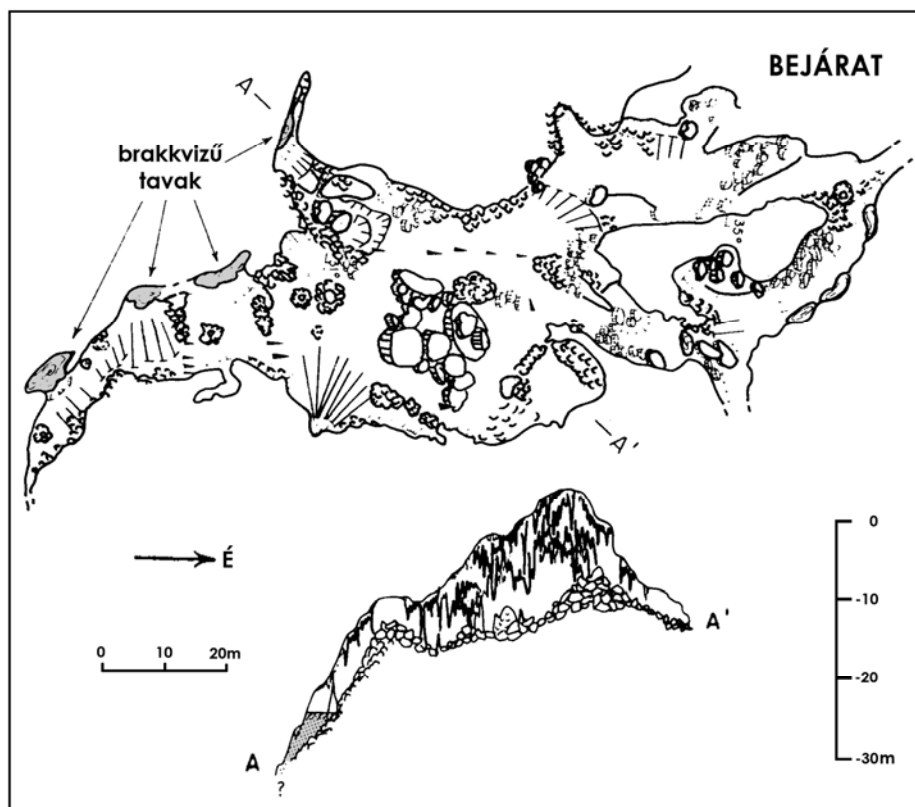
A bermudai barlangok vizei egyébként értékes troglobiont faunával rendelkeznek. Ezekből a felsős vizekből eddig 75 barlanglakó fajt – többségében alacsonyabb rendű rákokat – sikerült kimutatni, s külön érdekesség, hogy közöttük olyan fajok is találhatók, amelyek óvilági illetve mélytengeri rokonságokat mutatnak. Jelentős részük új volt a tudomány számára is, a kutatások itt már 2 új rend, 1 új család és 15 új nemzetség leírását eredményezték (<http://www.tamug.edu/cavebiology/index2.html>).

Morfológiai viszonyok és képződmények

A felszakadásos bejáratok és a tengerszint alá nyúló jelleg mellett jól illeszkedik az általános részben vázolt genetikai modellhez a látott barlangok morfológiája is. Ahogyan azt az Admiral's Cave térképe (3. ábra) is szemlélteti, a légteres részüket jellemzően egyetlen, a szélességéhez képest kis belmagasságú, s a vízszint irányába lejtős aljzatú terem alkotja, amelyet legfeljebb omladéktömbök vagy kulissza-szerű cseppkőoszlop-sorok tagolnak. Bennük az oldásformák nem jellemzőek, a tágas, többnyire háromszögszelvényű terek oldalfalait és mennyezetét sík, omlott felületek alkotják, hosszanti kiterjedésük pedig omladéktömbökkel zárul.

Bár ismereteseek csupán a XX. században felnyílt barlangok is, az omlási folyamatok zöme láthatóan nem a közelmúltban következett be. A csekély (a Cathedral és a Prospero Cave esetében például csak pár m-es) fedővastagság dacára ugyanis a bermudai barlangok igen gazdagok cseppkőképződményekben. A lejtős aljzatokat kiterjedt lefolyások borítják helyenként méretes sztalagmitokkal és oszlopokkal; a mennyezetet pedig aktív függőcseppkövek tömege díszíti, amelyek sűrűsége és egyenletessége való-

szerűleg a bőséges csapadékra és a fedőközet magas porozitására vezethető vissza. A barlangszádákban gyakoriak a trópusi-szubtrópusi barlangokra jellemző, bizarr alakú, mattfehér „tufafüggönyök” is (1. kép), amelyek képződése a környező dús növényzetből alányúló gyökerekre kicsapódó mészsanyag következménye.



3. ábra: Az Admiral's Cave alaprajza és jellegzetes felharapódzásos szelvénye (PALMER et al., 1977)
Fig. 3: Plan of Admiral's Cave with a cross section typical to Bermuda caves (PALMER et al., 1977)

Ami a képződmények épségét illeti, a látott barlangok közül a legjobb állapotban a Fantasy (korábbi nevén Wonderland) Cave van, amit 1907-ben, egy szűk, huzatoló nyílás kitágításával fedeztek fel, s a közelmúltban történt kiépítéséig le volt zárva. E lényegében egyetlen, lefelé tágu-ló ferde hasadék-üregből álló barlang képződményegyüttese össszhatásában a Rákóczi-barlangéra emlékeztet (2. kép): az álló- és függőcseppköveket borsókövek borítják, melyekhez szalmacseppkövek és néhol kisebb heliktitek társulnak. A barlang legfelső, bejáratközei részein azonban a képződmé-nyek felszine mattfehér, földes megjelenésű, ami a környező kőzetfelületek

hullámos, helyenként kifejezetten gömbüstökre emlékeztető formáival együtt arra utal, hogy e barlang fejlődése során kondenz-korróziós folyamatok is szerepet játszhattak.



2. kép: A közelmúltban kiépített Fantasy Cave képződményei (Fotó: Székely K.)
Picture 2: Speleothems in the recently developed Fantasy Cave (by K. Székely)

Az ettől alig 150 m-re nyíló, s ugyancsak a XX. század elején felfedezett Crystal Cave térformája annyiban különbözik az előzőektől, hogy a szintén ferde hasadék-szelvényű száraz járatához a vízszint közelében egy kb. 50 x 12 m alapterületű, szintes kifejlődésű terem csatlakozik, amit teljes szélességében víz tölt ki (3. kép). A víztükör fölött átlag 2,5 m magasságban húzódó mennyezet egy foltján itt oldásnyomok is megfigyelhetők, szorosan egymáshoz kapcsolódó, pár cm átmérőjű szabálytalan üregecskék és csatornácskák rendszere formájában. Ezek valószínűleg az angolul „szivacs-szerkezet”-ként (spongework) leírt, és az intenzív keveredési korrózióra jel-

lemzőnek tartott (PALMER, 1977) kisforma-együttessel azonosíthatók. Ebben a barlangban borsókövek nincsenek, a mennyezetet gazdagon díszítő méretes sztalaktitok egy részét viszont agancs-szerű heliktitek tüskézik, amik ismét az Esztramos egyes barlangjaiban előforduló alakzatokhoz hasonlíthatók. Állócseppkövek itt szinte kizárólag csak a víz alatt láthatók, ami egyben azt is mutatja, hogy ez a terem már a legutóbbi tengerszint-minimumot megelőzően is létezett.



3. kép: A Crystal Cave tágas, szintes termét a tengerszint alatt brakkvizű tó tölti ki (Fotó: Székely K.)
Picture 3: The wide, horizontal room of Crystal Cave is filled with brackish water at the sea level (by K. Székely)

Ez a jellemvonás azonban nem egyedi: amennyire a megvilágítás látni engedi, a víz alatt mindenütt vannak cseppkövek, sőt a bűvárok beszámolóí szerint megtalálhatók az eddig elért legnagyobb vízmélységben is (ILIFFE, 1993). A víz alá került képződmények korára vonatkozóan csak annyi információ áll rendelkezésre (PALMER *et al.*, 1977), hogy a -10 m-ig terjedő mélységből az 1970-es években vett minták 150-195 ezer éves kort eredményeztek, azaz az utolsó előtti glaciális (riss) során keletkeztek.

Összegzés

A rendelkezésre álló ismeretek alapján a tárgyalt bermudai barlangok közös tulajdonságai az alábbiakban összegezhetők:

- bejárataikat felszakadások alkotják,
- üregesedésük a jelenlegi tengerszint alá hatol, ahol brakkvizű tavak töltik ki őket,
- bennük az oldásformák nem jellemzők, tágas, teremszerű üregeiket többnyire omlott felületek határolják,
- a légtér és a víz alatti részek egyaránt gazdagok cseppkövekben.

Mindezek a jellemvonások jól illeszkednek ahhoz a genetikai modellhez, ami szerint a jelenlegi, uralkodóan felharapódzásos morfológiájú barlangok kialakulását a mainál alacsonyabb tengerszint mellett a vadózus zónába került vulkáni alapzat határfelülete mentén lezajlott aláoldási folyamat indította el. Ezek, az ún. karbonáttal fedett szigetekre jellemző és a pleisztocén euszatikus tengerszintingadozásai által vezérelt folyamatok, illetve az azok eredményeként kialakuló barlangok egy olyan tárgykörbe tartoznak, ami a hazai speleológiai irodalomban eddig még nem szerepelt.

IRODALOM

ILIFFE, T. M. (1993): Speleological History of Bermuda. – *Acta Carsologica*, XXII. p. 114-135.

MYLROIE, J. E. – CAREW, J. L. (2000): Speleogenesis in Coastal and Oceanic Settings. – In: *KLIMCHOUK et al. (szerk.): Speleogenesis*. NSS, Huntsville, p. 226-233.

PALMER, A. N. et al. (1977): Geology and origin of the caves of Bermuda. – *Proc. 7th Int. Spel. Congress, Sheffield, UK.*, p. 336-339.

<http://www.tamug.edu/cavebiology/index2.html>