

Kovács Judit —  
Dr. Müller Pál

## A BUDAI-HEGYEK HÉVIZES TEVÉKENYSÉGÉNEK KIALAKULÁSA ÉS NYOMAI

### ÖSSZEFOGLALÁS

*A tanulmány a Budai-hegység hidrotermális tevékenységének — feltételezhetően két különböző eredetű — barlangképző fázisát tárgyalja. Bemutatja a fenti tevékenységek nyomait a barlangokban. Párhuzamot von a hidrotermális Zn-Pb ércesedés termominerális típusa és a hévíz által létrejött barlangképződés között.*

#### A Budai-hegység területén hatott hévizes tevékenység osztályozása és bemutatása

Budapest területén két nagy hévizes fázis különíthető el. A vulkáni eredetű — vastag takaró alatt kialakuló, befojtott tevékenység, és a hő-fluxusból eredő — nyitott cellájú tevékenység.

A két fázis korban is különbözik egymástól. Feltehetően a vulkáni eredetű az öregebb. A leírtaakat csak egy elméleti modellnek tekintjük, mivel mindenre kiterjedő bizonyítékaink nincsenek. A barlangokban található kész formákat kialakító folyamatok valószínű lefolyását elméleti úton próbáljuk leírni.

#### A hévizes tevékenység első fázisa

A hévizes működés első fázisa valószínűleg a vulkáni tevékenység hatására alakult ki. Nyomait két területen találjuk meg.

Az északi, elkovásodott zónát (Szabadság-hegytől —Ezüst-hegyig) a Dunazug-hegység miocén korú andezitje táplálhatta, míg a déli zónát feltehetően (Budaörsötől —a Gellért-hegyig) a Budaörs alatt megismert andezit anyagú vulkáni test. Egyes helyeken lehetséges, hogy a két zóna összekapcsolódik, mint pl. a Bátor-barlang esetében.

Az első fázis idején a Budai-hegység területén vastag kiscelli agyagtakaró alatt helyezkedett el a karsztosodásra alkalmas kőzet. Az északi zónában a Dunazug-hegység biztosan miocén korú vulkanizmusa, a déli zónában pedig Budaörs andezit anyagú vulkáni teste (korára még később visszatérünk) biztosíthatta a hévizes tevékenységhez szükséges hőmérsékletet, illó anyagokat, a környezet kőzeteit átalakító kovaanyagot. Addig a vastag agyagtakaró, (feltételezhetően kb. 1000 m, mivel a lepusztult kiscelli agyag még ma is helyenként 600 m vastag), tehetette lehetővé az irányított áramlás kialakulását

a fedett karsztban, a befojtott anyagtranszportot és a 100 °C-nál magasabb hidrotermális tevékenység kialakulásának lehetőségét (1. ábra).

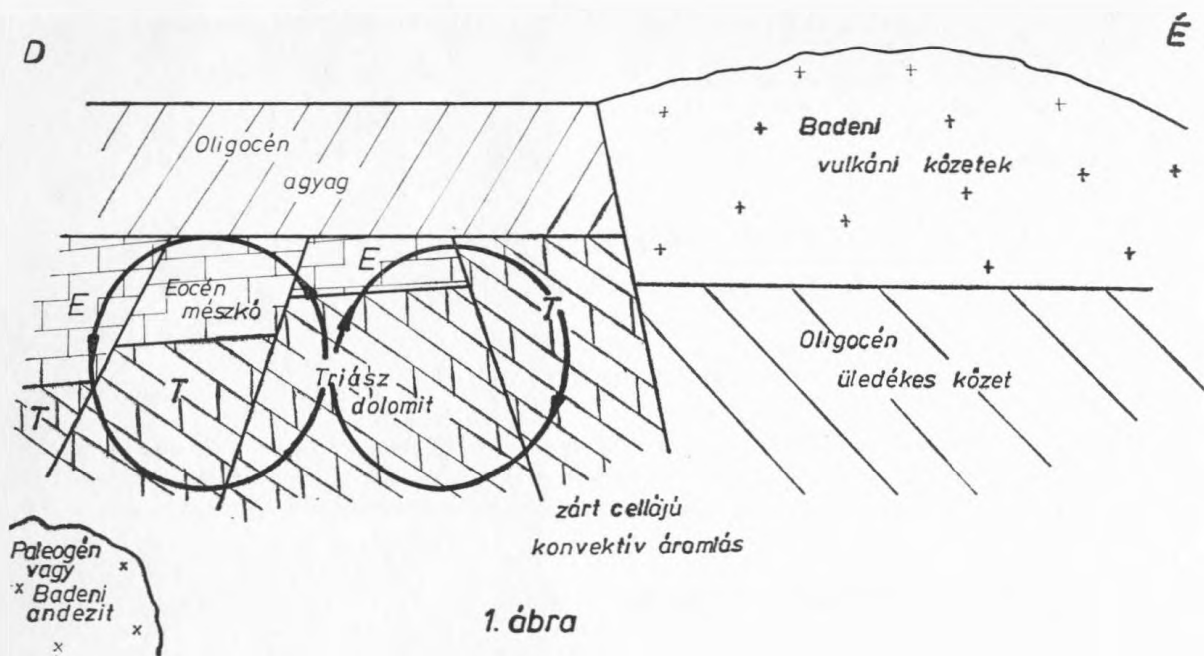
A kiscelli agyagtakaró lepusztulásának idejét elég nagy pontossággal határozhatjuk meg. A miocén vulkanizmussal (középső badeni) feltehetően egyidejűnek vehető a kiemelkedő Budai-hegyeket körülvevő árkokban lerakódó agyagok keletkezési ideje, ezek foraminifera társasága a kiscelli agyag foraminiferáit tartalmazza, annak gyors áthalmozását bizonyítva (Kókay, 1978 szóbeli közlése).

A hévizes tevékenység korát, a hévíz okozta elváltozást szenvedett kőzetek korából feltételezhetjük. Az északi zónában a vulkanizmus nagyrésze bizonyítottan alsó-középső badeni korú. A déli zónában a budaörsi andezit betelepülésről nem lehet eldönteni, hogy a paleogén vagy a badeni vulkanizmus terméke-e (triász dolomit között található). Viszont kovásodást ezen a területen az eocén budai, bryozoás márgán, triász dolomiton kívül a tardi agyagokban is tapasztalhatunk, ez utóbbi oligocén korú, tehát feltehetően ez a vulkanizmus is inkább badeni, esetleg oligocén.

A vulkáni működésből eredő, a vulkáni működés által felmelegített, túlfűtött és a különböző anyagokat (Ba, CO<sub>2</sub>) tartalmazó víz oldó hatására járatok, barlangüregek alakultak ki a kőzetben. A vulkáni eredetű CO<sub>2</sub> nagy szerepet játszott az üregek kialakításában. Az agyaggal való fedés következtében a karsztos kőzetben, zárt cellás konvekciós áramlás alakulhatott ki, mely zárt cella elősegítette a jelentős ásványkiválást a barlangok falán.

#### A vulkáni eredet kimutatható lenne:

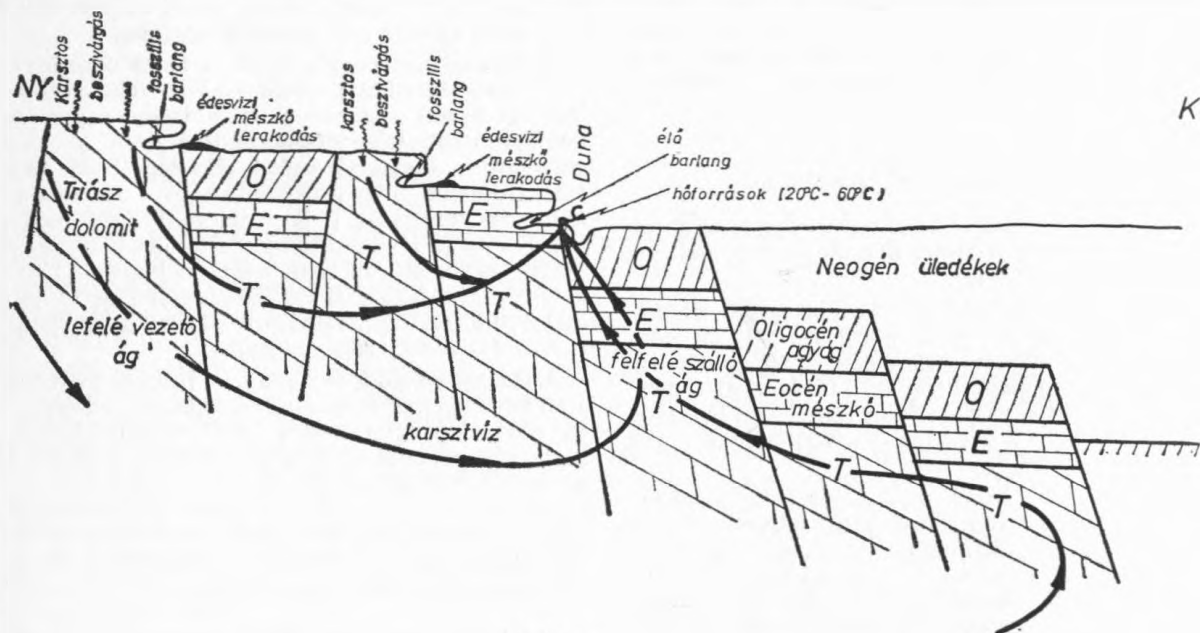
- hőmérsékletmérő ásványok jelenlétével
- a vulkán által szállított elemek kimutatásával
- kalcit és egyéb kristályok izotóp összetételének vizsgálatával



1. ábra

1. ábra. A hévizes tevékenység kialakulásának szkematikus profilja a bádeni emeletben (középső miocén) a Budai-hegység keresztmetszében.

Schematic profile of the development of the hydrothermal activity in the Middle Miocene (Badenian) in the cross-section of the Buda Hills.



2. ábra

2. ábra. A hévizes tevékenység kialakulásának szkematikus profilja a késői pliocén — recens időszakban a Budai-hegység keresztmetszében.

Schematic profile of the development of the hydrothermal activity in the late Pliocene — Recens periode in the cross-section of the Buda Hills.

A zárt cellában áramló melegvíz a karsztos kőzet tektonikus hasadékaik mentén járatokat, örvényüstöket, a felsőbb szinteken esetleg gömbfülkesorozatokat alakíthat ki.

A tektonikus repedéseket hévizes eredetű, jellegzetesen magas hőmérsékleten képződő ásványok tölthetik ki. Ilyen pl. a barit, metacinnabarit, magas hőmérsékleten képződő kalcit. Jellegzetes az anyakőzet (= az a kőzet, amiben a barlang képződött) elkövődése is.

*A hévizes tevékenység  
(nem vulkáni eredetű)  
hőfluxusból eredő második fázisa*

A badeni vulkanizmus után a Budai-hegységben nagy lepusztulás indult meg. Ekkor kezdődött el a terület második nagy felszíni karsztosodási folyamata (az első valószínűleg a felső eocén előtt volt).

A karsztos kőzeteknek valószínűleg nem az egész felszíne volt szabadon, csak a magasabb rögök (Szabadság-, Hárs-hegy, Nagy-Szénás, Pilis és Kutya-hegy) álltak ki az üledékekkel fedett előtérből. Ez a geológiai felépítés, valamint a pannon elejétől beindult kéregkivékonyodási folyamat következtében fellépő magas geotermikus gradiens tette lehetővé a pannon vége felé induló, konvekciós, a karsztból utánpótlódó, hévizes működést (2. ábra).

A kéreg kivékonyodásának és ezzel összefüggő második hévizes fázis kialakulásának korát azért tehetjük a pannon elejére, mivel ezzel a korról kezdődött el az üledékek nagy vastagságban történő felhalmozódása a Nagy Magyar Alföldön. Vagyis a kéreg kivékonyodása következtében a medence fenéke, az üledékképződés ütemével lépést tartva, fokozatosan süllyedt. Így lehetőség volt igen vastag (több 1000 m) üledék felhalmozódására a karsztos medencealjzat felett. A fedetlen karsztos kőzetekben való kapcsolat következtében, a karsztos kőzetekben elnyelődött vizet a tektonikus hasadékok és rétegek nagy mélységekig vezették le, és ott a magas geotermikus gradiens hatására a víz felmelegedett és a gyorsan süllyedő medencealjzaton alkotó meszes, márgás kőzetek metamorfózisából származó CO<sub>2</sub>-t vett fel. Ezután egy felszálló pálya mentén visszatért az erózióbázisra és források alakjában tört a felszínre.

A víz felfelé tartó útja során különböző ásványi anyagokat is kioldott.

A felszínről beszivárgó hideg vízzel vagy kisebb mélységből származó langyos vizekkel érintkezve és keveredve nagy vízszintes vagy közel vízszintes barlangjáratokat, a függőleges hasadékokban pedig gyöngysorszerű gömbfülkeláncokat, a forrásokhoz közel pedig örvényfolyásokat alakíthatott ki.

Az ilyen rendszerben kialakuló hévíz áramlása nem zárt cellájú rendszer, ezért a víz felszínre jut, ott pedig a felszabaduló CO<sub>2</sub> könnyen elszökik. A forrás alakjában távozó víz túltelített oldatként is elvisz anyagot. Erre utalnak a források körül lerakódott édesvízi mészkőképződmények.

**A két hévizes fázis hatásának  
nyomai  
a Budai-hegység barlangjaiban**

Ha megvizsgáljuk a Budai-hegység nagyobb, valószínűleg hévizes eredetű barlangjait (Szemlő-hegyi-, Ferenc-hegyi-, Mátyás-hegyi-, Pál-völgyi-, Bátori-, Molnár J.-barlang); általában mindkét fázis nyomait megtalálhatjuk bennük.

A Ferenc-hegyi-barlang falát helyenként borító barit feltehetően az első fázisban rakódott le, majd a második fázis a jelenlegi járatokat alakította ki, amelynek a barit-telér akadály volt. Ha elképzelésünk igaz, akkor az elkövődött részek a Pál-völgyi- és Mátyás-hegyi-barlangban szintén az első fázis eredménye.

A keveredési zónára jellemző vízszintes járatok kialakulása a Szemlő-hegyi- és a Ferenc-hegyi-barlangban pedig a második fázis hatásának tulajdonítható.

A Martinovics-hegy kisebb üregeiben található kalcitkristályok, melyeknek kristálytani főtengelye a repedések irányával párhuzamos, nagy valószínűséggel az első fázis alatt képződtek.

Azt, hogy melyik barlang, melyik fázis alatt keletkezhetett, úgy tudnánk eldönteni, ha mindkét fázis nyomait végig követnénk a barlangokban. Ilyen alapon a Bátori- és Dorog közelében fekvő Sátor-köpusztai-barlangot inkább az első fázis alakíthatta ki, esetleg a második fázis gyenge hatásával.

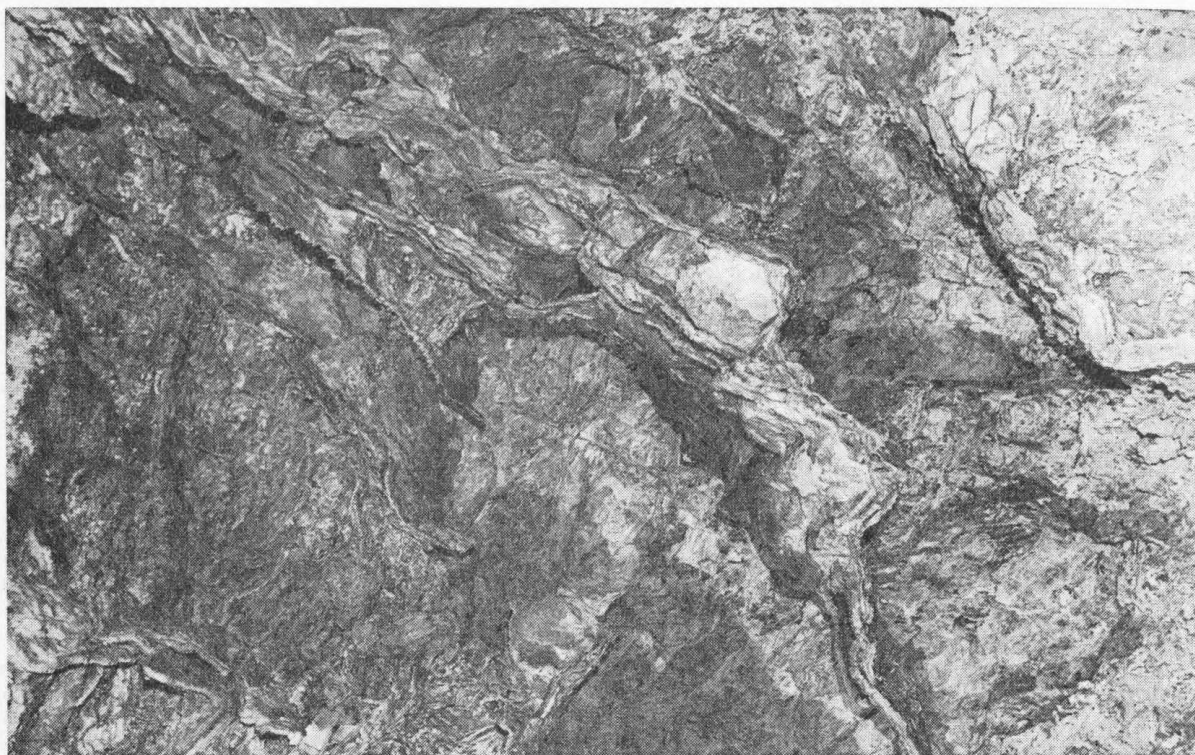
Ezzel szemben a Ferenc-hegyi-, Szemlő-hegyi-, Mátyás-hegyi- ill. Pál-völgyi-barlang kialakításában mindkét fázisnak nagy szerepe lehetett.

*A hidrotermális hatásra létrejövő  
érc- és barlangképződés összehasonlítása,  
a Bátori-barlang limonitos ércesedésének értelmezése*

Arról, hogy hogyan alakulnak ki a hévizes barlangok, csak elképzeléseink lehetnek. Ezeket a hévizes barlangokban ma is megfigyelhető formákból és olyan biztosan hidrotermális ércesedést tartalmazó, meszes üledékekben kialakuló formákból vezethetjük le, melyek hasonlítanak az ércmentes, sokszor nem is vulkáni, hanem a hő-fluxus által felmelegített hévizek által kialakítottakra.

Ha a hidrotermális tevékenység nem jár érc-képződéssel, jobb ha a hidrotermális karszt (=hydrothermal karstic forms) (Kunsky, 1957) kifejezést használjuk, míg érc-képződés esetén termominerális karsztról (=thermomineral karstic forms) beszélünk.

Vegyünk egy példát a tipikus termominerális karszt kialakulására. Ilyen Lengyelországban pl. az Olkusz-bánya Zn-Pb ércesedése, amely mészkő/dolomitoid mészkő határán, az átalakult mészkőben, a hidroterma által kialakított üregekben lerakódott ércesedés (Dzulynski, 1976; Sass-Gustkiewicz, 1975a, 1975b). A hidrotermális gőzök, gázok először átalakították a mészkövet dolomittá, majd, mivel a hidrotermális oldatok hőmérséklete meg-



1. kép. „Box-work” (= „rekeszttség”) alakzatokat tartalmazó omlásos breccsa nyomok a Sátorkőpusztai-barlang alsó, nagy termének mennyezetén, falain.  
(Készítette: Gazdag László 1979.)

haladta a 100 °C-t, két új aprító, breccsásító folyamat kifejlődését segítették elő. Ezek a hidrotermális robbanás (=hydrothermal explosion) és a hidraulikai töredezés (=hydraulic fracturing).

A hidrotermális robbanás (Muffler et al. 1971) oka a víz hirtelen gőzzé való alakulásában keresendő. A hidrotermális robbanások gyakran ún. láncreakcióhoz vezetnek, pl. a nyomás pillanatnyi növekedése folytán az oldatok szinte bepréselődnek a bezáró kőzet repedéseibe, szétfeszítve azokat (Bridgman, 1952; Kents, 1964; Dzułynski, 1976).

A nagy nyomású folyadék által átjárt kőzet, a nyomás hirtelen csökkenése következtében, törmelékké eshet szét. Ezt a jelenséget nevezte Phillips (1972) „hidraulikus töredezésnek” és ez felelős a repedezés és az ún. mozaik breccsa (=mosaic breccia) kialakulásáért.

A bemutatott lengyelországi példa esetében, a fent említett két folyamat által létrejött, omlás (kollapszus) útján keletkezett breccsát — ún. omlásos breccsa (collapse breccia), amit részben annak a kőzetnek a tulajdonságai határoznak meg, amelyből a breccsa kialakul, jelen esetben a mészkőből és az elsődleges dolomitból metaszómatikusan kialakult, kristályos dolomit tulajdonságai (Dzułynski, 1976) — és a fennmaradó üregeket a további hidrotermális oldatok járnak át, alakítják és bennük ércet

raknak le. A szabad oldatfelszín, valamint a gyors vízmozgás (oldatmozgás) következtében pizolitos-, és (a magyarországi, tisztán csak hévizes, ércmentes aragonit-kalcit ásványkiváláshoz hasonlító) lemezes, karfiolra emlékeztető formakincsű ércképződés következhetett be (Dzułynski, 1976).

Ha a fentiek ismeretében vizsgáljuk a hévizesnek tartott magyar barlangokat, sok közvetett ill. közvetlen bizonyítékot találhatunk a barlangok hévizes eredetének igazolására.

A Dorog közelében fekvő Sátorkőpusztai-barlang alsó nagy termében a falakon és a mennyezetén „box-work” (= „rekeszttség”) alakzatokat tartalmazó omlásos breccsanyomokat találunk (1. kép).

A kőzet, amiben a barlang kialakult, felső triász, kemény, nem omladékos, dachsteini mészkő. Igen nehéz tehát elképzelni, hogy viszonylag alacsony hőmérsékleten és nyomáson széttöredezne. Ez csak akkor következhetne be, ha a kőzetet előzőleg különféle oldatok már felpuhították, hidrotermálisan elbontották (Dzułynski, 1976). Mivel ez a dachsteini mészkő eredetileg kemény kőzet — helyenként porlódó részekkel, ami lokálisan elősegíthette a breccsásodást — elsősorban a magas hőmérséklet és nyomás alatt létrejövő töredezés és a túlfűtött gőzök okozta omlásos breccsa alakulhatott ki benne.



2—3. kép. Gazdag gipszkiválások a Sátorkőpusztai-barlangban. (A fotókat készítette: Gazdag László, 1979.)

Mind a Sátorkőpusztai-, mind a Bátori-barlang legjellegzetesebb formái a gömbfülkék, amelyek a melegvíz és a hidegebb kőzet érintkezésekor, szabad vízfelszín kialakulásakor keletkeztek (Müller, 1974), esetleg magában a vízben kialakuló konvekció hatására. A gömbfülkék nagysága valószínűleg a kőzet minőségétől ill. állékonyságától is függ, de erre még nincsenek megfelelő adataink. Ennek vizsgálata további munkát igényel.

Legnagyobb valószínűséggel a gömbfülkék kialakulásában a hévíz oldóhatásszintjének és a felette elhelyezkedő fedőkőzet vastagságának aránya lehet jelentős. Vagyis minél vékonyabb a fedő, annál nagyobb a hőmérséklet különbség a melegvíz és a hideg fal (kőzet) között, és ez által annál gyorsabb a kondenzvíz kiválása, tehát nagyobb az oldás mértéke, vagyis nagyobb átmérőjű gömbfülkék alakulhatnak ki.

A hévízes barlangok ásványkitöltésének milyensége is bizonyíték lehet a hévízes eredetre, pl. az első fázis hőmérsékletmérő ásványainak — barit — jelenléte.

A Bátori-barlang alsóbb szintű gömbfülkéinek falán gazdag „karfiol”-szerű aragonit-kalcit képződményeket találunk. Ezeket annak ellenére, hogy van hidegvízes borsóköképződés is, a képződmények dús és gazdag előfordulása következtében

inkább egy, a gömbfülkék kialakulása utáni időben létrejött, későbbi hévízes karsztvízszint emelkedés következményének tekinthetjük.

A Sátorkőpusztai-barlangban gazdag gipszkiválásokat figyelhetünk meg (2—3. kép).

Régebben a Bátori-barlangban található limonitos ércesedést hidrotermális eredetűnek hitték. Azonban a hidrotermális ércesedés a különböző elemek szulfidos sorozatát jelenti és csak az oxidációs övben találunk oxidos érceket. A Bátori-barlang limonitos ércesedésének hidrotermális eredete ellen szól az a feltételezésünk is, hogy a Bátori-barlang az első hévízes fázis alatt keletkezett. Mivel az első fázist zárt cellájú rendszernek tekintettük, és a zárt cellájú rendszer értelemszerűen redukív környezetet von maga után, a Bátori-barlang ércesedése, nagy valószínűséggel, nem a barlanggal együtt keletkezett. A limonitos ércesedés feltehetően elsődlegesen oxidos képződése (nem pedig az ún. „vaskalap” zónában szulfidból oxiddá válás) mellett szól az a metasomatikus ércesedést teljesen kizáró tény is, hogy nincs elváltozott zóna az érc és a mészkő között. Az ércesedés korát megállapítani igen nehéz, valószínű, hogy az első fázis után történt, hiszen akkor került a felszínre a hárshegyi homokkő.

Feltételezésünk szerint a Bátori-barlang Fe-ércesedése az alábbi módon következhetett be: a felszínről eredő esővíz a vastartalmú homokkővet átmosva a vasat feloldva a mélybe szívargott. A vasat,



vasoxi-hidroxid alakban oldatban tartva, a homokkő/mészkkő határáig vitte. Ott az oldat pH változása következtében kicsapódott, és a homokkő alsó rétegeit is átítatva, a mészkő/homokkő határára ill. két mészkőréteg közé betelepülve, ún. „átlélt” hozott létre, ez a limonitkiválás.

Kovács Judit  
Budapest  
Alvinci u. 14/a  
1022

Dr. Müller Pál  
Budapest  
Káplár u. 11-13.  
1024

#### I R O D A L O M

- ALFÖLDI L.** (1968): A budapesti hévizek általános vízföldtani viszonyai. — Budapest hévizei, pp. 25–45. VITUKI kiadás, Budapest.
- ALFÖLDI L.—LORBERER Á.** (1976): A karsztos hévizek háromdimenziós áramlásának vizsgálata kútadatok alapján. — Hidr. Közl. 56. évf. 10. sz. pp. 433–480.
- BRIDMANN, P. W.** (1952): Studies in large plastic flow and fracture. — Metallurgy and Metallurgical Engineering Series, Mc Graw Book Company, Inc. p. 362.
- DZULEYNSKI, S.** (1976): Hydrothermal Karst and Zn-Pb Sulfides ores. — Rocznik Pol. Tow. Geol. (Ann. Soc. Geol. Pol.) 46, p. 217–230.
- SASS-GUSTKIEWICZ, M.** (1975 a): Stratified sulfide ores in karst cavities of the Olkus Mine (Cracow-Silesian Region, Poland). — Rocznik Pol. Tow. Geol. (Ann. Soc. Geol. Pol.) 45, 1, p. 63–68.
- SASS-GUSTKIEWICZ, M.** (1975 b): Zinc and lead mineralization in collapse breccias of the Olkus Mine (Cracow-Silesian Region, Poland). — Rocznik Pol. Tow. Geol. (Ann. Soc. Geol. Pol.) 45, p. 303–324.
- KENTS, P.** (1964): Special breccias associated with hydrothermal developments in the Andes. — Econ. Geology 59, p. 1551–1563.
- KESSLER, H.** (1956): A karsztos hévforrások utánpótlódásának kérdése. — Hidr. Közl. 36. évf. p. 2.
- KOVÁCS, Gy.** (1976): Combination of geometrical dynamic and statistical models to determine hydraulic conductivity. — Second International IAHR Symposium on Stochastic Hydraulics, Lund Institute of Technology/University of Lund, Lund, Sweden, p. 452–496.
- KUNSKY, J.** (1957): Thermomineral karst and caves of Zbrasov, Northern Moravia. — Sbornik Zemnépisne Ceskoslovenske Spolecnosti, 62, p. 306–351.
- MUFFLER, L. J. P.—WHITE, D. E.—TRUESDELL, A. H.** (1971): Hydrothermal Explosion Craters in Yellowstone National Park. — Geol. Soc. Amer. Bull. 82, p. 723–740.
- MÜLLER, P.** (1971): A metamorf eredetű széndioxid karszt-korroziós hatása. — Karszt és Barlang, II. p. 53–56.
- MÜLLER, P.** (1974): A melegforrás-barlangok és gömbfűlkék keletkezéséről. — Karszt és Barlang, I. p. 7–10.
- Dr. MÜLLER, P.—Dr. SÁRVÁRY, I.** (1977): Some Aspects of Developments in Hungarian Speleology Theories During the Last 10 Years. — Karszt és Barlang, Special Issue, p. 53–60.
- PHILLIPS, W. J.** (1972): Hydraulic Fracturing and Mineralization, J. of the Geol. Society, London, 128, p. 337–359.
- SCHAFARZIK, F.** (1924–26): Budapest Székesfőváros ásványvízforrásainak geológiai jellemzése és grafikus feltüntetése. — Hidr. Közl. 4–6. évf. pp. 14–20.

#### ORIGIN AND TRACES OF HYDROTHERMAL ACTIVITIES IN THE BUDA RANGE

There are several caves within the area of Buda Hills, created by hydrothermal activities. By analysing the various forms of caves as well as the ores and minerals developed due to the hydrothermal activity two different processes can be distinguished having been the driving forces of the development of the hydrothermal activities and the development of the caves of this way. Thus two different thermal activities can be distinguished within the area:

a) the first had volcanic origin and was acting under a considerable covering layer;

b) the second phase can be characterised as an open system in which the thermal flux transported the water from the great depths until the aeration zone and sometimes to the surface.

The two phases of the hydrothermal activities can be separated even in time. According to other geological evidences the volcanic activity was characteristic for the area at the end of the Eocene or at the beginning of the Pliocene periode. The development of some laccolith under the area are estimated to be of this age. There was a second, strong volcanic activity northwards from the area in the Miocene, and it is supposed, that the postvolcanic mechanism associated to this second eruption has developed the thermal flux mentioned above in the Pliocene.

The ores and minerals created by the two phases of the hydrothermal activities are different indicating higher temperature in the cover system, than that has developed in the second one. Even the forms of caves and domes created in the first and second phase respectively differ from each other, because the different circulations excavated different karstic channels. In the paper the marks of the two hydrothermal phases are surveyed and analysed to classify the caves of the area according to their origin.

#### ФОРМИРОВАНИЕ И СЛЕДЫ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТЕРМАЛЬНЫХ ВОД БУДАЙСКИХ ГОР

В этой статье рассматривается стадия образования пещер — предположительно двух различных происхождений — в гидротермальной деятельности Будайских гор. Показываются следы вышеупомянутой деятельности в пещерах. Проводится параллель между термоминеральным типом гидротермального Рь-Тп оруденения и образованием пещер с помощью термальных вод.