

- CHOLNOKY J. 1940: A mésztufa vagy travertinó képződéséről. — *Mat. és Term. Tud. Ért.* 59, pp. 1004—1010.
- FETH J. H.—BARNES I. 1979: Spring Deposited Travertine in eleven Western States. — U. S. Department of the interior Geological Survey.
- JAKUCS L. 1971: A karsztok morfogenetikája. — *Földr. Monográfiák. VIII.* Akad. Kiadó, Bp.
- KOVANDA, J. 1971: Kvartérni vápence Ceskoslovenska. — *Quartärkalke der Tschechoslovakiei. Antropozoikum. 7.* Praga.
- KRIVÁN P. 1964: Erőzióbázis feletti édesvízi mészkőalakulatok földtani vizsgálatának elvi alapjairól. — *Öslénytani Viták.* pp. 13—18.
- LOZEK, V. 1961: Travertines. — *INQUA.* Warszawa pp. 1—19.
- PÉCSI M. 1959: A magyarországi Duna-völgy kialakulása és felszínaktana. — *Földr. Monográfiák. III.* Akad. Kiadó, Bp. pp. 73—135.
- PÉCSI M. 1973: A vértesszőlősi ópaleolit ősembertelep helyének geomorfológiai helyzete és abszolút kora. — *Földr. Közl.* 21, pp. 109—119.
- SCHUEER GY.—SCHWEITZER F. 1970: A karsztvíz eredetű édesvízi mészkövek csoportosítása. — *Földr. Ért.* 19, pp. 356—360.
- SCHUEER GY.—SCHWEITZER F. 1974: Adatok a Balaton-felvidéki forrásüledékek vizsgálatához. *Földr. Ért.* 23, pp. 347—357.
- SCHRÉTER Z. 1953: A Budai- és Gerece hegységperemi édesvízi mészkő előfordulásai. — *MÁFI Évi Jel.* 1951-ről. pp. 111—146.
- STAUB M. 1893: A gánoczi mésztufa lerakódás flórája. — *Földt. Közl.* 23, pp. 162—197.
- SZENTES F. és mtsai. 1968: Magyarázó Magyarország 200 000-es földtani térképsorozatához. 2—34. — I. Tatabánya. — *MÁFI kiadvány, Budapest, 123 p.*
- SZLABOCZKY P. 1982: Jelentés a Budakalászi édesvízi mészkő előfordulás részletes fázisú kutatásáról. — *Kézirat. MÁFI Adattár.*
- VADÁS E. 1955: Elemző földtan. — Akad. Kiadó, Bp.
- VITÁLIS I. 1911: A balatonvidéki bazaltok. — *A Balaton Tud. Tanulm. Eredm. I. köt. Függelék II. rész.* 169 p.
- VITÁLIS GY.—HEGYI I.-né 1982: Adatok a Budapest térségi édesvízi mészkövek genetikájához. — *Hidrológiai Közl.* 62, pp. 73—82.
- American Geological Institute. 1962: Dictionary of geological terms. Dolphin Reference Booc. 360. p.

## AZ ÉDESVÍZI MÉSzkÖVEK KELETKEZÉSKÖRÜLMÉNYEI ÉS KIFEJLŐDÉSFORMÁI

DR. SCHEUER GYULA—SCHWEITZER FERENC

### I. Bevezetés

Magyarországon túlnyomó részben a karsztos hegységekhez vagy hegység-részekhez kapcsolódva nagyon gyakoriak az édesvízi mészkövek. A kataszterezés szerint az önálló előfordulások száma meghaladja az ötszázat. Egyes hegységeknél kiemelkedő jelentőségűek régészeti, faunisztikai és felszínfejlődési folyamatok megismerése szempontjából. Keletkezésük általában a karszt és a karsztos hévforrások lerakódásainak tekinthetők.

PÉCSI M. szakmai irányításával és támogatásával több mint egy évtizede folytak megfigyelések és kutatások a hazai édesvízi mészkövekkel kapcsolatosan, amelyek a korábbi ismereteket kronológiai, geomorfológiai, paleoklimatológiai és paleohidrogeológiai vonatkozásban egyaránt továbbfejlesztették.

Az édesvízi mészkövek nemcsak hazánkban gyakoriak, hanem a környező országokban is, sőt az egész világon. Pl. Csehszlovákiában az önálló előfordulá-

sok száma meghaladja az ezret (J. KOVANDA 1971.). Több recens édesvízi mészkőelőfordulás világhírű és természeti ritkaság (USA: Yellowstone Park, Jugoszláviában Plitvice, Törökországban pedig Pamukkale).

A hazai édesvízi mészkövek tanulmányozása alapján megállapítható volt, hogy különböző típusú édesvízi mészkőfeleségek vannak. Továbbá igen nagyfokú változékonyság figyelhető meg, amely más kőzetfeleségeknél nem, vagy csak nagyon ritkán tapasztalható. Hol kemény, tömör, rétegzetlen, hol laza, rétegzett stb. vagy közbetelepülő üledékek tagolják. Ez összefüggésbe hozható a kőzetet lerakó források genetikai viszonyaival, továbbá a forrásvíz kémiai összetételével, főleg az oldott kalcium mennyiségével, a források geomorfológiai helyzetével és a környezeti adottságokkal.

Ahhoz, hogy a rendkívül változatos kifejlődésű és korú édesvízi mészkövek-nél tapasztalható jelenségeket helyesen értelmezzük és magyarázzuk, tanulmányoztuk a hazai és a környező országok recens édesvízi mészkőelőfordulásait, közvetlenül megfigyelve és értelmezve egyes bonyolult kifejlődésformákat és az ezeket kiváltó okokat. Továbbá összefüggést kerestünk a mészakumuláció — karbonátdinamika — és a forrásvizek fizikai-kémiai tulajdonságai között, valamint a mészkőképződés és a források aktivitása, ill. az éghajlati adottságok kapcsolatára.

## 2. Az édesvízi mészkőösszletek képződésének körülményei

### 2.1. Geológiai és vízföldtani adottságok

#### 2.1.1. A szárazföldi karbonátos üledékképződés és mészjelhalmozódások

Az édesvízi mészkövek a szárazföldi üledékek egyik nagy csoportját alkotják. Ezen belül megkülönböztethetők:

1. Hasadékkitöltések és -bevonatok;
2. Barlangi karbonátszedimentek;
3. Forráslerakódások;
4. Állóvízben (lagúna, tó, mocsár) képződött karbonátos kőzetek;
5. Folyóvízben képződött mészkövek.

Ezeknek az üledékeknek számos változata fordul elő a természetben. Keletkezésük különböző genetikai adottságokra vezethető vissza. A felsorolt üledékcsoporton belül ez alkalommal kizárólag csak azokkal kívánunk foglalkozni, amelyek keletkezése, közvetve vagy közvetlenül, forrásműködéssel áll kapcsolatban. Vagyis ahol az édesvízi mészkövek anyagát a felszín alatti vizek oldották ki a tározó kőzetekből és hozták magukkal a felszínre, s ott meghatározott fizikai-kémiai folyamatok hatására ismét kicsapódtak, minőségileg és kifejlődésileg új kőzettípust hozva létre.

#### 2.1.2. Az édesvízi mészkövek keletkezése és osztályozásuk. Az édesvízi mészkövek keletkezésének fizikai és kémiai folyamata

Az édesvízi mészkő meghatározott kémiai és fizikai feltételek között keletkezik. E dolgozat keretében a mészüledékek keletkezésének részletes vizsgálata nem célunk. Ezért csak röviden vázoljuk a mészkiválás fizikai és kémiai folyamatát a fontosabb irodalmi adatok alapján. (F. BAUER 1969, G. BEHM BLANKE 1959, A. BÖGLI 1978, JAKUCS L. 1971).

A vízben a kalciumkarbonát kiválása előtt egy  $\text{Ca}(\text{CO}_3)_2 + \text{H}_2\text{O}$  egyensúlyi rendszer áll fenn, amely ha valamilyen oknál fogva megbomlik, mészkiválás indul meg. Ilyen egyensúlyváltozást számos tényező okozhat. Ezek a következők:

- a) hőmérsékletváltozás (-emelkedés);
- b) koncentrációváltozás;
- c) vízmozgásváltozás (vizesés, vízsebesség-növekedés);
- d) növények asszimilációja;
- e) nyomásváltozás (-csökkenés).

a) Ha a víz hőmérséklete emelkedik, akkor csökken a víz  $\text{CO}_2$  oldóképessége, ezért a hőmérsékletemelkedéssel arányosan  $\text{CO}_2$  gáz távozik el a vízből, ami a korábbi egyensúly megbomlásához vezet, és az eltávozott gáz mennyiségével arányosan kalciumkarbonát válik ki. Ezzel magyarázható, hogy a mészkiválásoknál évszakonkénti változások is megfigyelhetők. Télen a kicsapódás mértéke és sebessége kisebb, mert a víz gyorsan lehűl, így a  $\text{CO}_2$  jobban tud oldódni a vízben, mint nyáron. Ekkor vékony, tömör és kemény édesvízi mészkő képződik. Nyáron ezzel ellentétes folyamat zajlik le, mert ekkor a víz hőmérséklete emelkedik, a  $\text{CO}_2$  pedig gyorsabban tud távozni, ami a nagyobb kiválást segíti elő. Tehát nyáron vastagabb réteg képződik, mint télen.

b) Amennyiben koncentrációváltozás történik a víznél, amely miatt  $\text{CO}_2$  távozik el, szintén mészkiválás következik be. Ilyen koncentrációváltozást okoz legtöbb esetben a párolgás. A víz felülete a párolgás hatására túltelítetté válik és vékony karbonáthártya keletkezik, amely lassan lesüllyed, helyet adva a következő képződésének. Ilyen jellegű mészkiválásnak évszakos, sőt napszakos változása is kimutatható. Nyáron pl. a magas hőmérséklet miatti erőteljes párolgás hatására a mészkiválás igen jelentős, míg télen, amikor a párolgás kicsi vagy egyáltalán nincs, a kicsapódás minimális, esetleg megszűnik. Napszakos ingadozást okoz a kiválásban a nappali és éjjeli párolgáskülönbség is.

c) Vízmozgásváltozás is  $\text{CO}_2$  veszteséget okoz, továbbá a vízsebesség-növekedés, a vizesés, az ütközés, a hirtelen irányváltozás és a hullámozás. Ezzel magyarázható, hogy a vizeséseknél vagy gyors vízmozgásnál intenzívebb karbonátfelhalmozódás tapasztalható. Évszakoktól függetlenül hat. A lerakódás intenzitását, ill. változását a források vízhozamingadozásai befolyásolják döntő mértékben.

d) A növények asszimilációja is felborítja a kémiai egyensúlyt, mert az életműködésükhöz szükséges  $\text{CO}_2$ -t a vizekből veszik fel. Ennek következtében karbonát-kiválás megy végbe a növényekkel benőtt vizeknél is. Többnyire mohák és algák, de nád és egyéb vízinövények is aktívan elősegítik asszimilációjukkal a mészfelhalmozódást. A növények  $\text{CO}_2$  felhasználása epizodikus, mert télen a hazai éghajlati adottságok között szünetel. Ezért hatása csak a vegetáció időszakában érvényesül. Természetesen olyan éghajlatú területeken, ahol a vegetáció asszimilációja állandóan ható tényező, ott folyamatos mészakumulációt segít elő.

e) A nyomáscsökkenés is  $\text{CO}_2$  eltávozást okoz. A mélyből származó vizeknél a nagyobb nyomásnak megfelelő kémiai egyensúlyi állapot van. A felszínre lépéskor ez megszűnik, és a vízben megindul az új nyomáshelyzetnek megfelelő egyensúlyi állapot kialakulása. A nyomáscsökkenés hatására a széndioxid eltávozik a vízből, és ennek következtében a forrásfeltörés környezetében mészkiválás lép fel.

Az előzőekben felsorolt mészkiválást okozó hatótényezők térben és időben nem egyforma mértékben segítik elő a mészfelhalmozódást. Az előfordulások létrehozásában hol az egyik, hol a másik játszik döntő szerepet. Így pl. a tavi — mocsári mészkiválásnál a párolgás, a koncentrációváltozás és a növények asszimilációja a fő hatótényező, viszont a folyóvízi — völgyi előfordulásoknál a vízsebességváltozás, a vizesések következtében bekövetkezett CO<sub>2</sub> veszteségnek köszönhető a karbonátkiválás.

### 2.1.3. Az édesvízi mészköveket lerakó források és vizek vízföldtani viszonyai

Az édesvízi mészköveket nagyon különböző genetikájú források rakhatják le (SCHEUER GY. — SCHWEITZER F. 1970, 1974). A forrásokra jellemző főbb vízföldtani adottságokat az 1. táblázatban foglaltuk össze, figyelembe véve mindazokat a meghatározó tényezőket, amelyek valamilyen formában befolyásolják vagy befolyásolhatják az édesvízi mészkő képződését. Ilyen tényezőknek tekintettük a vízhozamot, a hidrodinamikai adottságokat, az erózióbázishoz viszonyított kilépést, a víz eredetét, a fakadási körülményeket és annak morfológiai viszonyait. A táblázatban foglaltakhoz kiegészítést fűzni csak a víz eredete, származása részhez kívánunk tenni. *Primér karsztvizeken* értjük azokat a hideg vizeket, amelyek karsztos hegységben lépnek a felszínre és más típusú vizekkel szemfíféle kapcsolatuk nincs. *Szekundér karsztvizeknek* azokat a vizeket tekintettük, amelyek nem közvetlenül a karbonátos kőzetből lépnek a felszínre, hanem valamilyen közvetítő üledéken keresztül, de a víz származásilag karsztvíz. *Összetett vizek* azok, amelyek két eltérő vagy hasonló vizek keveredéséből jönnek létre. Ilyen összetett vizek a langyos *karsztos* hévizek, amelyek egy meleg, oldott sókban gazdag termálvíz és egy hideg karsztvíz keveredéséből jön létre (pl. Kácsi-források). A *poligenetikus vizek* pedig gázosak és többféle kialakulási fázison keresztül keletkeztek. Ásványi sótartalmuk rendszerint magas (2000 mg/l felett).

Továbbá statisztikusan feldolgoztuk több száz édesvízi mészkövet lerakó forrás víztartó kőzetének előfordulási gyakoriságát (1. ábra). Ebből megállapítható, hogy a domináns víztartó kőzet a mészkő és a dolomit, de egyéb kőzetekből fakadó források is jelentős számban vannak, így pl. homokkőből, bazaltból stb. Ezért levonható az a következtetés, hogy nem csak a karbonátos kőzetekből származó vizek raknak le édesvízi mészkövet, hanem egyéb kőzetekből fakadó — nem karsztvizek — források is. Tehát a mészlerakó források nem szűkíthetők le csak a karsztvizekre.

### 2.1.4. Az édesvízi mészköveket lerakó források és vizek hőmérséklete s kémiai összetételük

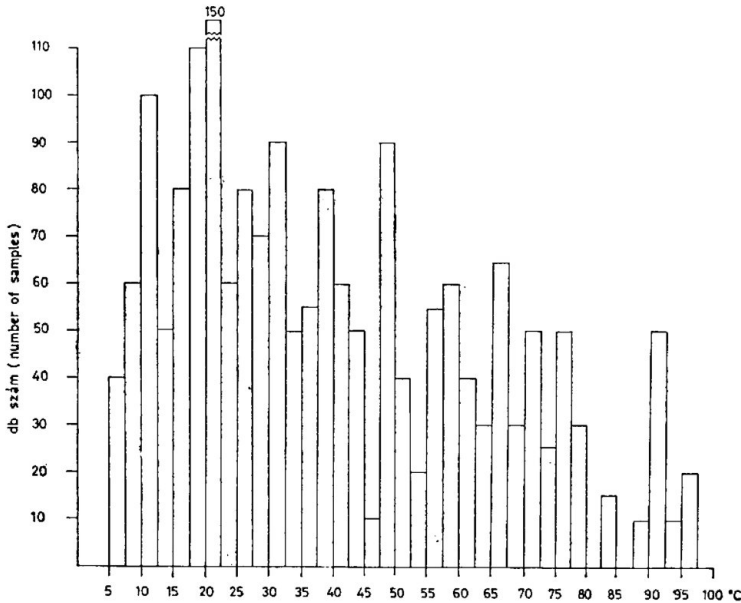
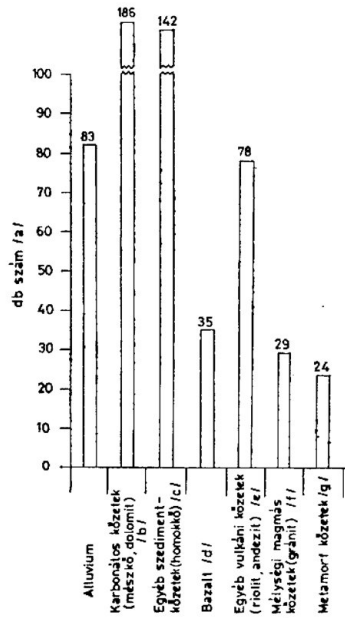
A forrásokra vonatkozóan több ezer hőmérsékleti és vízkémiai elemzést gyűjtöttünk ki. Ezek alapján állítottuk össze a 2. táblázatot. Megállapítható, hogy víz hőfok, kémiai adottságok és gáztartalom tekintetében nagy változatosság figyelhető meg (2. ábra). Hidegvízű forrásoktól (Borszék 6–7 C°) kezdve különböző hőmérsékleti értékeken keresztül egészen a forróig (Hammam Meskoutin 98 C°, 1. kép) mindenféle víz hőfok előfordul.

A források oldottanyag-mennyisége és kémiai összetétele vonatkozásában is nagy változatosság mutatható ki. A lerakódási képesség, ill. hajlam azonban a megfigyelések szerint az egyszerű és összetett hidrogénkarbonátos vizeknél a

**Fig. 1.** The distribution of springs depositing travertine by aquifers, based on the processing of data of more than 400 cases

a — number of samples; b — calcareous rocks (limestone, dolomit); c — other sedimentary rocks (sandstone); d — other volcanic rocks (rhyolite, andesite); f — igneous rocks (granite) g — metamorphic rocks

1. ábra. Az édesvízi mészkövet lerakó források tározó kőzet szerinti megoszlása több mint 400 eset feldolgozása alapján



**Fig. 2.** The distribution of springs depositing travertine by their temperatures, based on temperature data from more than 1500 independent springs

2. ábra. Az édesvízi mészkövet lerakó források hőmérséklet szerinti megoszlása több mint 1500 önálló forrás hőmérsékletének figyelembevételével

ROMÁNIA /m/	SZLOVÁKIA /n/	USA	SZOVJETUNIO /p/	Hely /a/	Előfordulás /b/	Na+K mg/l	Mg <sup>++</sup> mg/l	Ca <sup>++</sup> mg/l	SO <sub>4</sub> <sup>==</sup> mg/l	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l	Cl <sup>-</sup> mg/l	SiO <sub>2</sub> mg/l	Száraz anyag /c/	CO <sub>2</sub> /d/	CO <sub>2</sub> /e/
SZENTGÖRÖK- FORRÓ	2453	115	317	49	4355	1900							636	13	
KISKALÁN	36	43	174	23	678	19							117	29	
BORSZÉK Kossuth-forrás	305	758	457	5	3654	78							1986	75	
SZÁNTÓ	726	113	378	198	2882	213	266	956	20						
ORFŐ	1026	139	446	536	3039	549	193	1460	28						
RUSZSICH Füredi forrás /k/	55,9	109,4	393,2	372	1384	214	17,5	360	22						
Butte-forrás	206	119	218	23	1180	224	136								
Yellowstone Kamchatka forrás /l/	60	63	232	61	1249	31	33								
Yellowstone Kamchatka forrás /m/	181	73	307	439	628	179	517								
KAMCHATKA forrás /g/	67	139	95	113	915	59	113								
YUNOSOVSKI- forrás /f/	685	70,5	167	446	1122	502	217								
Yellowstone forrás /j/	1386	170	392	50	4840	365	148								
SZIBERIA forrás /h/	1386	170	392	50	4840	365	148								

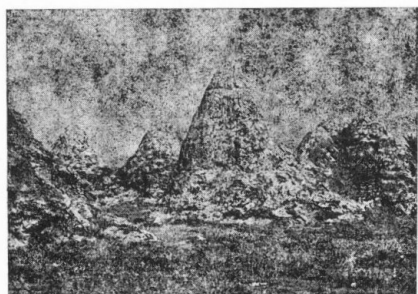
Fig. 3. Chemical composition of some well-known travertine depositing springs  
 a — Site; b — Name of occurrence; c — Free CO<sub>2</sub>; d — Water temperature; e — Siberia — Travertine spring; f — Kamchatka — Timonovsky spring; g — Kamchatka — Medvezhy spring; h — Clepatra spring; i — Butte spring; j — Kamo spring; k — Ruzsbach Bath — Crater spring; l — Kossuth spring; m — Romania; n — Slovakia; o — New Zealand; p — Soviet Union

3. ábra. Néhány ismert recens édesvízi mészkövet lerakó forrás kémiai összetétele

OLDOTT ANYAG (DISSOLVED MATTER)	MAXIMUM mg/l	MINIMUM mg/l	ÁTLAG (AVERAGE) mg/l
Ca	612	14	149
Mg	335	1	40
Na + K	3,520	14	340
HCO <sub>3</sub>	8,370	92	780
SO <sub>4</sub>	1,730	5	409
Cl	2,327	3	211
VÍZHŐMÉRSÉKLET (WATER TEMPERATURE) °C	98	5	37

Fig. 4. Chemical compositions and temperatures of the 314 travertine depositing springs in the United States  
 4. ábra. Az Egyesült Államokban fakadó 314 db édesvízi mészkövet lerakó forrás kémiai összetételének és hőmérsékletének megoszlása

legnagyobb. Fokozza a vizek oldott sótartalmát, ha ezek szénadtartalma is magas. A szulfátos és kloridos vizek közül csak olyan típusok raknak le, amelyek domináns kationokon és anionokon kívül jelentős mennyiségben tartalmaznak még kalciumkarbonátot is. Ezek rendszerint származásilag poligenetikus vizek. A legszebb és legnagyobb előfordulásokat a hideg karsztvizeknél találjuk (házánkban a Szinva, Szalajka, Szlovákiában az Aji, Jugoszláviában az Una, a Plitvicei-tavak, a Krka). Termális karsztvizek rakták le a gercesei és a budai-hegységi travertinókat, továbbá a szénadtartalmú karsztvizek a yellowstoni, pamukkalei világhírű előfordulásokat. A 3. ábrán néhány világhírű és neves édesvízi mészkövet lerakó forrás kémiai összetételét tüntettük fel. A 4. ábrán az USA Ny-i részén fakadó, recens karbonátanyagot felhalmozó for-



Pict. 1. Spring cones built by spring waters of high mineral salt contents and temperatures at Hammam Meskoutin, Algeria (by BOGÁR, S.)

1. kép. Magas ásványisó tartalmú és hőmérsékletű források által létrehozott forráskúpok Algériában. Hammam Meskoutinnál (Fotó: BOGÁR S.)

rások kémiai összetételének vízkémiai adatait közöljük, és ebből is látható, hogy milyen szélsőséges összetételű vizek képesek üledékfelhalmozásra. Extrem esetekben egészen lágy vizek is raknak le édesvízi mészkövet. Az édesvízi mészkő *lolus typicus*a Róma mellett, Tivolinál van. Ott ma is mészben gazdag, kénes források törnek fel. Összehasonlításként közöljük ezeknek a forrásoknak a kémiai összetételét, az egri forrásokéval együtt. (5. ábra). A két elemzés eredményéből látható, hogy a tivoli források mésztartalma több mint hatszorosa az egrinek. Ezért a felhalmozódási képesség jelentősen meghaladja az egrit. Így potenciálisan nagyobb és gyorsabb felhalmozódás mehet végbe a tivoli forrásoknál, ha a környezeti feltételek ezt lehetővé teszik, ill. elősegítik. Ezt igazolják a nagy és kiterjedt édesvízi mészkőelőfordulások a környéken. Természetesen nem állapítható meg a források kalciumkarbonát-tartalma és az akkumuláció között ilyen szoros kapcsolat, mert a környezeti feltételek (morfológiai helyzet, éghajlat, növényzet stb.) elősegíthetik vagy gátolhatják a mészfelhalmozódást. Így előadódhat olyan helyzet, hogy alacsonyabb mésztartalmú víz nagyobb előfordulást hoz létre, mint a magasabb, ahol a környezeti adottságok nem olyan kedvezők.

	EGRI TŰKÖRFORRÁS (TŰKÖRFORRÁS AT EGER)			TIVOLI ALBULE FORRÁSOK (TIVOLI ALBULE SPRINGS)		
	mg/l	mgce	ee%	mg/l	mgce	ee%
Na+K	22,5	0,98	13,8	128,3	5,86	12,9
Ca	90,0	4,49	63,4	590,6	29,55	65,2
Mg	20,5	1,61	22,7	119,7	9,91	21,8
Cl	8,0	0,22	3,12	193,02	5,43	12,1
SO <sub>4</sub>	31,6	0,65	9,17	755,8	15,7	35,2
HCO <sub>3</sub>	378,2	6,2	87,57	1433,4	23,5	52,6
SiO <sub>2</sub>	12,5			19,4		
SZABAD (FREE) CO <sub>2</sub>	93,3			784,9		
H <sub>2</sub> S				14,82		
pH	6,95			6,5		
VIZHŐMÉRSÉKLET (WATER TEMPERATURE) °C		30,9		22°		

Fig. 5. Comparison of water composition data for the Tivoli springs in Italy and the ones at Eger  
5. ábra. Az egri és az olaszországi tivoli források vízösszetételének összehasonlító adatai

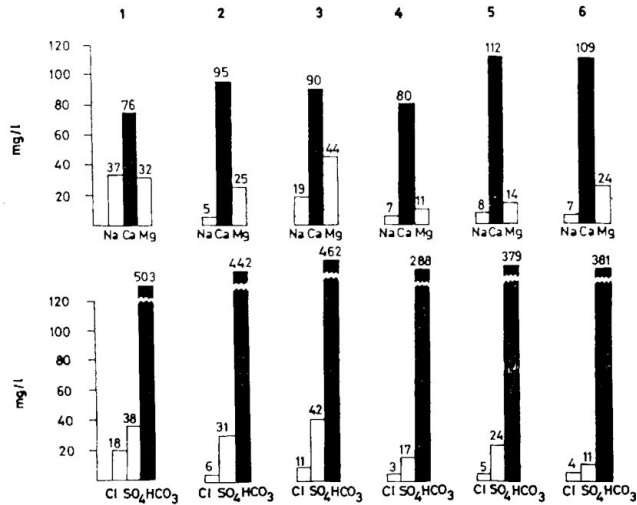


Fig. 6. Average concentrations of the six major elements in the Hungarian cold karst waters (below 12 °C) by hydrogeological regions in mg per l.

1. Villány Mountains; 2. Mecsek Mountains, 3. Transdanubian Mountains, 4. Bükk Mountains, 5. Aggtelek Karst, 6. Szendrő—Szalonna Karst

6. ábra. A hazai hideg karsztvizek (12 °C) hat fő elemének vízföldtani tájegységenkénti koncentráció-átlagai mg/l-ben 1. Villányi-hegység; 2. Mecsek; 3. Dunántúli-középhegység; 4. Bükk hegység; 5. Aggteleki-karszt; 6. Szendrő—Szalonnai karsztvidék

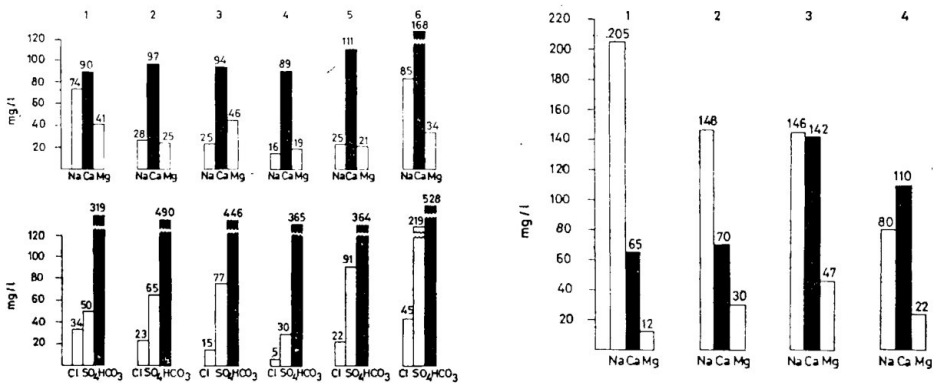


Fig. 7. Average concentrations of the six major elements in the Hungarian lukewarm karst waters (below 35 °C) by hydrogeological regions in mg per l.

7. ábra. Langyos karsztvizek (35 °C-ig) hat fő elemének vízföldtani tájegységenkénti koncentráció-átlaga mg/l-ben

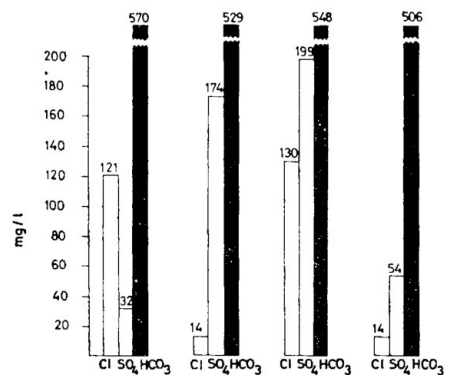


Fig. 8. Average concentrations of the principal components of warm karst waters (above 35 °C) by hydrogeological regions in mg per l.

8. ábra. Meleg karsztvizek (35 °C feletti) fő elegyrészeinek vízföldtani tájegység szerinti koncentráció-átlaga mg/l-ben

A hazai karsztvizek nem tartoznak a magas oldott sótartalmú vizek közé. Statisztikusan feldolgoztuk a rendelkezésre álló több ezer vízvizsgálati eredményt, három csoportra osztva. A hideg vizek (12 C°-ig) összetételét egyes hegységekre bontva a 6. ábrán tüntettük fel. A 7. ábrán a langyos, a 8. ábrán pedig a meleg és forró vizek összetételét mutatjuk be. Az összehasonlítás alapján a hideg karsztvizeknél határozott különbség mutatható ki a dunántúli és az ÉK-i országrész tájegységei között. A langyos karsztvizeknél a hőmérséklet emelkedésével nő a vizek oldott sótartalma. De ezt a növekedést döntően nem a fő elegyrészek (Ca, Mg, HCO<sub>3</sub>), hanem a hideg karsztvizeknél alárendelt szerepet játszó Na, Cl, SO<sub>4</sub> ionok mennyiségének fokozódása okozza. A meleg karsztvizeknél tovább fokozódik az oldott sótartalom, és karsztvízföldtani tájegységenkénti jelleg válik uralkodóvá. Nem zárható ki annak lehetősége, hogy a pliocénban vagy a pleisztocénban nem voltak-e mások a kémiai adottságok és vízhőmérsékletek, mint ma a termális karsztforrásoknál. A mai viszonyok a jelenlegi adottságoknak megfelelő hő- és vízháztartási egyensúlyt fejeznek ki. Amennyiben ennek egyik tényezője, pl. a vízháztartás-vízutánpótlódás megváltozik, akkor ez magával hozza a hőmérsékletváltozást is. Így — ha a tápterületen csökken a beszivárgás — a kisebb mennyiségű dinamikus készlet, de a változatlan statikus készlet is jobban felmelegszik azonos mennyiségű hóáramot feltételezve, miután az érkező hó elszállításában kisebb mennyiségű víz vesz részt. Az ezekre az éghajlati hatásokra visszavezethető hőmérsékletváltozások kihatottak a karsztos termálvizek kémiai összetételére is, mert a víz nemcsak a kőzetek hőmérsékletét veszi át és szállítja el a hőt, hanem a víz és a kőzet között vegyi reakció játszódik le. Ha a víz a víztartókban hosszabb ideig tartózkodik, akkor a kőzetből több alkotórészt vesz fel, oldott sókban jobban feldúsul, amit még elősegít a hőmérsékletemelkedés is. Ha rövidebb idő áll rendelkezésre a vegyi reakcióra, akkor alacsonyabb lesz az oldott sók mennyisége is. Tehát a vízkörforgás sebessége határozza meg általában a kémiai összetételt is. Így, ha a tápterületen a beszivárgás csökken, akkor a körforgás sebessége is csökken, és oldott sókban dúsabb lesz a víz az egész rendszerben. Amennyiben növekszik a beszivárgó víz mennyisége a tápterületen, mert az éghajlat megváltozott, akkor első lépésben e töményebb víz kerül a felszínre, vagyis ilyenkor megnövekszik a források üledéklerakó hajlama, mert több kalciumkarbonátot tartalmaz a víz, azután elkezd csökkenni az új egyensúlyi állapot kialakulásáig, amikor egy meghatározott szinten stabilizálódik. Ezért feltételezhető, hogy földtani időméretekben a termális karsztforrások kémiai összetétele változik, így pl. az egykori egri források kémiai jellegben ugyan egyeztek a maiakkal, de a kationok és anionok mennyiségi vonatkozásában eltérhettek.

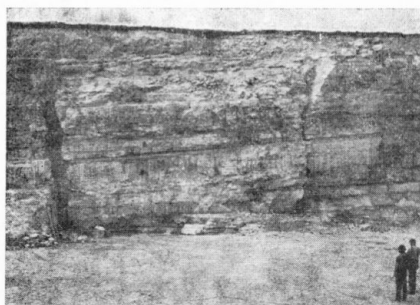
### 3. Az édesvízi mészkövek képződésének geomorfológiai viszonyai

Az édesvízi mészköveket lerakó források kilépési helyeinek eltérő geomorfológiai viszonyai miatt a mészkiválások eltérő geomorfológiai szinteken történhetnek. Így pl. *állóvízben, folyóvízben, száraz térszíneken* — alacsony teraszokon, tavi színlőkön, tengeri abrázíós felszíneken, deráziós lépcsőkön, hegylábi felszíneken stb. — és édesvízi mészkőben képződött barlangokban meg járatokban, amelyek már átmenetet mutatnak a barlangi kiválások felé.

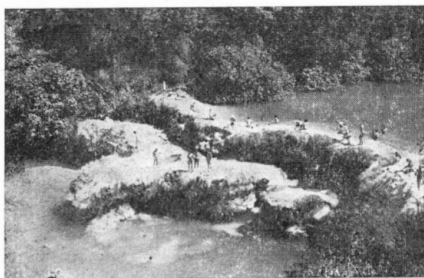
3.1. *Állóvizekben képződött édesvízi mészkövek.* Ide tartoznak a *lagúnában, tóban vagy mocsárban* képződött édesvízi mészkövek. Ilyen típusú lerakódások abban az esetben jönnek létre, ha az állóvizeket olyan források táplálják, amelyek közvetlenül ezekben fakadnak (fenéken) vagy vizük befolyik. Így a kivált karbonátanyag túlnyomó részben a mélyből felhozott oldatokból származik (2. kép).

3.2. *Folyóvízben képződött édesvízi mészkövek.* Ebbe a csoportba azok az édesvízi mészkövek tartoznak, amelyeket folyók vagy patakok vizei raktak le. A karsztforrások táplálta vízfolyásoknál völgyük egyes szakaszain olyan mészkiválásból eredő gátak, gátrendszerek képződtek (3. kép), amelyek elgátolják a folyók medrét és ezek mögött kisebb-nagyobb tavakká duzzad vissza a víz. Az édesvízi mészkőgátakon keresztül pedig zúgókon, vízeséseken hullik le a víz, s ott változatos és formagazdag édesvízi mészkövek képződtek.

3.3. *Szárazföldi (szupraterresztrikus) édesvízi mészkövek.* Ezek tekinthetők a legtipusosabb forráskiválásoknak, mert túlnyomó részben a forrásfeltörési helyek környezetében, geomorfológiai szinteken halmozódtak fel. Egyes forrásoknál hatalmas kúpok keletkeztek (100–200 m átmérőjű, 80 m magasságú), más-hol pedig, a vízkilépés helyétől függően, a forrás alatti lejtőkön rakódott le az édesvízi mészkő. Legismertebb és legszebb alakulatok az ún. tetarata gátak és medencék, amelyeknek számos típusa és formája különböztethető meg. Ebbe a típusba tartoznak a Yellowstone parkbeli Mammut- és a törökországi pamukkalei forrás világhírű lerakódásai (4. kép).



Pict. 2. Typical lacustric travertine at Budakalász  
2. kép. Jellemzőes forrástavi édesvízi mészkőösszet Budakalásznál



Pict. 3. Travertine dams on the Krka river, Yugoslavia  
3. kép. A jugoszláviai Krka-folyó édesvízi mészkőgátjai



Pict. 4. Tetarata dams on slopes at the Pamukkale, springs, Turkey  
4. kép. Lejtőn képződött tetarata gátak a törökországi pamukkalei forrásoknál

3.4. *Felszín alatti mészkiválások.* Az édesvízi mészkövekben primér és szekundér eredetű üregek, járatok, barlangok képződtek, ill. képződnek. A *primér formák* közé tartoznak az ún. beboltozódásos üregek, amelyeket tufabarlangokként említ az irodalom (JAKUCS L. 1971, A. BÖGLI 1978). Ezek nem oldódással keletkeztek, hanem a gyors édesvízi mészképződés során jöttek létre olyan formában, hogy egyes helyeken az átboltozódás révén kisebb-nagyobb részek kimaradtak az üledékképződésből és fokozatosan bezárultak. A legismertebb ilyen hazai barlang Lillafürednél van. A *szekundér eredetű* üregek már



Pict. 5. Infilling of vaulted hollows in the travertine series of Vértesszőlös, Hungary

5. kép. Az édesvízi mészkőösszletben képződött beboltozódásos üregek kitöltése Vértesszőlösnél

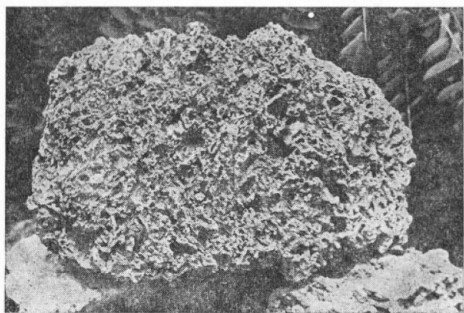
oldódás útján keletkeztek, mégpedig a már lerakódott édesvízi mészkőben a feltörő forrásvizek oldása révén. Ismertebbek a budai várhegybeli barlangok. Ezekben a különböző genetikájú üregekben, karsztos járatokban a vizek a barlangokban előforduló, azokkal egyező kalciumkarbonát-kiválásokat és -lerakódásokat hoztak létre. Ismeretesek cseppkövek, oldalfalbevonatok és bekéregzések (5. kép). Ezek másodlagos kiválásoknak tekinthetők.

#### 4. Az édesvízi mészkő kiválásának formái

A forrásvizek által oldott állapotban szállított mészsanyag megfelelő körülmények között kicsapódik és felhalmozódik.

Az oldatból való kiválás végbemehet *közvetlenül* vagy *közvetett* módon. A közvetlen kicsapódás a forrásvizek fizikai állapotának megváltozása miatt következik be, ez az ún., *vegyi kiválás*. Közvetett mészkiválásról akkor van szó, ha azt különböző élő szervezetek végzik. Ennek megfelelően az édesvízi mészkövek keletkezhetnek közvetlenül vegyi kiválással, de felhalmozódhatnak növények közreműködésével közvetett úton. Rendszerint azonban egy-egy összlet keletkezésénél a két kiválási forma együttesen mutatható ki. Természetesen vannak olyan előfordulások, ahol a vegyi kiválás az elsődleges, és olyanok, amelyeknél a biogén eredet az uralkodó. A *vegyi kiválásból* eredő édesvízi

mészkövek rendszerint a nagy ásványisó-tartalmú források környezetében vannak, mert ezeken a helyeken a feltörési pontok körül igen erőteljes mészkicsapódás figyelhető meg, amely meggátolja a növényzet megtelepedését. A kiváláson kívül a források magas hőmérséklete is akadályozó tényező lehet. Az édesvízi mészkő-kifejlődési típusok közül a forráskúpok és a tetarítás kifejlődések, nagy része vegyi eredetű (6. kép). A növényzet közreműködésével keletkezett édesvízi mészkövek főként az állóvizekben képződött genetikájúak sorába tartoznak. Ilyen helyeken a növényzet dús, és a parti részeken igen jelentős szerepet játszik a mészkiválásban. Sőt, a sekélyvízű, növényzettel teljesen benőtt vízfelületű mocsarak az ilyen jellegű édesvízi mészkőképződésnek szélső változatát képviselik. Az állóvízben képződött édesvízi mészköveknél megkülönböztethető *nyíltvízi, parti, partszegélyi és időszakosan vízzel borított* kifejlődésű típusok. A kiválás végbemehet közvetlenül az élő vagy elhalt növényi szervezetekre (7., 8. kép).

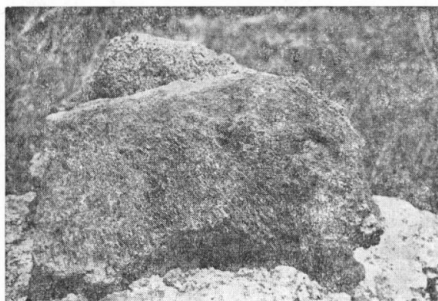


Pict. 6. Loose travertine with plant fragments of large void ratio at Kiscell

6. kép. Nagy hézagterfogatú, növényi részekből álló, laza édesvízi mészkő Kiscellnél

Pict. 7. Mass of calcareous matter precipitated on swamp vegetation which clearly shows the dependence of appearance on the position of plants. Budakalász

7. kép. Mocsári növényzetre kicsapódott karbonátanyag-halmaz, amely jól mutatja a növény elfekvésétől függő állapotot. Budakalász

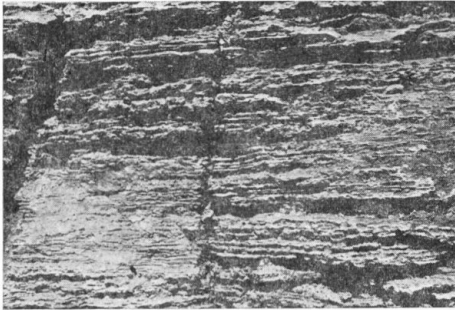


Pict. 8. Travertine with mosses at Budakalász

8. kép. Mohás édesvízi mészkő Budakalásznál

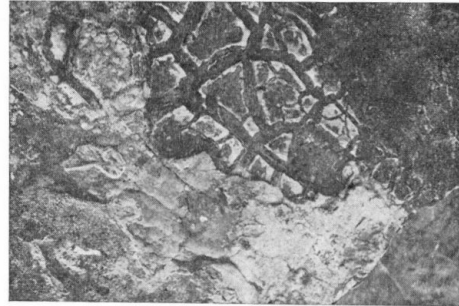
Az édesvízi mészkőösszletek változatos formájúak. Vannak kemény, kristályos kiválások és vannak növényi részekre történő kicsapódások, amelyek már kiváláskor azonnal kemények, és utólagosan csak lényegtelen változásokon mennek keresztül.

Ezeken túlmenően megkülönböztethetők olyan rétegek, amelyek laza üledékként rakódnak le és utólag szilárdulnak meg. Ilyenek a *mésziszapok*, *mészhomokok*, *pizolitos-oolitos* rétegek vagy az *édesvízi mészkőkavicsok*. E rétegek leülepedéskor még laza üledékek, csak később szilárdulnak meg, mégpedig a meszes oldatokból kicsapódó kalciumkarbonát révén. Ez az összeragasztás vagy cementáció különböző mértékű lehet. Emiatt vannak gyengén cementált, egészen laza és kemény részek. Ezek csak az üledékgyűjtőben ural-



Pict. 9. Microstratified series of loess and travertine layers at Besenyő, Slovakia

9. kép. Vékonyrétegzett összlet, amely lösz és édesvízi mészkőrétegekből áll. Besenyő, Szlovákia



Pict. 10. Dehydration cracks on bedding plane at Süttő (Pict. 2—8. are by the authors)

10. kép. Száradási repedések a réteglapon Süttőnél (A 2—8. képek a szerzők felvételei)

kodó viszonyokkal magyarázhatók. Megfigyelések szerint az ilyen „szemcsés” rétegek kialakulása szoros összefüggésben áll az üledékgyűjtőbe bekerülő idegen anyagokkal (9. kép). Ezeket részben a szél, részben a folyóvíz szállította. A vizek mésztanyaga ezekre csapódik ki. Ha csak vékony burokkal veszi körül a lebegő anyagot, akkor *mésziszap*, ha vastagabb burok képződik, mert tovább marad lebegve a vízben, akkor *mészhomok* vagy *oolit* képződik, és ha sokáig mozgatódik az áramlási viszonyok révén, akkor *pizolit* keletkezik. Ezek főleg a forrásfeltörési centrumok körül jönnek létre, vagy a vízések alatt, ahol a mozgási energia oly nagy, hogy az anyag sokáig lebegtetve marad és különböző nagyságú — néha 3—4 cm-es — pizolitok formálódnak, amelyek később megnöve leülepednek vagy tovasodródnak.

A fentiekén túlmenően megfigyelhetők a tetarata medencéket kitöltő üledékeknél a konszolidáció előtti atektonikus deformációs szerkezetek. Ezek úgy jönnek létre, hogy a konszolidálatlan leülepedett anyagra ráakódik a következő réteg és az alatta levőt egyenlőtlenül megterheli, ezért labda és vánkosszerkezetek keletkeznek. Előfordulnak azonban atektonikus gyüredezettségek is. A megfigyelések szerint a réteglapok felszínén különféle nyomok, jelenségek mutathatók ki. Ilyenek pl. a száradási repedések (10. kép), amelyek bizonyítják azt, hogy ideiglenesen megszűnt a vízzelborítottság. Vértesszőlősnél emberi és állati lábnyomok mutathatók ki, de féregmászási nyomok és levéllenymatok is gyakran észlelhetők.