

A METAMORF EREDETŰ SZÉNDIOXID KARSZTKORRÓZIÓS HATÁSA

1. A budapesti karsztos melegforrások vizének széndioxid- és kalciumtartalma

Szalontay Gergely (1968, p. 64) szerint a budapesti karsztos források (és kutak) vizeiben a „vizsgált oldott anyagok mennyisége arányosan nő a hőmérséklettel, kivéve a Mg iont”. Az ábrák szerint valóban meglehetősen szoros korreláció van az egyes ionok mennyisége és a hőmérséklet között. Az összefüggés CO_2 -nél szorosabb, de jól látható a Ca és HCO_3 ionoknál is. (1.–3. ábra)

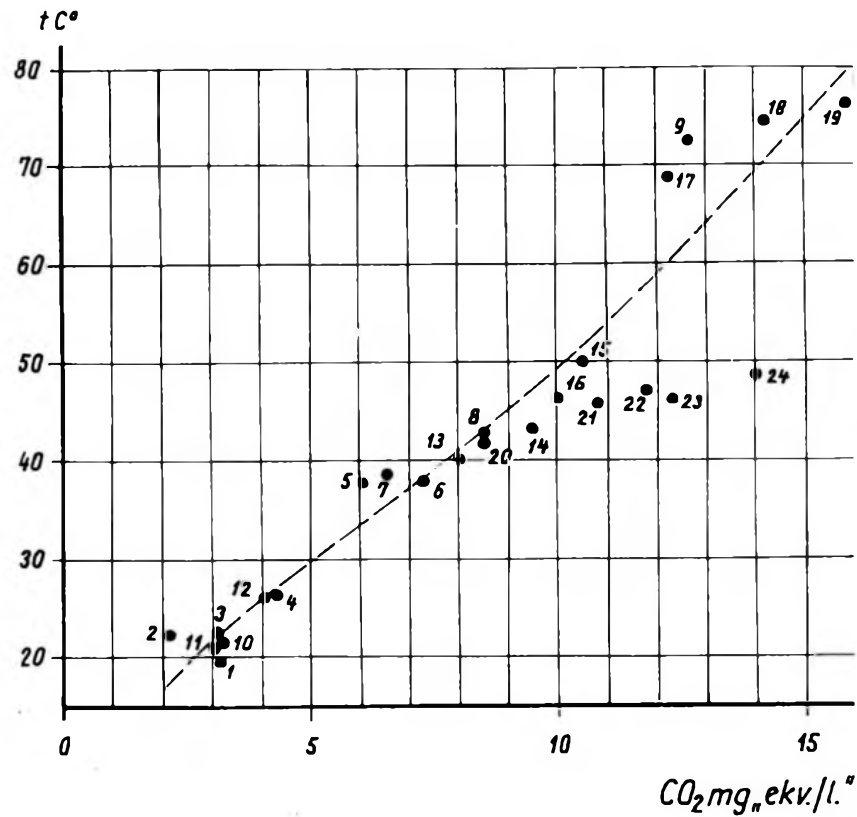
2. A budapesti melegvizek áramlása a Vendel-féle modell szerint

Vendel Miklós és Kisházi Péter (1963 és 1964) szerint — jelenleg ez az egyetlen elfogadható modell — a budapesti meleg karsztvizek a Pesti-síkság és az Alföld alatti konvekciós áramlás („alááramlás”) révén melegszenek fel, eredetük hideg (a Középhegység területén beszivárgott) karsztvíz. A hőfokot tehát (több-kevesebb egyszerűsítéssel) a mélyben

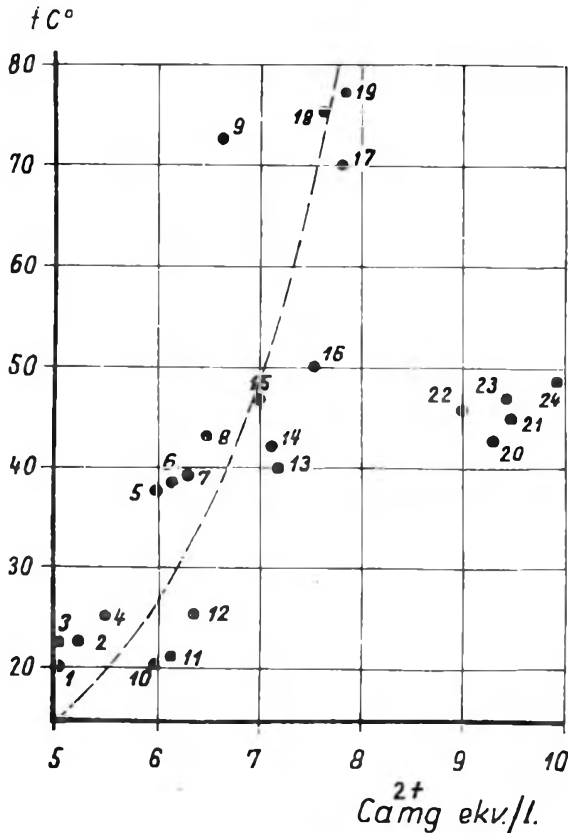
eltöltött idő (vízkor) határozza meg. Ezt támasztja alá a Gellért-hegyi szökevény-források mintegy 15 000 éves kora is (^{14}C meghatározás szerint). A budapesti források hőgyűjtő területét 1000 km^2 körülnek kapták.

3. A beszivárgó karsztvizek CO_2 és Ca-ion tartalma

A karsztos kőzeteken fekvő talaj- és avartakaró légkörének összetétele szabja meg elsősorban a beszivárgó karsztvíz CO_2 tartalmát és az ezzel feloldott CaCO_3 mennyiségét az adott hőmérsékleti és nyomásviszonyok között. A barlangi cseppkőképződés és kiszellőzés (huzat) révén a leszivárgó víz CO_2 tartalma csökkenhet. Ha ettől eltekintünk, a nyomás- és hőmérsékletviszonyok szerint a feloldott mésztartalom változhat, de az eredeti szén-savtartalom az eddigi felfogás szerint változatlan: a kezdeti helyzet szabja meg. A többi ion szaporodása természetesen az érintkezési idő, felület és hőmérséklet növekedésével egyértelműen megmagyarázható.



1. ábra. A budapesti melegforrások vizének széndioxid-tartalma a hőmérséklet függvényében (Szalontay után)



2. ábra. A budapesti melegforrások vizének Ca-ion-tartalma a hőmérséklet függvényében (Szalontay után)

4. A CO₂ többlet oka

A hőmérséklettel növekvő CO₂ tartalmat kétféleképpen magyarázhatjuk:

a) A hőmérséklettel a víz kora korrelációban van, s ha a melegebb vizek beszivárgása idején a klíma nedvesebb, a növényzet dúsabb volt, a beszivárgó víz is több szénsavat tartalmazhatott.

b) A hosszabb ideig mélyben tartózkodó vizek útközben (migráció útján) kapnak többletet. Ennek lehetséges eredetét az alábbiakkal magyarázzuk.

5. A süllyedő medencék metamorf folyamatai révén felszabaduló szénsav

A meszet és agyagot egyaránt tartalmazó üledékes kőzetek (pl. márga) metamorfózisa során széndioxid szabadul fel. Ilyen metamorfózison mehetnek át a süllyedő területek alatti üledékes zónák, pl. az Alföld medencealjzatát képező triászösszlet mélyebb tagjai, melyben bőven vannak márgarétegek, másrészt a Kárpátok keletkezése során mélybe tolódó óceáni eredetű kéregrészek metamorfózisa (szubdukció) is bőven szolgáltathat még ma is CO₂-t. Ha csak az alföldi területek metamorfózisával számolunk, tételezzük fel, hogy a kőzettömeg 1 súly %-át kitevő széndioxid szabadul fel a folyamat révén. Ez az érték biztosan kisebb a valóságosnál.

6. Becslés a CO₂ többlet mennyiségére és az általa okozott korrózióra

Mivel a régebben beszivárgó vizek CO₂ tartalmát egyelőre becsülni sem tudjuk, fel kell tennünk, hogy ez a maihoz hasonló volt. Így megpróbálhatjuk megvizsgálni, összesen mennyi az útközben felvett CO₂ mennyisége és az ezáltal feloldott mésztömeg.

Az 1. ábra átlagértékeiből mg/l-re átszámított adatokat a 20, 40 és 60 °C-os típusokra osztott természetes forrásokra adjuk meg, s extrapoláltuk a 10°-os hőmérsékletre is, ami a beszivárgó vizek átlagos évi középhőmérséklete. (1. táblázat.)

Becslésünk szerint a budapesti források eredeti természetes hozama:

20 °C-os vizek	kb. 15 000 l/p
40 °C-os vizek	7 000 l/p,
60 °C-os vizek	300 l/p,

amiben nem szerepel a Margitsziget, a Fürdősziget és Gellért rakparti szökevényforrások becsült hozama.

A növekmények értékét szorozva a megfelelő hőmérsékletű víz hozamával, megkapjuk a kihordott anyag mennyiségét. Ez 2139 g/perc CO₂ többlet

1. táblázat

A budapesti források átlagos CO₂ és CaCO₃ tartalma

A víz hőfoka	CO ₂ tartalom (mg/l)		Feloldott CaCO ₃ (mg/l)	
	tényleges érték	növekmény	tényleges érték	növekmény
10°	198	—	217	—
20°	264	66	239	22
40°	369	167	305	88
60°	466	268	327	110

és 979 g/perc CaCO_3 , ami évente kb. 1100 tonna CO_2 többletet, illetve 500 tonna feloldott mészkövet jelent. 2,6-os fajsúllyal számolva a feloldott mészkőmennyiségnek mintegy 190 m^3 üregképződés felel meg évente. Ha feltesszük, hogy az oldás mintegy 90%-a a mélyben, 10%-a a keveredési korrózió révén a források környezetében történik, 300 év alatt a Szemlő-hegyi-barlang (5760 m^3) térfogatának megfelelő üreg képződhet. Természetesen az oldás részben járhatatlan, mm és cm nagyságrendű szétszórt üregeket alkot, nagyobb barlangok képződésére ennek törtrésze marad. Hidrológiai szempontból azonban ezeknek a kisebb méretű, de általában nagyobb kiterjedésben összefüggő járatoknak igen nagy jelentősége van, mert a hidraulikus ellenállást csökkentik és növelik a hézagterefogatot.

Ha a becslésekben egy nagyságrendet tévedünk is, még mindig meg tudjuk magyarázni a budai barlangok keletkezését, hiszen egy-egy terasz képződési ideje több tízezer év volt.

7. Becslés a metamorf folyamat által termelt CO_2 mennyiségére

Mivel a lemeztektonikából következő lemeztetőződés (szubdukció) kérdése a Kárpátok esetében még nincs tisztázva, az innen eredő szénsav mennyiségét nem tudjuk megbecsülni. Ezért csak azzal a metamorf folyamattal számolunk, ami egy tektonikusan süllyedő medence (Alföld) alatt kell hogy történjék. Ha feltételezzük, hogy a süllyedő kőzet súlyának 1%-a a felszabaduló CO_2 , a pleisztocénra pedig (túlzással kétmillió év) 100 m süllyedést veszünk, akkor az évente átlag 0,05 mm kőzetréteg metamorfózisát jelenti, ami 1350 kg CO_2 -t ad km^2 -ként.

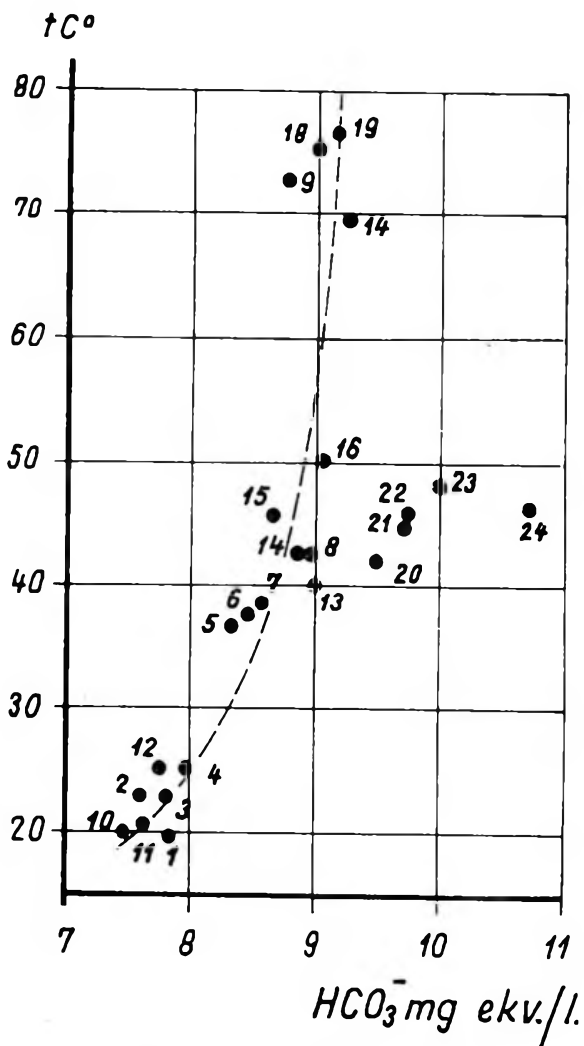
Az erősen alábecsült feltételek mellett is 1000 km^2 süllyedő terület elegendő a szénsavtöbblet magyarázatára. Érdekes, hogy ez az érték jól egyezik a Vendel-féle hóglyójtóterülettel, ami véletlen is lehet, de az elképzelés lehetőségét alátámasztja.

A CO_2 többlet eredetére nézve stabil izotóp (^{13}C) arány vizsgálatok lennének döntőek.

8. Hidrológiai és speleológiai következtetések

Ha ez az elképzelés részben vagy egészben igaz, teljes cáfolatot nyer az a — sok gyakorlati hidrogeológiai döntést befolyásoló — nézet, hogy a mélység felé a karsztosodás lényegesen csökken és a nyugalmi karsztvíznívó alatt 100–200 m-rel a vízvezetést már csak a tektonikus rések biztosítják. Éppen az eddig hidraulikai gátnak tartott, nyomás alatti süllyedő karsztömegekben sok, hálózatszerűen összefüggő járatot várhatunk, melyeknek hidraulikai ellenállása több nagyságrenddel kisebb a környezetnél.

A budapesti barlangok képződéséről már szó volt. A kérdés még nagyobb jelentőséget nyerhet az alpesi, kielégítően meg nem magyarázott óriás barlangterefogatok esetében (Hölloch, a Dachstein barlangjai stb.), melyek előntés alatt, a telített zónában keletkeztek. A hegységképződés és azzal kapcsolatos kéregbetetőződés révén a metamorfózis



3. ábra. A budapesti melegforrások vizének HCO_3^- iontartalma a hőmérséklet függvényében (Szalontay után)

sok CO_2 -t termel, nagyságrenddel többet, mint a keveredési korrózió által újra aktívá tett felszíni eredetű szénsav.

Mivel a CO_2 felszállása valószínűleg elsősorban a tektonikus vonalokhoz kötött, ez fokozottabban kiemeli a tektonika szerepét a barlangképződésben.

IRODALOM

1. VENDEL MIKLÓS—KISHÁZI PÉTER: Összefüggések a melegforrások és karsztvizek között. — MTA Műszaki Tudományok Osztályának Közleményei. 1963—1964.
2. SZALONTAY GERGELY: A budapesti hévizek kémiai tulajdonságai. In: Budapest hévizei. VITUKI kiadvány. Budapest, 1968.

KARSTKORROSIONSWIRKUNG DES KOHLENDIOXID METAMORPHEN URSPRUNGS

Bis zum heutigen Tag wurde das durch das Niederschlagswasser in die Tiefe geförderte Kohlendioxid oberflächennaher Herkunft für den einzigen wesentlichen Faktor der Karstkorrosion betrachtet. Der Gehalt an Kohlendioxid des Wassers der Budapester Thermalquellen — und damit sein Gehalt an Ca-Ionen — nimmt mit der Temperatur zu. War dieser Wert bei der Versickerung dem heutigen im grossen und ganzen gleich, so müssen wir voraussetzen, dass die den längeren Weg belaufenen (älteren), wärmeren Wasser einen Überschuss an Kohlendioxid erhalten. Dessen Ursprung wird in den Subduktions- und senkungsmetamorphen (Gesteinsumgestaltungs-) Prozessen gesucht. Nach den Berechnungen soll eine Fläche von 1000 km² ausreichen, den Überschuss der Budapester Quellen an Kohlendioxid zu decken. Das bedeutet die Ablösung von etwa jährlich 200 m³ Kalkstein, teils in der Tiefe, teils in der Nähe der Quellen durch Mischungskorrosion. Diese Theorie ergibt eine neue Erklärung für die Entstehung der in der Übersättigungszone zustande gekommenen Höhlen z.T. mit Thermalwasser (von Szemlőhegy, Hölloch usw.) und der in grosser Tiefe vorhandenen Karsthohlräume (der über 100 m hohe Hohlraum der Tiefbohrung von Zugló, in einer Tiefe von 1400 m)

ВЛИЯНИЕ УГЛЕКИСЛОТЫ МЕТАМОРФИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ НА КОРРОЗИЮ КАРСТА

До сих пор одним из важнейших факторов карстовой коррозии считали углекислоту приповерхностного происхождения, перенесенную в глунбину. Содержание углекислоты — и тем самым и растворенных ионов Са в воде будапештский термальных источников — увеличивается с температурой среды. Если при инфильтрации это значение было более или менее равным современному, то необходимо предположить, что более теплые воды (более древ-

ние), переносищиеся на большее расстояние, получают избыток углекислоты. Он происходит, по-видимому, от метаморфических процессов, обусловленных субдукцией и опусканием. Согласно проведенным расчетам, для покрытия избыточной углекислоты в будапештских источниках достаточно площадь около 1000 км². Это означает растворение примерно 200 м³ известняка в год (образование полостей) отчасти на глубине, отчасти же вблизи источников, в результате коррозии смешивания. Эта теория проливает новый свет на генезис пещер, частично термальных (пещеры горы Семлэ, Хёллох и т.п.), возникающих в наводненной зоне, а также карстовых полостей, образующихся на большой глубине (глубокое бурение в Зугло вскрыло на глубине 1400 м карстовую полость высотой более 100 м).

KARSTKORODANTA EFIKO DE LA PER METAMORFOZO LIBERIGITA KARBONA DIOKSIDO

Oni opiniis ĝis nun, ke la per la precipitaja akvo suben transportita karbona dioksido estas la sola okazanto de la karsta korodo. La CO₂ enhavo — kaj paralele la enhavo da Ca jono — kreskas kun altiĝanta temperaturo en la Budapestaj varmaj fontoj. Se la CO₂ enhavo en la tempo de la enlikado estis sama, kiel nuntempe, oni devas opinii, ke la pli varmaj, pli longan vojon farintaj (pli malnovaj) akvoj ricevis pluson da CO₂. La aŭtoroj serĉas la originon de tio CO₂ en la metamorfozaj procesoj. Laŭ la kalkuloj ĉ. 1000 km² areo sufiĉas doni la CO₂-pluson por la Budapestaj varmaj fontoj. Tiu signifas solvon de 200 m³ kalkŝtono (estiĝo de kaverno) en jaro, parte en la profundeco, parte proksime al la fontoj per miksada korodo. Tiu teorio donas novan klarigon pri la estiĝo de la en la saturita zono estiĝinta, parte varmakvaj grotoj (Szemlőhegyi, Hölloch ktp.) kaj en la signifa profundeco troviĝantaj karstaj kavernoj (profundborajo en Zugliget, pli ol 100 m alta kaverno en 1400 m profundeco).