

A ZSOMBOLYGENETIKA KÉRDÉSEIRŐL*

1969 tavaszán a Vizgazdálkodási Tudományos Kutató Intézet a zsolnai Mérnökgeológiai Intézettel együttműködve sikeres vízfestési kísérletet hajtott végre az észak-borsodi Alsó-hegyen. Az Almási-zsombolyba juttatott jelzőanyag rövid idő múlva megjelent a hegygerinc északi lábánál, a cseh-szlovák oldalon fakadó Tapolca-forrásban. 1969 őszén ugyancsak az Alsó-hegyen, a Vecsembüki-zsombolyban a Raisz Keresztély barlangkutató csoport Szenthe István vezetésével megbontotta az addig ismert legmélyebb ponton az álfeneket, és újabb 95 méteres mélység leküzdése után 178 m mélyre ereszkedett le.**

Ez a két esemény alkalmat ad arra, hogy felülvizsgáljuk az alsó-hegyi típusú zsombolyok keletkezésével kapcsolatos eddigi nézeteket.

Az eddig megismert zsombolyok alapján a következőket állapíthatjuk meg:

1. A zsombolyok vízszintes síkú keresztmetszetének területe azonos nagyságrendű az ugyancsak vertikális jellegű víznyelőbarlangok, illetve az aktív horizontális barlangok keresztmetszetével.

2. A zsombolyok aknája fent szűkebb, lefelé tágul. A zsomboly sok esetben egymást lépcsősen követő aknák sorozatából áll, ilyenkor is az egyes aknák lefelé tágulnak.

3. A zsombolyok általában szoros kapcsolatban állnak a dolinákkal. Zsombolyok csak dolinás térszíneken fordulnak elő, nagyobb részüknek bejárata is dolinában nyílik.

4. Az erőteljes tektonikus preformáció mindenütt megfigyelhető.

Ezekből a megfigyelésekből az alábbiakra következtethetünk:

ad 1. A zsombolyok keresztmetszeti méretének nagysága nagyobb vízforgalomra és nagyobb kőzetanyag-elszállítására utal, mint amit a felszínről jelenleg közvetlenül beléjük jutó csapadék alapján magyarázni lehetne. A szükséges vízmennyiségnek ennél nagyobb vízgyűjtőterületről kellett származnia, az üreg helyén levő kőzetanyagnak pedig a vízzel együtt valamilyen úton a felszínre kellett jutnia. Tehát szükséges az alábbi feltételezés:

a. a zsombolyoknak horizontális járatokkal kell kapcsolatban állniuk,

b. a zsombolyokhoz vízgyűjtőterület tartozik, vagy tartozott a múltban, kialakulásuk idején.

A zsomboly aljához kapcsolódó vízszintes barlangjárat feltételezése nem újkeletű. Eredetileg az volt az elképzelés (4), hogy a zsombolyok a horizontális barlangjáratokból a mennyezet sorozatos beomlásával (felfelé haladó regresszív erózióval) alakulnak ki. A mennyezet beszakadását a kőzetben kialakuló gyűrűfeszültségekkel indokolták. A gyűrűfeszültségek döntő szerepét azonban a zsom-

bolyok keletkezésénél nem sikerült igazolni. Ez okozta, hogy az egyébként helyes alapgondolatot (vertikális és horizontális járatok kapcsolata) is elvetették.

Az a tény, hogy a zsombolyokhoz tartozó vízszintes járatot még csak néhány esetben találták meg (pl. Bükk-hegységben), semmit sem bizonyít. Ezek a horizontális víz-utak járhatatlan méretűek is lehetnek. Itt csak a vízszintes jellegű járatok feltételezésének szükségességére hívjuk fel a figyelmet.

A vízgyűjtőterület kérdésére később térünk vissza.

ad 2. A lefelé táguló, közel vertikális barlangjáratok nemcsak a zsombolyokra jellemzők. Hasonló alakúak a víznyelőbarlangok aknája, valamint az aktív horizontális barlangokból felfelé induló kürtők is. A vertikális barlang e három típusa lényegében a lefelé mozgó víz hatására alakult ki. A víz az esetek többségében az üreg falán folyik végig, és a falak tövében fejt ki oldóhatását. A mélységgel növekszik az átfolyó vízmennyiség (drain-hatás); a már telített vizeket a mélyben újra oldóképessé teheti a keveredési korrózió. A nagyobb magasságból lezuhanó víz mechanikai hatása is erősebb. Mindezek a tényezők jobban tágitják a vertikális barlangüreg alját, így fokozatosan előáll a lefelé szélesedő alak. (1. ábra)

ad 3. A dolinákkal borított felszín a karsztos lepusztulásnak már eléggé fejlett fázisát jelöli. A karsztosodó kőzetek felszínéről már lepusztultak a később rákerült üledékek. A kőzetanyag egyrésze is kioldódott már, és a víz kiszállította azt a felszínre. *Az anyagmozgás a különböző karsztosodási fázisokban kialakult, és ezért különböző magassági szinteken elhelyezkedő horizontális járatokon át kellett hogy történjen.*

A kőzetanyag elszállítása ma is tart. A dolinák jelenlegi életének legkézenfekvőbb bizonyítéka, hogy nem töltődnek fel. Továbbfejlődés nélkül viszonylag rövid életű képződmények volnának.

A zsombolyok a dolinákkal együtt ugyancsak élnek, fejlődnek. A közvetlen feltárás ma még csak néhány esetben mutatta ki, hogy a zsomboly a vele kapcsolatban álló dolinából kap vizet. (1). *Eszertint a dolina játszhatja a vízgyűjtőterület szerepét, ahonnan oldóképes víz jut a levezető-csatorna szerepét betöltő zsombolyba.* A vízutánpótlás másik forrása (főleg mélyebb zsombolyok esetében) a csatlakozó litoklázis-hálózat, amely a felszín alatt a dolinán túli területekről is összegyűjti a vizet.

* Vitaindító előadás a MTESZ Karszt- és Barlangkutató Bizottsága 1970. II. 2-i ülésén.

** A kézirat lezárása után, 1970. áprilisában a Vecsembüki-zsomboly összefüggését is sikerült kimutatni az Alsó-hegy É-i oldalán fakadó forrásokkal. 1970. májusában pedig — Szenthe István és a Vörös Meteor további feltárásai nyomán — a Vecsembüki-zsomboly ismert mélysége meghaladta a 240 métert.

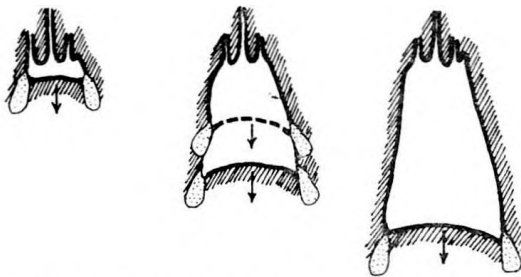
ad 4. A dolinák statisztikusan a szerkezetileg preformált sávok mentén helyezkednek el. Erre mutatnak Dénes Gy. alsó-hegyi és Maucha L. közelmúltban végzett Jósfafő környéki vizsgálatai is. (2,7).

A zombolyok tektonikai preformációja ugyan csak kétségtelen. Nem fogadhatjuk el azonban azt az elképzelést, (5) hogy a hasadékok a dolinák tartozékai, (vagyis azok az érintőleges hasadékok, amelyek a dolinák berogyása közben keletkeznek), és hogy ily módon a dolina egy zombolyképződés előtti jelenség. Kósa A. statisztikai vizsgálataiból tudjuk ugyanis, hogy az ismert zombolyok hasadékirányai a 330° – 75° irányok közé (ÉÉNy-KÉK) esnek. Ha a zombolyok a dolinák kialakulása során megnyíló hasadékokban képződtek volna, akkor statisztikusan az összes irányoknak azonos súllyal kellene szerepelniük.

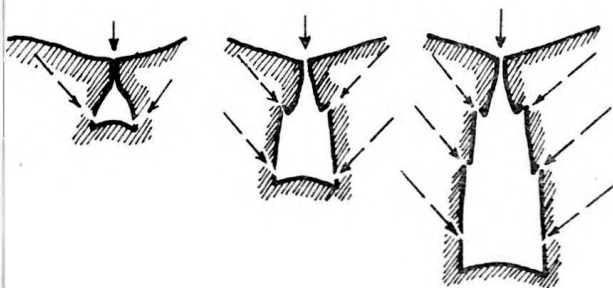
Eddigi megállapításainkat és az azokból levont következtetéseket az alábbiakban foglalhatjuk össze:

A zombolyok létrejöttéhez — méreteik alapján — vízgyűjtőterületet kell feltételeznünk. Az innen származó víz a benne oldott kőzetanyaggal együtt közel horizontális járatokon jut a felszínre. A zomboly-hasadékoknak a dolinák kialakulása utáni

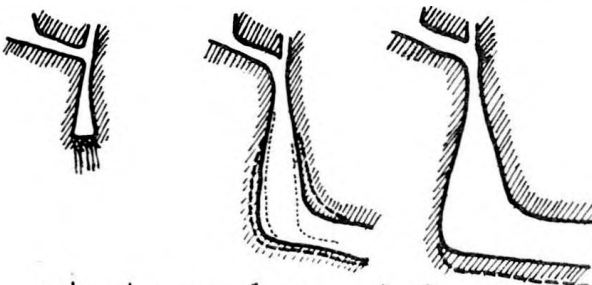
1. ábra. Az akna lefelé való tágulását előidéző tényezők.



Oldászóna a falak közelében.



Mélységgel nő a vízmennyiség.



Mélységgel nő az eróziós hatás.

létrejöttét a statisztikai vizsgálatok cáfolják. Tehát a zombolyok fejlődése a dolinákkal párhuzamosan kell, hogy elkezdődjön. Mivel a zombolyokkal kapcsolatban álló dolinák jelenleg is fejlődnek, fel kell tételeznünk, hogy a progresszív erők még mindig túlsúlyban vannak a regresszív erőkkel szemben, a zombolyok esetében is. Eszerint a zombolyok ma is fejlődnek.

Hogyan képzelhetjük el a zombolyok kialakulását az előbb elmondottak ismeretében?

A kiemelkedés előtt a karsztos hegység felszíne síkfelületté erodálódik (abrázióval, vagy karsztos tönkösödéssel). Magyarországon tipikusan ilyen terület az észak-borsodi Alsó-hegy és a Bükk-fennsík. A kiemelkedés során a kőzettömegben vertikális jellegű hasadékok képződnek.

Ettől kezdve kétféle típusú zombolyfejlődést képzelhetünk el, aszerint, hogy a kiemelkedett tömb felszínén maradt-e vissza többé-kevésbé vízzáró takaróösszlet vagy sem.

Ha maradt a karsztos tömb felszínén vízzáró takaró, akkor ennek folytonosságát a szerkezeti mozgások és a felszíni erózió kikezdi. A vízzáró lepel szélein, szerkezetileg predestinált helyeken víznyelők alakulhatnak ki. Így a lehulló csapadék viszonylag kevés helyen koncentráltan juthat be a kőzetbe. A víznyelőbarlangok fejlődése a nagyobb vízmennyiségek miatt természetesen sokkal gyorsabb, mint a csupasz karsztfelszín alatt képződő zombolyok mélyülése. Az általános lepusztulás során később eltűnhetnek a fennsíkot helyenkint fedő vízzárórétegek. A megmaradó vertikális barlang további sorsa ettől kezdve a zombolyok sorához hasonlóan alakulhat.

Ha a karsztfennsíkon nem volt vízzáró fedőréteg, az egész felszínen csak a pontonkénti beszivárgás korróziós hatása érvényesülhetett. Ennek dolinákkal sűrűn fedett felszínt kellett létrehozni. Az itt kialakuló vertikális barlangok fejlődésében a korrózióknak kellett döntő szerepet játszania.

A zombolyok egyik jellegzetessége, hogy kis területen sűrűn fordulnak elő. Az észak-borsodi Alsó-hegy fennsíkján pl. mintegy 12 km^2 területen több mint 50 zombolyt ismerünk, látszólag rendszertelen eloszlásban. A kis területen a nagyszámú zomboly létrejöttét nehéz megmagyarázni, ha valamennyit külön-külön kialakult fosszilis víznyelőbarlangnak tekintjük. Keletkezésüket ezért inkább azzal a tényezővel igyekeztünk magyarázni, amely ma is kifejti hatását (aktualitás elve).

A ZOMBOLYOK FEJLŐDÉSÉNEK TISZTÁN KORRÓZIÓS MODELLJE

A következőkben részletezett elméletet a szerző Müller Pál geológussal közösen dolgozta ki (9). Az elmélet szerint a zombolyok megfelelő — ma is elterjedt — körülmények között jelenleg is szükségszerűen keletkeznek. A zombolyok eszerint az általános karsztjelenségek közé sorolhatók.

Az elmélet az alábbi állítások (tételek) összességéből áll:

A. A zombolyok (ugyanúgy, mint a dolinák) lényegében korróziós eredetűek.

B. A zomboly mindig a dolina legmélyebb pontján kezd fejlődni.

C. A zombolyban az anyagihiány felülről lefelé terjed (hasonlóan a dolina mélyüléséhez).

D. Szükségszerű, hogy az anyadolina legmélyebb pontja oldalirányban áthelyeződjék. Ez az oka annak, hogy a zombolyok bejárata a dolinák oldalában van, és ez önmagában is a zombolyok lépcsős felépítéséhez vezethet.

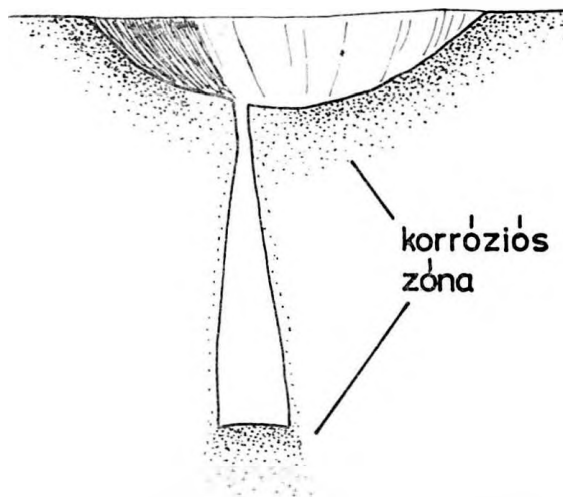
E. A dolina felületén beszivárgott csapadék a jelenleginél nagyobb vízgyűjtőterület feltételezése nélkül megmagyarázza az előállott anyagihiányt.

Az alábbiakban a felsorolt tételeket egymásután tárgyaljuk:

A. A zombolyok korróziós eredete

A dolinákat az általánosan elterjedt felfogás szerint (8) korrózió által létrehozott formának tekintjük. A korrózió a dolina fenekén maximum néhány méter mély oldási zónában hat, a litoklázisok mentén és a kőzetfelszínen. Az így létrejövő anyagihiány a dolinafenék folyamatos lassú süppedését okozza.

A korrózió folyamata eredetileg a teljes karszfelszínen megindul. A tektonikusan vagy közzettanilag predesztinált helyeken a folyamat gyorsabb. Az így kialakult mélyedések mint szervesanyag- és hőcsapadék (10, 3) és mint vízgyűjtők működnek: emiatt a felületükön beszivárgó csapadék nagyobb az átlagnál, és ez a csapadék a környezetnél több széndioxidot tud felvenni a dolina alján összegyűlt



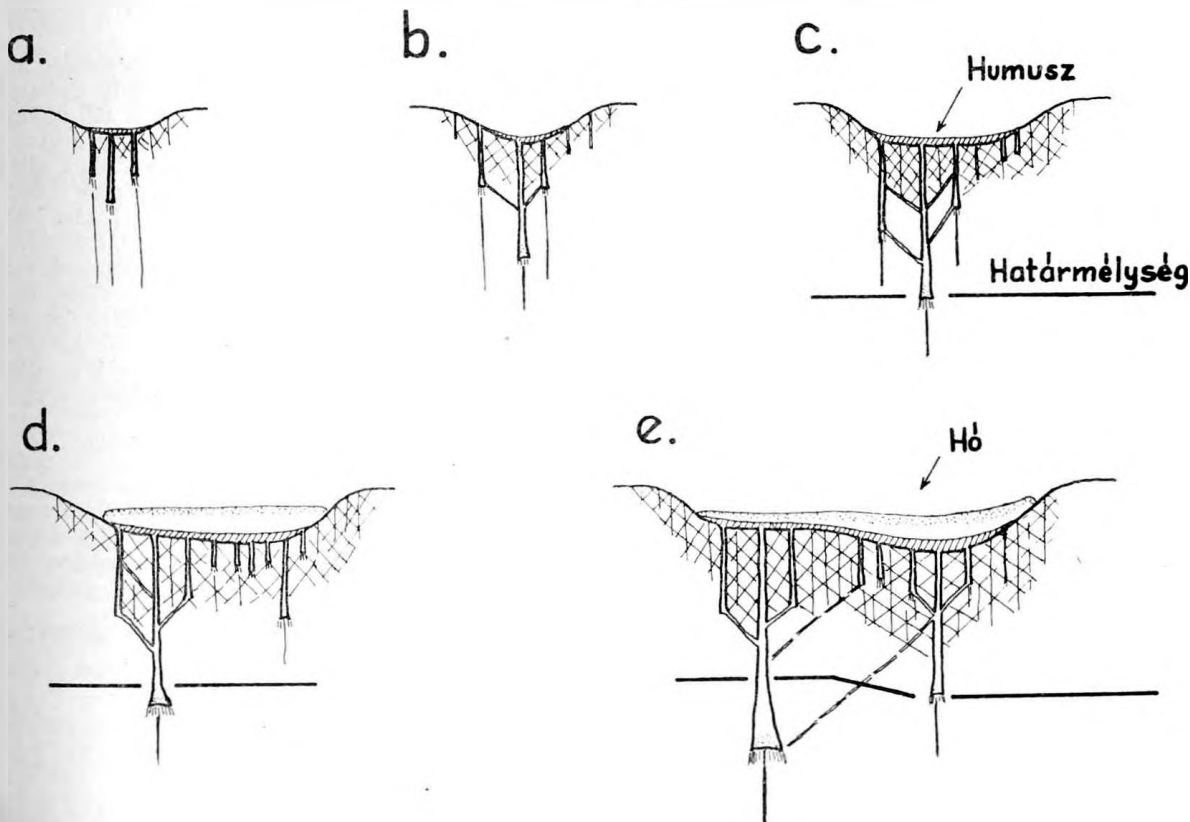
2. ábra. A korróziós zóna elhelyezkedése a zombolyban és a dolinában

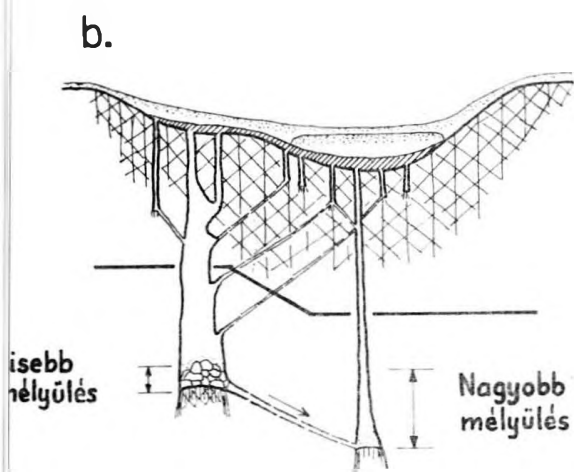
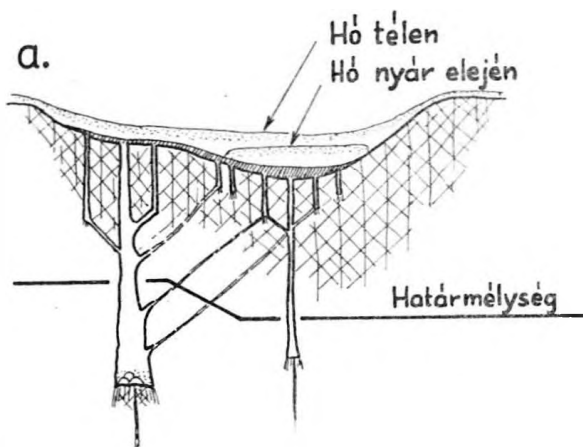
talajból. Így a dolinában előálló anyagihiány sokszorosan meghaladja a környezet anyagihiányát: a dolina mélyül és átmérője is növekszik.

Eszerint a dolina alatti néhány méter vastag kőzetréteg a korróziós zóna. A tovább szivárgó csapadékviz gyakorlatilag telített.

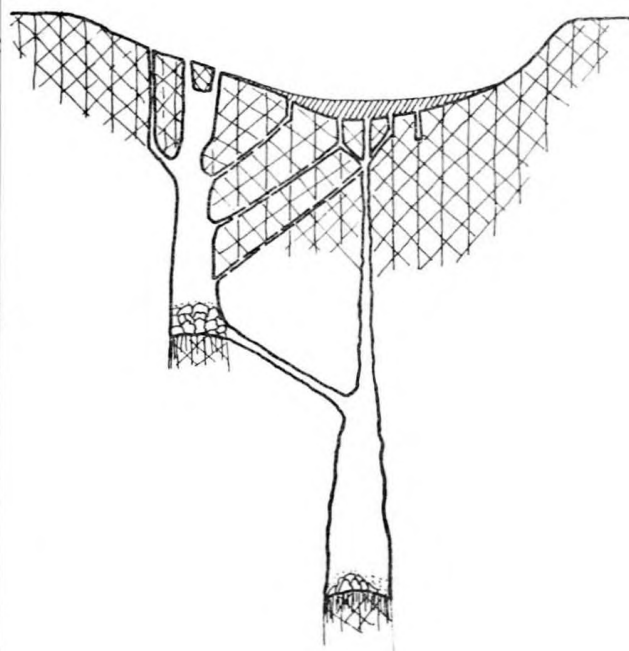
Ha a korróziós zónát néhány milliméteres tektonikus eredetű hasadék keresztezi, a korróziós zóna megszakad, a csapadék a repedésben gyorsan lejut annak alá. A hasadék drainhatása a környezet

3. ábra. A zombolyfejlődés sematikus vázlat: kezdeti fázisok





4. ábra. A zombolyfejlődés sematikus vázlata: „aknaváltás”



kapillárisainak gyorsabb kiürülését okozza, a hasadék aljára bemosott humusz pedig a korróziós hatást növeli.

A zomboly tehát lényegében a dolina alján kialakult korróziós zóna szakadási helye, ahol a korróziós zóna a hasadékban mélyebbre került. (2. ábra). A zomboly alja tehát ugyancsak korróziós úton mélyül tovább.

B. A zomboly a dolina mélypontján kezd fejlődni

Mint az előző pontban láttuk, a dolinák maguk is a felszín tektonikusan, vagy kőzettanilag kitüntetett pontjain kezdenek fejlődni. Egy dolinában párhuzamosan több zombolykezdemény indulhat. A legmélyebb helyen levő hasadék (mely a legtöbb vizet kapja a dolina mélypontján) a többi repedést a litoklázisokon keresztül megcsapolja, és ezzel fejlődésüket lefékezi. Ezáltal a legmélyebb ponton levő hasadék vízgyűjtője a dolina tekintélyes részére kiterjed. (3/a-c. ábra)

C. A zomboly ürege felülről lefelé fejlődik

A zomboly falán gyorsan lefolyó víznek nincs ideje arra, hogy telítetté váljék. Oldóhatását elsősorban ott fejtí ki, ahol sebessége lecsökken. Emiatt a korrózió főleg a már kialakult üreg talpán, illetve a talpszint alatt néhány méterrel belül hat. Így alakul ki a kezdeti hasadék alján — illetve a környező litoklázisokban — az új korróziós zóna. Ebben a korróziós zónában az oda lejutó aktív víz gyakorlatilag szintén telítetté válik, és a litoklázis-hálózat lényeges tágítása nélkül folytatja útját lefelé. A zomboly ürege tehát a talpponton mélyül tovább. A falakon lefolyó víz oldóhatása oldalirányban tágítja ugyan az üreget, a zomboly térfogatának növekedését azonban döntő mértékben a mélyülés adja.

A lefelé növekvő üreg fejlődése valószínűleg ug-rásszerűen meggyorsul, amikor kitágult szakasza eléri a „határmélységet”, ahonnan már téli időben is meleg levegő áramlik felfelé, olvasztva a zombolykezdemény felett a hóréteget. A dolina alján összegyűlő szervesanyagból a hóolvadék széndioxidot vesz fel: az aktív víz korróziós hatása ettől kezdve már egész évben érvényesül. (3/d ábra).

Az üreg tágításához — nagyobb mélységek esetén — az erózió is hozzájárulhat. Az erózió által képzett törmelék azonban nem juthat ki az üregből a litoklázisokban, hanem kitölti a már kioldott üregeket, majd feloldódik. Így az erózió az üreg növeléséhez nem járul hozzá, csak alakítja az üreget.

D. A dolina mélypontja áthelyeződik

A zombolykezdemény drainhatása elvonja a vizet a dolina hozzá közeledő részéről. Ezen a részen a víz telítetlen állapotban hagyja el a dolina korróziós zónáját. Emiatt a dolina fenekének ez a része nem tud ugyanolyan sebességgel mélyülni,

5. ábra. A zombolyfejlődés sematikus vázlata: a kialakult lépcsős zomboly

mint a dolinafenék más pontjai. A dolinaközpont lelassult fejlődése miatt valamelyik oldal gyorsabban mélyül. (3/e ábra.) Így a dolina mélypontja szükségszerűen áthelyeződik.

A dolina új mélypontján a „határmélység” is lejjebb tolódik. Az itt levő hasadékok tágulása ezért lassabb. Ehelyett gyorsabban mélyülnek: az új mélypontban új zombolykezdemény kezd fejlődni. Az ebbe lejutó vizet kezdetben megcsapolja a korábbi zombolyakna drainhatása. Az új zombolyakna mégis gyorsabban mélyül. Ennek két oka lehet: egyrészt a dolina mélypontján több csapadék (hó) gyűlik össze, másrészt az új akna azonos mélységben kisebb alapterületű a réginél (tehát azonos köztömeg hiánya nagyobb mélységet jelent). Az új akna talpszintje ezért bizonyos idő elteltével mélyebbre kerül, mint a régi aknáé (4. ábra). Ezzel az új akna megcsapolja a régi aknát, annak fejlődését lelassítja, ő maga pedig még gyorsabb ütemben mélyül tovább. Az első akna felharapózik, miközben a lehulló törmelék eltömi a két akna közötti járatot (5. ábra).

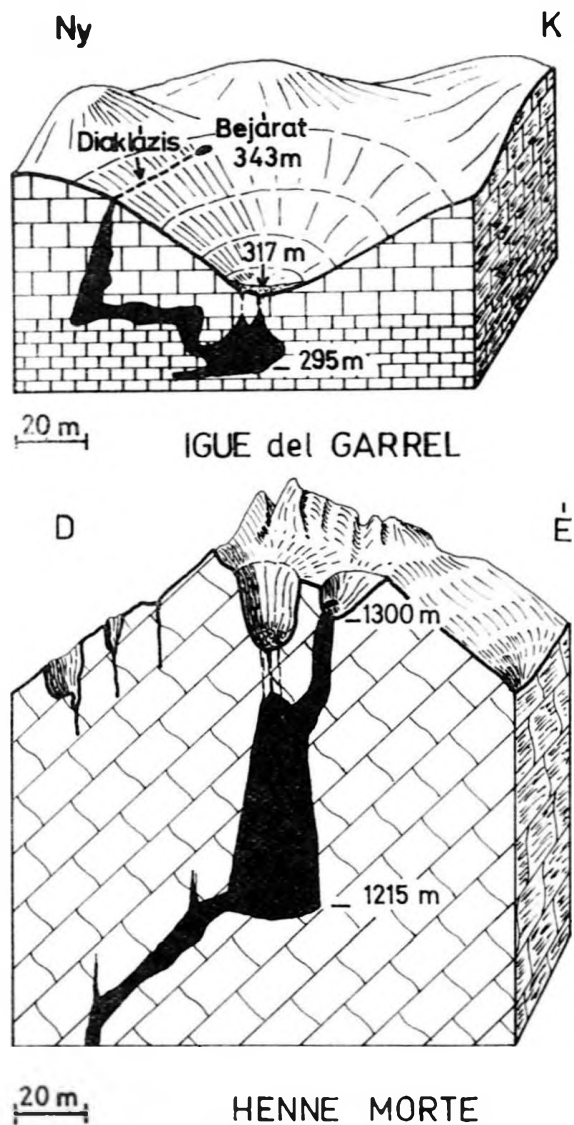
Ez a fejlődési rendszer megmagyarázza, hogy még homogén kőzetben is miért lépcsős a zomboly felépítése. Arra is kielégítő választ ad, hogy miért találjuk a többlépcsős zombolyoknál felül a fejlettebb, szenilisebb formákat mutató szakaszokat és miért csatlakoznak ehhez alul fiatalabb szakaszok, amelyek mélyebbre hatolnak a felső aknáknál (pl. Almási-zomboly).

A zomboly aknáinak lépcsős elhelyezkedését természetesen a kőzet inhomogenitása is okozhatja, illetve elősegíti. Ezt a fejlődési mechanizmust a tényleges feltárások is valószínűsítik (6. ábra).

A valóságban azonban a zombolyok egymást követő lépcsős aknái sokkal kisebb mértékben tolódnak el a dolina központja felé, mint a fenti fejlődési mechanizmus alapján várható volna. Ez a zombolyok fejlődését létrehozó hatások, és az azt befolyásoló tényezők asszimétrikusságával magyarázható.

Ilyen — asszimétrikusan működő — tényező lehet elsősorban a ferde kőzetrétegződés (7/a ábra), aminek következtében a dolina egyik oldalán lényegesen kedvezőbb adottságok alakulnak ki a zombolyképződésre, mint a másik oldalon. Érdeemes megfigyelni, hogy az Alsó-hegy legnagyobb zombolyai többségükben a hozzájuk tartozó dolina É-i felében vannak. Ugyancsak asszimétrikus hatást idézhetnek elő egyes meteorológiai tényezők: csapadék, napsütés, szél nagyobb gyakoriságú irányjai is (7/b ábra). Az egyik legfontosabb asszimétrikus hatást kétségkívül a felső zombolyakna létezése váltja ki. Ennek alján jelentős vízmennyiség gyűlik össze. A következő akna helyét — egyéb tényezők mellett — az innen származó, valamint a dolina új mélypontján összegyűlő víz „eredője” szabja meg (7/c ábra).

A dolina mélypontjának áthelyeződése természetesen úgy is létrejöhét, hogy az első zombolykezdemény kialakulása után a szomszédos dolinából indul a másik akna fejlődése. A dolinák növekedésük

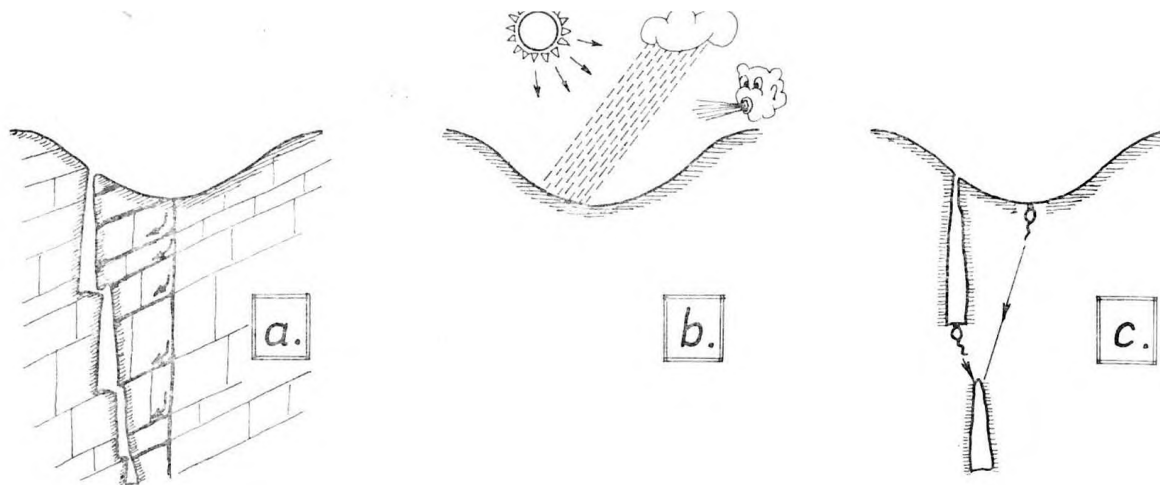


6. ábra. A franciaországi zombolyok tömbszelvénye (B. Gèze után)

során egymásba metsződhetnek, és a különálló dolinákból nagyméretű dolina alakulhat ki.

A legfelső akna bejárata mindkét esetben a dolina oldalára kerül. Itt nagyobb valószínűséggel juthat nyitott állapotba, mint eredeti helyzetében, a dolina fenekén. A bejárat kinyílásához a zomboly belsejében felfelé haladó regresszív erózió és a dolina fenekének lassú mélyülése egyaránt hozzájárulhat.

Az egymást követő zomboly-aknák kialakulása mindaddig ismétlődik, míg a zomboly erózióbázist, vagy nyílt patakbarlangot nem ér. Ez esetben az erózióbázis szintjére ért, elsődlegesen oldóképes víz megkezd a vízszintes járatok tágítását. Állandó emelkedésben levő karsztban, tehát süllyedő erózióbázis esetén természetesen viszonylag kicsiny a



7. ábra. A zombolyok dolinán belül való elhelyezkedését befolyásoló asszimétrikus tényezők

valószínűsége, hogy zombolyból járható vízszintes barlangág induljon. Ha az emelkedés megáll, vagy geológiai okok miatt az erózióbázis együtt emelkedik a fennsikkel. (pl. Szinva-Garadna rendszer a Bükkben) a folyamat tekintélyes vízszintes járatot eredményezhet.

E. A dolina felületén beszivárgó víz elégséges az anyaghiány előidézéséhez

A következőkben az észak-borsodi Alsó-hegy példáján mutatjuk be, hogy a jelenleg is ható természeti tényezők előidézhették az ott levő zombolyok kialakulását.

A kiindulási adatok a következők:

- A karszfennsík abszolút magassága átlag: 500 méter A. f.
- A források átlagos fakadási szintje: 200 méter A. f.
- Maximális dolina-átmérő a fennsíkon: 100 méter
- Átlagos évi csapadék a fennsíkon: 700 milliméter
- A fennsík lábánál fakadó források vizének átlagos Ca-ion tartalma: 100 mg/liter
- Az aktuális karsztosodás a pleisztocén elején kezdődött, hozzávetőleg $t = 2$ millió évvel ezelőtt.

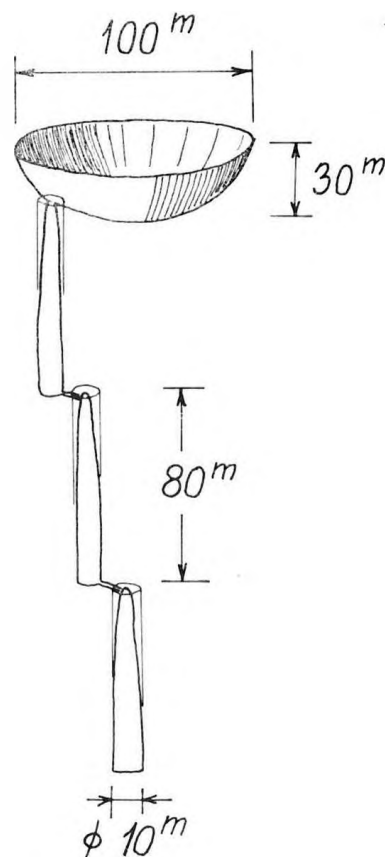
A fennsík és a források szintkülönbsége alapján maximumban mintegy 250–280 méter mélységű zombolyokat képzelhetünk el. A legmélyebb ismert zombolyok megközelítik ezt a mélységet. Alaprajzi területük kicsi: 2–4. 10 m² nagyságú.

Az Alsó-hegyen tehát a maximális méretű dolina-zombolyrendszer főbb méretei (a dolinát gömb-süvegnek, a zombolyt hengernek számítva, lásd 8. ábra) az alábbiak:

- Dolina alapterülete: $F_d (m^2) = 7,85 \cdot 10^3$
- Dolina anyaghiánya (köbtartalma): $V_d (m^3) = 1,32 \cdot 10^5$
- Zomboly anyaghiánya: $V_s (m^3) = 1,88 \cdot 10^4$

(A zomboly anyaghiánya kb. egy nagyságrenddel kisebb a dolina anyaghiányánál).

A dolina és a zomboly együttes anyaghiánya tehát (m³-ben): $V_d + V_s = 1,50 \cdot 10^5$



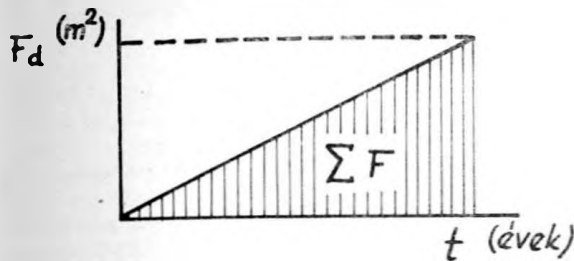
8. ábra. Az Alsó-hegy fennsíkján levő dolina-zombolyrendszerek méretszámításának vázlata

A források vizében található átlag 100 mg/l Ca-ion megfelel 250 mg/l CaCO₃-nak. Ez azt jelenti, hogy a forrásvíz minden köbmétere átlag 250 gramm kőzetet tartalmaz. Mivel a kőzet fajsúlya durván 2,5-nek vehető, az oldott kőzet és az oldó víz térfogat — aránya megközelítőleg

$$A = 1/10.000 = 10^{-4}$$

Tételezzük fel, hogy a dolinák felülete a karsztosodás folyamán lineárisan növekedett. 0-tól a ma ismert méretig. A karsztosodás 2 millió éve alatt összegezve az évenkénti dolina-felületeket 9. ábra):

$$\Sigma F(m^2) = F_d t/2 = 7,85 \cdot 10^9$$



9. ábra. A dolina felületének összegezése a karsztosodási időszak kezdetétől napjainkig

Tételezzük fel továbbá, hogy a fenszakra jutó 700 mm csapadékból legalább 200 mm beszivárog a kőzetbe a fenti felületen. Ebben az esetben a kőzetoldó víztömeg

$$Q(m^3) = 1,57 \cdot 10^{10}$$

A fenti víztömeg kőzet-oldása miatt előálló számított anyaghiány:

$$V_c(m^3) = Q \cdot A = 1,57 \cdot 10^9$$

Mint látjuk:

$$V_c \approx V_d + V_s$$

vagyis a számított anyaghiány jól egyezik a maximális méretű alsó-hegyi dolina-zsomboly-rendszer előbb kimutatott tényleges anyaghiányával.

Nem hagyhatjuk azonban figyelmen kívül, hogy a pleisztocén első részében az üregképződés szempontjából a jelenleginél jóval kedvezőbb időszakok is voltak. Az eljegesedések következtében a skandináviai gleccserek déli határa időnként elérte a Kárpátok északi előterét, ami valószínűvé teszi, hogy a borsodi karsztfenssík már a hóhatár közelében voltak. Az interglaciálisok elején az olvadó hótömegek, a gүнz-mindel és a riss-würm interglaciálisban pedig a mostaninál valószínűleg jóval nagyobb csapadékmennyiségek a karsztbarlangok jelenleginél lényegesen gyorsabb ütemű növekedését okozhatták. (10. ábra).

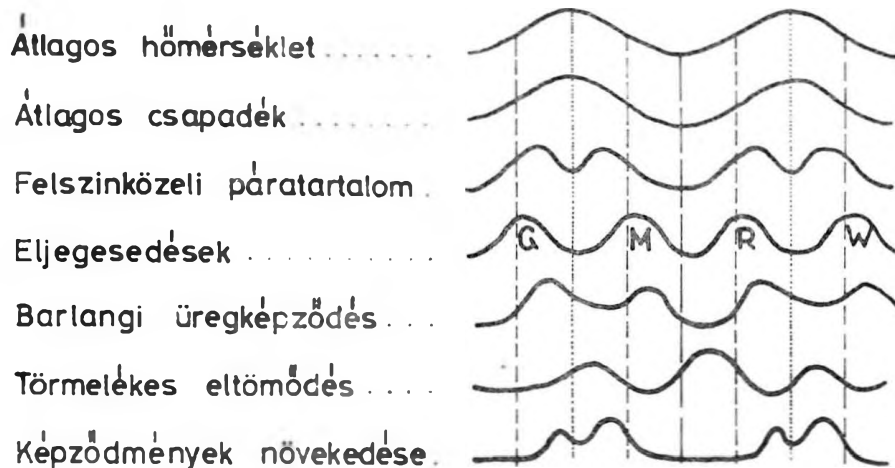
A számítás során számos más — a biztonság javára szolgáló — tényezőt is elhanyagoltunk: a zsombolyok anyaghiányát jóval nagyobbra vettük a ténylegesnél; a forrásvízben feloldott kőzet mennyisége a dolinákon keresztül beszivárgó (széndioxidban gazdagabb) vizekből és a fenszík egyéb részein beszivárgó (széndioxidban szegényebb) vizekből származik, tehát a számítás alapjául vett forrásvíz karbonátban átlagban szegényebb, mint ami a zsombolyt oldás után elhagyja. A beszivárgó csapadékmennyiség is valószínűleg nagyobb hányada a lehulló csapadéknak. A számítás célja azonban csak annak kimutatása, hogy a tényleges anyaghiány pusztán a kőzetfelszíni, illetve felszín-közeli korrózióval magyarázható.

ÖSSZEFOGLALÁS

A zsombolyok fejlődésének fentiekben vázolt korróziós modelljét általános jellegűnek tartjuk. Külön vizsgálatot igényel azonban, hogy a bemutatott modell mely zsombolyok kialakulására ad magyarázatot.

A dolinák nagy száma, valamint az előbbieken kifejtett fejlődési rendszer alapján feltételezhetjük, hogy sokkal nagyobb a ma még ismeretlen zsombolyok száma, mint az ismerteké. A még fel nem tárt zsombolyok a legkülönfélébb fejlődési fázisokban lehetnek. Ezenkívül még az „ismert” zsombolyokról sem tudunk mindent, amit éppen a Vecsebükki-zsomboly esete is bizonyít. Felmerül tehát a kérdés, hogy vajon valóban statisztikus-e a mintavételünk, amikor az ismert zsombolyok alapján következtetéseinket levonjuk? Vajon nem tulajdonítunk-e túlzott fontosságot például annak a megfigyelésnek, hogy a zsomboly fő hasadékiránya általában közel merőleges a dolina középpontját a zsombollyal összekötő egyenesre? (5)

Az a tény, hogy az Almási-zsombolyba juttatott festék viszonylag gyorsan megjelent a hegység lábánál, arra utal, hogy a zsombolyok ma is élnek és kapcsolatban állnak a karsztvíznívó közelében kifejlődött horizontális járatrendszerekkel. Úgy tűnik tehát, hogy ma is keletkeznek új zsombolyok



10. ábra. Sematikus grafikonok a negyedkor elején bekövetkezett változásokról (B. Gëze után).

és a meglevők napjainkban is tovább mélyülnek. Jövőbeni sorsuk tehát nem a passzív feltöltődés, hanem az aktív továbbfejlődés. Az eltömődés folyamata ma még valószínűleg nem tud lépést tartani a korrózió és erózió üregmélyítő és alakító munkájának hatásával.

A cikk a MTESZ Karszt- és Barlangkutató Bizottsága vitaulésének keretében 1970. február 2-án elhangzott előadás lényegében változatlan közlése. A szerző ezúton fejezi ki köszönetét Maucha Lászlónak, Müller Pálnak és Rádai Ödönnek, akik értékes tanácsaikkal segítették munkájában.

HOZZÁSZÓLÁSOK

Az előadást követő hozzászólások lényegét az alábbiakban foglalhatjuk össze:

Kösa Attila szerint a zomboly lépcsős aknái a dolina oldalát közel érintőlegesen követik. A rendszer lépcsős felépítését egymástól függetlenül induló aknákkal és ezek összenyílásával magyarázza. A zombolyakna felső végének terep alatti mélységét meghatározó „határmélységet” a hatékony víztömegből és az ahhoz szükséges vízgyűjtőterületből vezeti le.

Dr. Dénes György hangsúlyozta a felszín és a klíma változásainak fontos szerepét. A zombolyok keletkezésében döntő szerepet juttat a pannonkorú kavicsos agyagtakarónak, melynek a foszlányai szerinte a hegy fennsíkján több helyen megtalálhatók. Kavicsnyomok barlangokban is találhatóak (Borzlyuk, Kastély-kerti-forrásbarlang stb.). A vízzáró takaró lepusztulása során annak széle sokszor áthelyeződött, így a víznyelő jellegű függőleges járatok mindig máshol alakultak ki. Az Alsó-hegy emelkedését bizonyítják szerinte a források (Tapolca-, Vecsem-f.) felett átlag 70 méter magasságban található fosszilis forrásnyomok. A mai uvalasorok a fennsík kiemelkedésének kezdetén a Bódvavölgy felé nyitott, enyhe lejtésű völgyek lehettek, ahol a vízzáró takaró lepusztulását az akkor még felszíni lefutású vizek eróziója kezdte meg. *Dr. Dénes György* kiemelte, hogy a Vecsem-forrás feletti fosszilis forrásnyomokra és a Kastély-kerti-forrásbarlang hordalékának kvarckavicsaira, *Szenthe István* hívta fel a figyelmet.

Müller Pál a hozzászólásokra válaszolva hangsúlyozta, hogy az ismertett fejlődési elmélet egyelőre csak modellként kezelendő. A pannon kavics maradványait feltétlenül meg kellene találni a dolinák fenekén, ha annak a zombolyképződésben komoly szerepe volt. Emlékeztetett arra, hogy az Észak-borsodi Karszton a források felett 70–80

m magasságban található fosszilis forrasszájakra már *Kessler H.* is utalt.

Csekő Árpád az albániai Mali me Gropa fennsíkra hivatkozva megemlíti, hogy egészen kisméretű dolinák sűrű rendszeréhez is kapcsolódhatnak nagymélységű zombolyok. Ajánlja, hogy az apróemléksfauna zombolyokban esetleg fellelhető maradványaiból próbáljunk meg következtetni a mindenkori éghajlatra. A fejlődési modell alkalmazhatósága szempontjából meg kellene vizsgálni a klasszikus külföldi zomboly-területeket is.

Gádos Miklós felhívja a figyelmet, hogy az egymást lépcsősen követő aknák között az összeköttetés az esetek nagyrésztében valószínűleg járhatatlan méretű. Véleménye szerint a zombolyok bejáratánál téli időben végzett légáramlásmérésekkel eldönthető volna a kapcsolódó horizontális járatok kérdése, esetleg a zombolyok mélységére is lehetne ezzel a módszerrel következtetni.

Kesselyák Péter szerint a továbbmélyülés szempontjából a kritikus pont a zomboly mindenkori talppontja. Ennek átbocsájtóképessége szabja meg az itt lejátszódó anyag és vízforgalom nagyságát. Bárhol metsszük is el a zombolyt, a keresztmetszet a felső féltérből kapja a vizet és a kőzetet, és azt az alsó féltérbe kell hogy továbbítsa. Nagykiterjedésű és nagymélységű karszt-tömb esetében ez valószínűleg határt szabna a zomboly további mélyülésének.

Venkovits István kapcsolódva az előző felszólaláshoz megemlíti, hogy a Barázdálási-zombolyban (Csehszlovákia) talált borsókő-szinlők a zomboly időnkénti vízzel való feltöltődésére utalnak. A fejlődésben tehát néhol bizonyos ritmikusság található: a zomboly egyszer mélyül, máskor a vizek túlteltődése miatt a konkreciók képződése lép előtérbe. Kivételes esetekben andezitban is létrejönnek kismélységű, zombolyszerű üregek, ezeken az eltömődés és mélyülés váltakozását esetleg kedvezően lehetne tanulmányozni.

A ZSOMBOLYGENETIKAI VITA FOLYTATÁSA

A MTESZ Karszt- és Barlangkutató Bizottságának 1970. április 20-i vitája a „Zombolyok fejlődésének tisztán korróziós modellje” c. anyagáról.

A MTESZ keretében működő Karszt- és Barlangkutató Bizottság 1970. február 2-i ülésén *Müller Pál* és *Sárváry István* a zombolyok kialakulásának

magyarázatára új fejlődési mechanizmust javasoltak. Az előadást követő vita folytatásaként a téma mintegy két hónappal később újra megtárgyalásra került, ezúttal azonban csak az érdekelt szakemberek bevonásával, hogy a vélemények egyeztetése érdemben megfelelő legyen. (Az előadás anyagát a résztvevők előzetesen sokszorosítva megkapták).

Az első hozzászóló *dr. Bertalan Károly* volt. Véleménye szerint először a fogalmakat és a formákat kellene meghatározni. A zombolyokat el kell választani a hévizes eredetű vertikális üregektől, hiszen az utóbbiak vízzel való kitöltés alatt oldódtak ki. A lefolyástalan karsztos terepmélyedések sem mindig egyértelműen dolinák, keletkezésük többféle lehet: beszakadásos, fosszilis víznyelő, tisztán korróziós (nyílt karszterületen), utólag feliszapolt (fedett karszton).

Dr. Dénes György javasolta, hogy a vitát bontsák két részre. Először arról legyen szó, hogy az elmélet önmagában logikus-e, vagy támadható. Ha ebben a kérdésben megegyeztek, második pontként a résztvevők azt tárgyalják meg, hogy vajon az elmélet alkalmazható-e az ismert magyar zombolyokra, elsősorban az alsó-hegyi zombolyokra?

Körkérdés után kiderült, hogy az elmélet önmagában logikus voltát a résztvevők nem kívánják vitatni. Ezért rátértek az alkalmazhatóság kérdésére.

Kósa Attila négy pontban foglalta össze, hogy szerinte az elmélet miért nem alkalmazható az alsó-hegyi zombolyokra. Heves vita után ebből az alábbi észrevételek maradtak meg a további tárgyalás alapjául:

Kósa Attila észrevételei:

a) Az Alsó-hegyen a lépcsős zombolyok aknáin egymás hosszanti folytatását képezik, tehát nem párhuzamos hasadékok kölcsönös megcsapolásával keletkeztek. (Kicsi az oldalirányú eltérés).

A szerzők válasza:

Ha elég sűrűn vannak mélyreható hasadékok (vetőzónában) nem nagyon lehet megkülönböztetni egymástól a párhuzamos, de különböző töréseket. Az oldalirányú eltérést különböző tényezők (pl. dőlt közetrétegződés) hátráltathatják.

b) Az alsó-hegyi zombolyok nem lefelé, hanem a befogadó hasadék hossz- és oldalirányában fejlődnek. Erre bizonyíték a lépcsős zombolyok csatlakozási pontjainak formakincse.

Hogy milyen irányban haladt a fejlődés, azt rendkívül nehéz utólag eldönteni. Kétségtelenül van oldalirányú fejlődés (tágulás) is, de ez nem lehet jelentős.

c) Az Alsó-hegyen töbörfenéken nyíló zombolyt vagy töbörfenék alá vezető alsó emeletet nem találunk.

Az elmélet szerint sem a töbörfenéken nyílik a zomboly. Hogy az alsó emelet merre vezetnek, arról — dolinametszettekkel rendelkező zombolytérképek hiányában — alig tudunk valamit. A kis oldalirányú eltérést a rétegződésen kívül az oldó víztömeg dolinán belül nem egyenletes eloszlása is befolyásolhatja.

Schönviszky László: Csatlakozva az utóbbihoz, hozzátette, hogy egyéb hatások is oldalra terelhetik a fejlődő zombolyt a dolinán belül: a csapadék eloszlása, hóolvadási viszonyok, szélhatás (párolgás) stb. mind aszimmetrikus hatású.

Sárváry István: Talán a legfontosabbak egyike a közetrétegződés. Az Alsó-hegyen a legnagyobb

zombolyok mind a hozzájuk tartozó dolina északi tőrfelében nyílnak.

Müller Pál: Az elhangzottak szerint tehát egész sor aszimmetrikus hatású tényezőnk van: közetrétegződés, a legfelső akna aszimmetrikus megcsapoló hatása, a különböző meteorológiai tényezők, stb. Nem is kell velük külön-külön foglalkozni, lényeg az, hogy létrehozhatják a zomboly aszimmetrikus elhelyezkedését a dolinán belül.

Dr. Bertalan Károly: Ha az alkalmazhatóság kérdését komolyan akarjuk vizsgálni, nagyon pontosan körül kell írni azokat a feltételeket, ahol ilyen genetikájú zomboly keletkezhet. Tehát beszéljünk csak a mérsékelt égövi, középhegységi, karsztfennsík közepén (és nem a szélén) kialakuló zombolyokról.

Kesselyák Péter: A Kessler-féle elmélet alkalmazhatóságát is meg kellene vizsgálni.

Schönviszky László: Valószínűbb, hogy amennyiben a fejlődés meglévő horizontális „anyabarlang”-ból indult ki, a zomboly ugyan alulról felfelé fejlődik, de oldódással. Ezzel kapcsolatban említette a keveredési korróziót.

Müller Pál: A keveredési korrózió hatása nagyon csekély az elsődleges oldódáshoz képest, annak mindössze néhány százaléka. Tekintsük úgy a zomboly alját, mint egy kisméretű dolinát: sokkal nagyobb hatást kell kifejtenie az ide érkező, elsődlegesen oldóképes víznek.

Maucha László: Nehezen elképzelhető, hogy a zomboly alja úgy mélyüljön lefelé, mintha azt mesterségesen mélyítenék. Az eredeti repedések méretétől függ, hogy (tág hasadéknál) lefolyik-e a víz és ezzel oldalirányban tágul az üreg, vagy csak szivárog lefelé a víz a szűk repedéshálózaton. Csak ez utóbbi esetben növekedhetne főleg mélyüléssel a zomboly térfogata.

Sárváry István: Még az elképzelhető legtagabb (deciméteres nagyságrendű) primér hasadékok is könnyen eltömődhetnek egyetlen nyári zápor behordott törmelékének hatására. Ezután a víz a kitöltött hasadékban már csak lassan szivároghat.

Gáboros Miklós: A zomboly tág aknájában a víz „kilevegőzik”, elveszti az oldáshoz szükséges széndioxidot. Nem lesz képes oldani az üreg alján.

Müller Pál: Minden zomboly alján találunk oldásnyomokat, tehát leérkezik az oldóképes víz.

Sárváry István: A zombolyba behordott szervesanyagból a víz újra vehet fel széndioxidot.

Schönviszky László: Egyes zombolyok alján valóban szénsavdús a levegő. *Dr. Markó László:* A barlangi légáramlás szerepe a karsztbarlangok képződésénél c. cikke szerint (Karszt és Barlang, 1962. I.) a levegő széndioxid tartalma befolyásolja a cseppkőképződést. Ez magyarázhatná a zombolyokban kialakult cseppkőves szinteket.

A vitát a résztvevők azzal az általános véleménnyel hagyták abba (mivel befejezni nem sikerült), hogy az alkalmazhatóság kérdését széleskörűen tovább kell vizsgálni és hogy annak érdekében még igen sok mérésre és megfigyelésre van szükség.

IRODALOM

1. BALÁZS D.: A Mészegető-zomboly. — Karszt és Barlang 1966. II. sz.
2. DÉNES Gy.: Az Alsóhegy vízföldtani vizsgálata. — VITUKI témabeszámoló 1969. Kézirat
3. GÉZE B.: La Spéléologie Scientifique. — Editions du Seuil, 1965.
4. KESSLER H.: Zombolyok keletkezéséről. — Barlangvilág, 1933. 3-4. füzet
5. KÖSA A.: Az alsó-hegyi zombolyok tektonikájának statisztikai vizsgálata. — Karszt és Barlang 1967. I-II. sz.
6. KÖSA A.: Stages in the Development of Karst Shafts on the Alsóhegy Plateau. — Karszt- és Barlangkutatás VI. évf. 1970.
7. MAUCHA I.: Jósavtó környéke EK-i részének földtani térképezése. — VITUKI témabeszámoló 1968. Kézirat
8. MORAVETZ, S.: Zur Frage der Dolinenverteilung und Dolinenbildung im Istrischen Karst. — Petermanns Geographische Mitteilungen, Vol. 109, 1965, III.
9. MÜLLER P.—SÁRFÁRY L.: Pure Corrosive Model of the Development of Vertical Shaft-Caves in Karstic Rocks. — Karszt- és Barlangkutatás, VII. évf. 1971.
10. TERZAGHI, K.: Beitrag zur Hydrographie und Morphologie des kroatischen Karstes. — Mitteilungen aus dem Jahrbuch der Kön. Ung. Geologischen Anstalt, Vol. XX, 1912—13.
11. TROMBE, F.: La Spéléologie. — Presses Universitaires de France, 1965.

ÜBER DIE FRAGEN DER GENETIK DER SCHACHTHÖHLEN

Der Verfasser zählt die allgemein bekannten, kennzeichnenden Eigenschaften der Schachthöhlen des nordungarischen Alsó-hegy auf und auf deren Grund gibt er seine mit P. Müller gemeinsam ausgearbeitete Theorie bekannt, die nichts anderes, als ein rein korrosives Modell über den Werdegang der Schachthöhlen ist.

Das Relief des Karstgebietes (noch vor der Hebung) wird infolge der Erosion zu einer annähernd ebenen Fläche. Am Laufe der Hebung bilden sich in der Gesteinsmasse Spalten mit vertikalem Gepräge. An den tektonisch oder lithologisch ausgezeichneten Punkten setzt sich die Dolinenbildung ein (Abb. 3/a). Durch die Risse am Boden der Dolinen wird die Kontinuität der Korrosionszone unterbrochen: die Korrosionszone bildet sich hier selbst in den Spalten, in einem tiefer gelegenen Niveau aus (Abb. 3/b).

Die primäre Spalte des Schachtes entwässert den grossen Teil der Doline. Deshalb verlangsamt sich die Tiefenerlegung des oberhalb des Schachtes befindlichen Teils der Doline (Abb. 3/c—d). Der Tiefpunkt der Doline kommt so notwendigerweise an eine andere Stelle. Unter dem Tiefpunkt beginnt sich ein neuer Schacht zu bilden (Abb. 3/e). Die Tiefenerlegung des Hohlraumes wird rascher vor sich gehen, da die Grundfläche des Lösungsfeldes geringer ist, die angehörige Fläche des Einzugsgebietes dagegen grösser und hinsichtlich der Kohlendioxid-Aufnahme auch günstiger (Abb. 4). Infolge der intensiveren Tiefenerlegung erreicht das Sohlenniveau des neuen Schachtes den Grund des älteren Schachtes und zapft ihn an (Abb. 5).

О ВОПРОСАХ ГЕНЕТИКИ ОТВЕСНЫХ ШАХТООБРАЗНЫХ ПЕЩЕР

Автор перебирает общезвестные характерные качества отвесных шахтообразных пещер

Алшохедь (Нижняя-гора) на Северной Венгрии и на основе этих излагает свою теорию, разработанную вместе с тов. Мюллером. Эта теория является чисто коррозионным моделем становления отвесных шахтообразных пещер.

Поверхность карстовой горы (ещё перед возвышенностью) в следствии эрозии становится почти ровной поверхностью. Во время возвышенности в массиве образуются щели вертикального характера. На точках, замеченных тектонически или петрографически начинается становление впадины (фигура 3/a). Трещины на дне впадин пересекают непрерывность коррозионной зоны: здесь коррозионная зона образывается в самых щелях, на нижних уровнях (фигура 3/в).

Начальная зона отвесной шахтообразной пещеры отвлекает воду с большей части долины впадины. Поэтому углубление части долины над отвесной шахтообразной пещерой замедляется (фигура 3/с-д). Так глубокая точка поддается неизбежно в другое место. Под новой дошной точкой начинает развиваться опять новая шахта (фигура 3/е). Углубление новой полости будет быстрее, ибо извлекаемое основание меньше, а принадлежащая водосборная поверхность является больше и благоприятнее и с точки зрения съёмки углекислота (фигура 4). В следствии более интенсивного углубления уровень подошвы догоняет до старой шахты и выпускает жидкость из этой (фигура 5).

PRI LA PROBLEMOJ DE LA GENETIKO DE LA GUFROJ

La aŭtoro trarigardas la ĝenerale konatajn, karakterizajn proprecojn de la gufroj (grotoj vertikalkalaj) situantaj en la monto Alsó-hegy (Nordhungario), kaj surbaze tiuj li konigas la kune kun P. Müller ellaboritan teorion, kiu estas la pure prikoroda modelo pri la gufro-genetiko.

La surfacon de la karsta monto (antaŭ la levigo) estis preskaŭ ebenaĵo sub influo de la erozio. Dum la levigo en la ŝtonmaso naskiĝis fendadoj kun vertikala karaktero. En la tektonike aŭ petrografie preferataj punktoj komenciĝis la estiĝo de la dolinoj (fig. 3/a). En la malsupro de la dolinoj la fendadoj malkontinuiĝis la korodan zonan: ĝi elformiĝis en la pli profunda nivelo en la fendadoj mem (fig. 3/b).

La komenca lendaĵo de la gufro forsuĉas la akvon el la signifa parto de la dolino. Tial super la gufreto la pliprofundigo de la dolino malrapidiĝis (fig. 3/c—d). Do la plej profunda punkto de la dolino nepre translokiĝis. Sub la nova malsupro nova kaverno komencas elformiĝi (fig. 3/e). Tiu nova kaverno pli rapide profundigas ol la malnova, ĉar la solvenda baza areo estiĝas malpli, la akvokolekta surfaco pli granda kaj pli bona por la CO₂-akcepto, ol ĉe la malnova (fig. 4). Sekve el la pliintensa profundigo de la baza punkto, la nova ŝakto atingas la malnovan, kaj sekigas ĝin.