

Dr. Kósa Attila

BIR AL GHANAM GIPSZBARLANGJAI (LÍBIA)

ÖSSZEFOGLALÁS

1981. évben megtörtént a Karszt és Barlangban korábban ismertetett (Kósa 1980/a és b) líbiai Bir al Ghanam-i gipszkarszt barlangjainak részletes feltárása és feltérképezése. A magyar expedíció munkájának eredménye hét kilométert meghaladó összhosszúságú 16 gipszbarlang feltárása. A helyszín földtani és szepeológiai vizsgálata sok részletében tisztázta a sivatagi körülmények között keletkezett patakos gipszbarlangok genetikai kérdéseit és hidrológiai szerepét.

A líbiai Mezőgazdasági Minisztériummal szerződésben a NIKEX—OVIBER Fűró Vállalat vállalkozás-jellegű expedíciót vezetett a líbiai Bir al Ghanam-i gipszkarszt szepeológiai feltárására*. A kutatást vízgazdálkodási okok tették szükségessé. Az 1981. esztendő márciusától kezdődő tíz hét alatt a tíztagú expedíció hét kilométernyi barlangjáratot tárt és térképezett fel. Az expedíció leglátványosabb eredménye az Umm al Masabih- („Mécsek Anyja”) barlang feltárása. A 3,5 kilométert meghaladó hosszúságú barlang legjobb tudomásunk szerint a világ leghosszabb aktív patakos gipszbarlangja (Szablyár, 1981).

A Bir al Ghanam-i karszt változatos kőzettani viszonyok és változatos fejlődési fázisokat mutató barlangjainak tanulmányozása, víznyelők és források vizsgálata, a karsztjelenségek felmérése új képet adott a szokatlan körülmények között kialakult földalatti lefolyásról: száraz, sivatagi éghajlat és gipsz, mint karsztosodó kőzet. Valamennyi feltárt barlang vadózus, patakos barlang.

A Bir al Ghanam-i gipszképződményt a legújabb földtani irodalom (Geological Map of Libya, 1970) három tagozatra osztja. Ezek: az alsó Bir al Ghanam-gipsz, a középső Bu an Niran-tagozat és a felső Abregh-gipsz. Az expedíció során Bernhardt Barna által végzett sztratigráfiai kutatás rövid összefoglalása nagyban segíti a kialakult barlangok keletkezésének, fejlődésének megértését. A felső triász, alsó-középső jura időszaki képződmény alsó tagja esik legtávolabb a Jabal Nefusa- (Dzsebel Nefusza) leszakadás peremétől, így ez a leglaposabb, legnagyobb kiterjedésű. Felső, mintegy 50 m vastag része váltakozó minőségű gipszrétegekből áll, alsó része (200—250 m) vékonypados gipsz sűrű dolomitos, márgás betelepülésekkel. A betelepülések vastagsága nem több 10%-nál, de a felszínen főleg ezek törmeléke található a lepusztulás erőivel szembeni nagyobb ellenállásuk miatt. A felső, 80—100 m vastagságú Abregh-tagozat közvetlenül csatlakozik a Jabal Nefusa-letőrs felső meredek pereméhez. Így területe kisebb, fe-

lülete tagoltabb, az erózió nagyobb fokú. A tagozat szerkezete igen hasonló a Bir al Ghanam gipszéhez, azzal a különbséggel, hogy alsó része (20—30 m) tartalmaz viszonylag tiszta gipszösszletet.

A fentiekből nyilvánvaló, hogy karsztosodásra alkalmas gipsz csak a Bir al Ghanam és az Abregh-tagozatok felső 50, illetve alsó 20—30 méterében található. Az említett részek alatti és feletti rétegekben a nem szulfátos kőzetek alacsony százaléka ellenére a sűrű betelepülések miatt a karsztjelenségek közül csak a jellegzetes kupkarszt alakul ki, mely Balázs Dénes specifikációja szerint (1970) a Gunung Sewu típusú trópusi kupkarszthoz hasonló megjelenésében (1. ábra). Víznyelők, barlangok csak a viszonylag vízszintes részeken keletkeznek. Meredekebb területeken — még az említett vastagabb gipszrétegek esetében is — az erózió az elsődleges lepusztító erő. Mélyen bevágódott kanyonok alakulnak ki.

Az alsó és felső gipsztagozat közé ékelődik a nem szulfátos, kb. 20 m vastag Bu an Niran-tagozat, melynek alsó része 2—3 m vastag szilárd dolomit, felső része agyag, agyagmárga. A kőzettani környezetnél nagymértékben ellenállóbb dolomitréteg a fedők lepusztulása után plató-képződményekben látható, mely az alsó gipszképződményeket védi (Kósa, 1980). Fontos szerepet játszik a gipszkarszt kialakulásában a Bu an Niran-tagozat. A karszt vég-eredményben kétszer alakul ki. Először a felső Abregh-tagozatban, majd ennek és a Bu an Niran-tagozatnak lepusztulása után az alsó Bir al Ghanam-tagozatban azonos formakincsel. (Ábrát lásd: Kósa, 1980). A Bu an Niran-tagozat, mely maga nem karsztosodik, szorosan kapcsolódik egy későbbiekben ismertetett típusú gipszbarlang keletkezéséhez.

A felszín tükrözi a rétegtani viszonyokat. A kúp-hegyek sokaságát dolomitfennsíkok szakítják meg. A terület tehát gipsz- és dolomit-térszínre osztható. Mindkét típusú felszín esetében „víznyelő—barlang—karsztforrás” rendszerek alakulnak ki. Így a víznyelők az alábbi típusokba sorolhatók:

A. gipsz-térszíni víznyelők

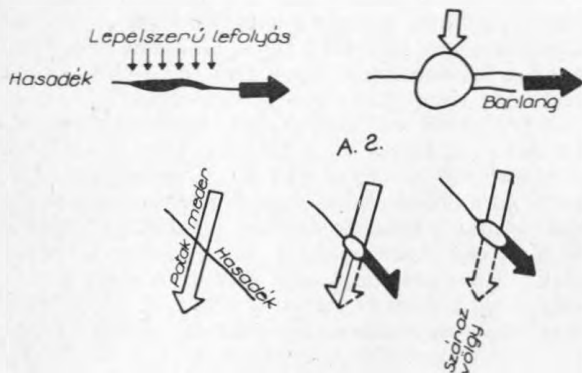
B. dolomit-térszíni víznyelők

A különböző típusú víznyelők keletkezése és fejlődése az alábbiak szerint írható le.

* A NIKEX-OVIBER Bir al Ghanam-i expedíciójának vezetője dr. Kósa Attila volt, résztvevői: Ács Mihály, Bernhardt Barna, Borzsák Péter, Cservinka Tibor, Csernavölgyi László, dr. Major István, dr. Molnár András, Szablyár Péter, Varga Géza.

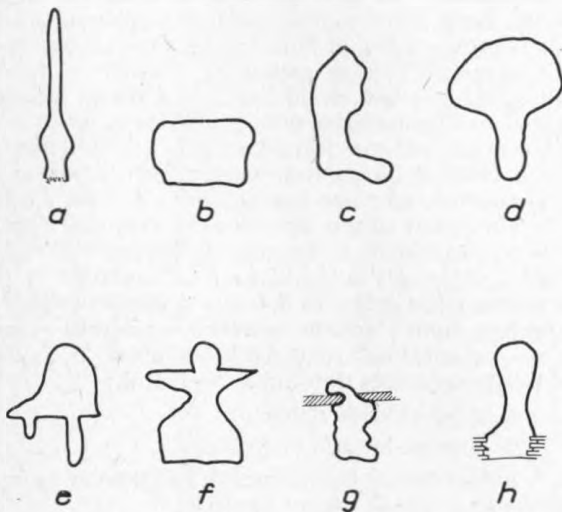


1. ábra. A Bir al Ghanam gipszképződmény panorámája (fotó: Borzsák Péter)
Fig. 1 Skyline of the Bir al Ghanam Gypsum Formation



2. ábra. „A” típusú víznyelők fejlődése
Fig. 2 Development of „A” type swallets

3. ábra. Gipszbarlangok keresztmetszetének típusai Bir al Ghanamban
Fig. 3 Types of cross sections of Bir al Ghanam gypsum caves



A. Gipsz-térszíni víznyelők

A. 1. a A gipsz-térszínre hulló csapadék lefolyása lepelszerű vízmozgással kezdődik. A felszínen megjelenő hasadékok növekvő mennyiséget nyelnek el a vízlepelből, majd oldással történő növekedésük során bizonyos területek víznyelőivé válnak. Az ilyen „elsődleges” nyelők kezdeti állapotukban hasadék jellegűek (2. ábra).

A. 1. b Az elsődleges víznyelők egyre több vizet gyűjtenek magukba tágulásuk során, mélyülő bevágások vezetnek hozzájuk. A jól fejlett víznyelők 5–10 m mélységű, kerek szelvényű, zsombolszerű aknáknak, melynek ellentétes falain az eredeti hasadék vonala jól látható (2. ábra).

Az A. 1. típusú víznyelőket azért nevezzük elsődlegesnek, mert az elsődleges, lepelszerű vízmozgás alakítja ki őket. Az elnyelt vízmennyiség eleinte csekély, ezért az ilyen víznyelő fejlődése valószínűleg viszonylag lassú. Az A. 1. típusú nyelők általában a kúphegyek közötti nyergeken helyezkednek el.

A. 2. A másodlagos vízfolyásokban fejlődnek ki, ahol azokat hasadék keresztjezi. Fejlődésük során ezek a víznyelők és a belőlük eredő barlangok növekvő mennyiségeket nyelnek el a felszíni vízfolyásokból, míg nem a felszíni völgyek elszárazulnak, „vak” völgyek alakulnak ki. Az A. 2. típusú víznyelőket másodlagosnak nevezzük, mivel koncentrált vizek alakítják ki őket. Az időszakos vízfolyások a lepelszerű vízfolyásnál gyakoribbak (nagyobb vízgyűjtő terület), hordalékban gazdagabbak, így a másodlagos nyelők fejlődése feltehetően gyorsabb az elsődlegesnél.

B. Dolomit-térszíni víznyelők

Az Abregh-tagozat és a Bu an Niran-tagozat agyagos rétegének lepusztulása után előbukkanó, csaknem vízszintes dolomitplátón jó lehetősége van a csapadékvíznek a kőzet repedéseibe való beszivárgásra. Ennek a folyamatnak kevés hatása van a dolomitra a sivatagi körülmények között, de a fekvő gipszrétegekben megindul a karsztosodás. Üregek jönnek létre az erős beszivárgási helyek alatt, részben a gipsz oldódása, részben pedig a Bir al Ghanam-tagozat tetején elhelyezkedő agygrétegek kimosódása miatt. Bizonyos űrméret kialakulása után a dolomit-fedő beszakad, és nagyobb mennyiségű víz elnyelődik.

sének enged utat, ahol ezt a topográfia is lehetővé teszi (Hiéna-barlang).

Mindkét féle típusú víznyelőből karsztos vízvezető járatok, barlangok erednek.

A típusú barlangok erednek az A típusú víznyelőkből. Az A típusú barlangoknak függőleges és vízszintes szakaszai vannak. A függőleges víznyelő aknák után vízszintes szakasz következik, mely méretben általában szerényebb a függőlegesnél. A járatok esése kicsiny, alig 1,5% a leghosszabb rendszer, az Umm al Masabih-barlang esetében. Az esés 2%-os a rendszer forrása és a legtávolabbi víznyelője közötti egyenes mentén, pontosan annyi, mint a rétegek nyugati irányú lejtése. Ez a tény erős jelzése a rétegzettség hatásának a barlang kifejlődésében. Másfelől a barlangok nagy többsége tektonikusan preformált. A különbözőképpen oldódó rétegeken áthaladó barlangokban olyan kaotikus korróziós formakincs alakul ki, hogy a tektonikus irányított-ság csak az elkészült barlangtérképeken észlelhető.

A barlangjáratok a következő típusokba sorolhatók:

1. Barlangjáratok vastag, homogén gipszben

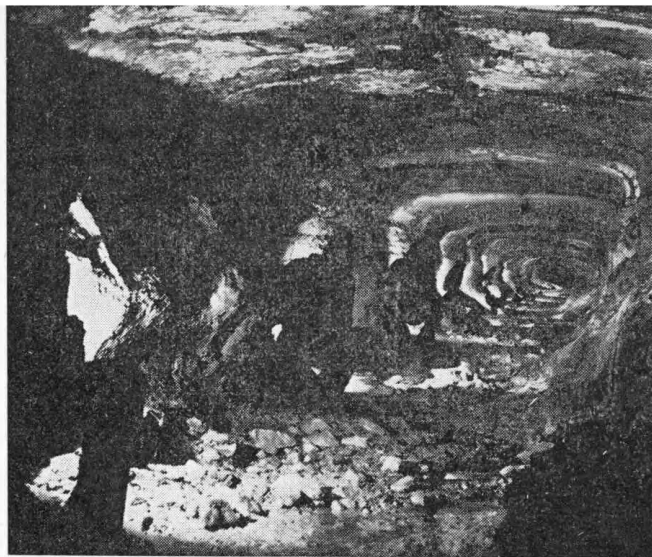
1. 1 Tipikusan hasadék-irányított-ságú járatok
 - magas, keskeny járat (3/a ábra)
 - kerekített négyzet keresztmetszetű, egyenes járatok (csövek) (3/b és 4. ábra)
1. 2 Jól fejlett, hasadék-irányított-ságú járatok
 - összetett, felül egyenes, alul meanderező járat (3/c és hátsó borító)
 - egyenes cső, fenékén meanderező, belső csatornával (3/d ábra)

2. Barlangjáratok inhomogén kőzetben

- inhomogén módon oldódó gipszrétegekben, pl.: felső, tágas járat, lapos fenékkal, ebben kanyargó, meanderező csatornával (3/e ábra)
- agyag-betelepülés: lapos járatok, vagy „szellemkaros” (Bernhardt Barna után) kereszt-szelvények. Barlangfejlődés a réteglapok mentén (3/f és 5. ábra)
- dolomit-betelepülés: kiálló vízszintes „polcokkal” jelentkezik, melyek az erózió során letöredeznek (3/g ábra)
- anhidrit: nem jellemző, csak egy helyen fordul elő, az Umm al Masabih-barlangban (3/h és 6. ábra)

Az A típusú barlangok fő irányvonalak mellett fejlődtek ki, melyeket a rétegtan és a tektonikus szerkezet határoz meg. A formáció rétegei 3%-kal dőlnek nyugati irányban. Ez a dőlés határozza meg csaknem valamennyi barlangjárat esését. A tektonikai hatás hasadékokkal jelentkezik, melyek behálóz-zák a formációt. A járatok NyÉNy irányú fő és NyDNy irányú mellék hasadékhálózatban oldód-tak ki, melyek egymással 60°-ot zárnak be. A fő hasadékirányt azért nevezzük így, mert a járatok többsége ilyen irányú.

Ha elfogadjuk azt az elméletet, mely szerint a Bir al Ghanam-i gipszképződmény eredetileg anhidrit gyanánt rakódott le, el kell fogadnunk

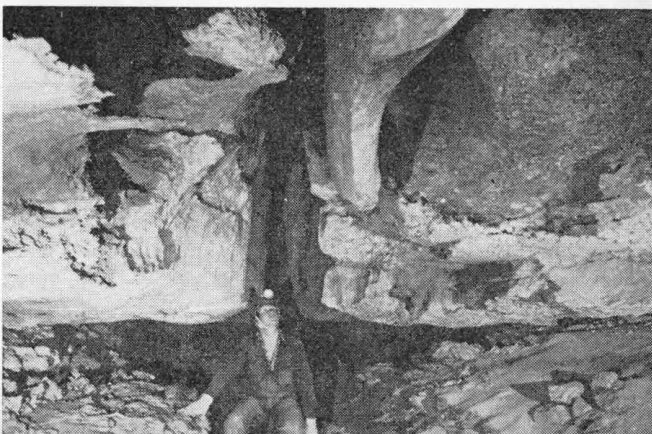


4. ábra. Hasadék-irányított-ságú járat. A „Cső” az Umm al Masabih-barlangban (fotó: Borzsák P.)
Fig. 4 Joint oriented passage. The “Tube” in the Umm al Masabih Cave

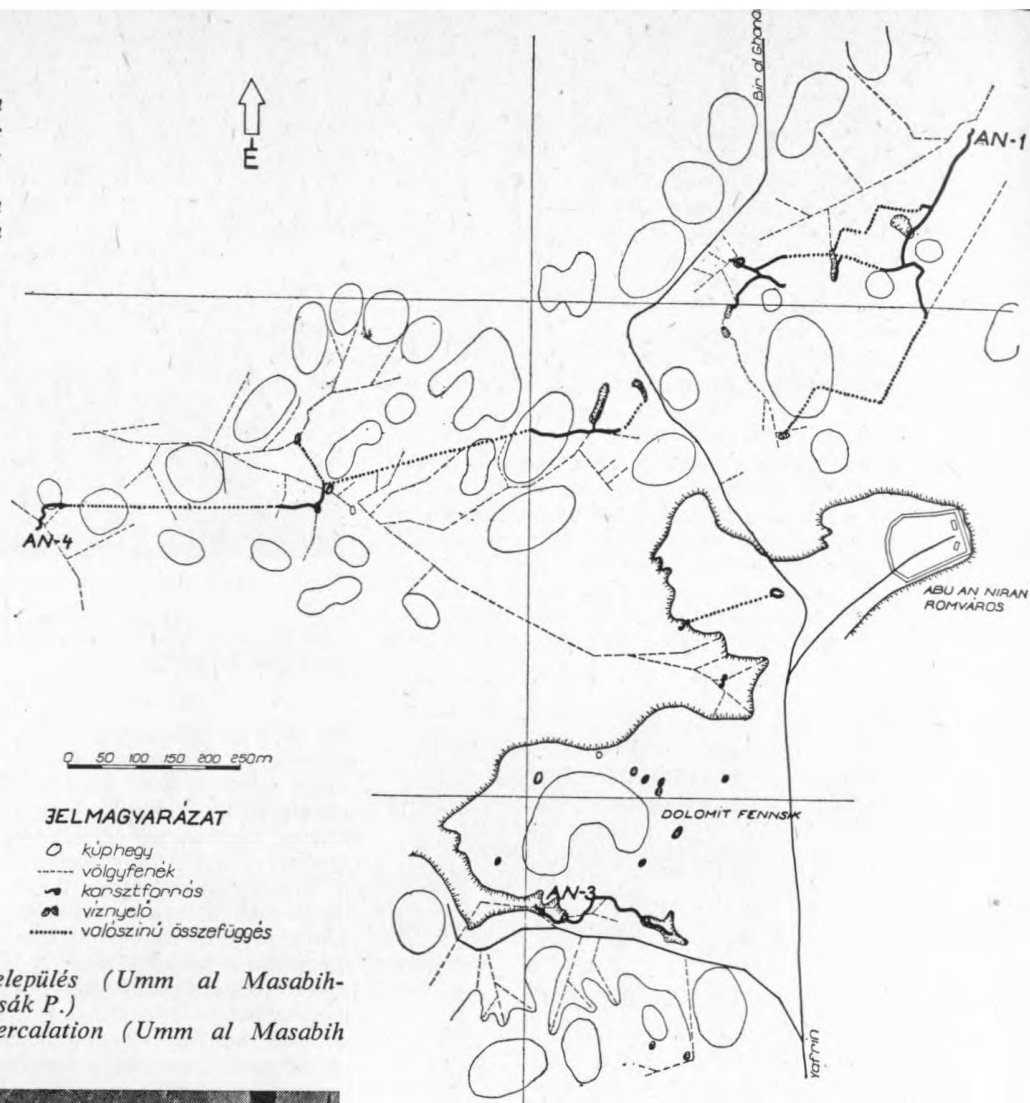
azt is, hogy „karsztvíz” nem található a formáció mélyében. A karsztvíz hiánya annak tudható be, hogy a tektonikus vonalak mentén leszivárgó víz az anhidritet gipsszé alakítja. Az átalakulás 1,3-szoros hosszirányú növekedéssel jár, mely valamennyi pórust, vagy hasadékot bezárja, ameddig az anhidritkészlet tart. Teljes gipszesedés esetében, mely csak a felszín közelében következik be (az Umm al Masabih-barlangban anhidrit bukkan elő) megindul a karsztosodás. A beszivárgó vizek nyugati irányú áramlása megindul a hasadékhálózatban a gipszrétegek határán, és a betelepült nem szulfátos rétegek mentén. Kezdeti részjáratok alakulnak ki. A rendszert a mélyebben fekvő vádik löszös jellegű szélhordta üledéke csapolja meg eleinte. A vádik mélyülésével a járatrendszer hidraulikus gradiense, így az áramlás sebessége és mennyisége növekszik, a vízvezető rések barlangjáratokká fejlődnek.

Nyilvánvaló nyomai vannak, hogy a barlangokban a víz telt szelvényvel folyik a ritka, de nagy intenzitású esők idején. A kezdeti jellegű járatok kör szelvényűek, minthogy az oldás hatása bármely oldalon azonos a telt szelvényű áramlás idején.

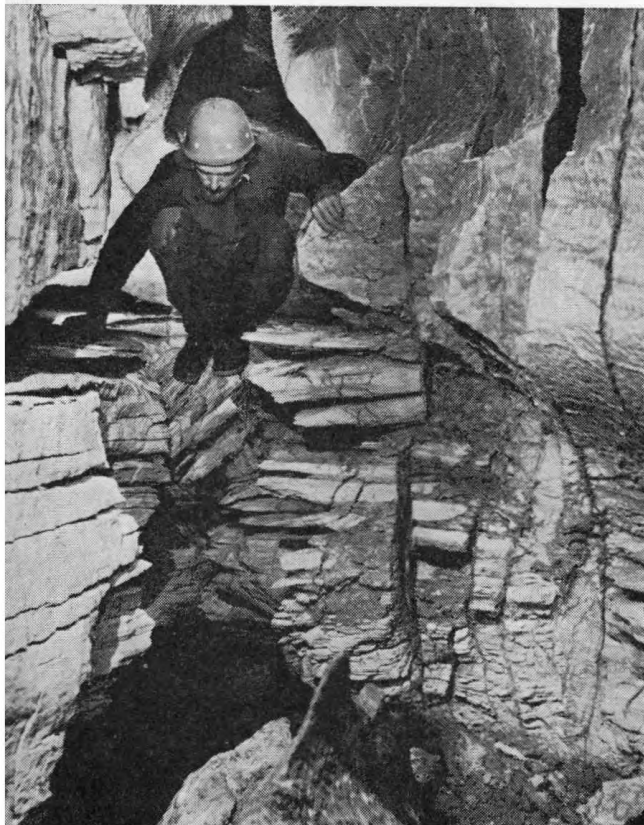
5. ábra. Barlangfejlődés réteglap mentén (Hiéna-barlang) (fotó: Borzsák P.)
Fig. 5 Cave development along bedding plane (Hyena Cave)



7. ábra. Az Abu an Niran-i terület térképe barlangi alaprajzokkal
 Fig. 7 Map of the Abu an Niran area with cave plans



6. ábra. Anhidrit-betelepülés (Umm al Masabih-barlang) (fotó: Borzsák P.)
 Fig. 6 Anhydrite intercalation (Umm al Masabih Cave)



Bizonyos keresztmetszeti méret elérése után a feltelvényű áramlás nem jellemző az áradás nagyobb részében. Az oldás a járatok fenekén intenzívebb, mint másutt. A barlangjáratok utófollyással történő továbbfejlődése a járatfenék oldhatóságától és a hidraulikus gradiens növekedésének mértékétől függ.

Tiszta, hasadék-irányítottágú járatok alakulnak ki homogén, vastag gipszrétegekben, melyek magasak, ha a hidraulikus gradiens változása gyors — viszonylag tagolt területeken, így a Wadi Fasat-i és az Abu an Niran-i területen. Hosszú csövek képződnek nyugodtabb terepviszonyok esetében (Zahrat al Ghar terület). A lassú, hosszan tartó utánfolyás, mely hónapokig tarthat a hosszabb rendszerekben, formálja a járatok fenekét, meanderek jönnek létre. Az összetett járatszelvények csaknem mindig tartalmazzák tetejükön az eredeti kerek csőjárat nyomait (pl. 3/f ábra). A járatok szélessége, formája a gipszrétegek relatív oldhatóságától függ, valamint a betelepült instabil agyagok („szellemkaros” szelvény) vagy az ellenálló dolomit helyzetétől.

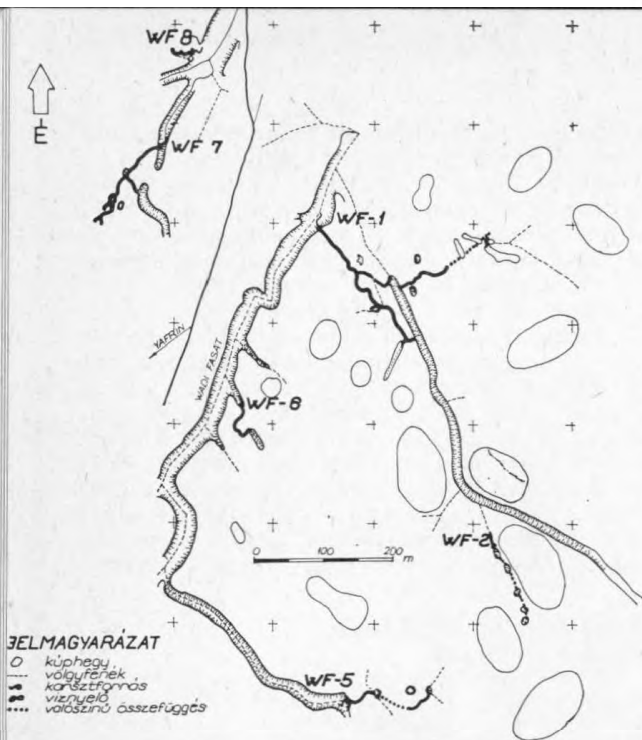
B típusú barlangok erednek a B típusú víznyelők-ből. Az ilyen barlangok az A típusúakhoz hasonló módon keletkeznek és fejlődnek. A lényeges különbség az, hogy míg az A típusú barlangok nyomvonala nagyjából független a felszíni terepviszonyoktól és közzetakarásuk nagyobb lehet a kúphegyek magasságánál, addig a B típusú barlangok takarása mindig vékony, miután ezek a dolomitplató felszínével párhuzamosan fejlődnek. A másik fontos különbség az, hogy a dolomitréteg alatt közvetlenül elhelyezkedő rétegsor zavart, sok a vékony agyagos betelepülés. A járatok inkább laposak, bevágódások helyett a réteglapok mentén történő fejlődés jellemző, többszintes barlang is kialakulhat. A vékony kőzetfedés és a széles, lapos járatok miatt a B típusú barlangok hajlamosak az omlásra, melyek a belméretet növelik. Így alakult ki a terület legnagyobb barlangterme is a Hiéna-barlangban (13×30 m).

Az omlások végül a B típusú barlangok és egyúttal a dolomitplatók pusztulásához vezetnek.

A Bir al Ghanam-i gipszkarszt barlangjai felmért összhosszukat tekintve (7017 m) 96%-ban három szűkebb terület alatt húzódnak, melyek a mintegy 350 km² területű gipszkibukkanásnak mindössze kb. 2%-át teszik ki. Ez az arány is tükrözi, hogy a karsztosodásnak a barlangképződés nem szükséges, hanem véletlenszerű eleme. A barlangképződés csak valamennyi előfeltétel együttes adottsága mellett zajlik le. Az említett három fő terület a Zahrat al Ghar (ábrát lásd: Szablyár, 1981), az Abu an Niran (AN, 8. ábra) és a Wadi Fasat (WF, 9. ábra) Kisebb jelentőségű a Wadi Ash Shaykh (WS) és a Bir Ayyad (BA) terület. Az alábbiakban közreadjuk a terület barlangjainak statisztikáját. (Lásd: táblázat.) Meg kell jegyeznünk, hogy a barlangok kódjeleit fogadta el a líbiai vízügyi hatóság hivatalos

A BIR AL GHANAM-I GIPSZBARLANGOK JEGYZÉKE
(List of the Bir al Ghanam Gypsum Caves)

A barlang kódja, neve Code, name of the cave	Víznyelők száma No. of swallets	Tagozat Member	Víznyelő típusa Type of swallet			Feltárás foka Degree of explor.			Járatok hossza Length of passages (m)
			A.1.b.	A.2.	B.	Teljes Total	Részl. Part.	O No	
ZG-1 Umm al Masabih	14	Bir al Ghanam (BG)	14			×			3593
ZG-2	1	BG		1				×	—
AN-1 Abu an Niran	7	BG	2	5			×		859
AN-2 (Szöcske; Locust)	1	BG		1			×		105
AN-3 (Hiéna; Hyena)	2	Bu an Niran (BN)			2	×			365
AN-4 (Nyugati; Western)	5	BG	3	2			×		435
WF-1 Ain Wadi Fasat	5	A	3	2			×		618
WF-2 (Olajfás; Olive)	3	A	3					×	—
WF-3 (Ácsos; Carpenter)	1	A		1		×			240
WF-4 (Átjáró; Passageway)	1	A	1			×			30
WF-5 (Fügefás; Figtree)	3	A	2	1			×		114
WF-6 (Jégverem; Ice-pit)	1	A	1			×			88
WF-7 (Metró; Subway)	3	A	2	1		×			273
WF-8 (Zsebmétró; Pocket-subw.)	1	A				×			25
WS-1 (Kúp; Cone)	1	A	1			×			63
BA-1 (Piros Denevér; Red Bat)	1	BN			1		×		209



8. ábra. A Wadi Fasat terület térképe barlangi alaprajzokkal
Fig. 8 Map of the Wadi Fasat area with cave plans

megnevezésként. A kevés helyi arab elnevezésen túl valamennyi barlangnév az expedíció résztvevőitől származik, és itt a könnyebb megjegyezhetőség kedvéért alkalmazzuk ezeket. Nem tüntettük fel a táblázatban az A.1. típusú víznyelőket, ezeket nagy számuk és kicsinségük miatt nem vettük bele a statisztikába. A feltárás fokán a „teljes” megjelölés alatt a víznyelőtől a karsztforrásig feltárt barlangokat értjük. Az expedíció valamennyi felfedezett, járható járatot feltérképezte, így a „részleges” feltárás a járhatatlanul szűk összefüggéseket jelzi.

Dr. Kósa Attila
OVIBER Budapest,
Alkotmány u. 27.
1054

GYPSUM CAVES OF BIR AL GHANAM, LIBYA

The Hungarian NIKEX-OVIBER Drilling Co. successfully completed the professional research and survey of the Libyan Bir al Ghanam Gypsum Karst in 1981. The table lists the caves of more than 7 km of total length in the area. It was found that the Bir al Ghanam caves are of stream type, vadose in origin. Due to their relative purity the caverniferous gypsum layers are positioned under and above the non sulphatic Bu an Niran Member that separates the upper (Abregh) and the lower (Bir al Ghanam) members of the gypsum formation. Erosion and karstic solution of the Abregh Member exposes the dolomite of the Bu an Niran Member, its plateau is then „undermined” by the solution of the under-

lying gypsum beds. After the weathering of the dolomite layer again cone-hilly karst and caves develop in the lower gypsum member. Depending on the location of swallets opening on gypsum or dolomite surface they are classified as A or B type which are entrances to A or B type caves. Both bedding plane and joint orientation plays role in the development of the cave passages. Gypsum layers of various quality, intercalations of dolomite, clays, marls and occasional anhydrite influence the shape of cross sections. The cave passages are shaped by the very seldom floods (several hours a year) and by the afterflows of longer duration in the cases of longer systems.

IRODALOM

- BALÁZS D. (1970): Relief Types of Tropical Karst Areas. — Symposium on Karst Morphogenesis, HUNGARY, papers.
(1971): A barlangi meander képződése. — *Karszt és Barlang* II. p. 75–80.
(1971): Intensity of the Tropical Karst Development Based on Cases in Indonesia. — *Karszt- és Barlangkutató, 1968–1971*, p. 33–37.
BÖGLI, A. (1978): Karsthydrographie und physische Speläologie — Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York
BREISCH, R. L. (1978): The Truth about Gypsum Caves. — *NSS News*, No. 9, 1978, p. 183
EYRE, S. R. (1971): Vegetation and Soils. — Edward Arnold, London
FIEDLER, H. J. (1973): Methoden der Bodenanalyse. Band 1. Feldmethoden. — Verlag Theodor Steinkopff, Dresden
GEOLOGICAL MAP OF LIBYA (1970): Sheet Tarabulus, Industrial Research Center, Libya
GEFLI (1972): Soil and Water Resources Survey for Hydro-Agricultural Development, Western Zone. — General Water Authority, Libya
GUALTIERI, J. L. (1967): Exploration of the Jefren Gypsum-Anhydrite Deposit. — Ministry of Industry, Libya
GUTIRREZ, A.—WELLS, S. G. (1978): Geomorphology and Hydrology of the Gypsum Plain Karst, Eddy County, New Mexico. — Cave Research Foundation, Annual Report
JENNINGS, J. N. (1971): Karst. — MIT Press, Cambridge
KÓSA A.—SMYKATZ—KLOSS, W. J. (1978): Korróziós jelenségek a Nafusza-hegységben. — *Karszt és Barlang* I–II. p. 43–48.
KÓSA A. (1979): Discoveries in Libya. — *The British Caver, Summer Issue*
(1980 a): Gipszkarszt felfedezése Líbiában. — *Karszt és Barlang*, I. p. 23–24.
(1980 b): A Bir al Ghanam-i sivatagi gipsz-karszt. — *Karszt és Barlang*, II. p. 71–74.
(1980 c): Hydrology of the Abu an Niran Gypsum Karst Area. — *FPME Journal*, Vol. II. p. 29–34. September, Al Fatah University, Tripoli, SPLAJ.
(1981 a): Desert Gypsum Karst in Bir al Ghanam, Libya. — *Eight International Congress of Speleology, Proceedings*, Vol. 1 p. 154.
(1981 b): Gypsum Caves in Libya. — (Mint az 1981/a, p. 156.)
(1981 c): Bir al Ghanam gipsz-barlangjai. — *Karszt és Barlang*, I–II.
(1982): Barlangok a sivatagban. — *Természet világa*, 2. sz. p. 86–88.
KRIEG, W. (1981): Neue Genetische Probleme bei Loughöhlen nach Entdeckung der bedeutendsten Gipshöhle in den Alpen. — *Die Höhle*, (31) 4, p. 130–140.
NEMECZ E. (1973): Agyagásványok. — Akadémiai Kiadó, Budapest
REINBOTH, F. (1968): Beiträge zur Theorie der Gipshöhlenbildung. — *Die Höhle*, 3.
TRUDGILL, T. S. (1977): Soil and Vegetation Systems. — Clarendon Press, Oxford.
VÖLKER, R. (1973): The Development of Gypsum Caves. — *6th International Congress of Speleology, Olomouc, Abstracts*.
WADEWITZ, S. (1981): Chemische und physikalische Abschätzungen zur Kondenswasserkorrosion (Teil I.). — *Fundgrube*, (17) 1. p. 10–20.
WHITE, W. B., DEIKE, G. H. (1976): Hydraulic Geometry of Solution Conduits. — *NSS Annual Convention*, p. 57–60.