

Veress Márton—Zentai Zoltán—Tóth Gábor—Czöpek István—Schlaffer Roland

A MADAGASZKÁRI TSINGY KIALAKULÁSA

ÖSSZEFOGLALÁS

Madagaszkár jellegzetes karrformáját (karregyüttesét) a tsingyt mutatjuk be. Különböző vizsgálatokat végeztünk a tsingyn (pl. térképezést, szelvényezést, hasadék irányok mérését, stb.). A tsingynek a szigeten két jelentős előfordulása ismeretes: az ankaranaui tsingy és a bemarahai tsingy (1. ábra). Megállapítottuk, hogy a tsingy karregyüttes. A tsingy törések mentén kialakult nagyméretű hasadékokból és az ezek közti felszíneken különböző kisebb karrformákból épül fel. A hasadékok nem talajalatti oldódás során jöttek létre. Az ankaranaui tsingy hasadékait a törések mentén elszivárgó csapadékvíz alakította ki. A bemarahai tsingy hasadékai az epifreatikus, ill. a freatikus övben képződtek. Az áramló karsztvíz övében létrejött járatok később a felszínre nyíltak. Ebben szerepe lehetett a felszínről lefelé terjedő oldódásnak, vagy a járat-mennyezetek beomlásának.

1. Bevezetés

Tanulmányunkban bemutatjuk a madagaszkári tsingyk formakincsét. Magyarázzuk a formák



1. ábra. A tsingy előfordulása Madagaszkáron (BALÁZS 1980. évi adatainak felhasználásával)

kialakulását, az ankaranaui- és a bemarahai tsingynek az eredetét és fejlődését.

FORD—WILLIAMS (1989) osztályozása szerint „Corridor karst”, „Labyrinth karst”, vagy „Giant

griekland”, de egyes részei „Pinnacle karst”-nak is tekinthetők. Mint az alább kiderül, a hasadékok közti tömbökön, a magaslatok tetején és oldalán, számos különböző, másodlagos karrforma fordul elő. Ezek talajnélküli környezetben létrejött karrok, és megegyeznek a magashegységi karrokkal. Méretük nem, vagy nem számottevő mértékben haladja meg pl. az alpi karszterületek karrformáinak méretét, sűrűségük azonban igen. Ezért a tsingy speciális trópusi karregyüttes.

A tsingynek (magyarul lábujjhegyenjáró) Madagaszkáron két előfordulása ismeretes (1. ábra): az ankaranaui- és a bemarahai tsingy. A madagaszkári tsingyket elsőként DUFLOS (1966) és ROSSI (1974, 1983) írta le. Így ROSSI (1983) bemutatta a tsingy néhány morfológiai sajátosságát is (pl. hasadékokra és karszterű magaslatokra különül). A különböző expedíciók a tsingy karsztnak elsősorban a barlangjait és élővilágát kutatták (DUFLOS 1966, DOBRILLA—WOLOZAN 1994, MIDDLETON 1996, 1998). Összefoglaló jellemzését a tsingynek MIDDLETON (2004) adta meg. A madagaszkári tsingyhez hasonló karrokat írtak le Brazíliából (TRICART—CARDOSO 1960), Új-Guineából (VERSTAPPE—WALL 1965), Tanzániából és Kenyából (COOK 1973). ROSSI (1983) szerint olyan mészköveken alakul ki tsingy közvetlenül a csapadékvíz hatására, amely jól rétegzett, tiszta, nyitott törésekkel sűrűn átjárt, kristályos és kevésbé porózus. ROSSI (1974) szerint a csapadékhullás intenzitása is fontos lehet létrejöttében (az ankaranaui tsingyn 1 óra alatt 105

mm, ill. 24 óra alatt 350 mm csapadék hullást is mértek). ROSSI (1974, 1983) és BALÁZS (1980) szerint a törések mentén szivárgó csapadékvíz oldja a kőzetet, miáltal a rések, repedések egyre szélesedve hasadékokká fejlődnek. SALOMON (1987) szerint a tsingy talaj és málladéktakaró alatt alakul ki, amelyeket elveszítve fokozatosan kitakaródik.

A tsingy változatos morfológiai helyzetben fordulhat elő. Így megtalálható tetőhelyzetben (völgyközi háton, völgyoldalban), vagy alig tagolt, alacsony, sík felszíneken. Kisebb kiterjedésű, kevésbé fejlett foltjai völgytalpon is előfordulnak (Ez az előfordulás kúpkarlsruéri.). Személyes tapasztalataink alapján a tsingy bár sok hasonlóságot mutat a köerdő típusú karral, mégsem teljesen azonos azzal. Külön kutatás tárgyát képezhetné a két típus pontos morfológiai és genetikai elkülönítése.

Mind az ankaranoi-, mind a bemarahai tsingy alacsony, dombsági karszt, felszínük tszf-i magassága 320 m alatti (különböző részleteinek magasságát ld. alább). Az ankaranoi tsingyn a csapadék mennyisége több mint 2000 mm, míg a bemarahain 1000–1500 mm közötti. A tsingyket hordozó júra mészkő törések mentén megbillenve nyugatnak dől. A hordozó térszínnek K-i peremei, amelyek kuesztát formálnak, a meredekebb elvégződésűek. A tsingy-felszínnek más felszíni formákban, így karsztformákban is szegények.

Így az ankaranoi karszt tsingys térszíneinek a területén ill. környékükön kanyonok (DUFLOS 1966), és más különböző méretű és alakú völgyek fordulnak elő. E völgyek a határoló bazaltos térszínekről nyúlnak át a mészkőre. Többségük valószínűleg átöröklődéssel fejlődött, de miután a karsztvízszint közel húzódik a felszínhez, ill. korábban azt akár el is érte, átöröklődés nélkül is létrejöhetnek a fedetlen karszton. Mint említettük, más karsztformák alig fordulnak elő a tsingys felszíneken. Hiányoznak az oldódásos dolinák, csak néhány szakadékdolina és víznyelő alakult ki a tsingys térszíneken. Ez utóbbiak a bazaltos felszínnek pereménél is létrejöhetnek. Bár a karsztperemi víznyelők medre vagy völgye nem a bazaltos térszínen, hanem a karszton jött létre, amelynek kedvezhetett, hogy — mint már említettük — a karsztvízszint a felszínhez közeli helyzetű lehetett. Előfordulnak karsztbelseji víznyelők is (ankaranoi kis tsingy). Ezek nem völgytalpi közethatárnál képződtek, hanem szakadéktöbrökből alakultak át

víznyelővé. Ezek csak nedves évszakban kapnak vizet. Ugyancsak az ankaranoi kis tsingyre jellemző, hogy itt néhány völgytalpon előfordulnak kisebb, néhány m átmérőjű fedett karsztos formák is. A fedőüledék mállási maradék és bazalttörmelék. Ezek ott alakulnak ki, ahol a mészkőben kialakult kürtő a felszínre nyílik. A tsingy-felszínnek területére azonban sohasem vezetnek sem állandó, sem időszakos vízfolyások. Természetesen a tsingy-karszton gyakoriak a különböző méretű, jellegű (genetikájú) barlangok is.

2. Vizsgáló módszerek

Vizsgálatainkkal a tsingy formáinak jellemzőihez (méretük, irányultságuk), a karsztozódás mértékéhez gyűjtöttünk adatokat. Morfológiai felvételezéseink célja a tsingy tipizálása, kialakulásának, fejlődésének és a képződés környezetének a felvázolása volt:

- Mindkét tsingyn GPS-el magasságméréseket és helymeghatározásokat végeztünk.

- Mérési adataink felhasználásával kereszt-szelvényeket szerkesztettünk (2–3. ábra).

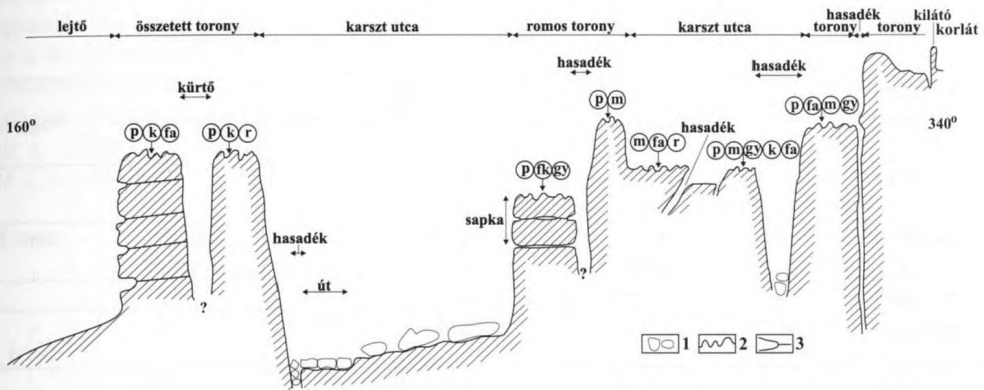
- Számos (273 db) hasadéknak mértük az irányát. Az adatokat osztályközőkbe sorolva a hasadékoknak megadtuk az iránygyakorosság eloszlását (4–5. ábra).

- Mértük a hasadékok szélességét és mélységét. Az adatokat osztályközőkbe soroltuk (5. ábra). A bemarahai nagy tsingy hasadékainak mélységeloszlását nem készíthettük el, miután a rendelkezésünkre álló eszközzel megbízható méréseket csak a kisebb mélységű hasadékoknál tudtuk végezni.

- Az ankaranoi kis tsingyn 3, a nagy tsingyn 2 helyen szelvény mentén mértük a karrformák szélességét, mélységét és helyét. E szelvények mentén számítottuk a fajlagos szélességet, vagy a fajlagos leoldódást, valamint a sűrűséget karrformánként és az összes karrformára is. A fajlagos leoldódás az 1 m-re jutó karrforma összes szélességének az átlaga, de megadható minden egyes karsztforma típusra is (1. táblázat /VERESS 2004).

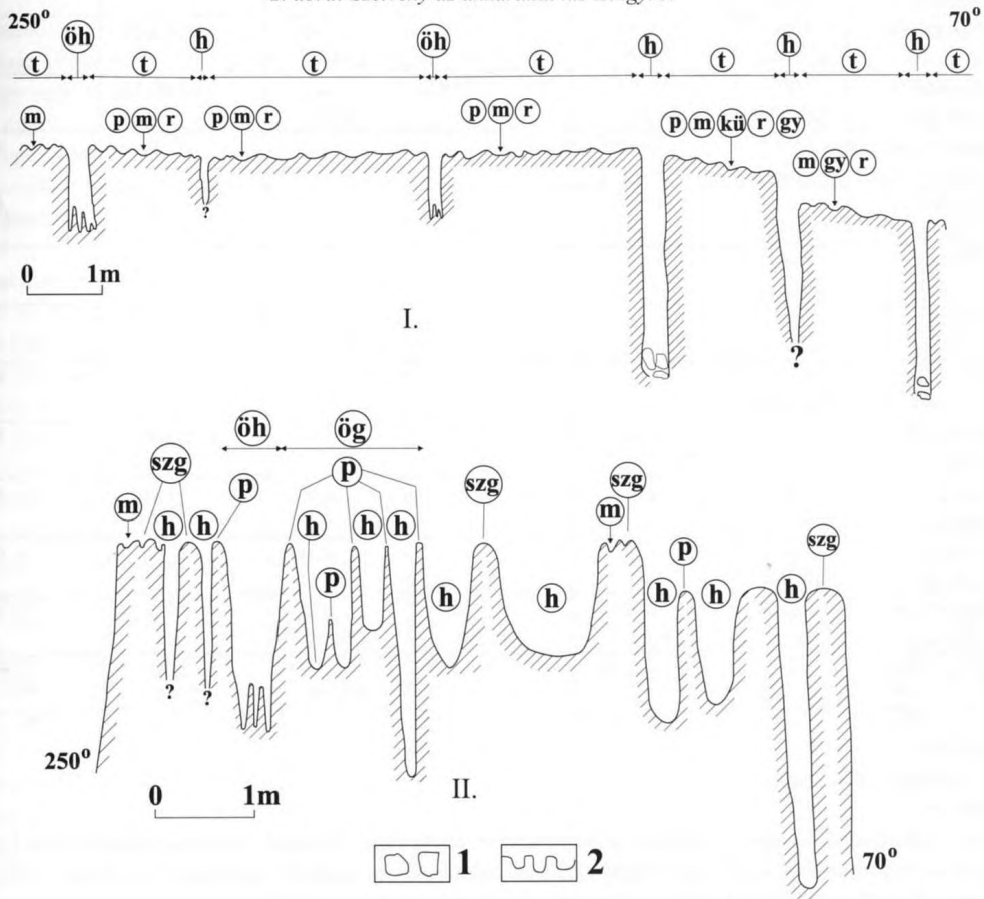
- A bemarahai tsingyn a terepbejárás során hasadékokról és barlang folyosókról vázlatos keresztmetszeteket, alaprajz- és hossz-szelvény részleteket készítettünk (7–8. ábra).

A bemarahai nagy tsingyn több helyen mértük a



Jelmagyarázat: 1. törmelék, 2. karrosodott felszín, 3. réteglap menti hasadék, p: pengegerinc, gy: gyűszűkar, m: madáritató, fa: falikarr, k: kúpkar, r: rinn (vályú)

2. ábra: Szelvény az ankaranai kis tsingyről



Jelmagyarázat: 1. törmelék, 2. karrosodott felszín, 3. réteglap menti hasadék, p: pengegerinc, gy: gyűszűkar, m: madáritató, fa: falikarr, k: kúpkar, r: rinn (vályú)

3. ábra: Szelvények az ankaranai nagy tsingyről

A karrformák fajlagos szélessége és sűrűsége az ankaronai tsingyn

Szelvény adatai és a karrformák		Kis tsingy	Kis tsingy	Kis singy	Nagy tsingy	Nagy tsingy
szelvény jele		III.	IV.	V.	VI/a.	VIII/b.
szelvény helye		torony oldala	torony teteje		tömb felszíne	tömb felszíne
szelvény hossza	[m]	5,46	2,6	1,8	15,2	11
Vályú	f.sz. [cm/m]	3,11	21,53	55,55	27	-
vályú s. (db/m)	s [db/m]	0,18	0,38	2,22	0,92	-
falikarr f. sz. (cm/m)	f.sz. [cm/m]	52,93	11,54	35,56	0,01	-
falikarr s. (db/m)	s [db/m]	2,74	0,38	1,11	0,06	-
rillenkarr f.sz. (cm/m)	f.sz. [cm/m]	6,31 ; 39,83	- ; 119,42	- ; 134,17	- ; 0,601	-
rillenkarr s. (db/m)	s [db/m]	4,21 ; 24,91	- ; 79,62	- ; 8,94	- ; 40,13	-
hasadék f.sz. (cm/m)	f.sz. [cm/m]	10,07	-	-	6,46	4,54
hasadék s. (db/m)	s [db/m]	0,18	-	-	0,33	0,09
kürtő f.sz. (cm/m)	f.sz. [cm/m]	-	29,62	-	-	-
kürtő s. (db/m)	s [db/m]	-	0,38	-	-	-
madáritató f. sz. (cm/m)	f.sz. [cm/m]	-	30,77	-	0,85	39,27
madáritató s. (db/m)	s [db/m]	-	0,77	-	0,06	0,45
kúp f. sz. (cm/m)	f.sz. [cm/m]	-	-	8,89	11,61	9,09
kúp s. (db/m)	s [db/m]	-	-	0,56	0,26	0,18
összes f. sz. (cm/m)	f.sz. [cm/m]	72,43 ; 99,63	93,46 ; 212,88	100 ; 234,17	56,3 ; 116,3	70,18 ; 87,9
összes s. (db/m)	s [db/m]	7,32 ; 28,09	1,92 ; 81,53	3,89 ; 93,33	2,31 ; 42,31	1,09 ; 12,9

Megjegyzés

- f. sz.: fajlagos szélesség

- s: sűrűség

- A rillek, valamint az összegzett értékek oszlopában két számadatot találunk. Az első számadat más karos formához nem kapcsolódóan előforduló rillek adatait tartalmazza. A második számadatot az előző érték, továbbá más karos formában előforduló rillek adatainak felhasználásával számítottuk ki.

- rill becsült szélessége: átlagosan 1,5 cm

hasadékfalakon előforduló scallops¹ csoportok egyes tagjainak az átmérőjét (ez a formának a kialakító víz feltételezett áramlási irányába eső legnagyobb kiterjedése). A scallops-átmérőkből számítottuk a kialakulásukat okozó karsztvíz áramlási sebességét az alábbi képlet felhasználásával (LISMONDE—LAGMANI 1987):

$$V = \frac{250}{L}$$

ahol $V \left[\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right]$: a scallopsot kialakító víz áramlási sebessége,

250: az áramló vízre vonatkozó tapasztalati úton kapott állandó,

L [cm]: a scallops kiterjedése (az áramlás irányába).

Az áramlási sebesség számítható (amelyeket a II. táblázatban közlünk) a scallops hosszak átlagából (V_1), vagy úgy, hogy az áramlási részsebességeket minden egyes scallopsra kiszámítjuk, majd ezek átlagát képezzük (V_2).

3. Az ankaranoi tsingy

Az ankaranoi tsingy a sziget É-i részén Diego városától 70 km-re D-re található. Itt a tsingy kisebb-nagyobb foltokban viszonylag nagy területen terjed el (teljes kiterjedése kb. 200 km²). Két jelentősebb kifejlődése említhető: a kis tsingy és a nagy tsingy, amelyek egymástól mintegy 20 km-es távolságra vannak. A kis tsingy egy völgy és a Denevér-barlang szakadéktöbre közti hát lejtőin és tetőszintjén található. Az oldallejtőkön azonban csak helyenként kis kiterjedésű (néhány m-es) foltjai fordulnak elő ott, ahol a talaj hiányzik. E foltok területén a hasadékok kevésbé mélyek, mint a tetőszinten kifejlődött tsingy hasadékaié. Ez utóbbi tsingy-részlet kiterjedése 1600 m², tszf-i magassága 295 m alatti. A hordozó 200 m-es vastagságú jura mészkő jól rétegzett. A rétegek vastagsága 30—70 cm közötti, dőlésirányuk 82°, dőlésszögük 10°. A nagy tsingy kis magasságú (315—320 m közötti), enyhén hullámos, völgyekkel tagolt térszínen alakult ki, egy szakadéktöbör peremén. Kiterjedését 0,5—1 km²-nek becsüljük. Mind a nagy tsingyn, mind a kis tsingyn

¹ A scallopsok félkör keresztmetszetű, felülnézetben megnyúlt, kagylószerű bemélyedések.

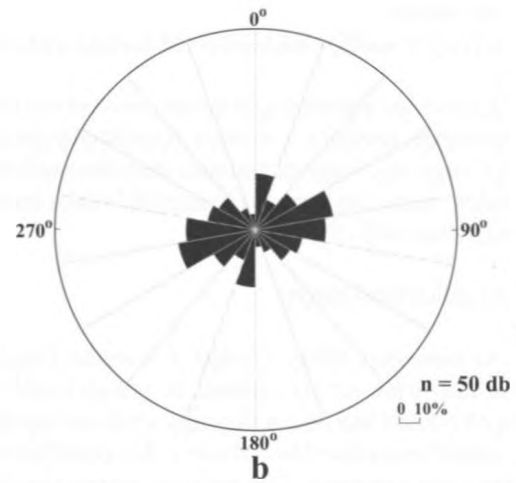
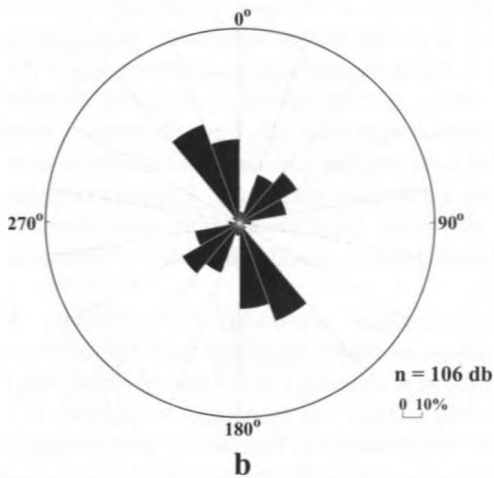
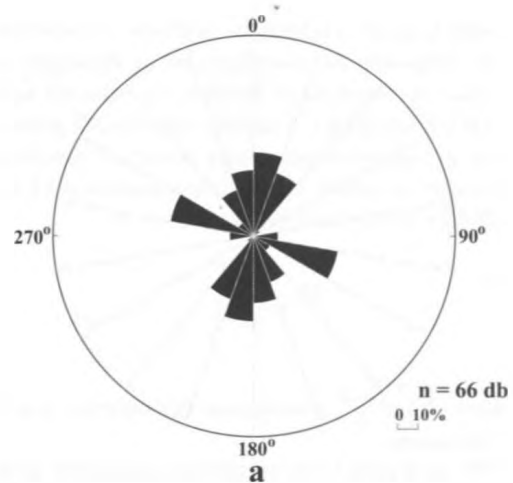
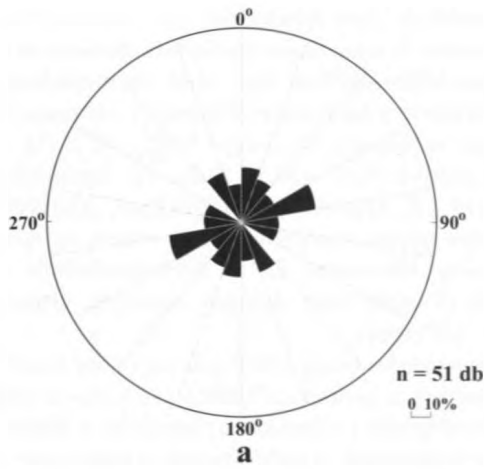
a hasadékok közti felszíneken igen számottevő a karrosodás. A másodlagos karrformák sűrűsége és a fajlagos szélessége igen nagy, eléri, sőt meghaladja a kőso karrformáinak ezen jellemzőit (I. táblázat). A fajlagos szélesség a kis tsingyn 91,02—98 cm/m, a nagy tsingyn 46,45—59,55 cm/m. Ha figyelembe vesszük a nagyobb karrformákban kialakult kisebbek adatait is, a kis tsingyn az átlagos fajlagos szélesség 196 cm/m. Ez az érték meghaladja a kőson (Parajd) mért fajlagos szélesség értéket (138—148 cm/m).

Az ankaranoi tsingy elsődleges vagy nagy formái a hasadékok, a gerincek, a tömbök és a tornyok, míg a másodlagosak a rillenkar, a rinnenkar, a falikarrok, a madáritatók, a gyűszűkarrok, a kúpkarrok, a kisebb gerincek (2—3. ábra). Különösen a gyűszűkarrok és a rillenkarrok kifejlődése lehet nagyon sűrű. Előzőek összenövése miatt köztük kúpok jönnek létre. A rillenkarrok a meredek lejtőkön folytonosan fordulnak elő. Egy rillsorozat a lejtőn előbukkanó réteglap vonalánál kiékelődik, de utóbbi alatt újabb rillek kezdődnek. A lejtőn a rillenkarrok folytonos kifejlődése miatt hiányoznak az oldódásmentes („Ausgleichsfläche”) felszínrészek.

A hasadékok szélessége és mélysége, de különösen az utóbbi nagysága igen változatos. A kis tsingyn a mélység 1 m-től 6 m-ig terjed, míg a szélesség néhány cm és néhány m közötti (6. I. ábra). Hasonlóképpen irányuk is változatosak. A kis tsingyn a hasadékok legalább három irány mentén csoportosulnak (4. a. ábra). A nagy tsingyn a hasadékok iránya kevésbé változatos. Gyakoriságuk két, egymásra merőleges (ÉÉK-DDNY, valamint NYÉNY-KDK) irány mentén (4. b. ábra) nő meg. A nagy tsingy hasadékainak mélysége 0,5—11 m között, míg a szélesség néhány cm és 6 m között változik (5. II. ábra). Itt azonban jellemzőbbek a néhány dm-es szélességű, keskeny hasadékok. Amíg a nagy tsingyn a hasadékok 78%-a keskenyebb 1 m-nél, addig a kis tsingyn a hasadékoknak csak a 36 %-a szűkebb 1 m-nél.

A hasadékok között elkülöníthetők egyszerű hasadékok (néhány dm széles, lefelé kiékelődő formák), összetett hasadékok (talpukat részhasadékok tagolják) és karrutcák (több m-es szélességűek). Utóbbiakat rendszerint nem egységes fal, hanem tornyok határolják.

A gerincek (I. kép) változatos magasságú és



4. ábra. Hasadék irányok gyakoriságának eloszlása az ankaranaai kis (a) és nagy tsingyn (b)

5. ábra: Hasadék irányok gyakoriságának eloszlása a bemarahai kis (a) és nagy tsingyn (b)

hosszúságú maradványformák. A nagyobbak hasadékokat választanak el egymástól. Közöttük elkülöníthetők széles gerincek (tetejük 0,2—1,0 m között), pengegerincek (a tető 0,2 m-nél keskenyebb) és összetett gerincek (a tető több pengegerincre különül).

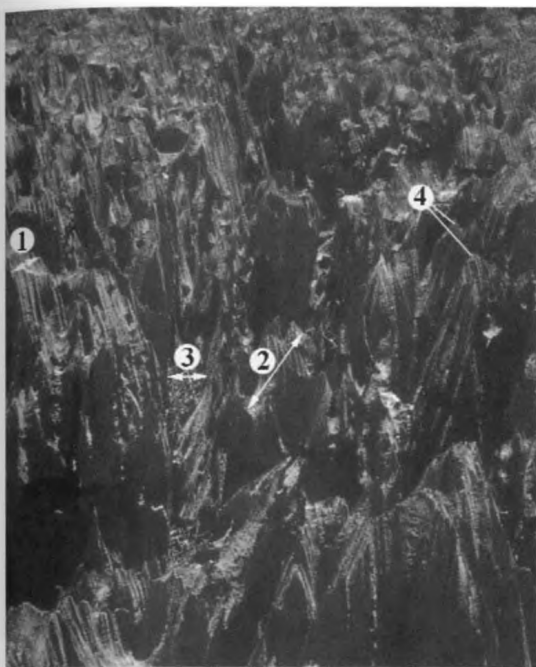
A tornyok (2. kép) néhány m magas alaprajzban négyzetes, vagy megnyúlt formák. Elkülöníthető kúpos torony (teteje kúpos), sík tetejű torony (ezeken gyakoriak a madáritatók, gyűszűkarok, kúpkarok, kürtők és pengegerincek), összetett torony (a tetőszintjük több kúpra különül, amelyek közt, ill. amelyeken ugyancsak előfordulnak különböző karrformák) és romos torony (tetejének közete közöttömbe formájában, réteglap mentén elkülönült a torony anyagától) és az elpusztult torony (a torony eldőlt).

3.1. Karregyüttesek

A tsingy karregyüttese a tornyos-, a tömbös- és a penge-tsingy.

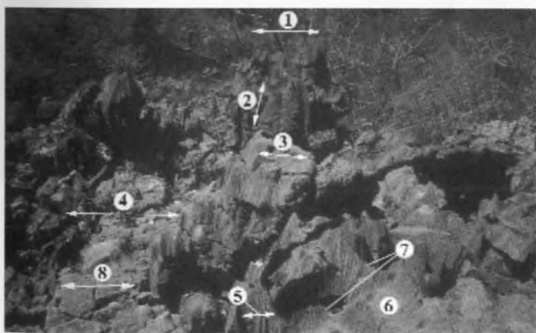
A tornyos-tsingy alkotja a kis tsingy jelentősebb részét (a magaslat tetőszintjét). E karregyüttes különböző méretű, egymásba kapcsolódó hasadékokból, ill. karrutkákból és az ezek között egymástól többé-kevésbé elkülönülő, különböző méretű, alakú toronyból áll (2. ábra, 2. kép).

A tömbös tsingy a nagy tsingyre jellemző formaegyüttes. Jellegzetessége a két irányú, egymásra merőleges hasadékok rendszere, amelyek kis lejtésű tömböket fognak közre (3. I. ábra). A tömbös tsingynek legalább két kifejlődése különíthető el. A fejletlenebb (fiatalabb?) hasadéakai keskenyebbek (20—50 cm közöttiek), kevésbé mélyek (1—2 m



1. kép. Az ankaranoi nagy tsingy (penge tsingy)
Jelmagyarázat: 1. rillenkar scallopsokkal, 2.
pengegerinc, 3. hasadék, 4. torony

közötti mélységűek), a tömbök felszíne kevésbé tagolt. A tömbök kiterjedése 2—5 m közötti. Karrformáik (rinnek, pengegerincek, madáritatók) kisebbek. A hasadékok aljzatán kisebb hasadékok (amelyeket pengegerincek különítenek el egymástól) fordulnak elő. A fejlettebb (idősebb?) típus hasadékaival valamivel szélesebbek (50 cm), mélységük többnyire 2 m-nél nagyobb. A tömbök felszíne karrformákkal sokkal tagoltabb, mint az előző változatéi. A tömbökön uralkodnak a nagyméretű



2. kép. Az ankaranoi kis tsingy (öreg tsingy)
Jelmagyarázat: 1. összetett torony, 2. sapka, 3. lepusztult
torony, 4. karrutca, 5. rillek, 6. madáritató, 7.
pengegerinc, 8. út

(több m átmérőjű) madáritatók, madáritató uvalák, továbbá a rinnek, a pengegerincek és kúpok.

A penge tsingy egymással párhuzamos hasadékok, hasadék labirintusok együttese. A hasadékok kiékelődhetnek, egymásba kapcsolódhatnak, egyenesek, vagy kanyargósak. E formákat közel egymagasságú gerincek különítik el egymástól. A hasadékok többnyire nem mélyek (1—3 m közötti mélységűek), de aljzatuk részhasadékokkal, ill. azokat elválasztó pengegerincekkel lehet tagolt (3. II. ábra, 1. kép).

3.2. Az ankaranoi tsingy kialakulása és fejlődése

A tsingy hasadékaival törések mentén alakultak ki, amit nemcsak a megfigyeléseink, a hasadékok gyakoriságának eloszlása, hanem az irodalmi adatok is megerősítenek. Megfigyeléseink a talajnélküli oldásos kialakulást is alátámasztják. Ugyanis a hasadékokban nincs, vagy csak elvétve van talaj. A csenevész, szórványos növényzet csak másodlagosan jöhetett létre a hasadékokban. A hasadékokból a talaj utólagosan nem pusztulhatott ki, ugyanis az olyan hasadékokból is hiányzik, amelyek talpán kisebb-nagyobb bemélyedések vannak. E helyekről a talaj nem szállítható el. A karszt belsejébe sem szállítható, miután a hasadékok többségének a talpa a nagy tsingyn teljesen zárt, nem folytatódik keskenyebb hasadékokban, vagy kürtökben. A taljalatti oldódás hiányát bizonyítja, hogy hiányoznak azok a formák, amelyek a hasadék falon keletkeznek talajelborítás alatt (pl. színlők, zsebek, stb.). Pinnacle-szerű karszt alakulhat ki barlangokban (Tardis-barlang, Sarawak) is (SIFFRE 1999). E formakincs barlangi jelenléte arra utal, hogy e formaegyüttes kialakulása talaj hiányában is végbemehet.

Véleményünk szerint a tsingy ott alakul ki, ahol a talaj lepusztul. (Kialakulása azonban a talaj alatt is elkezdődhet, ha ott korábban talaj elborítás volt.) Létrejöttének és fejlődésének a főbb mozzanatai az alábbiak lesznek (9. ábra):

- A bőséges csapadékvíz a törések mentén elszivároghatva hasadékokat alakít ki. Már ekkor elkezdődhet a hasadékok közti térszíneken is a karrosodás.

- Fiatal tsingy alakul ki, amelynek két fajtája van. Tömbös tsingy alakul ki, ha a törések kétirányúak és messzebb esnek egymástól. Penge tsingy képződik, ha a kőzetben a törések egyirányúak és a töréssűrűség nagy.

- Ha a térszín lejtése kicsi, a tömbökre hulló csapadékvíz már ott telitődik. Ez a hasadék fejlődését fékezi, de kedvez a tömbfelszín lealacsonyodásának. Ilyen esetben a tömbös tsingy fázis úgy is stabilizálódhat, hogy a hasadékok mélysége nem változik. Ez akkor lehetséges, ha a tömbök felszínének az alacsonyodása és a határoló hasadékok mélyülésének a sebessége hasonló.

- Akkor, ha a hasadékok szélesednek (tömbös tsingy), vagy az oldás újabb (más irányú) törések mentén kezdődik el (penge-tsingy) a tömbök szélességének a csökkenésével, vagy a pengék fel-darabolódásával kialakul a tornyos tsingy (öreg tsingy). Megjegyezzük, hogy ROSSI (1974) elkülönít elsődleges és másodlagos töréseket. Az elsődleges törések által közrefogott egyetlen tömbön belül a másodlagos törések mentén akár több torony is kialakulhat.

- A tömbös tsingy magaslatai elpusztulnak. ROSSI (1974) szerint a tornyok oldalajtóik pusztulásával egyre fogynak. Kellő elkeskenyedésüket követően eldőlnék (pusztuló tsingy). Tornyok pusztulását Sarawakról is leírták (WILLFORD—WALL 1965). Ilyen részletek fordulnak elő a kis tsingyn. A keletkezett kötötömbök a hasadékokban halmozódnak fel.

4. A bemarahai tsingy

A bemarahai tsingy Morondava városától 150 km-re É-ra, a Manamboló-folyó mentén (főleg É-i oldalán), mintegy 400 km² kiterjedésű területen található. Itt is elkülönítenek kis tsingyt és nagy tsingyt. A kis tsingy közvetlenül a folyót szegélyezi, míg az ún. Nagy tsingy a folyótól mintegy 8 km-re É-ra helyezkedik el.

A bemarahai tsingy olyan karregyüttes, amelynek hasadékai nagyobbak, mint az ankaranoi tsingy hasadékai, de a hasadékok itt is többnyire két irányban fejlődtek ki, ugyancsak tömböket fognak közre (3. kép).

A kis tsingy esetében a hasadékok mintegy 1–3 m szélesek (de előfordulnak 5 m, sőt 8 m-es hasadékszélességek is), a mélységük 5–20 m (6. III. ábra). E formák, mint említettük, két egymásra merőleges irány (ÉÉK-DDNy, NyÉNy-KDK) mentén csoportosulnak. Külön szükséges szólni a kis tsingynek a folyó által elmetszett, feltárt hasadékairól (4. kép) és barlangjáratairól (5. kép). Ezek a folyó



3. kép: Hasadék rendszerek a bemarahai tsingyről
Jelmagyarázat: 1. ÉK-DNy-i hasadékok, 2. ÉKK-DNyD-i hasadékok, 3. sziklahíd



4. kép: Folyó által feltárt hasadékok a bemarahai kis tsingyn



5. kép: Folyó által feltárt barlangok a bemarahai kis tsingyn

medrének sziklás, meredek falán sorakoznak. Jellemzőik az alábbiak:

- A barlangjáratok, folyosók mennyezete és a felszín között a kőzet lehet törésmentes, töréssel, vagy oldódásos, keskeny (néhány cm-es szélességű) hasadékkal átjárt.
- A törésmentes folyosók mellett (szintjében) a felszínről lefelé fejlődő hasadékok is előfordul-

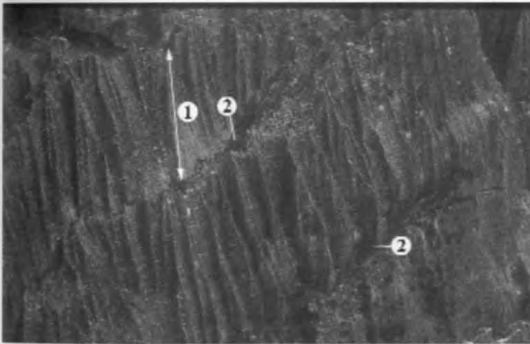


6. kép. A bemarahai nagy tsingy legnagyobb hasadék
Jelmagyarázat: 1. tornyok

nak. Utóbbiak folyosó nélkül is megjelenhetnek és különböző mélységig nyúlhatnak le.

- Előfordulhatnak függőleges vagy ferde helyzetű, lefelé elkeskenyedő, talpukon omlásos eredetű tömbökkel kibélelt hasadékok.

- Végül egyes hasadékok kiválásokkal (mésztafa,



7. kép. Egymás felett kifejlődött rillek sorozata a bemarahai kis tsingyn
Jelmagyarázat: 1. rill-sorozat, 2. réteglap

cseppkövek) különböző módon részben, vagy teljesen kitöltöttek. A folyosót, vagy hasadékot több szintre különíthetik a kiválásokból (és ezek által összecementált törmelékből, vagy mállástermékből álló) létrejött álmennyezetek. Ez utóbbi-



8. kép. Nagyméretű rinn a bemarahai nagy tsingyn
Jelmagyarázat: 1. színlők, 2. rillenkarr, 3. félkürtő, 4. kicsi kürtő

ak a folyosók kitöltésmaradványai.

A nagy tsingy hasadékainak a mélysége a kis tsingy hasadékainál lényegesen nagyobb, többségük mélysége 80—120 m közötti (6. kép), szélességük

II. táblázat

Scallops adatok alapján számított áramlási sebességek a nagy tsingyről

Scallops helye	V_1 [cm/s]	V_2 [cm/s]
I.	7,05	7,38
II	25,19	26,82
III.	156,25	159,96
IV.	17,72	19,22
Va.	15,06	17,09
Vb.	10,08	12,07
Vc.	7,77	8,29

V_1 : az áramlási sebesség számításához a scallops hosszak átlagát képeztük

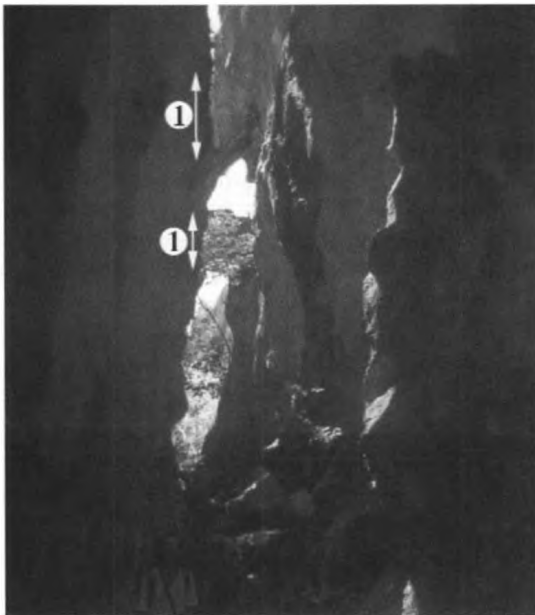
V_2 : az egyes scallops hosszakból számított áramlási sebességek átlagát képeztük

néhány dm-től 3 m-ig terjedhet. A hasadék irányok eloszlása változatos. Főleg az ÉK-DNy-i, ill. az ÉÉK-i-DDNy-i irányok tűnnek meghatározónak.

4.1. A bemarahai tsingy morfológiája és annak kialakulása

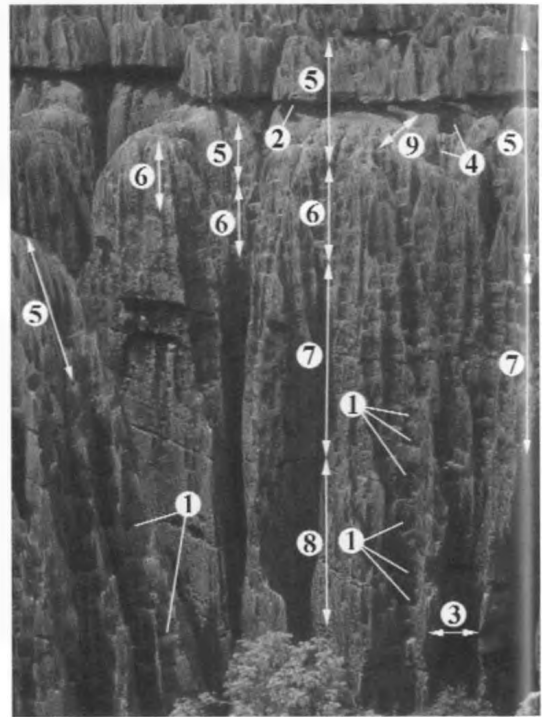
A tömbök felszínét másodlagos karros formák tagolják. A legjellemzőbb karrformák itt a rill-sorok (7. kép), a különböző típusú rinnek (egyszerű vályú, túlfolyási vályú, lépcsős vályú), a madáritatók (egyszerű- és összetett madáritató, uvala madáritató, csészeszerű madáritatók), a gyűszűkarrok, a meanderkarrok, a pengegerincek (rillekkel), a fűzérkarrok (saroknyomok) és a kürtök (III. táblázat). A Bemarahai tsingy fentebb felsorolt másodlagos karrformái lényegesen nagyobbak lehetnek az ankaronai tsingy karrformáinál. Így említhető a nagy tsingy egyik vályúja, amelynek a mélysége helyenként a 10 m-t is meghaladja (szélessége 1 m alatti), a talpát tagoló lépcsők 1–2 m magasságúak (8. kép). Belsejét egyébként nemcsak lépcsők, hanem rillek, gyűszűkarrok és madáritatók is tagolják.

A hasadékok keresztmetszetüket tekintve egyszerűek és összetettek (7. ábra). Az egyszerűek között előfordulnak fentről lefelé keskenyedők, vagy kiszélesedők, ill. egyforma szélességűek. Különösen a nagy tsingy magasabb részein gyakoriak a lefelé keskenyedők. Az összetett hasadékok között a leggyakoribbak a felső részükön keskeny, alsó



9. kép: Sziklahíd a bemarahai Kis tsingyn
Jelmagyarázat: 1. sziklahíd

részükön széles és ovális keresztmetszetű hasadékok. A két hasadékrész morfológiája eltér egymástól (ld. alább). Ez utóbbi hasadéktípusba tartoznak olyanok is, amelyek talpán egy kisebb bemélyedés (csatorna) is kifejlődött. A hasadékok fala gyakran aláhajló, aljukon szálkőzet, omladék és különböző finomszemcséjű áthalmazott anyag, vagy talaj halmozódott fel, ill. ezek váltakoznak. A kis tsingyn néhány helyen homok (a folyóhoz közeli hasadéktalpakon) és kavics is előfordul. Különösen a nagy tsingy hasadékaiban, barlangjaiban számottevő gyakoriságban és mennyiségben található mészkiválás. Néha a hasadékoknak a kiválás kitöltéseiből álmennyezetek (a kiválásban járat jött létre), majd ezek részleges pusztulásával álmennyezetek maradványai képződnek. A hasadékok barlangfolyosókba, ill. átjárókba mehetnek át. Utóbbi esetben a mennyezetek részleges lepusztulásával



10. kép: Csészeszerű madáritatók a bemarahai Nagy tsingyről

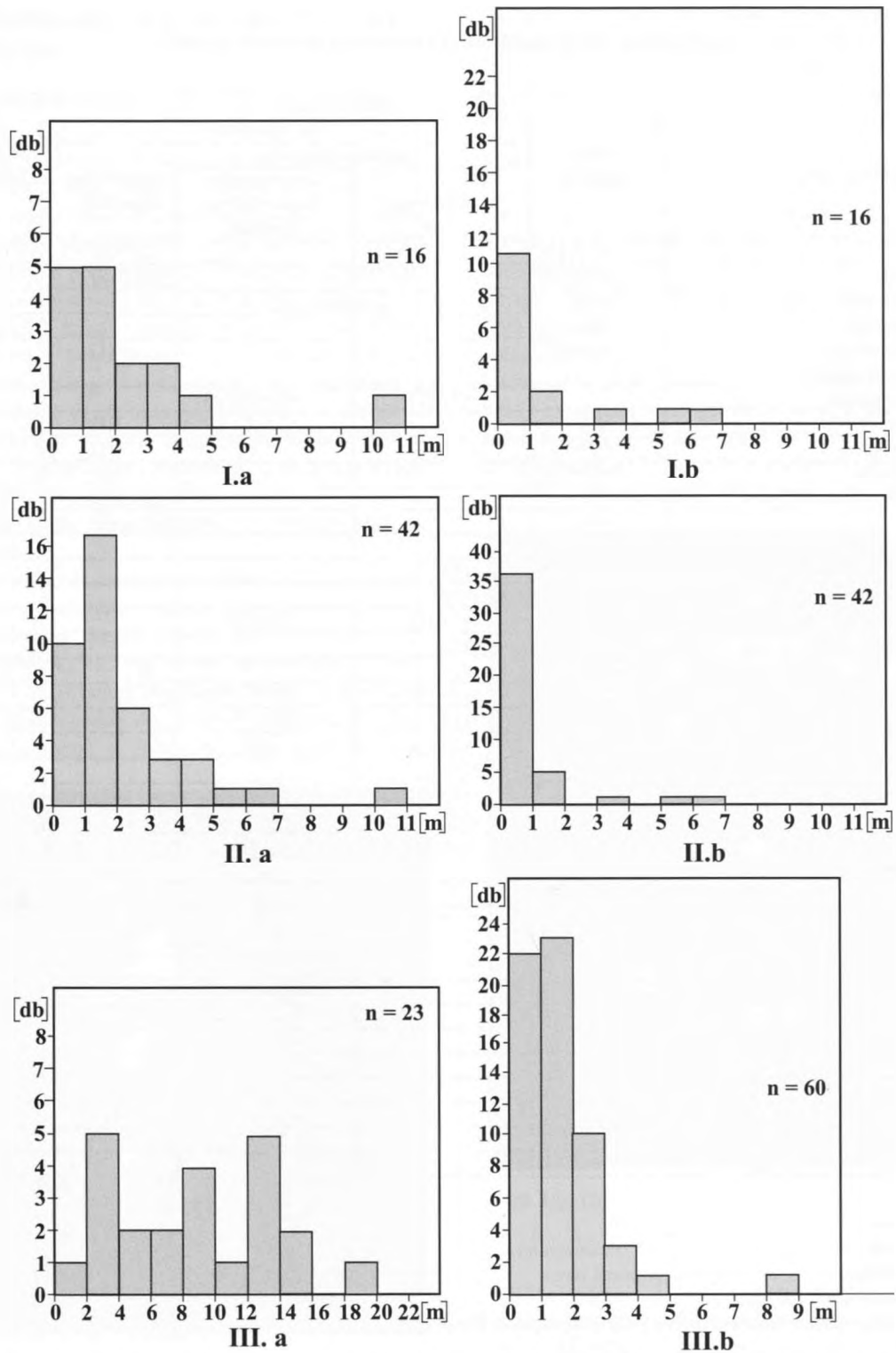
Jelmagyarázat: 1. csészeszerű madáritatók, 2. réteglap menti hasadék, amelyet szivárgó vizek hoztak létre, 3. félkürtő, vagy hasadék, 4. kürtő, 5. rillenkarros zóna, 6. rillenkarros és csészeszerű madáritatók zónája, 7. csészeszerű madáritatók zónája, 8. rillenkarrok (scallopokkal) és csészeszerű madáritatók zónája, 9. réteglap hátrálással kialakult réteglapos felszín

Karrformák és egyéb képződmények elterjedése a Bemarahai tsingyn

képződmény	Előfordulása				Megjegyzés
	tömb felszínén	hasadékfalon			
		járatban alakult ki		hasadékban képződött	
	karsztvízszint alatt	karsztvízszint felett vadózus zónában			
rill	+(1)+(2)			+(1)	
rinnen	+(1)+(2)			+(1)+(2)	
meanderkarr	+(1)				
saroknyom	+(2)				
kicsi scallops (karrformában)	+(1)+(2)			+(1)	
nagy scallops		+(1)+(2)+(3)	+(1)+(2)+(3)		
falikarr (füzérkarr)	+(2)			+(1)	
gyűszűkarr	+(1)+(2)			+(1)	
madáritató	+(1)+(2)				
csészeszerű madáritató	+(2)			+(1)+(2)	
kúp	+(1)			+(1)	
pengegerinc	+(1)+(2)				
kürtő	+(2)	+(2)			
gömbüst		+(1)			
pendant		+(1)+(2)	+(1)+(2)		
oldódásos ablak		+(1)			
akna		+(1)			
körszelvényű járat		+(1)+(2)			
kulcslyuk szelvényű járat		+(1)			
hasadék alatti járat		+(1)			
színlő		+(1)			
réteglap menti hasadék		+(1)+(2)+(3)		+(1)+(2)	
kerülő járat		+(1)			
átjáró		+(1)+(2)			
sziklahíd	+(1)	+(1)			
sziklahíd kürtőkkel				+(1)	
függőlegesen megnyúlt barlangjárat		+(1)+(2)+(3)			
belső hasadék		+(1)			
omladék a hasadék felső részén			+(2)+(3)		
cseppkölefolyás			+(1)		
cseppköbevonat			+(2)+(3)		
függő cseppkő			+(2)		(4)
mész tufa kitöltés			+(2)+(3)	+(2)+(3)	(4)
borsókő			+(2)	+(2)	(4)
álmennyezet kiválásból			+(2)	+(2)+(3)	(4)
álmennyezet maradvány				+(2)	

Megjegyzés:

1. kis tsingy
2. nagy tsingy
3. kis tsingy folyóparti része
4. mind folyosóban (vadózus zónában), mind hasadékban kialakulhat



6. ábra.: A tsingyn a hasadékmélység (a) és hasadékszélesség (b) gyakoriságának eloszlása az ankarai kis tsingyn (I), a nagy tsingyn (II) és a bemarahai kis tsingyn (III)

sziklahidak jönnek létre (9. kép). A sziklahidak kürtőkkel átjártak lehetnek, omladék-tömbökre különülhetnek. Előfordul, hogy az egykori mennyezeteket mindössze a falak közé beszorult kőtömbök jelzik. A hasadékok távolsága és így a tömbök kiterjedése is nagyobb, mint az ankaronai tsingyn (a kis tsingyn 10–15 m, a nagy tsingyn ennél is nagyobb lehet, 15–30 m közöttire becsülhető). A bemarhai tsingyn hiányzik az öreg tsingy. Tehát nincsenek olyan tornyok, amelyek tömbökből alakultak ki. Néhány ilyen forma csak a nagy tsingy legmagasabb részén fordul elő.

A hasadékfalak formái kialakulásuk szerint többfélék (III. táblázat). Így lehetnek közöttük olyanok, amelyek a tömbök felszínén is jellegzetesek, tehát másodlagos karrformák. Ilyenek, pl. a gyűszűkarrok, a kúpkarrok és a rillek, a rinnek. Csak hasadékokra jellemző formák közt említhetők olyanok is, amelyeket a lefolyó csapadékvíz hozott létre. Ilyenek a hasadékfalak felső részén képződött falikarrok vagy/és félkürtök (kicsi scallopsokkal), valamint a lankásabb hasadékdalakon a csészeszerű madáritatók (10. kép), bár utóbbiak néha a tömbök felszínén is megtalálhatók. WILLFORD—WALL (1965) ezeket „cup”-oknak nevezi. E formák egymás felett lépcsősen ismétlődhetnek. Az egymás feletti képződmények vagy függetlenek egymástól, vagy egymáshoz kapcsolódhatnak. Talpukon gyűszűkarr fordul elő.

A tsingy hasadékfalain, ill. ezek környezetében fellelhető formák az alábbiak (10. ábra). Gyakoriak a hasadékok közé ékelődve a barlangjáratok és az átjárók (10. ábra). A barlangjáratok (folyosók) többször 10 m, míg az átjárók mindössze néhány m hosszúságúak. E formák hasadékokat, hasadékrészeket kapcsolnak egybe. Ez történhet úgy, hogy ugyanazon hasadék két részlete közé ékelődnek, vagy úgy, hogy két különböző hasadékot kapcsolnak egybe. Hasadékok és barlangok más karsztokon is egymásba kapcsolódnak.

Ilyent írtak le például a Fanning-folyó (Ausztrália) környéki karsztról (GRIMES 2005). Hosszabb-rövidebb barlangjáratok lehetnek egyes hasadéktalpak alatt is. Az oldalfalak kör vagy kulcslyuk keresztmetszetű járatai (függő barlangok, 8. ábra) a hasadékfalakra nyílnak (a padozat felett több m-es magasságban). Irányuk merőleges a

² A pedant téglatest, gúla alakú, függőcseppkőhöz hasonló képződmény, amely a barlangot határoló közet pusztulásának maradványformája.

hasadék irányára. A kerülő járatoknak (8. ábra, 11. kép) a hasadékfalon két bejáratuk van, amelyek között a járat alaprajzban íves. A réteg-lap menti hasadékok (12. kép) barlangjáratok, hasadékok falán elhelyezkedő több m-es mélységű, néhány dm-es magasságú formák. Gyakran a szomszédos hasadékokat réteglapok menti hasadékok kapcsolják össze. Az oldódásos ablakok néhány dm és m közötti átmérőjű átoldódások. Úgy alakulnak ki, hogy a szomszédos, egymáshoz közeli hasadékok, esetleg hasadékok és barlangjáratok közötti válaszfal oldódással átlukad. A pendantok² dm-es kiemelkedések a barlangjáratok, átjárók mennyezetén, valamint az aláhajló hasadékfal részeken. Nem túl gyakran fordulnak elő. A hasadékokban és barlangokban, akár csak a folyómeder falának hasadékaiban és barlangjaiban ugyancsak előfordulnak kiválások. Ezek lehetnek mésztufák, vagy cseppkövek. A mésztufák kitöltést, vagy álmennyezetet képeznek. A cseppkövek között fellelhetők bekérgeződéses, cseppkőbevonatok, cseppkőzuhatagok, függőcseppkövek és borsókövek.

A scallopsok több dm-es átmérőt is elérhetnek. Néha magányosak, máskor nagy sűrűséggel foltos kifejlődésben, helyenként több szintben borítják a barlang- és hasadékfalakat. Megjelenésük a talp felett 1 m-es magasságtól felfelé gyakori.

A színlők (13. kép) igen változatos méretet vehetnek fel (néhány dm-es magasságúak, míg mélységük néhány dm-től a több méterig terjedhet). Átmenetet képezhetnek a réteglap menti hasadékok felé. Megjelenhetnek páratlanul, vagy párosan, magányosan, vagy színlősort alkotva. Gyakran nem folytonos kifejlődésűek, hanem a kb. 10–30 m hosszúságú színlők a falakon kiékelődnek, majd ismét megjelennek. Egyaránt megtalálhatók barlangjáratok, függőbarlangok oldalfalain is.

A barlangi formák kialakulhatnak a freatikus, epifreatikus és a vadózus zónában (SLABE 1995). Miután a különböző zónákban a képződési feltételek (pl. az áramlási sebesség) hasonlóak lehetnek, ugyanaz a forma több zónában (környezetben) is létrejöhet. A fentebb bemutatott formákat az áramló vizek (ill. a kiválásokat szivárgó vizek is) hozzák létre. Egyes formák (scallops) azonban nem csak a fenti zónákban jöhetnek létre, hanem azokat felszíni vízfolyások is létrehozhatják.

Freatikus, ill. epifreatikus környezetben képződtek a lefelé szélesedő és az összetett hasadékok. Utóbbiaknak a felső, keskenyebb részét

törések mentén beszivárgó (befolyó) csapadékvíz alakította ki. Ezt bizonyítja, hogy e hasadékrészek falrészletein csapadékvíz által kialakított formák (falikarrok, rillek) a jellegzetesek. Az ilyen hasadékok alsó része széles (több m-es) az oldalfal aláhajló (ez utóbbi sajátosságuk miatt a felszínről befolyó csapadékvíz nem alakíthatta ki az ilyen falakkal közrefogott hasadékokat, ill. a hasadékfalak formáit). Falaikon uralkodnak az áramló víz által kialakított formák, a scallopsok. Ugyancsak freatikus, ill. epifreatikus környezetűek a barlangjáratok (folyosók), az átjárók, a függőbarlangok, a kerülő járatok, a gömbüstök, a pendantok, a réteglap menti hasadékok, a színlők és az ablakok.

Az ellipszis, vagy kulcslyuk szelvényű járatok karsztvízszint alatt réteglap menti oldódással jönnek létre (BÖGLI 1956, WHITE 1988, SWEETING 1973). A tsingy függőbarlangjai (mivel ilyen keresztmetszetűek) karsztvízszint alatti réteglap menti oldódással képződtek.

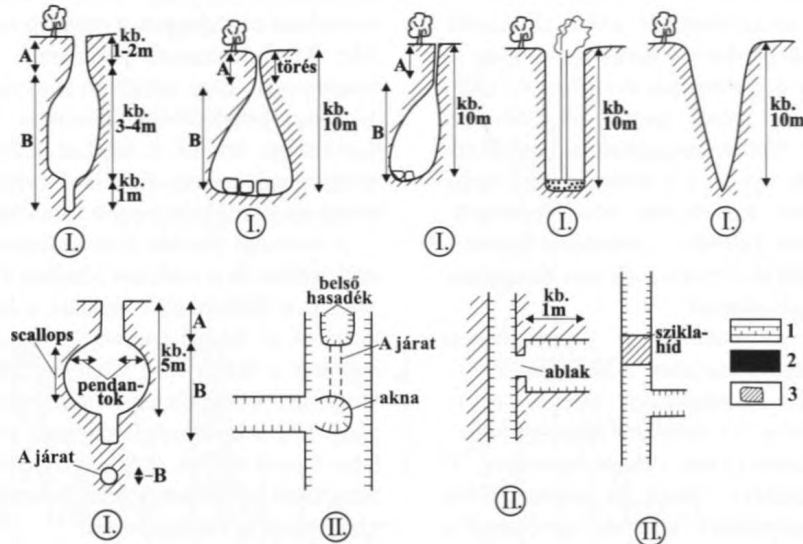
Az oldódásos színlők vízszint közelében képződnek akkor, ha a vízszint tartósan ugyanabban a magasságban húzódik. Hasonlóképpen csak a vízszint közelében jöhettek létre azok a réteglap menti hasadékok, amelyek a hasadék falától a kőzet belseje felé dőlnek (10. ábra). Ezért a hasadékfalak színlői és réteglapmenti hasadékai arra utalnak, hogy a vízkitöltés tartósan ugyanabban a magasságban húzódott. Hosszabb ideig változatlan magasságú víz-

kitöltésnek nagyobb a valószínűsége, ha azt karsztvíz hozta létre és nem pl. a hasadékon átfolyó felszíni víz. Ha e formák karsztvíz által jöttek létre, akkor kialakulásukat elősegítette az a tény is, hogy az oldóképesség a karsztvíz szintjében a legnagyobb.

A hasadéktalpak alatti barlangok jelzik a karsztvízszint jelentős mértékű ingadozását, vagy süllyedését. A mennyezeti pendantok többféle (vadózus, epifreatikus) környezetben is kialakulhatnak. Ott képződnek, ahol az üregek részleges kitöltődése miatt a karsztvíz megemelkedve a mennyezeten csatornát, csatornarendszereket hoz létre (BRETZ 1956, RENAULT 1968, SLABE 1995). A kis tsingy hasadékainak pendant előfordulásai jelezhetik az egykori folyosókban az üledékfelhalmozódások következtében megemelkedett vízszintet (7. ábra).

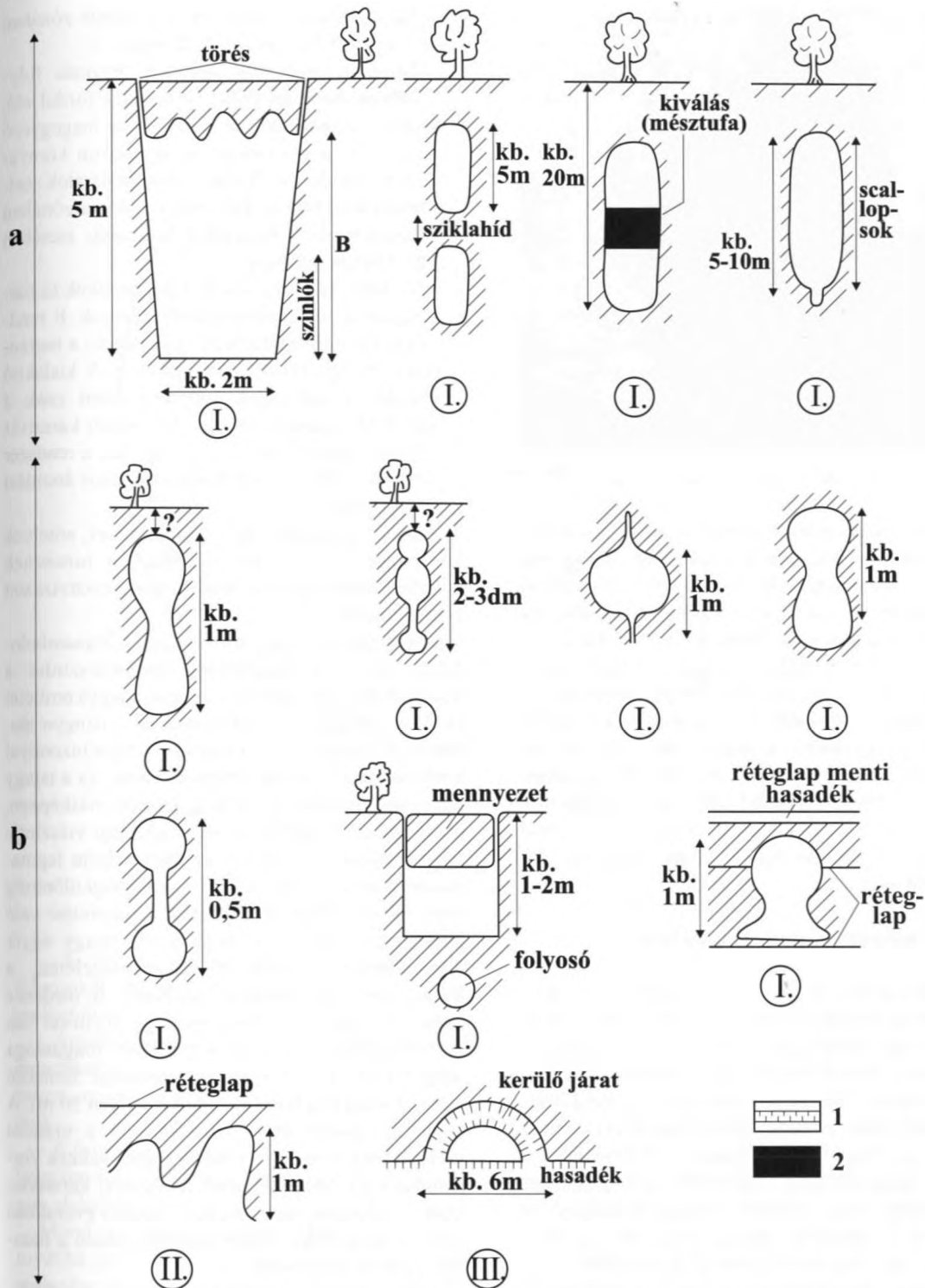
A mészkiválások a vadózus övben képződtek. Erre utal a cseppkövek jelenléte. A mésztufák egy része is barlangi környezetben keletkezhetett. Ugyanis a cseppkövek esetenként mésztufán is előfordulnak. Ha elfogadjuk, hogy a hasadékok fejlődésében a mai állapotot (lényegében felszíni környezet) megelőzte a vadózus környezet, akkor a mésztufák miután idősebbek a rajtuk képződött cseppköveknél, ugyancsak vadózus (vagy epifreatikus) környezetben képződtek.

A scallopsok bármely környezetben (freatikus-, epifreatikus-, vadózus-, felszíni környezet) létre-



7. ábra: Hasadék szelvények (I) és alaprajzok (II) a bemarahaik kis tsingyről

Jelmagyarázat: A. csapadékvíz által kialakult hasadékrész, B. karsztvízszint alatt kialakult hasadékrész, 1. folyosó (felszínen), 2. omladék, 3. a hasadékba bemosott finomszemcséjű anyag



8. ábra: Barlang járatszelvények (I), hosszmetsetek (II) és alaprajzok (III) a bemarahai kis tsingy folyosóiról (megjegyzés: a b1 -el jelzett szelvény a nagy tsingyről származik)
 Jelmagyarázat: a. folyosó metsetek, b. függőbarlangok metsetei, 1. folyosó (felülhézeten), 2. mész tufa



11. kép. Kerülő járat (nyilak mutatják)

jöhetnek. Számításaink szerint azonban a scallopsokat létrehozó víz áramlási sebessége igen eltérő volt, a különböző helyeken (5,660—159 cm/s között változhatott, II. táblázat). A változatos sebesség értékek kevésbé valószínűsítik a felszíni vízbeáramlást. Nagyobb a valószínűsége a felszín alatti vízáramlásnak egy labirintus jellegű járatrendszerben. Ekkor a szélesebb, egyirányú folyosórészek az áramlás gyorsabb, a keskenyebb (fejlődésének kezdetén álló), irányukat változtató folyosókban, folyosó-kereszteződési helyeken az áramlás lassúbb. Ezért valószínű, hogy a hasadékok scallopsai is a vadózus zónában vagy a karsztvízszint alatt formálódtak ki.

4.2. A Bemarahai tsingy kialakulása

A Bemarahai tsingy egyes részei (így azok a hasadékok, hasadékrészek, amelyek kettős szelvényűek, vagy lefelé kiszélesednek, ill. az üregesedést bizonyító formakincsel rendelkeznek) részben, vagy teljesen, törések által preformált üreghálózatból jöttek létre. A tsingy mai formáját oly módon nyerte el, hogy az üreghálózat kisebb-nagyobb részei mennyezetüket veszítették. A hasadékokat megszakító, vagy azokból kiágazó barlangok az egykori üreghálózat maradványai. Az egykori üreghálózat állapotot az alábbiak bizonyítják:

- A hasadékok olyan formái, amelyek azoknak az egykori üregeiből származnak: sziklahidak, a sziklahidakból lezuhant kőtömbök.

- A karsztvízszint alatt, ill. a vadózus zónában keletkezett képződmények, formák.

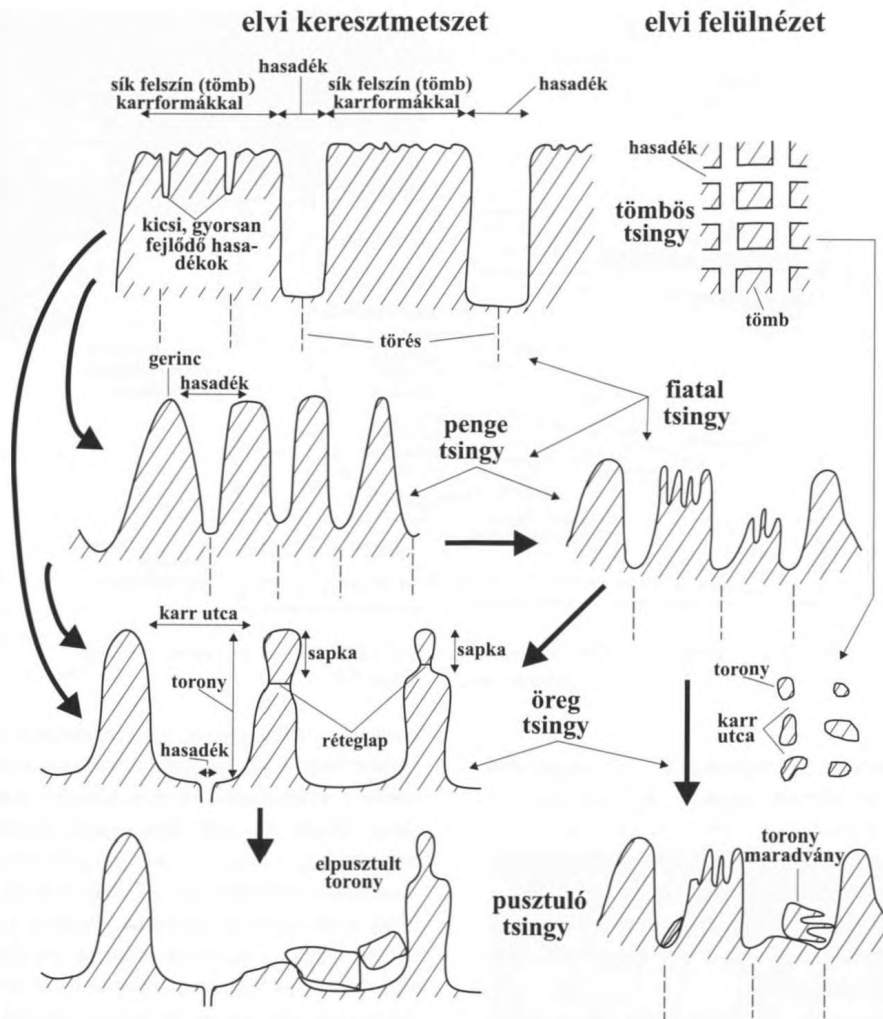
- Gyakori, hogy egy szintben, egymás folytatásában barlangfolyosó és hasadék fordul elő. Ekkor a hasadékok és a barlangok megegyező formái (pl. a scallopsok) is ugyanazon környezetben alakultak ki. Miután a barlangjáratok scallopsai karsztvízszint alatt vagy a vadózus zónában képződtek, ez a hasadékok scallopsai esetében sem lehetett másképp.

- Gyakori, hogy egy szintben a hasadékok és barlangjáratok egyetlen rendszert alkotnak. E rendszerből nem hozhatta létre egy áramlás a barlangokat és egy másik a hasadékokat. A kialakító áramlás a barlangok jelenléte miatt csak a karsztvíz áramlása lehetett. Az áramló karsztvíz jelenléte kellően magyarázza egyúttal a rendszer labirintus jellegét, valamint a változatos áramlási sebességeket.

Azok a hasadékok, vagy hasadékrészek, amelyek lefelé nem szélesednek és falaikon nincsenek karsztvíz alatt kialakuló formák, nem karsztvízszint alatt alakultak ki.

A Bemarahai tsingy erózióbázisa a Manamboló-folyó. Ezért a mindenkori karsztvízszintet a Manamboló-folyó jelöli ki, amely a tsingy területet D-ről szegélyezi, ill. völgye részben a tsingy alakult ki. Ezért az egykori karsztvíz minden bizonnyal a felszínhez közeli helyzetben húzódott, és a tsingy szintjében áramlott. Ez nem is lehetett másképpen, mivel száraz évszakban a folyó jelenlegi vízszintje (tszf. magassága 50 m) és a tsingy felszín legmagasabb pontja (190 m) között a magasságkülönbség csak 140 m. A karsztvízszintnek a felszínhez való közelségére utal az is, hogy a kis tsingy egyik természetesen kiszélesedő hasadékrészletén, a mészkövön vizes medence található. A medence talpa a környező felszínnél mintegy 10 m-rel van alacsonyabban. Itt a karsztvízszint magassága megegyezik a folyó kisvízhozamánál fennálló vízszint magasságával (ez mindkét helyen 50 m). A medence hasadékfalain felismerhetők a vízszint változásának a nyomai (elszíneződési szintek formájában). Ez utóbbi jelezheti az egykori karsztvízszint ingadozását vagy azt, hogy nedves évszakban a karsztvíz a tsingy kisebb-nagyobb részén a hasadéktalpakon megjelenik.

A hasadékok kialakulásában vagy továbbfejlődésében a folyónak közvetlen szerepe lehetett. Ez a szerep az alábbiakban nyilvánulhatott meg.



9. ábra: Az ankaránai tsingy kialakulása és fejlődése

- A folyó törések mentén elszivárgó vize folyásokat fejleszthetett oldalirányban vagy kapcsolhatott egybe.

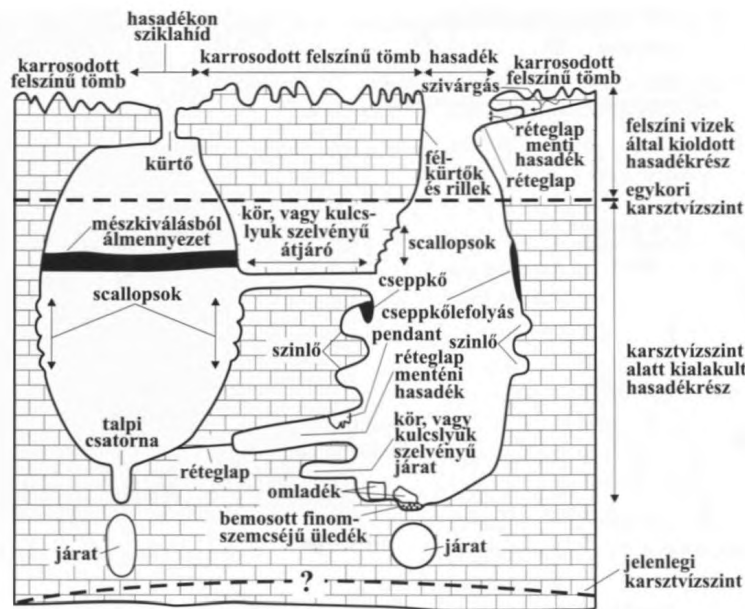
- Áradások idején a kis tsingy közeli részeinek hasadékaiba beáramlik a folyóvíz (a hasadéktalpakon, mint említettük folyóvízi homok is előfordul).

- A folyó bemélyülése során a már meglévő barlangjáratozatokat felnyitotta, miáltal maradványbarlangok alakultak ki.

Mivel magyarázható a hasadékok nagy mérete, továbbá az, hogy a nagy tsingy hasadékainak mélysége akár többszöröse is lehet a kis tsingy hasadékainak? A hasadékok nagy függőleges méretét a karsztvízszint hasonlóan nagy mértékű ingadozása okozta (11. I. ábra). Miután az oldódás

elsősorban a karsztvízszint közelében számottevő a karszt belsejében, a hasadéktalpakon végbemenő oldódást, tehát egykori járatok mélyülését, a karsztvízszint süllyedése tette lehetővé. A karsztvízszint süllyedésének az okai az alábbiak lehetnek:

- A folyó bevágódása miatt az erózióbázis alacsonyabbra került és így a karsztvízszint süllyedt. Ha a folyónak a tsingys áttörési szakasza utáni részét tekintjük, alig van völgye. A mai vízszint és a medren túli felszín közötti magasságkülönbség 10 m. Tehát a folyó bevágódása és az ezt követő karsztvízszint süllyedés legfeljebb 10 m lehetett. Ezért a folyó bevágódása, ha nem is számottevő mértékben ugyan, de hozzájárulhatott a karsztvízszintsüllyedéséhez, és így az egykori járatok



10. ábra: A bemarahai tsingy hasadékfalainak általánosított morfológiai szelvénye
Jelmagyarázat: 1. mészkő

mélyüléséhez.

- A karsztvízszint ingadozott. Az ingadozás mértéke nagyon jelentős lehetett, ill. lehet éves viszonylatban. BALÁZS (1980) szerint a közeli Morandava városában a 780 mm csapadékból a nedves évszak négy hónapjában 710 mm hull.

- Az előbbiből következően a karsztvízszint ingadozását növelheti a folyó vízhozam változása miatti vízszintingadozás is.

- Bakony-hegységi megfigyelések szerint, ha a hézagterefogat kicsi, a beszívárgás a karsztvízszint jelentős emelkedését okozza (BÖCKER 1972). Ezért, ha a kőzet üregesedettsége nagy, a karsztvízszint emelkedésének a mértéke (és így esése is) kisebb. Tehát az üregesedés előrehaladtával a karsztvíz visszaduzzadásának mértéke a gyorsabb áramlás miatt csökkent. Ez a karsztvízszint süllyedését eredményezi.

Mindezek a tényezők együttesen okozhatták (vagy okozhatják jelenleg is) a karsztvízszint számottevő süllyedését, ill. ingadozását.

Az egykori folyosók kialakulása az epifreatikus és a freatikus övben (az alacsony karsztvízszint mentén, ill. attól lefelé még egy bizonyos, de ismeretlen mélységig) történt.

A két zónás (epifreatikus és freatikus), vagy csak egy zónás (csak epifreatikus, vagy csak freatikus)

környezet létét eddigi ismereteinkkel nem tudjuk egyértelműen bizonyítani. Mert bár a folyosófalak számos morfológiai képződménye karsztvízszint alatti oldódással jött létre, ezen formák, talán a nagyméretű scallopsok kivételével, mindkét zónában kialakulhatnak (SLABE 1995). A hasadékfalak scallopsainak mindkét zónában kialakulására utalhat, hogy a scallops méretek alapján számított sebességek igen eltérőek lehetnek (II. táblázat), bár ennek oka lehet (mint azt már említettük), milyen a folyosó hálózat rendszere és a folyosók morfológiája. A kicsi sebesség értékek (5,66 cm/s ill. 7,055 cm/s) azt is jelezhetik, hogy egyes scallopsok mélyen a karsztvízszint alatt, tehát a freatikus zónában jöttek létre. Elsősorban a nagy tsingy hasadékfalainak nagyméretű scallopsai miatt tartjuk valószínűnek, hogy az egykori folyosók itt a freatikus zónában is képződtek. Ugyanakkor a nagy tsingyn sem lehetett kizárólagos a freatikus környezet. Ugyanis, ha így lenne, akkor a karsztvízszintnek — ingadozás nélkül — 100 m-es vagy ennél is nagyobb eséssel és/vagy süllyedéssel kellett volna rendelkeznie. Ahhoz ugyanis, hogy itt 100 m-es, vagy ennél is nagyobb függőleges kiterjedésű járatok képződjenek, a nagy tsingyn a karsztvízszintnek a folyó vízszintje felett 100 m-rel magasabban kellett volna elhelyezkednie a járatok



12. kép. Réteglap menti hasadék a bemarahai nagy tsingyn

kialakulásának a kezdetén. Ha ez így lett volna, a járatok lefelé mélyülését — karsztvízszint közeli oldódással — az tette volna lehetővé, hogy ha az üregesedés előrehaladtával az ezt kísérő egyre gyorsabb oldalirányú áramlás miatt, a karsztvíz egyre kisebb mértékben duzzadt volna vissza. Ezért sokkal valószínűbb a karsztvízszint intenzív, évszakos ingadozása, tehát az epifreatikus zóna létezése a nagy tsingyn is. A kis tsingy hasadékai valószínű, hogy egyetlen zónában, az epifreatikusban alakultak ki. Bár a kis tsingyn is előfordulnak egy helyen nagyméretű scallopsok. A kialakulásukhoz szükséges lassú áramlást azonban az epifreatikus zónában is valószínűsíteni lehet. A lassú áramlás okai az epifreatikus zónában az alábbiak lehetnek:

- A már említett labirintus jelleg, továbbá a folyosó, ill. a hasadék szélesség változások.
- E folyosók közvetlenül a folyó mentén, vagy a folyótól néhány 100 m-re helyezkednek el. Ezért a folyó és a folyosók között a karsztvízszint esése és így áramlása nagyon kicsi lehetett. Jelenleg a folyó vízszintje és az alacsony karsztvízszint (a már említett medence vízszintje) között a magasságkülönbség, mint említettük, 0 m.

A nagy tsingy hasadékainak (egykori járatainak) nagy függőleges kiterjedése három tényezővel is magyarázható. Ezek az alábbiak (11. II. ábra):

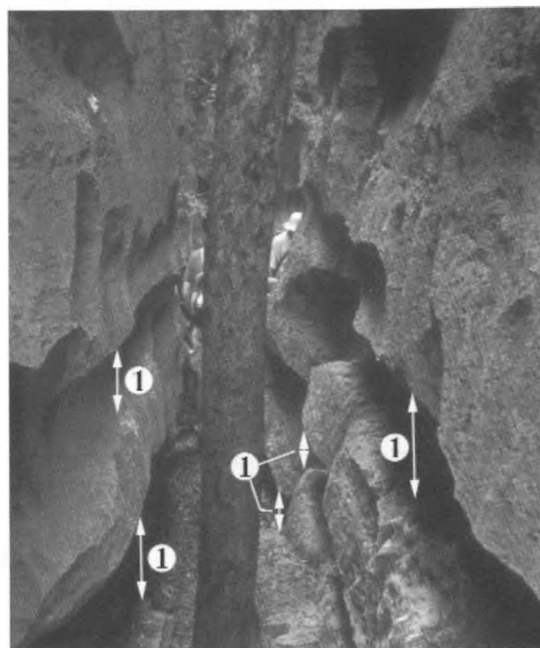
- A nagy tsingyn a karsztvízszint ingadozása, miután távolabb helyezkedik el az erózió-bázistól nagyobb, mint a kis tsingyn.
- A nagy tsingyn a karsztvízszint „domborodás”-nak megváltozása ugyancsak a folyótól való nagyobb távolság miatt az üregesedtség előrehaladtával további, a kis tsingyhez képest nagyobb mértékű karsztvízszint süllyedést eredményezett.

- A nagy tsingy területén a járatok kialakulása a freatikus övre is áttért.

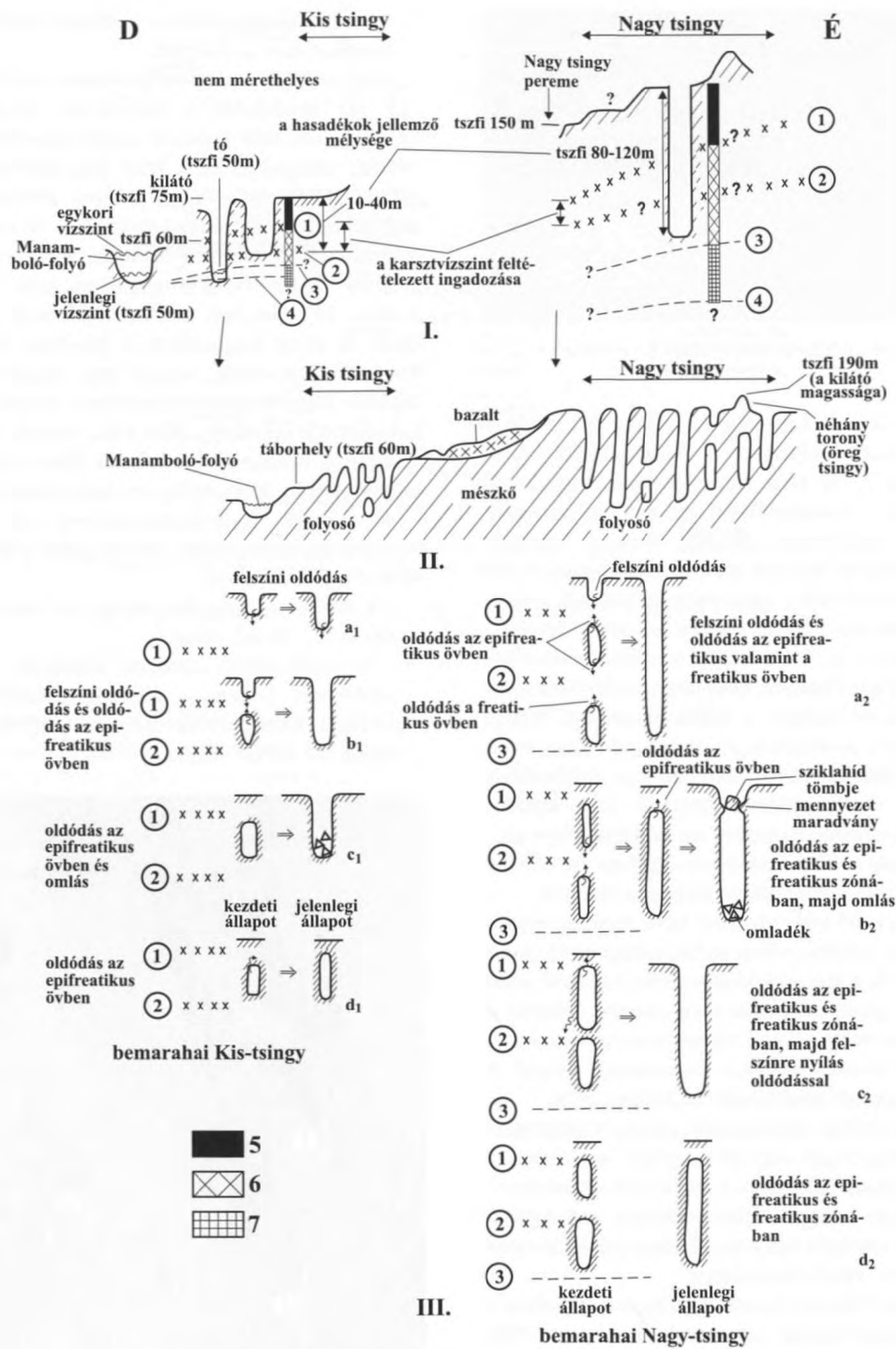
A kis tsingyn a maximális hasadék mélységéből (18 m) leszámítva a hasadékok felső, nem karsztvízszint alatt kialakult részét (amelyet a sziklahidak vastagságának, a felső hasadékrészek függőleges kiterjedésének, és a nem aláhajló falak kiterjedésének figyelembevételével, 1—2 m-re becslünk), a karsztvízszint ingadozását 15—17 m-re tehetjük. Ilyen vízszintingadozást még a folyó áradása is előidézhethet, hiszen a jelenlegi vízszint felett 10 m-rel magasabban is előfordul folyóvízi homok. Megemlítjük, hogy a nagy tsingyn potenciálisan függőlegesen kiterjedtebb üregek kialakulására volt lehetőség, mint a kis tsingyn. Ugyanis amíg a kis tsingyn az erózióbázis feletti maximális kőzetvastagság 25 m, addig ez a nagy tsingyn 140 m.

A fentiek figyelembevételével az alábbi hasadékkialakulási módok lehetségesek a kis tsingy területén (11. III. ábra).

- A törések mentén beszivárgó víz hasadékokat old ki (11. III.a1. ábra).
- Az epifreatikus zónában képződött folyosó oldódással felfelé, a felszíni hasadék lefelé fejlődve összeoldódik (folyosó-felnyílás oldódással, 11. III.b1. ábra).



13. kép: Hasadék falak színlői a bemarahai kis tsingyn
Jelmagyarázat: 1. színlő



11. ábra: A bemarahai tsingy kialakulása és fejlődése

Jelmagyarázat: 1. egykori felső karsztvízszint, 2. egykori alsó karsztvízszint, 3. jelenlegi felső karsztvízszint, 4. jelenlegi alsó karsztvízszint, 5. oldódás a felszínről és omlás, 6. egykori oldódás a karsztvízszint alatt, 7. jelenlegi oldódás a karsztvízszint alatt, 1. a karsztvízszint feltételezett helyzete a tsingy fejlődésének a kezdetén és jelenleg, II. a két tsingy jelenlegi morfológiája metszetben, III. a hasadékok kialakulása

- Az epifreatikus zónában létrejött folyosó, miután mennyezete kivékonyodik, beomlik (11. III.c1. ábra).

- Az epifreatikus zónában oldódással folyosó képződik. Ennek mennyezete vastag lesz akkor, ha a magas karsztvízszint a felszínhez képest viszonylag mélyebben helyezkedik el. Ugyanis a folyosó mennyezetének helyét a karszt-vízszint alatti oldódás következtében a magas-karsztvíz jelöli ki. Ezért a folyosó nem nyílik fel (11. III.d1. ábra).

A nagy tsingyn a hasadékok kifejlődése a következő módokon történhet (11. III. ábra).

- Kettő, vagy több folyosó jön létre az epifreatikus zónában. Ezek összeoldódnak, majd ez utóbbi oldódással felfelé fejlődve összenő a lefelé mélyülő felszíni hasadékkal és felnyílik (11. III.a2. ábra).

- Folyosók oldódnak ki az epifreatikus ill. a freatikus zónában. Ezek összenőnek, majd az így kialakult folyosók mennyezetük beomlásával a felszínre nyílnak (11. III.b2. ábra).

- Folyosók képződnek az epifreatikus és a freatikus zónában. Összeoldódnak, majd az összenőtt folyosók oldódással felfelé fejlődve felszínre nyílnak (11. III.c2. ábra).

- Folyosók képződnek az epifreatikus és a freatikus zónában. Összeoldódnak, de az így létrejött folyosók miután még a magas karsztvízszint is viszonylag mélyebben helyezkedik el a felszín alatt, nem nyílnak a felszínre (11. III.d2. ábra).

A hasadékfalak ellankásodnak. Erre utal, hogy a magasabb helyzetű hasadékok (tehát az idősebbek) falai ilyenek. Az ellankásodást előidézhethi a felsőbb rétegek rétegfejeinek hátrálása, amelyet elősegíthet a rillenkarrok kifejlődése, a rétegfejek leoldódása, vagy letöredezése. Az ellankásodást okozhatja továbbá a hasadékfalak feltagolódása, ha ott csészeszerű madáritatók, kürtök, félkürtök, szélesedő mellékhasadékok képződnek (10. kép). A feltagolódás maradványformái a hasadékfalak tornyai (6. kép). Ilyen tornyok az ankaranaik kis tsingy kis kiterjedésű hasadékfalain nem fordulnak elő.

5. Következtetések

- Mind az ankaranaik-, mind a bemarahai tsingy olyan karregyüttes, ahol a hasadékkarrok a meghatározók („corridor karst”, „labyrinth karst”),

de a hasadékok közti felszíneken szinte az összes, a fedetlen kőzetfelszínre jellemző karrforma előfordul.

- A fenti területeken néhány víznyelő és szakadékdolina mellett (ankaranai tsingy) a tsingy a karszt alapvető és meghatározó formakincse.

- A tömbök és tornyok felszínének másodlagos karrformái (rillek, gerincek, kúpok) ill. a karrosodás mértéke nagy hasonlóságot mutat a kősó karrformáival és karrosodásának mértékével. A mérési időpontokra vonatkoztatva a tsingy fenti felszínein a csapadékvíz hatására végbemenő oldódás a kősó karrosodásának mértékét eléri, sőt meg is haladhatja.

- Az ankaranaik tsingy hasadékait a beszivárgó csapadékvíz alakítja ki a talajukat vesztett felszíneken. Különböző változatainak kialakulása a töréssűrűségtől, továbbá attól függ, hogy a folyamat mióta megy végbe. A hasadékfalak teljes felülete oldódik. Tehát a hasadékok szélesedése úgy történik, hogy a falak önmagukkal párhuzamosan hátrálnak. A bemarahai tsingy hasadékainak többsége részben vagy teljes egészében karsztvízszint alatt kialakult barlang (üreg) hálózatból jött létre. A hasadékok ott alakultak ki, ahol a barlangfolyosók mennyezetei oldódással, vagy omlással elpusztultak. A tsingy hasadékainak csak egy része alakult ki karrosodással. A tsingy jelenlegi barlangjai az egykori barlanghálózat maradványai. A bemarahai tsingy mai formáját később érte el, mint az ankaranaik tsingy a sajátját. Ugyanis előző területen nem található meg az öreg tsingy.

IRODALOM

- BALÁZS D. (1980): Madagaszkár karsztvidékei - Karszt és Barlang I. p. 25—32.
- BÖCKER T. (1972): A karsztvizek mozgásviszonyai természetes körülmények között - In: SZÁDECZKY—KARDOSS E. (szerk.): II. Anyag- és energiaáramlási anket p. 107—121, Akadémiai Kiadó, Budapest.
- BÖGLI, A. (1956): Grundformen von Karsthöhlenquerschnitten — Z. Schweiz. Ges. Höhlenforsch., p. 56—62.
- BRETZ, J. H. (1956): Caves of Missouri — Miss. Geol. Surv. and Water Resources, ser. 2, p. 39.
- COOKE, H. J. (1973): A tropical karst in North-East Tanzania — Zeitsch. F. Géom. 17, p. 443-459.
- DOBRILLA, J. C.—WOLOZAN, D. (1994): Spéléologie

- sous les Tsingy de Bemaraha, Madagascar 1993 — Etudes et Documents de l'ADEKS, 4, p. 1—62.
- DUFLOS, J. (1966): Bilan des explorations biospéologiques pour 1965-Madag, Rev. Géogr. 9, p. 235—252.
- FORD, D. C.—WILLIAMS, P. W. (1989): Karst Geomorphology and Hydrology — Unwin Hyman, London, p. 601
- GRIMES, K. G. (2005): Tropical monsoon karren in Australia — Karst rock features, (Karren sculpturing megj. alatt).
- LISMONDE, B.—LAGMANI, A. (1987): Les vagues d'érosion — Karstologia 10., p. 33—38.
- MIDDLETON, G. (1996): The 1995 Australo-Anglo-Malagasy-Speleo-Ornitho-Malacological Expedition: Tsingy de Bemaraha, Western Madagascar-Journal of the Sydney Speleological Society, 40., p. 141—158.
- MIDDLETON, G. (1998): International Speleo-Ornitho-Geo-Malacological Expedition: Northern Tsingy de Bemaraha, Western Madagascar-Journal of the Sydney Speleological Society, 42, p. 231—243.
- MIDDLETON, G. (2004): Madagascar - In: Gunn, J. (szerk.): Encyclopedia of Caves and Karst Sciencia p. 493—495, Taylor and Francis Books, New York
- RENAULT, Ph. (1968): Contribution a l'étude des action mécanique et sédimentologiques dans la spé-léogenese - Annales de spéléologie 23 3, p. 529—596.
- ROSSI, G. (1974): Morphologie et evolution d'un Karst en milieu tropical l'Ankarana - In: Phenomenes Karstiques II. Memoires et Documentes, CRNS 14, p. 279—298.
- ROSSI, G. (1983): Karst and structure in tropical areas: the Malagasy example — In: PATERSON, K.—SWEETING, M. M. (szerk.): New direction in karst, p. 383—407., Proceedings of the Angla-French Karst Symposium - Geo Books, Norwich
- SALOMON, J. N. (1987): Le sudouest de Madagascar — Université D'Aix — Marseille, p. 998
- SIFFRE, M. (1999): La France des grottes et cavernes — Éditions Privat, Toulouse
- SLABE, T. (1995): Cave Rocky Relief — Znanstvenaraziskovalni Center Sazu, Ljubljana, p. 128.
- SWEETING, M. M. (1973): Karst Landforms — Columbia University Press, New York, p. 362.
- TRICART, J.—CARDOSO, da S. T. (1960): Un exemple d'évolution karstique en milieu tropical sec: le morne de Bom Jesus dal apa. — Zeitsch f. Geom. 4, p. 27—42.
- VERESS M. (2003): A karrok - Akadémiai doktori értekezés, Szombathely (kézirat) p. 365.
- VERESS M. (2004): Különböző kőzetek karrformái és pusztulása karrosodással — Karsztfejlődés IX. BDF, Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 141—156.
- VERESS M.—TÓTH G.—CZÖPEK I. (2003): Falikarrok morfogenetikája dachsteini példák alapján — Karsztfejlődés VIII. BDF Természetföldrajzi Tanszék, Szombathely, p. 197—212.
- VERSTAPPEN H. Th.—DELFT, I. T. C. (1964): Karstmorphology of the Star Mountains, Central New Guinea. Zeitsch. F. Geom. 8, p. 40—49.
- WHITE, W. B. (1988): Geomorphology and Hydrology of Karst Terrains — Oxford, University Press, Oxford — New York, p. 463.
- WILLFORD, G. E.—WALL J. R. (1965): Karst topo-graphy in Sarawak, The Journal of Tropical Geography 21., p. 44—70.

DEVELOPMENT OF THE MADAGASCAR TSINGY

We present the Tsingy, which is typical karren (assemblages of karren) of Madagascar. We followed different investigations on the Tsingy (for example mapping, production of the profiles, measuring of the direction of the grikes, etc.). The Tsingy has two occurrences: the Ankarana Tsingy and the Bemaraha Tsingy. We established that the Tsingy is assemblages of karren. The Tsingy is built up of giant grikes, which developed along cracks and such smaller different karren forms, which are on surfaces between grikes. The grikes developed during non-soil dissolution. The rainfall dissolved the limestone along the cracks at the grikes of the Ankarana Tsingy. The grikes of the Bemaraha Tsingy developed in the epiphreatic and phreatic zone. Later the corridors of these zones passed to the surface. The dissolution which expanded from downward, or breakdown of the corridors roofs have a role in the process.