KARSZTFEJLŐDÉS X.
Szombathely, 2005. pp. 153-196.

A MADAGASZKÁRI TSINGY

VERESS MÁRTON-ZENTAI ZOLTÁN-TÓTH GÁBOR-
CZÖPEK ISTVÁN-SCHLÄFFER ROLAND

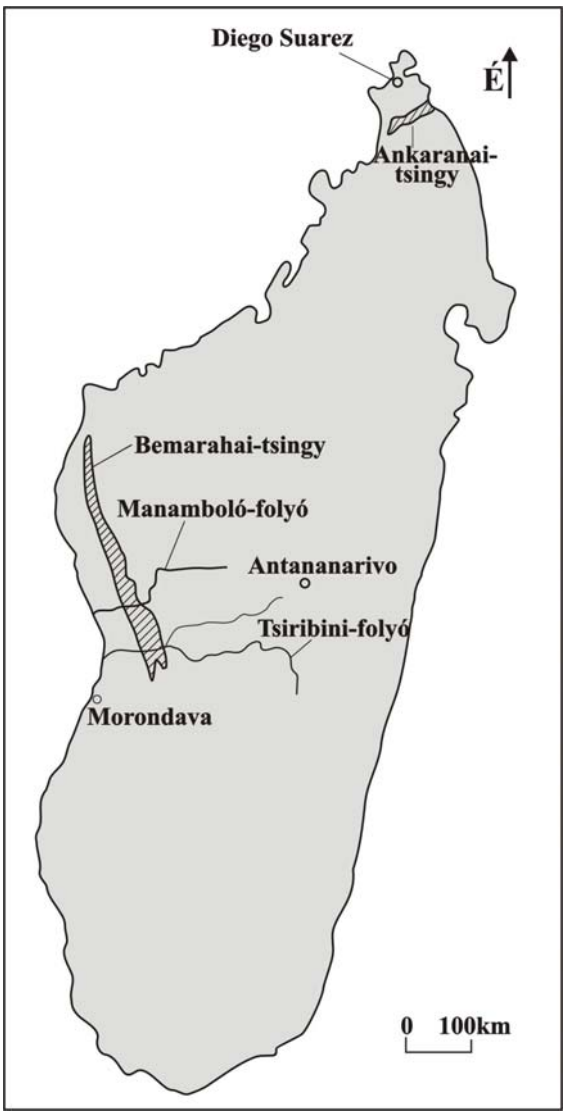
Berzsenyi Dániel Főiskola, Természetföldrajzi Tanszék, 9700 Szombathely, Károlyi Gáspár tér 4. vmarton@bdtf.hu, zzoltan@bdtf.hu, tothg@bdtf.hu, czopy@bdtf.hu, schroland@operamail.com

Abstract: 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.

1. Bevezetés

A tsingynek Madagaszkáron két előfordulása ismeretes (*1. ábra*): az Ankaranai- 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 (pl. hasadékokra és kardszerű 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 tsingyknek *MIDDLETON* (2004) adta meg. A madagaszkári tsingyhez hasonló karrokat írtak le Brazíliából (*TRICART-CARDOSO* 1960), Új-Guineából (*VERSTAPPEN-DELFT* 1966), Nyugat- és Kelet-Ausztráliából (*GRIMES* 2005), Sarawakról (*WILLFORD-WALL* 1965), Tanzániából és Kenyából (*COOKE* 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 Ankaranai-tsingyn 1 óra alatt 105 mm, ill. 24 óra alatt 350 mm csapadékhullást is mértek). *ROSSI* (1974, 1983) és *BALÁZS* (1980) szerint a törések mentén szivárgó csapadékvíz oldja a kőzetet, miáltal a rések, repedések egyre széle-

sedve hasadékokká fejlődnek. *SALOMON* (1987) szerint a tsingy talaj és málladéktakaró alatt alakul ki, amelyet elveszítve fokozatosan kitakaródik.



1. ábra: A tsingy előfordulása Madagaszkáron (BALÁZS 1980 adatainak felhasználásával)
Fig 1: Occurring of the tsingy on Madagascar (using data of BALÁZS 1980)

A tsingyt egymásra merőleges, nagyméretű hasadékok rendszere képezi. Ez a karr *FORD-WILLIAMS* (1989) osztályozás szerint „*Corridor karst*", „*labyrint karst*", vagy „*giant grikeland*", de egyes részei „*Pinnacle karst*"-nak is tekinthetők. Mind az alább kiderül a hasadékok közti tömbö-

kön, 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 haladja meg számottevő mértékben, pl. az alpi karsztterületek karrformáinak méretét, míg sűrűségük azonban igen. Ezért a tsingy nem karr, hanem egy speciális trópusi karregyüttes.

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

Mind az Ankaranai-, mind a Bemarahai-tsingy alacsony, dombsági karszt, felszínük magassága 320 m alatti. Az Ankaranai-tsingyn a csapadék mennyisége több mint 2000 mm, míg a Bemarahain 1000-1500 mm. A tsingyket hordozó júra mészkő törések mentén megbillenve nyugatnak dől. A hordozó térszínek K-i pereme, amely kuesztát formál, meredekebb elvégződésű. A tsingy felszínek más felszíni formákban és így a karrformákon kívül más karsztformákban is szegények.

Így az Ankaranai-karszt tsingys térszíneinek a területén ill. azok környezetében kanyonok (*DUFLOS* 1966), továbbá különböző méretű és alakú völgyek fordulnak elő. E völgyek a határoló bazaltos térszínekről nyúlnak át a mészkőre. Valószínűleg többségük átöröklődéssel fejlődött, de miután a karsztvízszint közel húzódik a felszínhez, ill. korábban akár azt el is érhette, átöröklődés nélkül is létrejöhettek a fedetlen karszton. Mint említettük más karsztformák alig fordulnak elő a tsingys felszíneken. Hiányoznak az oldódásos dolinák, de néhány szakadékdolina, és víznyelő azonban kialakult a tsingys térszíneken. Ez utóbbiak a bazaltos felszínek pereménél is kialakulhattak. Bár a karsztperemi víznyelők medre, vagy völgye nem a bazaltos térszínen, hanem a karszton jött létre. Előfordulnak karsztbelseji víznyelők is (ankaranai Kis-tsingy). Ezek nem völgytalpi kőzethatárnál képződtek, hanem szakadéktöbrökből alakultak át víznyelővé. Ugyancsak az ankaranai Kis-tsingyre jellemző, hogy itt néhány völgytalpon előfordulnak kisebb, néhány m átmérőjű fedett karsztos formák is. Ezek ott alakulnak ki, ahol a mészkőben kialakult kürtő a felszínre nyílik. A tsingy felszínek területére azonban sohasem vezetnek sem állandó, sem időszakos vízfolyások a nem karsztos térszínről. Természetesen a tsingy karszton gyakoriak a különböző méretű, jellegű (genetikájú) barlangok is.

2. Vizsgálati módszerek

- Mindkét tsingyn GPS-el magasságméréseket és helymeghatározásokat végeztünk.
- Mérési adataink felhasználásával keresztszelvényeket szerkesztettünk (*2, 3. ábrák*).
- Számos (273 db) hasadéknak mértük az irányát. Az adatokat osztályközökbe sorolva a hasadékoknak megadtuk az iránygyakoriság eloszlását (*4, 5. ábrák*).
- Mértük a hasadékok szélességét és mélységét. Az adatokat osztályközökbe soroltuk (*6, 7, 8, 9. ábrák*). A bemarahai Nagy-tsingy hasadékainak mélység eloszlását nem tudjuk közölni, miután a rendelkezésünkre álló eszközzel megbízható méréseket csak a kisebb mélységű hasadékoknál tudtuk végezni.
- Az ankaranai Kis-tsingyn 3 helyen a Nagy-tsingyn 2 helyen szelvény mentén mértük a karrformák szélességét, mélységét és helyét. E szelvények mentén számítottuk a fajlagos szélességet, vagy fajlagos leoldódást karrformánként és az összes karrformára is. A fajlagos leoldódás az 1 m-re jutó karrforma össz-szélességének az átlaga, de megadható minden egyes karrforma típusra is (*I. táblázat*). Az alábbi módon számítható (*VERESS* 2004):

$$f_{sz} = \frac{\sum k_{sz}}{h}$$

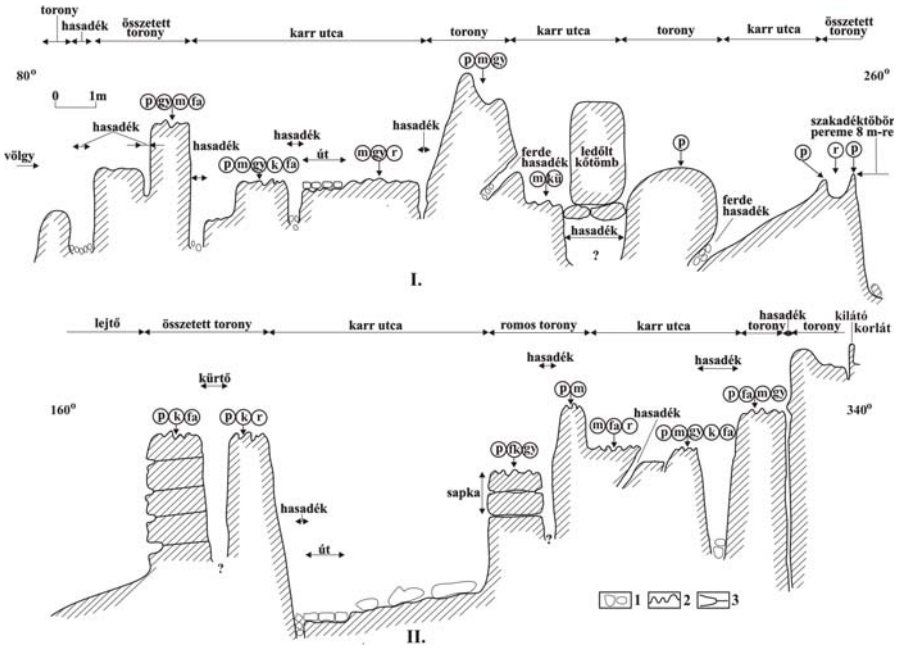
ahol Σk_{sz} : a szelvény mentén felmért karrformák szélességeinek az összege,

h: a szelvény hossza.

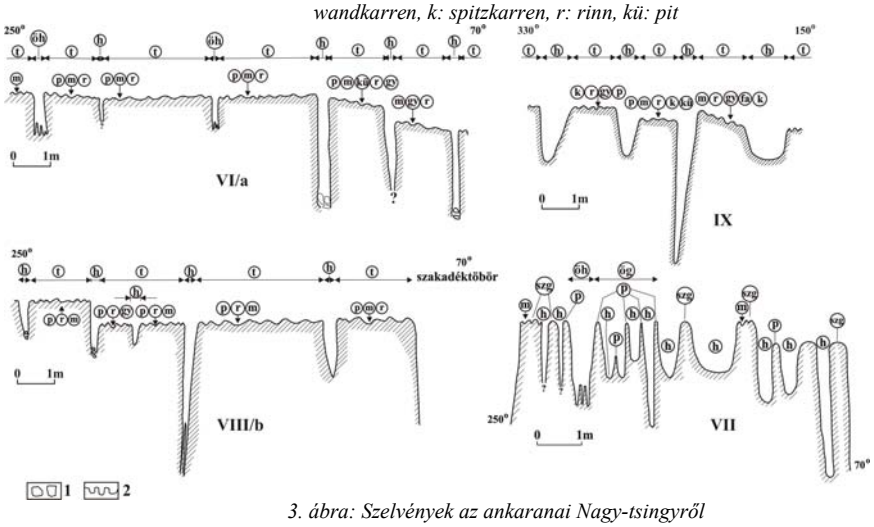
- Számítottuk a karrformák sűrűségét $\left(s\left[\frac{db}{m}\right]\right)$ az összes karrformára, de a különböző karrformákra is (*I. táblázat*).

$$s = \frac{n}{h}$$

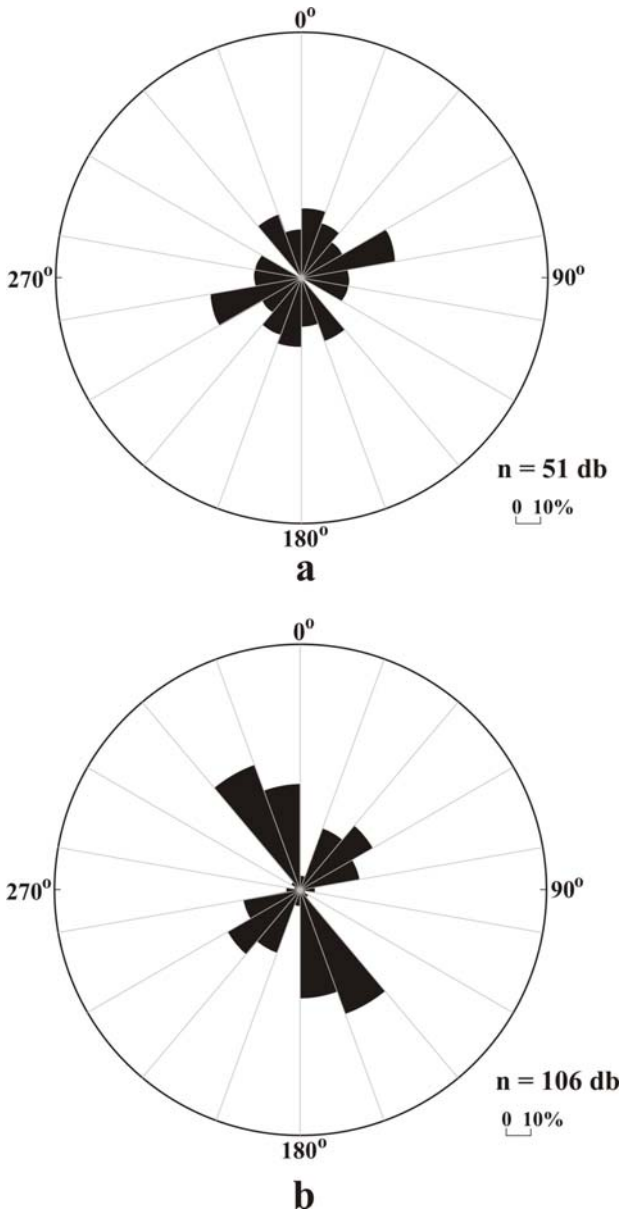
ahol: n: adott szelvényhosszon előforduló karrforma darabszáma.



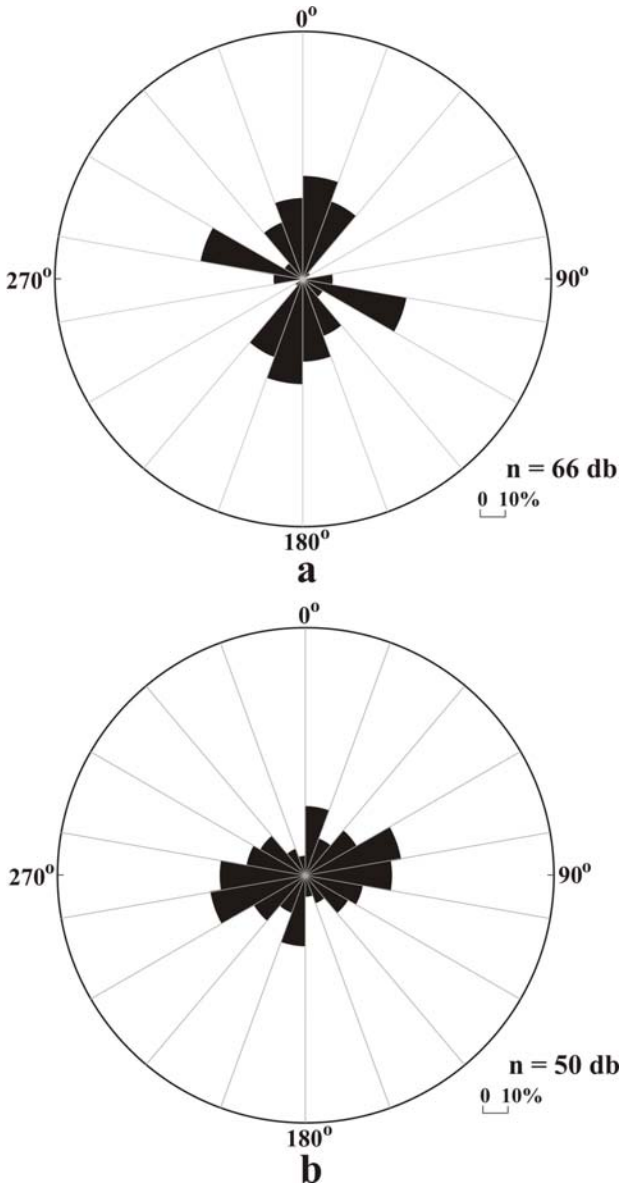
2. ábra: Szelvények az ankaranai Kis-tsingyről
Jelmagyarázat: 1. törmelék, 2. karrosodott felszín, 3. réteglap menti hasadék, p: pengegerinc, gy: gyűszűkarr, m: madáritató, fa: falikarr, k: kúpkarr, r: rinn (vályú), kü: kürtő
Fig 2: Profiles of the Ankarana Little tsingy
Legend: 1. debris, 2. karren formation surface, 3. splitkarren, p: blade ridge, gy: thimble karren, m: kamenitza, fa: wandkarren, k: spitzkarren, r: rinn, kü: pit



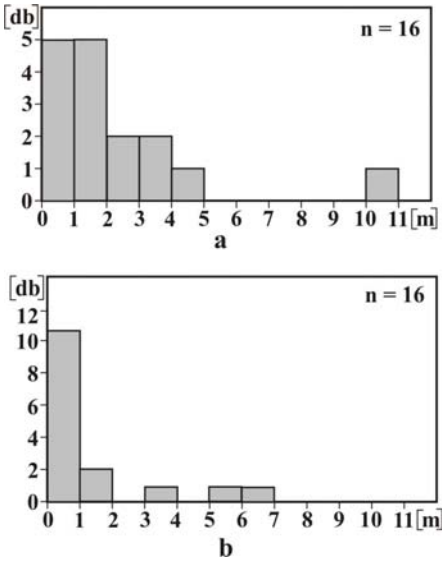
3. ábra: Szelvények az ankaranai Nagy-tsingyről
Jelmagyarázat: 1. törmelék, 2. karrosodott felszín, t: tömb, p: pengegerinc, szg: széles gerinc, ög: összetett gerinc, gy: gyűszűkarr, m: madáritató, r: rinn (vályú), kü: kürtő, fa: falikarr, h: hasadék, öh: összetett hasadék
Fig 3: Profiles of the Ankarana Great tsingy
Legend: 1. debris, 2. karren formation surface, t: clint, p: blade ridge, szg: wide ridge, ög: composite ridge, gy: thimble karren, m: rinnen, kü: pit, fa: wallkarren, h: grike, öh: composite grike



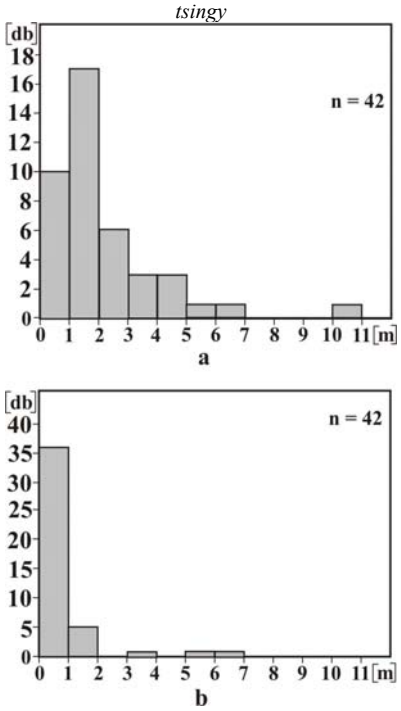
4. ábra: Hasadék irányok gyakoriságának eloszlása az ankaranai Kis- (a) és Nagy-tsingyn (b)
Fig 4: Distribution of abundance of grike directions on the Ankarana Little- (a) and Great tsingy (b)



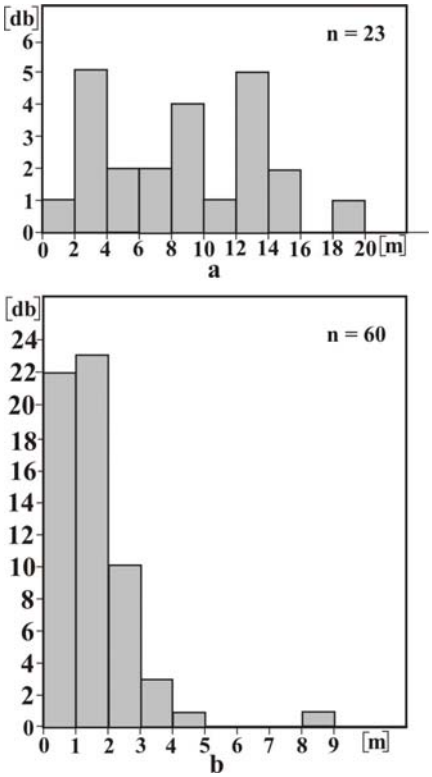
5. ábra: Hasadék irányok gyakoriságának eloszlása a bemarahai Kis- (a) és Nagy-tsingyn (b)
Fig 5: Distribution of abundance of grike directions on the Bemaraha Little- (a) and Great tsingy (b)



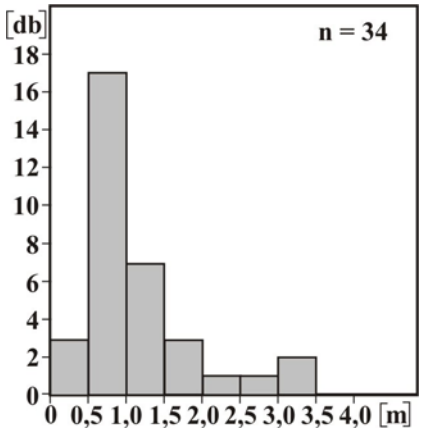
6. ábra: Az ankaranai Kis-tsingyn a hasadékmélység (a) és hasadékszélesség (b) gyakoriságának eloszlása
Fig 6: Distribution of abundance of the width of the grikes (a) and depth of the grikes (b) on the Ankarana Little tsingy



7. ábra: Az ankaranai Nagy-tsingyn a hasadékmélység (a) és hasadékszélesség (b) gyakoriságának eloszlása
Fig 7: Distribution of abundance of the width of the grikes (a) and the depth of the grikes (b) on the Ankarana Great tsingy



8. ábra: A bemarahai Kis-tsingyn a hasadékmélység (a) és hasadékszélesség (b) gyakoriságának eloszlása
Fig 8: Distribution of abundance of the width of the grikes (a) and the depth of the grikes (b) on the Bemaraha Little tsingy



9. ábra: A bemarahai Nagy-tsingyn a hasadékszélesség gyakoriságának eloszlása
Fig 9: Distribution of abundance the width of the grikes on the Bemaraha Great tsingy

I. táblázat
Table I.

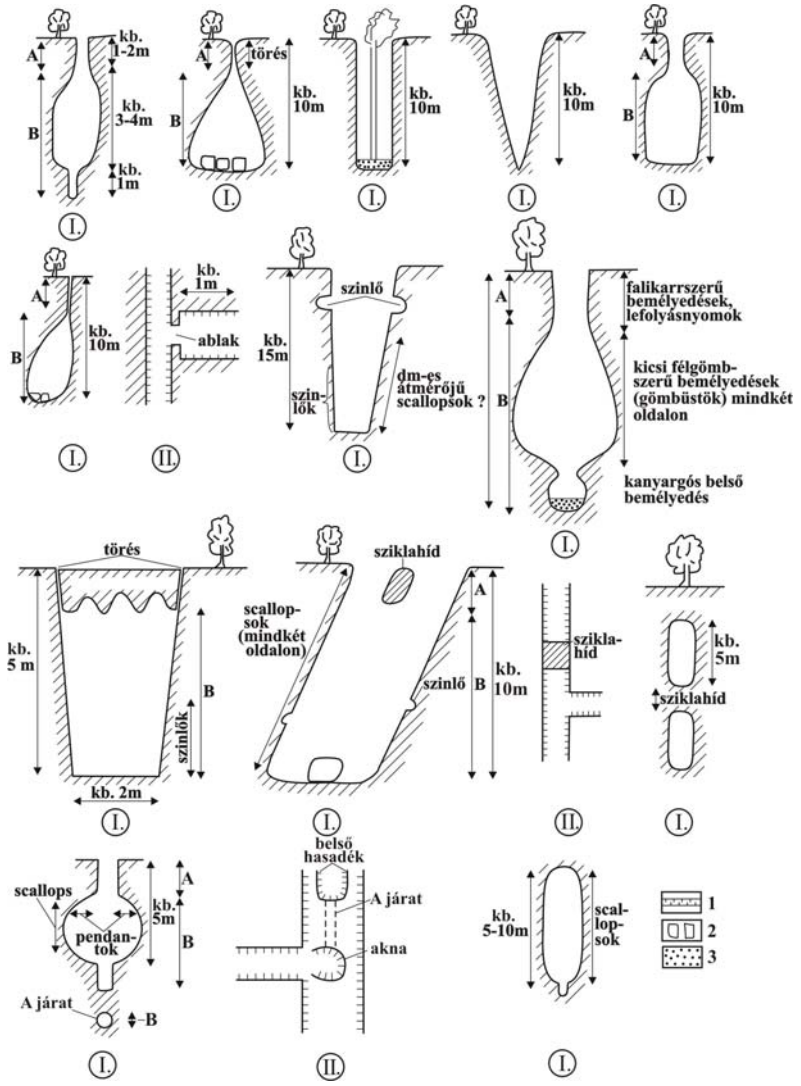
A karrformák fajlagos szélessége és sűrűsége az Ankaranai-tsingyn
Specific width and density of the karrenforms on the Ankarana tsingy

szelvény adatai és a karrformák		Kis-tsingy	Kis-tsingy	Kis-tsingy	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	3	15,2	11
vályú	f.sz. [cm/m]	3,11	21,54	64,33	24,67	-
	s [db/m]	0,18	0,39	2	0,92	-
falikarr	f.sz. [cm/m]	55,67	11,54	21,33	1,12	-
	s [db/m]	2,56	0,38	0,67	0,07	-
rillenkarr	f.sz. [cm/m]	7,51 ; 55,68	0 ; 71,92	0 ; 98	0 ; 35,79	0 ; 20,18
	s [db/m]	5,86 ; 26,56	0 ; 79,61	0 ; 88,3	0 ; 24,67	0 ; 11
hasadék	f.sz. [cm/m]	24,72	-	-	6,45	5,55
	s [db/m]	0,37	-	-	0,33	0,18
kürtő	f.sz. [cm/m]	-	29,62	-	-	-
	s [db/m]	-	0,39	-	-	-
madáritató	f.sz. [cm/m]	-	30,77	-	2,83	50,27
	s [db/m]	-	0,77	-	0,13	0,45
kúp	f.sz. [cm/m]	-	-	12,33	11,38	3,73
	s [db/m]	-	-	0,67	0,26	0,18
összes	f.sz. [cm/m]	91,02 ; 139,19	93,46 ; 165,38	98; 196	46,45 ; 82,24	59,55 ; 79,73
	s [db/m]	8,97 ; 29,67	1,92 ; 81,53	3,33 ; 91,63	1,71 ; 26,38	0,82 ; 11,82

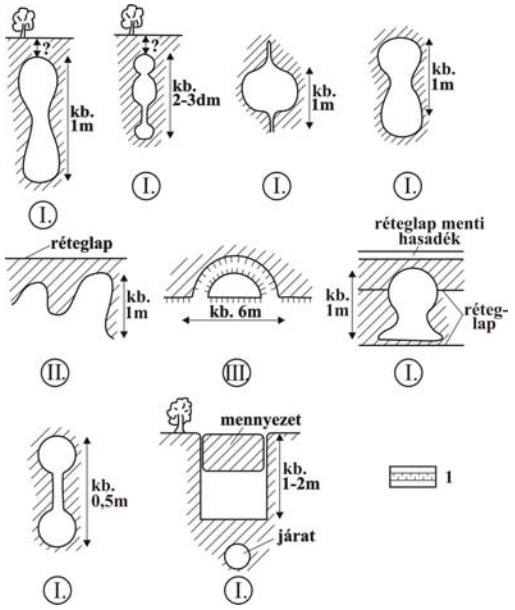
Megjegyzés
- f. sz. : fajlagos szélesség
- s: sűrűség
- A rillek valamint az összegzett értékek oszlopában két számadatot találunk. Az első számadat a nem karros formában előforduló rillek adatait tartalmazza. A második számadatot az előző érték továbbá más karros formában előforduló rillek adatainak felhasználásával számítottuk ki.
- rill becsült szélessége átlagosan 1,5 cm

Note
- f.sz.: specific width
- s: density
- We can find two numbers/data in the column in case of rills and altogether value. The first number contains the data of rills in non karren forms. The second number is counted from the previous data and data of rill occurring in other karren forms.
- the average estimated width of rill is 1.5 cm

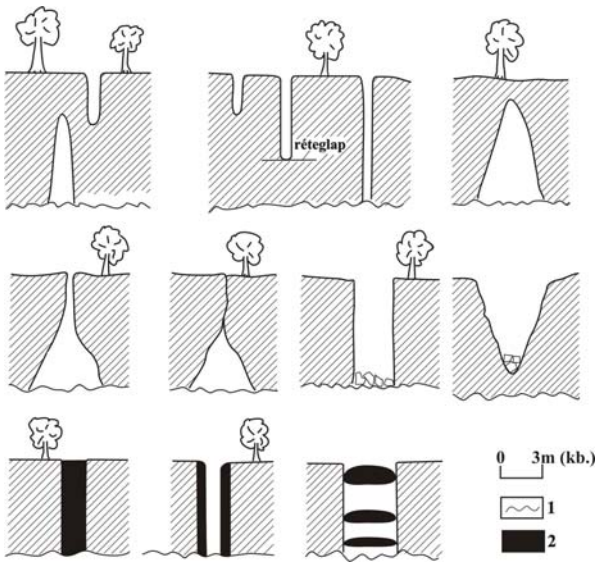
- A Bemarahai-tsingyn a hasadékok nagy mérete, valamint számos az adatgyűjtési tevékenységet korlátozó rendszabály miatt keresztszelvény felvételére nem volt mód. Ehelyett a terepbejárás során a hasadékokról vázlatos keresztmetszeteket, alaprajz- és hossz-szelvény részleteket készítettünk (*10, 11, 12, 13, 14. ábrák*).



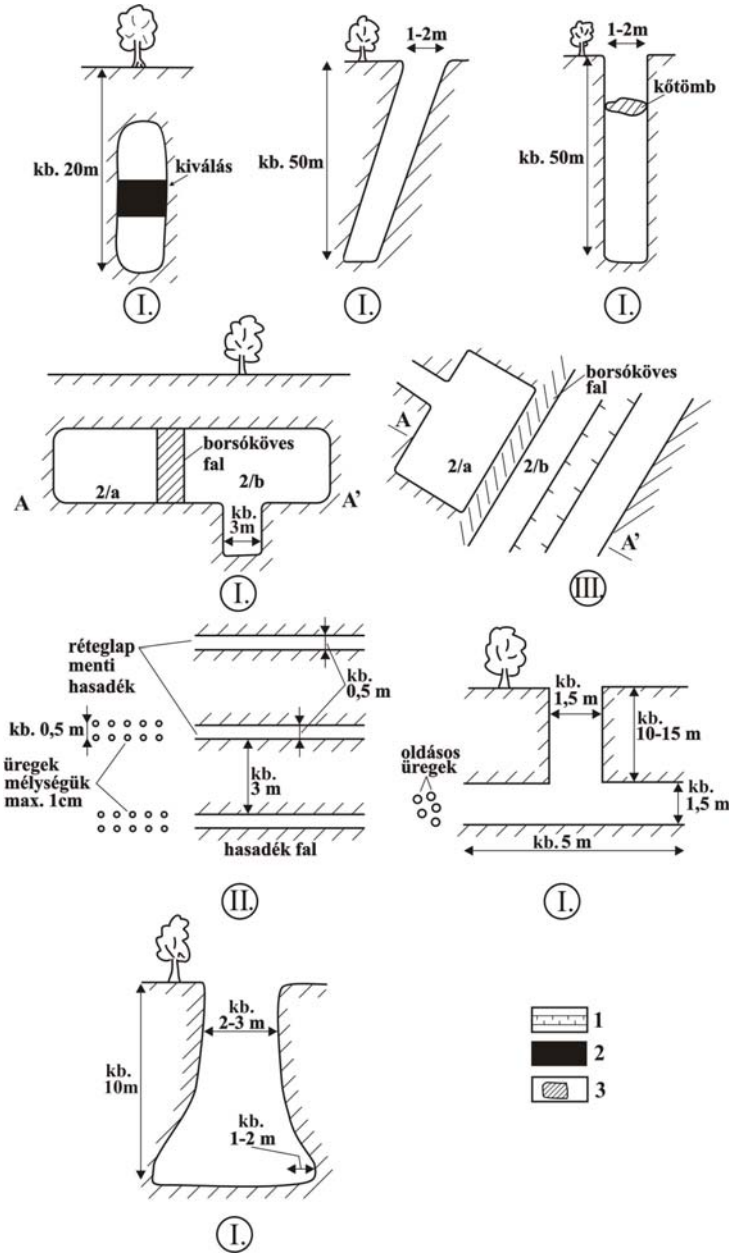
10. ábra: Hasadék szelvények (I) és alaprajzok (II) a bemarahai Kis-tsingyről
Jelmagyarázat: A. csapadékvíz által kialakult hasadékrész, B. karsztvízszint alatt kialakult hasadékrész, 1. folyosó (felülnézeten), 2. omladék, 3. a hasadékba bemosott finomszemcséjű anyag
Fig 10: Grike profiles (I) and planimetric representation of grikes on the Bemarahai Little tsingy
Legend: A: grike part, which is developed by rainfall, B: grike part, which is developed by karst water, 1. corridor (top-view), 2. cave debris, 3. fine grain sediment, which is transported into the grike



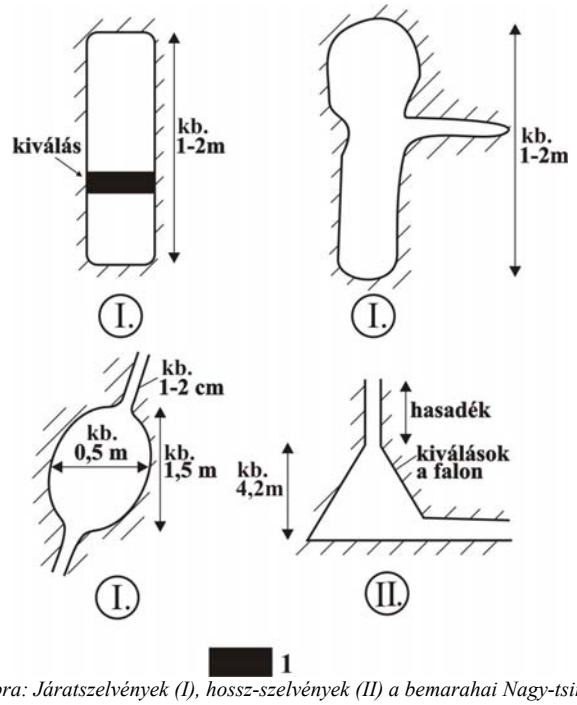
11. ábra: Járatszelvények (I), hosszmetszetek (II) és alaprajzok (III) a bemarahai Kis-tsingy folyosóiról
Jelmagyarázat: 1. folyosó (felülnézeten)
Fig 11: Corridors in profile (I) and in longitudinal section (II), in top view (III) from the corridors of the Bemaraha Little tsingy
Legend: 1. corridors (top-view)



12. ábra: A Manamboló-folyó szurdokos falának hasadékai és folyosó (barlang) szelvényei (bemarahai Kis-tsingy)
Jelmagyarázat: 1. folyó vízszintje, 2. mésztufa, cseppkő
Fig 12: Grikes and corridors profiles from the walls of the canyon the River Manamboló (Bemaraha Little tsingy)
Legend: level water of river, 2. calcareous sinter



13. ábra: Hasadék keresztszelvények (I), hossz-szelvények (II) és alaprajzok (III) a bemarahai Nagy-tsingyről
Jelmagyarázat: A: csapadék által kialakított hasadékrész, B: karsztvízszint alatti oldódással kialakult hasadékrész, 1. folyosófal (felülnézeten), 2. kiválás, 3. omladék
Fig 13: Grike in profile (I), in longitudinal selection (II), and in top view (III) from the Bemaraha Great tsingy
Legend: A: part of grike developed by rainfall, B: part of grike developed by dissolution under karst water level, 1. wall of corridor (in top-view), 2. calcareous sinter, 3. cave debris



14. ábra: Járatszelvények (I), hossz-szelvények (II) a bemarahai Nagy-tsingyről
Jelmagyarázat: 1. kiválás
Fig 14: Grike in profiles (I), in longitudinal selection (II) from the Bemaraha Great tsingy
Legend: 1. calcareous sinter

- A bemarahai Nagy-tsingyn több helyen mértük a falakon előforduló scallops csoportok scallopsainak az átmérőjét (ez a formának a kialakító víz feltételezett áramlási irányába eső legnagyobb kiterjedése) és mélységét (*II. táblázat*). A scallops átmérőkből számítottuk a kialakulásukat okozó karsztvíz áramlási sebességét az alábbi képlet felhasználásával (*LISMONDE-LAGMANI* 1987):

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

ahol $V\left[\frac{cm}{s}\right]$: 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 *III. táblázat*ban közlünk) a scallops hosszak átlagából (V_1), vagy úgy, hogy az áramlási részse-

bességeket minden egyes scallopsra kiszámítjuk, majd ezek átlagát képezzük (V_2).

II. táblázat
Table II.

Scallopsok adatai (bemarahai Nagy-tsingy)
Data of scallops (Bemaraha Great tsingy)

scallops helye	scallops adatai															megjegyzés
I.	27 8	35 10	52 11	32 12	37 8	50 10	41 9	30 5	34 6	31 7	28 7	33 10	24 9	45 13	33 18	mindkét folyosófalon 1-1,5 m között 5 m hosszúságban
II.	10 2	6 1	7 3	8 3	8 2	13 4	8 2	10 3	12 2	10 2	12 4	10 4	15 3	-	-	folyosófalon 1,5 kiterjedésben
III.	1,4 0,3	1,2 0,2	2,0 0,3	1,8 0,4	1,7 0,3	1,7 0,5	1,4 0,3	1,6 0,3	-	-	-	-	-	-	-	folyosófalon 1,5x1,2 m kiterjedésben
IV.	19 2	10 5	19 3	15 3	16 2	10 1	11 2	18 2	9 1	-	-	-	-	-	-	barlangjárat falán 1,5 m magasságban
V/a	6 1	11 2	13 5	16 3	16 2	12 2	18 2	27 6	15 1,5	15 2	18 3	19 1	21 4	26 4	16 2	1,5 m magasan, 3 m hosszan
V/b	33 11	34 7	14 4	13 2	30 9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2 m magasan
V/c	26 5	35 7	32 7	44 9	38 9	19 8	31 7	-	-	-	-	-	-	-	-	3 m magasan

Megjegyzés
- felső adat scallops átmérője [cm]
- alsó adat scallops mélysége [cm]
- az egyes helyeken csak a scallopsok egy részének a felmérése történt meg
- V/a, V/b, V/c ugyanazon a helyen, de a folyosófalon különböző magasságokban

Note
- upper data is diameter of scallops [cm]
- lower data is depth of scallops [cm]
- the measuring happened at few scallops in the same place
- V/a, V/b, V/c are in the same place, but at different altitudes of the grike wall

Az áramlási sebesség pontosabban számítható a Prandtl-féle határréteg elmélet felhasználásával, ha a scallopsok előfordulási helyénél a hasadék szélességét is figyelembe vesszük, az alábbi formula szerint (*LISMONDE-LAGMANI* 1987):

$$\frac{V \cdot L_{3;2}}{\nu} = 20700\left[1 + 0{,}266\left(\ln\frac{D}{2 \cdot L_{3;2}} - 1{,}5\right)\right]$$

ahol $L_{3;2} = \frac{\sum_{i=1}^{n} L_i^3}{\sum_{i=1}^{n} L_i^2} [cm]$ (Sauter-féle átlag),

$D[cm]$: a hasadék átmérője,

$\nu \left[\frac{cm^2}{s} \right]$: az áramló folyadék kinematikai viszkozitása,

20700: az áramló vízre vonatkozó tapasztalati úton kapott állandó.

III táblázat
Table III.

Scallops adatok alapján számított áramlási sebességek a Nagy-tsingyről
Current velocity is calculated with using scallops datafrom the Great tsingy

scallops helye	V_1 [cm/s]	V_2 [cm/s]	V_3 [cm/s]
I.	7,05	7,38	5,66
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
V_3 : a Prandtl-féle határréteg elmélet és a folyosó szélesség felhasználásával kapott áramlási sebesség

V_1 : We calculated the mean of the lengths of the scallops to calculate the velocity of current.
V_2 : We calculated current velocity which belongs to different scallops, then we calculated the mean of the current velocity.
V_3 : Current velocity which is calculated by using border layer theory of Prandtl and the width of corridor.

3. Az Ankaranai-tsingy

Az Ankaranai-tsingy a sziget É-i részén Diego városától 70 km-re D-re helyezkedik el. Itt a tsingy kisebb-nagyobb foltokban viszonylag nagy területen fordul elő (teljes kiterjedése kb. 200 km^2). Két jelentősebb előfordulása említhető a Kis-tsingy és a Nagy-tsingy, amelyek egymástól mintegy 20 km-es távolságra helyezkednek el. A Kis-tsingy egy völgy és a Denevérbarlang szakadéktöbre közti hát lejtőin és tetőszintjén található. Az oldallejtőkön azonban csak helyenként bukkan elő a talaj alól. E foltok területén a hasadékok kevésbé mélyek mint a tetőszinten kifejlődött tsingy hasadékainak mélysége. Ez utóbbi tsingy részlet kiterjedése 1600 m^2, magassága 295 m alatti. A hordozó 200 m-es vastagságú júra mészkő jól rétegzett. A réte-

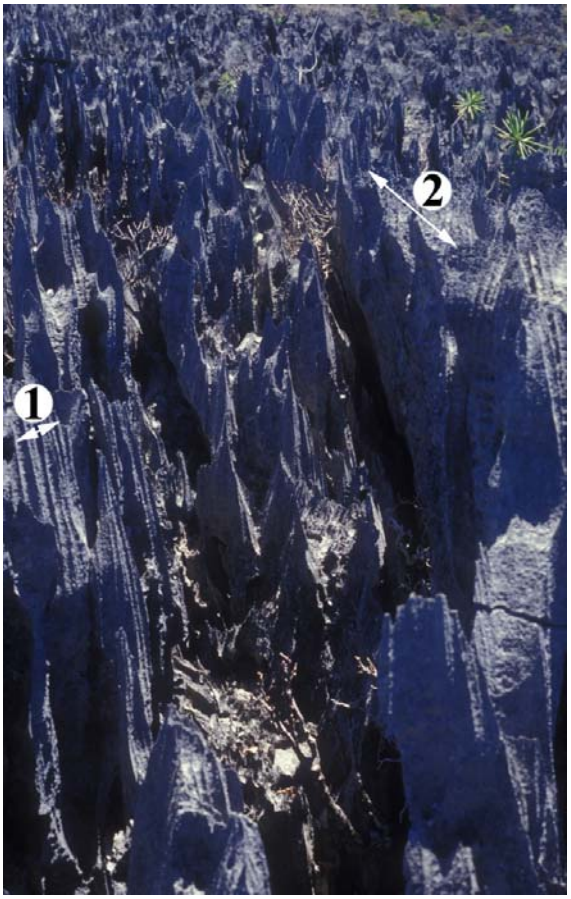
gek vastagsága 30-70 cm közötti, dőlésirányuk 82°, dőlésszögük 10°. A Nagy-tsingy kis magasságú (318 m alatti) enyhén hullámos, völgyekkel tagolt térszínen alakult ki, egy szakadéktöbör peremén. Kiterjedését 0,5-1 km^2-nek becsüljük. Mind a Nagy-tsingyn, mind a Kis-tsingyn a hasadékok közti felszíneken a karrosodás igen számottevő. A másodlagos karrformák sűrűsége és a fajlagos szélessége igen nagy, eléri, sőt meghaladja a kősó karrformáinak ezen jellemzőit (*I. táblázat*). Így, ha az ún. belső rillektől eltekintünk (más karrformákban kialakult rillek) ennek értéke 1 m-en a Kis-tsingyn 91-98 cm, a Nagy-tsingyn 46,45-59,55 cm közötti. A fajlagos szélesség a parajdi sókarszton 54-97 cm közötti (*VERESS* 2003). Ha a belső rilleket is figyelembe vesszük, akkor a Kis-tsingyn a fajlagos szélesség 139,19-196 cm, a Nagy-tsingyn 79,73-82,24 cm, míg a parajdi sókarszton 138-143 cm közötti. A só és a tsingy karrformáinak sűrűsége sem mutat különbséget. Amíg a parajdi sókarszton a sűrűségek 0,8-18 db/m, addig a tsingyn a sűrűség a belső rillek nélkül 0,82-8,97 db/m közötti értékeket mutat. A belső rillekkel együtt azonban a tsingy karrformáinak a sűrűségei 26,38-91,63 db/m között szóródnak. Ha a karrosodás intenzitását a karrformák sűrűségével ill. a formák 1 m-re jutó átlagos össz-szélességével fejezzük ki (amely kifejezi, hogy 1 m-ről mennyi kőzet oldódott és szállítódott el), akkor megállapíthatjuk, hogy a tsingyn ennek mértéke eléri, sőt meghaladja a kősóét. Ez az összehasonlítás azonban csak a mérési időpontra lehet reális. Hiszen a kősón a gyors oldódás miatt a formák gyorsan elpusztulnak és újraképződnek. Az Ankaranai-tsingyn az alábbi formaelemek és formaegyüttesek különíthetők el.

3.a. Formák

Az Ankaranai-tsingy elsődleges, vagy nagyformái a hasadékok, a gerincek, a tömbök és a tornyok, míg a másodlagosak a rillenkarr, a rinnenkarr, a falikarrok, a madáritatók, a gyűszűkarrok, a kúpkarrok, a kisebb gerincek.

A hasadékok szélessége és mélysége, de különösen utóbbi értéke igen változatos. A mélység 1 m-től 6 m-ig terjed, míg a szélesség néhány cm és néhány m közötti (*6. ábra*). Hasonlóképpen irányaik is változatosak. A Kis-tsingyn a hasadékok legalább három irány mentén csoportosulnak (*4.a. ábra*). A Nagy-tsingyn azonban 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 szélessége néhány cm és 6 m között változik, de jellemzőbbek a keskeny, néhány dm-es szélességűek. 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 (*7. ábra*).
Főbb változataik az alábbiak:
* Az egyszerű hasadék néhány dm-es szélességű, alsó végen zárt, lefelé fokozatosan elkeskenyedő, tagolatlan aljzatú forma.
* Az összetett hasadék aljzatát kisebb karrformák (pl. pengegerincek és ezek között részhasadékok) tagolják, alsó vége ugyancsak zárt.
* A karr utca több m-es szélességű bemélyedés. A hasadék jellege nem mindig ismerhető fel könnyen, miután oldalfala nem egységes, hanem ehelyett tornyok láncolata övezi. Az utca aljzatába egyszerű, keskeny hasadékok mélyülhetnek.



1. kép: Az ankaranai Nagy-tsingy (penge tsingy)
Jelmagyarázat: 1. rillenkarr scallopsokkal, 2. pengegerinc és kúpkarr
Picture 1: The Ankarana Great tsingy (blade tsingy)
Legend: 1. rillenkarren with scallops, 2. blade ridge and Spitzkarren

A hasadékoknak még további változatai is elkülöníthető: így pengegerincek közti hasadék (az összetett gerincet hasadékok különítik részgerincekre), ferde helyzetű hasadék, réteglapmenti hasadék (közel vízszintes helyzetű), aszimmetrikus hasadék (oldallejtői eltérő meredekségűek).

A hasadékok alul nem minden esetben záródnak. Gyakran fokozatosan elkeskenyednek, vagy törmelékkel kitöltöttek (az aljzatmélység egyik esetben sem állapítható meg). Feltűnő, hogy a hasadékfalakon nincs, vagy nagyon kevés karrforma fordul elő. Ez arra utal, hogy a hasadékfalak, miután feltehetően azokon a lecsorgó csapadékvíz felületileg fejlődik ki (lepelvíz), úgy oldódik, hogy ennek során önmagukkal párhuzamosan hátrálnak. Így karrformák ki sem alakulhatnak, vagy e kezdemények folyamatosan elpusztulnak.

A gerincek változatos magasságú és hosszúságú maradványformák.

A nagyobb gerincek hasadékokat különítenek el egymástól (*1. kép*). Ezeknek két változata különíthető el. A széles gerincek szélessége felső elvégződésüknél 0,2-1,0 m közötti, tetejük lehet lekerekített, vagy közel sík. A tetőkön madáritatók, rinnek is előfordulhatnak, utóbbiak kürtőkhöz vezetnek. A gerincek másik változata a pengegerinc, amely felső elvégződésénél 0,2 m-nél kisebb szélességű. A pengegerincek oldallejtőinek felső, 1-2 dm-es szélességű sávját rillek tagolják. A pengegerincek oldalnézetben magaslatokra (kúpokra) és közöttük alacsonyabb gerincszakaszokra (nyergekre) különülhetnek. Az összetett gerincet több pengegerinc alkotja. Az összetett gerinceket nagy (szélesebb és mélyebb) szabálytalan alakú hasadékok és kürtők határolják, míg pengegerinceiket kisebbek (kevésbé szélesek és mélyek). A részgerinceken lokális átoldódással ablakok jönnek létre. Valószínűleg az összetett gerincek széles gerincekből alakulnak ki oly módon, hogy a tetőhelyzetű kürtők növekedve részgerincekre különítik a szélesebb gerinceket.

A kisebb gerincek egyéb karrformák (többnyire rinnek, vagy rillek) közötti maradványtérszínek. Irányuk változatos, magasságuk 1-2 dm, hosszanti kiterjedésük legfeljebb 1-2 m. Előfordulhatnak blokkok tetején torony tetején, vagy torony oldalán. Magasságuk lejtésirányban csökken, oldallejtőjüket rillek, tetejüket kúpok tagolhatják.

A tornyok néhány m magas, alaprajzban négyzetes, vagy gerincszerű formák. (A szomszédos tornyok magassága azonban igen különböző lehet.) A tornyokat minden oldalról hasadékok, vagy egykori hasadékok maradványai határolják. A tornyok oldallejtőit nagyméretű rillek, falikarrok tagolják. A torony tetőszintje nagyon változatos. Ennek figyelembevételével az alábbi változataik különíthető el (*2. kép*).

2. kép: Az ankaranai Kis-tsingy (öreg tsingy)
Jelmagyarázat: 1. összetett torony, 2. sapka, 3. pusztuló torony, 4. utca
Picture 2: The Ankarana Little tsingy (old tsingy)
Legend: 1. complex pinnacle, 2. cap, 3. destroyed pinnacle, 4. karst street

* Kúpos tetejű torony felfelé fokozatosan elkeskenyedik. Rendszerint egyetlen kúpban végződik el, amelyen ha rillek alakultak ki, pengegerincek tagolnak.
* Sík tetejű torony teteje széles, kis lejtésű. A tetőn elsősorban madáritatók, gyűszűkarrok, kürtők és pengegerincek fordulnak elő.
* Összetett torony tetőszintje több kúpra és pengegerincre különül. A pengegerincek között rinnek mélyülnek a felszínébe, a kúpok között madáritatók, gyűszűkarrok, rinnek, kürtők fordulnak elő.
* Romos toronynak a tetőszintjét alkotó kőzet réteglap mentén (amely több cm-es magasságú réteglapmenti hasadék is lehet) a torony többi részétől részben, vagy teljesen elkülönülve alkotja az ún. sapkát. A sapka lehet kúpformájú, vagy lapos tömb. Eredeti helyzetéből kimozdult is lehet, vagy torony tetejéről lehullva, omladékként mára a határoló hasadékba került.

A rillek a tsingy uralkodó formái. A meredek lejtőkön folytonos kifejlődésben fordulnak elő. Megjelennek rövidebb lejtőkön (így pengegerincek, madáritatók, ill. rinnek oldallejtőin), vagy hosszabbakon is (tornyok oldallejtőin). Egymásba kapcsolódhatnak, vagy úgy ékelődnek ki (akárcsak kősön), hogy alattuk újabbak kezdődnek. Ez utóbbi legjellegzetesebb kifejlődése, amikor a lejtőt alkotó rétegfejen réteglaptól réteglapig terjednek.

Ezáltal egymás alatt rill sorozatok fejlődnek ki. Folytonos kifejlődésük miatt hiányoznak az oldódásmentes („*Ausgleichsfläche*”) felszínek. Rövid, meredek lejtők (rinnoldalak) felső elvégződésén túlnyúlva, kis dőlésű lejtőkön is kifejlődhetnek anélkül, hogy kiékelődnének.

A rillek nagyságuk szerint csoportosíthatók. A kisebbek 1-2 cm, a nagyobbak 2-10 cm közötti szélességűek. Ez utóbbiak 1 m hosszúságúak is lehetnek. Előfordulnak falikarrhoz vagy félkürtőhöz hasonlító rillek is, amelyek több m hosszúak. Ezek belsejében kisebb rillek fordulhatnak elő folytonos, tehát csoportos kifejlődésben.

A meredek rillek belsejét esetenként több sorban kb. 1 cm-es átmérőjű scallopsok tagolják, amelyek scallops sorokat képeznek.

A rinnek kis lejtésű felszíneken (tömbökön, esetleg tornyok tetején) fordulnak elő. Nem folytonos, vagy csoportos kifejlődésűek, hanem egyesével jelennek meg. Ahol egymás mellett több is előfordul közöttük az eredeti térszínből csak keskeny gerincek (pengegerincek) maradtak meg. A rinnek rövid (legfeljebb néhány m) hosszúságúak, többnyire hasadékokhoz vezetnek. Morfológiailag egyszerű vályúk, csak ritkán összetettek. Ez utóbbi esetben az I. típusú vályú talpán III. típusú fordul elő. Talpukon ritkán előfordulhatnak madáritatók, kürtők, vagy lépcsők. Néha madáritatókból ágaznak ki (túlfolyási vályú), vagy ezek összekapcsolódásával jönnek létre.

A falikarrok meredek, függőleges felületeken fejlődnek ki, elsősorban a tornyok és különböző magaslatok oldalán. Szélességük kb. 5 cm-től több dm-ig terjedhet, hosszúságuk több m is lehet. Metszetben félkör alakúak, tehát ún. félkürtő típusú (*VERESS-TÓTH-CZÖPEK* 2003) falikarrok. A nagyobb és szélesebb rillek, valamint a falikarrok között az átmenet fokozatos. Utóbbiak talán abban különböznek előzőektől, hogy esetenként nem közvetlenül sorakoznak egymás mellett. A falikarrok ugyancsak kiékelődhetnek réteglapoknál. Gyakori, hogy a falikarrok belsejében egy, vagy akár több rill is kifejlődik, máskor scallopsokkal, scallops sorokkal tagoltak.

A madáritatók a tsingy gyakori és változatos formái. A legnagyobb méretűek (akár több m átmérőjűek is lehetnek) a blokkos tsingy kis lejtésű, nagy kiterjedésű, sík térszínein, a blokkokon fejlődnek ki. Ez utóbbiak sík aljzatúak, tápláló, lecsapoló, vagy belső vályúkkal is rendelkezhetnek.

A kis méretű, néhány dm-es madáritatók változatos környezetben (pl. kisebb kiterjedésű tömbökön, tornyokon) jelenhetnek meg. E formák kis mélységűek (1-2 cm, ill. 1-2 dm), oldalfaluk aláhajló, annak tövében színlő is jelen lehet. A vályúkat tápláló madáritatók (amelyek vályúvégeknél, vagy vályú peremeknél fordulnak elő) is e csoportba sorolhatók. A fél madáritatók, amelyek átmérője néhány dm, oldallejtői hiányosak. A kör alakú aljzat mintegy 1/3-ánál nincs oldallejtő. E helyeken a sík aljzat fokozatosan megy

át a határoló lejtőbe. E madáritató változat hasonlít a magashegységi karsztok saroknyomaihoz. Valószínű azonban, hogy nem igazi saroknyomok, mert e formák talpa gyakran kisebb mélyedésekkel (gyűszűkarrok) tagolt, vagy peremüktől rinnek, vagy rillek ágaznak ki. Az oldallejtőiket rillek tagolják. A meredekebb lejtőkön kicsi, sík aljzattal rendelkező kehelyszerű madáritatók is előfordulnak. A lejtésiránnyal ellentétes felső oldallejtőjük hosszú és meredek, az átellenes rövid és hiányos, ahol fokozatosan mennek át a határoló lejtőbe, vagy falikarrszerű rillekbe. E formák, különösen a hozzájuk kapcsolódó rillek pengegerincekkel határoltak.

A madáritatók talpán belső madáritatók alakulhatnak ki (összetett madáritató), vagy a madáritatók összenövésével uvala madáritatók is létrejöhetnek.

A gyűszűkarrok néhány cm-es átmérőjű és mélységű, kör alaprajzú, meredek oldalú bemélyedések. Átmenetet mutatnak (ill. hasonlítanak) a madáritatókhoz ill. a nagyobb mélységűek a kürtőkhöz. Kis lejtésű térszíneken ill. nagyobb karros formák belsejében (pl. madáritatók) fordulnak elő egyesével, vagy csoportosan. Csoportos kifejlődés esetén egymásba oldódhatnak, miáltal közöttük gerincek hálózata, vagy kúpok csoportja maradhat vissza az eredeti térszínből.

A kúpkarr kúpjainak, vagy kúphoz hasonló formáinak magassága néhány cm és néhány dm közötti. A kúpok felülnézetben kör alakúak vagy megnyúltak. A kör alakú kúpok a tornyok tetején (a torony éles határ nélkül egy-egy kúpba megy át), a blokkos tsingy kis lejtésű térszínein, vagy az összeoldódó karros formák (pl. madáritatók közötti térszínek) között fordulnak elő. A megnyúlt kúpok a különböző típusú gerincek részekre különülésével létrejött maradványok. A félkúpok a magaslatok oldallejtőinek kiemelkedései. Határoló oldallejtőjük lejtésirányba hosszú, átellenes irányban rövid. A kúpok oldallejtőit rillek tagolhatják.

3.b. Karregyüttesek (tsingy változatok)

A tsingy karregyüttes változatai a tornyos-, a tömbös- és a penge tsingy.

A tornyos tsingy alkotja a Kis-tsingy jelentősebb részét (a magaslat tetőszintjét). E karregyüttes változat különböző méretű, egymásba kapcsolódó hasadékokból, ill. karr utcákból és az ezek között egymástól többékevésbé elkülönülő különböző méretű, alakú toronyból áll (*2. ábra, 2. kép*).

A tömbös tsingy karregyüttes változat a Nagy-tsingyre jellemző formaegyüttes. Jellegzetessége a két irányú, egymásra merőleges hasadékok rendszere, amelyek kis lejtésű tömböket fognak közre (*3. ábra*). Megfigyelhető, hogy ugyanazon a helyen az eltérő irányú hasadékok hossza és széles-

sége lényegesen különbözik. Ez különösen a fiatalabb kifejlődésnél (ld. alább) tapasztalható. Ilyen helyeken főleg az ÉNy-DK-i hasadékok a hosszabbak és szélesebbek, míg az erre merőlegesek rövidebbek és keskenyebbek. Miután a rinnek főleg az ÉNy-DK-i hasadékokhoz kapcsolódnak, valószínű, hogy ezek, a tömbökről több vizet kapnak, mint az ÉK-DNy-iak. Emiatt gyorsabban fejlődtek, mint az ÉK-DNy-i irányúak. A tömbös tsingynek legalább két kifejlődése különíthető el. A fejletlenebb (fiatalabb?) hasadékai keskenyebbek (20-50 cm közöttiek), kevésbé mélyek (1-2 m közötti mélységűek) a tömbök felszíne kevésbé tagolt. A tömbök kiterjedése 2-5 m közötti. A tömbök karrformái (rinnek, pengegerincek, madáritatók) kisebbek. A hasadékok aljzatán kisebb hasadékok (amelyeket pengegerincek különítenek el egymástól) fordulnak elő. A fejlettebb (idősebb?) típus hasadékai valamivel szélesebbek (50 cm-t meghaladja a kiterjedésük), mélységük többnyire 2 m-nél nagyobb. Feltűnő, hogy itt a hasadékok lefelé kiékelődnek. Ezek talpa nem tagolt, a K-i (tehát a szakadékdolina felőli) hasadékfal gyakran kisebb dőlésű, mint az átellenes. Ez a hasadékmorfológia arra utalhat, hogy a szakadékdolina falát alkotó kőzettömeg több szakaszban kissé elmozdult annak belseje felé. A hasadékképződést lényegében áltektonikus kibillenés, vagy kibillenés sorozat is elősegítette. (Erre utalhat az is, hogy a felszín lépcsős és a lépcsők a dolina felé haladva egyre alacsonyabb helyzetűek.) A tömbök felszíne sokkal nagyobb mértékben tagolt karrformákkal, mint az előző változat tömbjei. A tömbökön uralkodnak a nagyméretű (több m átmérőjű madáritatók, madáritató uvalák, rinnek, pengegerincek és kúpok) karrformák.

Valószínű, hogy ez utóbbi változat nagyobb mértékű karrosodása arra vezethető vissza, hogy közvetlenül a szakadéktöbör peremét szegélyezi. Miután a szakadéktöbör kialakult előbb a talajvesztés annak közelében történt így a karrosodás is itt kezdődött, majd fokozatosan terjeszkedett attól egyre távolabbi térszín részletekre is. Emiatt a töbörtől távolabbi felszínek karrosodása csak később kezdődhetett el és ezért kezdetlegesebb.

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. ábra, 1. kép*).

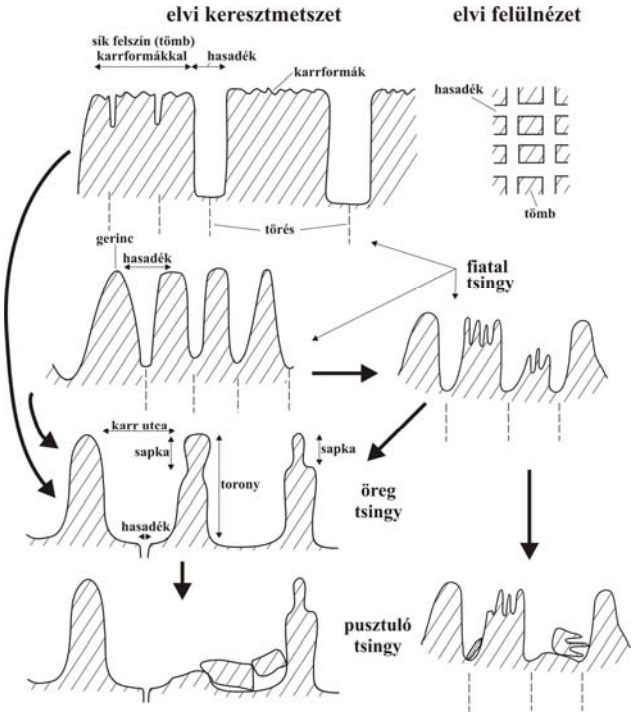
4. Az Ankaranai-tsingy kialakulása és fejlődése

A tsingy hasadékai törések mentén alakultak ki, amit nem csak 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 szállítódhat el. A karszt belsejébe sem szállítódhat, miután a hasadékok többségének a talpa a Nagy-tsingyn teljesen zárt, nem folytatódik keskenyebb hasadékokban, vagy kürtőkben. A talajalatti oldódás hiányát bizonyítja, hogy hiányoznak azok a formák, amelyek a hasadék falon keletkeznek talajelborítás alatt (pl. színlők, zsebek, stb.). Ugyancsak talajnélküli oldódásra utal, hogy számos kis kiterjedésű tsingys folt fordul elő a Nagy- és Kis-tsingyn kívül. Ezeknél a hasadékok kisméretűek, amely jelzi, hogy fejlődésük kezdeténél tartanak, viszont területükön, vagy a hasadékokban sincs talaj. E tsingys foltok között természetesen számos helyen vannak talajjal borított, ill. talajukat éppen elvesztő kőzetfelszínek. E térszíneken nem fordulnak elő tsingys formaegyüttesek, vagy ha igen, akkor a hasadékok még igen kisméretűek.

Véleményünk szerint a tsingy ott alakul ki (vagy fejlődik tovább talaj alatt kialakult karrokból), ahol a talaj lepusztul. Ehhez kedvező körülményt teremt, pl. a szakadéktöbrök kialakulása. A talaját vesztett felszínen, a karrosodás főbb mozzanatai az alábbiak lesznek (*15. ábra*).

- A bőséges csapadékvíz a törések mentén elszivárogva hasadékokat alakít ki. Már ekkor elkezdődhet a hasadékok közti térszíneken is a karrosodás.
- Kialakul a fiatal tsingy, amely kétféle lehet. Akkor, ha a törések távolabb esnek egymástól és kétirányúak, tömbös tsingy alakul ki. Ha a kőzetben egy törésirány a jellemzőbb és a töréssűrűség nagy, penge tsingy is kialakulhat.
- Ha a térszín lejtése kicsi, a tömbökre hulló csapadékvíz már ott telítődik. 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 feldarabolódásával kialakul a tornyos tsingy (öreg tsingy). Megjegyezzük, hogy *ROSSI* (1974) elkülönít elsődleges és másodlagos töréseket. Az elsődleges törések által közrefogott egyet-

len tömbön belül a másodlagos törések mentén akár több torony is kialakulhat.



15. ábra: Az Ankaranai-tsingy kialakulása és fejlődése
Fig 15: Forming and development of the Ankaranai-tsingy

- A tömbös tsingy magaslatai elpusztulnak. *ROSSI* (1974) szerint a tornyok oldallejtőik pusztulásával egyre fogynak. Kellő elkeskenyedésüket követően eldőlnek (pusztuló tsingy). A keletkezett kőtömbök a hasadékokban halmozódnak fel.

5. A Bemarahai-tsingy

A Bemarahai-tsingy Morondava városától 150 km-re É-ra a Manambolófolyó mentén (attól főleg É-ra) mintegy 400 km^2 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.

3. kép: Hasadék rendszerek a Bemarahai-tsingyről
Picture 3: Grike systems from the Bemaraha tsingy

4. kép: Folyó által feltárt hasadékok a bemarahai Kis-tsingyn
Picture 4: Grikes which are opened by river from the Bemaraha Little tsingy

5. kép: Folyó által feltárt barlangok a bemarahai Kis-tsingyn
Picture 5: Caves which are opened by river from the Bemaraha Little tsingy

6. kép: A hasadékok legnagyobbika a bemarahai Nagy-tsingyn
Picture 6: The greatest grike of the Bemaraha Great tsingy

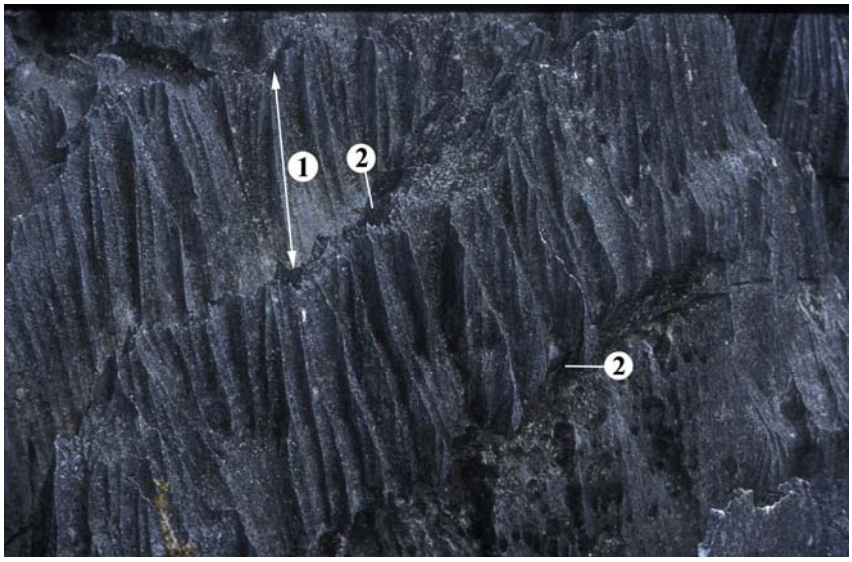
A Bemarahai-tsingy olyan karregyüttes, amelynek hasadékai nagyobbak, mint az Ankaranai-tsingy hasadékai, de a hasadékok ugyancsak többnyire két irányban fejlődtek ki és tömböket fognak közre (*3. kép*). A Kis-tsingy esetében a hasadékok mintegy 1-3 m szélesek (de előfordulnak 5 m, sőt 8 m-es hasadékszélességek is) és a mélységük 5-18 m. E formák, mint említettük két egymásra merőleges irány mentén (ÉÉK-DDNY, NYÉNY-KDK) mentén csoportosulnak (*5. ábra*). Külön szükséges szólni a Kis-tsingynek a folyó által elmetszett, feltárt hasadékairól (*4. kép*) és barlangjáratairól, folyosóiról (*5. kép*). Ezek a folyó medrének sziklás, meredek falán sorakoznak. Jellemzőik az alábbiak (*12. ábra, 5, 6. képek*):

- 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 előfordulnak. 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 különböző módon részben, vagy teljesen kitöltöttek. Így a folyosót, vagy hasadékot több szintre különíthetik a kiválásokból (és ezek által összecementált törmelékből, vagy mállástermékből álló) létrejött álmennyezetek. Ez utóbbiak a folyosók kitöltésmaradványai.

A Nagy-tsingy hasadékainak a mélysége a Kis-tsingy hasadékainál lényegesen nagyobb, többségük mélysége 80-120 m közötti (*6. kép*), szélességük néhány dm-től 3 m-ig terjedhet (*9. ábra*). A hasadék irányok eloszlása változatos. Főleg az ÉK-DNY-i, ill. az ÉÉK-i-DDNY-i irányok tűnnek meghatározónak (*5. b. ábra*).

6. A Bemarahai-tsingy morfológiája és annak kialakulása



7. kép: Egymás felett kifejlődött rillek sorozata a bemarahai Kis-tsingyn
Jelmagyarázat: 1. rill sorozat, 2. réteglap
Picture 7: Rillen series above each other on the Bemaraha Little tsingy
Legend: 1. rillen series, 2. bedding plane

A tömbök felszíne másodlagos karros formák által tagolt. A legjellemzőbb karrformák itt a rillsorok (*7. kép*), a különböző típusú rinnek (egyszerű vályú, túlfolyási vályú, lépcsős vályú), a madáritatók (egyszerű- és összetett madáritató, uvala madáritató, félmadáritató), a gyűszűkarrok, a meanderkarrok, s pengegerincek (rillekkel), fűzérkarrok (saroknyomok) (*8.*

kép), és a kürtők (*IV. táblázat*). A Bemarahai-tsingy fentebb felsorolt másodlagos karrformái lényegesen nagyobbak lehetnek az Ankaranai-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 (*9. kép*). Belsejét egyébként nemcsak lépcsők, hanem rillek, gyűszűkarrok és madáritatók is tagolják.

8. kép: Saroknyomok a bemarahai Nagy-tsingyről
Picture 8: Trittkarren on the Bemaraha Great tsingy

A hasadékok keresztmetszetüket tekintve egyszerűek és összetettek (*10, 12, 13. ábra*). Az egyszerűek között előfordulnak fentről lefelé elkeskenyedők, vagy kiszélesedők, ill. egyforma szélességűek. Az összetett hasadékok között a leggyakoribbak a felső részükön keskeny, alsó 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 áthalmozott finomszemcséjű anyag, ill. talaj fordul elő, ill. váltakozhat. A Kistsingyn néhány helyen homok (a folyóhoz közeli hasadéktalpakon) és kavics is előfordul. Különösen a Nagy-tsingy hasadékaiban, barlangjaiban számottevő gyakoriságban és mennyiségben fordul elő mészkiválás. Előfordul, hogy a hasadékoknak a kiválás kitöltéseiből álmennyezetek (a kiválásban járat jött létre), majd ezek részleges pusztulásával álmennyezetek maradványai képződnek. A hasadékok barlang folyosókba, ill. átjárókba mehetnek át (*10. ábra*). Utóbbi esetben a mennyezetek részleges lepusztulásával szikla-

hidak jönnek létre (*10. 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 Ankaranai-tsingyn (a Kis-tsingyn 10-15 m, a Nagy-tsingyn ennél is nagyobb lehet, 15-30 m közöttire becsülhető).

9. kép: Nagyméretű rinn a bemarahai Nagy-tsingyn
Jelmagyarázat: 1. színlők
Picture 9: Great rinn on the Bemaraha Great tsingy
Legend: 1. notches

A hasadékfalak kialakulásuk szerint többfélék (*IV. táblázat, 16. ábra*). Egyrészt előfordulnak közöttük olyanok, amelyek a tömbök felszínén is jellegzetesek, tehát másodlagos karrformák. Ilyenek, pl. a gyűszűkarrok, kúpkarrok, a rillek, a rinnek. Csak hasadékokra jellemző formák közt említhetők olyanok is, amelyek a lefolyó csapadékvíz által alakultak ki. Ilyenek a hasadékfalak felső részén előforduló falikarrok (kicsi scallopsokkal), valamint a lankásabb hasadékoldalakon a kehelyszerű madáritatók (*11. kép*), bár utóbbiak néha a tömbök felszínén is megtalálhatók. E formák egymás felett lépcsősen ismétlődhetnek. Az egymás feletti képződmények vagy egymástól függetlenek, vagy egymáshoz kapcsolódhatnak. Talpukon gyűszűkarr fordul elő.

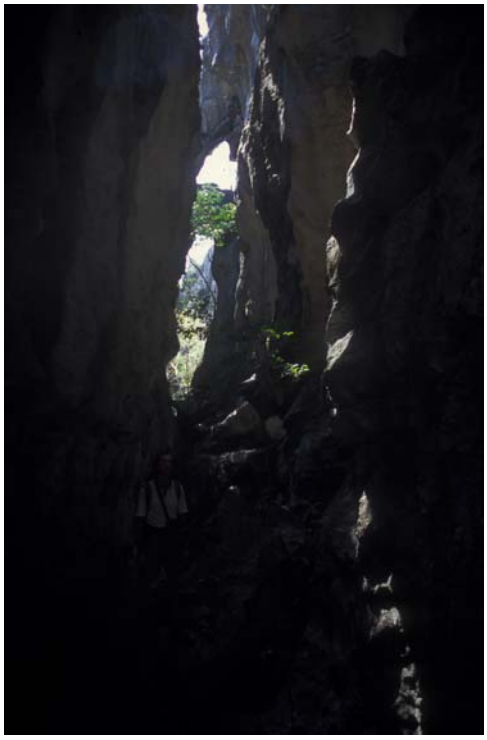
IV. táblázat
Table IV.

Karrformák és egyéb képződmények elterjedése a Bemarahai-tsingyn
Occurring of the karren forms and other karst forms on the Bemaraha tsingy

képződmény	előfordulása				meg-jegyzés
	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 (fűzérkarr)	+(2)			+(1)	
gyűszűkarr	+(1)+(2)			+(1)	
madáritató	+(1)+(2)				
kehelyszerű 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)		
cseppkőlefolyás			+(1)		
cseppkőbevonat			+(2)+(3)		
függő cseppkő			+(2)		(4)
mésztufa kitöltés			+(2)+(3)	+(2)+(3)	(4)
borsókő			+(2)	+(2)	(4)
álmennyezet kiválásból			+(2)	+(2)+(3)	(4)
Álmennyezet maradvány				+(2)	

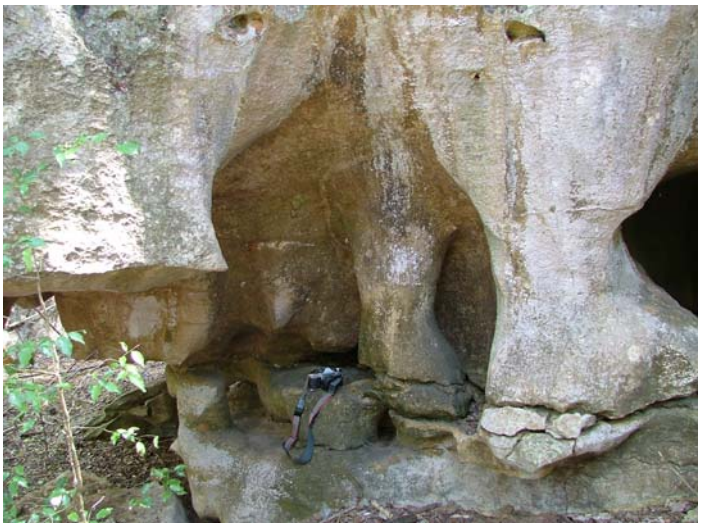
Megjegyzés:
1. Kis-tsingy
2. Nagy-tsingy
3. Kis-tsingy folyóparti része
4. mind folyosóban (vadózus zónában), mind hasadékban kialakulhat

Note
1. Little tsingy
2. Great tsingy
3. Part of Little tsingy which is on the river bank
4. the form can develop equally in corridor (in vadose zone) or in grike



10. kép: Sziklahíd a bemarahai Kis-tsingyn
Picture 10: Bridge from the Little tsingy

11. kép: Madáritatószerű formák a bemarahai Nagy-tsingyről
Picture 11: Kamenitza-like form from the Bemaraha Great tsingy



12. kép: Kerülőjárat
Picture 12: By-pass cave

13. kép: Réteglap menti hasadék a bemarahai Nagy-tsingyn
Picture 13: Bedding grike from the Bemaraha Great tsingy

14. kép: Hasadék falak színlői a bemarahai Kis-tsingyn
Picture 14: Notches of the grike walls from the Bemaraha tsingy

A tsingy hasadékfalain, ill. ezek környezetében előforduló formák az alábbiak. 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. Hosszabb-rövidebb barlangjáratok lehetnek egyes hasadéktalpak alatt is. Az oldalfalak kör, vagy kulcslyuk keresztmetszetű járatai (függő barlangok, *11. ábra*), a hasadékfalakon nyíló járatok (a padozat felett több m-es magasságban). Irányuk merőleges a hasadékok irányára. A kerülő járatoknak (*11, 12. képek*) a hasadékfalon két bejáratuk van, amelyek között a járat alaprajzban íves lefutású. A réteglapmenti hasadékok (*13. kép*), hasadékfalak, ill. barlangjáratok 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 kb. 1 m közötti átmérőjű átoldódások. Ott alakulnak ki, ahol a szomszédos, egymáshoz közeli hasadékok, esetleg hasadékok és barlangjáratok közötti válaszfal oldódással átlyukadt. A pendantok dm-es kiemelkedések a barlangjáratok, átjárók mennyezetén, valamint az aláhajló hasadékfal részeken. Nem túl gyakran fordulnak elő. A hasadékokban és barlangokban ugyancsak előfordulnak kiválások. Ezek lehetnek mésztufák, vagy cseppkövek. A mésztufák kitöltést, vagy álmennyezetet képeznek. A cseppkövek lehetnek bekérgeződések, cseppkőzuhatagok, függőcseppkövek és borsókövek.

A scallopsok több dm-es átmérőjűek is lehetnek. 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 (*14. kép*) igen változatos méretűek lehetnek (néhány dm-es magasságúak, míg mélységük néhány dm-től a több méterig terjedhet). Átmenetet képezhetnek a réteglap menténi hasadékok felé. Előfordulhatnak 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. Előfordulnak 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) hasonló lehet, ugyanaz a forma több zónában (környezetben) is létrejöhet. A fentebb bemutatott formákat az áramló vizek (ill. a kiválásokat szivárgó vizek is) hozzák létre. Egyes for-

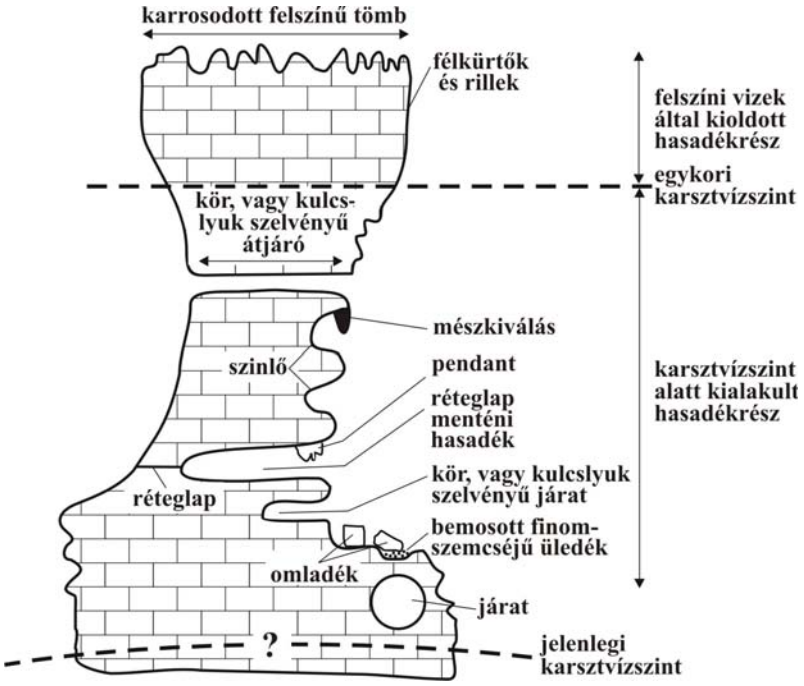
mák azonban nem csak a fenti zónákban (scallops) jöhetnek létre, hanem azokat felszíni vízfolyások is kialakíthatják.

Freatikus, ill. epifreatikus környezetben képződtek a lefelé szélesedő és az összetett hasadékok. Ezeknek a felső, keskenyebb részét törések mentén beszivárgó (befolyó) csapadékvíz alakította ki. Ezt bizonyítja, hogy e részek gyakran csak néhány dm-es szélességűek, továbbá az, hogy a falakon 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. az aláhajló falrészletek formáit). Falaikon uralkodnak az áramló víz által kialakított formák. 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 menténi oldódással alakulnak ki (*BÖGLI* 1956, *WHITE* 1988, *SWEETING* 1973). A tsingy függőbarlangjai (keresztmetszetük alapján) karsztvízszint alatti réteglap menténi oldódással képződtek.

A színlők és réteglap menténi hasadékok vízszintnél kialakult képződmények, miután kialakulásuk csak úgy lehetséges, ha a vízszint tartósan ugyanabban a magasságban húzódik. Ez e formáknak a karsztvízszintjében történő kialakulására utal.

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 (*SLABE* 1995). A Kistsingyn előfordulnak olyan hasadékok, amelyeknek alsó, aláhajló részén előforduló pendantok elterjedése jelzi a hasadéknak azt a részét, amely a karsztvízszint alatt alakult ki (*10, 16. ábrák*).



16. ábra: A Bemarahai-tsingy hasadékfalainak általánosított morfológiai szelvénye
Jelmagyarázat: 1. mészkő
Fig 16: Generalized morphological profile of grike walls of the Bemaraha tsingy
Legend: 1. limestone

A mészkiválások a vadózus övben alakultak ki. 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) kialakulhatnak. Számításaink szerint azonban a scallopsokat létrehozó víz áramlási sebessége igen eltérő volt (5,66 cm/s-159 cm/s között változhatott) a különböző helyeken (*III. 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 folyosórészeken az áramlás gyorsabb, a keskenyebb (fejlődésének kezdetén álló), az irányt változtató folyosókban, folyosó kereszteződési helyeken az áramlás lassúbb. Ezért

valószínű, hogy a hasadékok scallopsai is a vadózus zónában, vagy a karsztvízszint alatt alakultak ki.

Megemlítjük azonban, hogy színlők és scallopsok előfordulnak a Manamboló-folyó mentén is. Ez jelentheti, hogy e formák felszíni vízáramlás során is kialakulhatnak, de jelentheti azt is, hogy a folyómeder (völgy) egyes részei barlangjáratok mentén alakultak ki.

7. A Bemarahai-tsingy kialakulása

A Bemarahai-tsingy egyes részei (így azok a hasadékok, hasadékrészek, amelyek kettős szelvényűek, vagy lefelé kiszélesednek, ill. az üregesedést bizonyító formakinccsel 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 üregállapotát jelzik (sziklahidak, a sziklahidakból vagy mennyezetekből keletkezett kőtömbök).
- A karsztvízszint alatt, ill. a vadózus zónában keletkezett képződmények, formák.
- Gyakori, hogy egy szintben egymás folytatásában barlangfolyosó és hasadék fordul elő. Ekkor a hasadék azon formái (pl. scallops) is ugyanazon környezetben alakultak ki, mint a barlangjáratok formái. Miután a barlangjáratok scallopsai karszvízszint 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 vize 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 mindenkori karsztvízszintet és annak magasságát a Manamboló-folyó jelöli ki, amely a tsingys területet D-ről szegélyezi, ill. völgye részben a tsingyn alakult ki. Ezért az egykori karsztvíz a felszínhez közeli helyzetben húzódott és a tsingy szintjében áramlott. Ez nem is lehetett másképpen,

mivel száraz évszakban a folyó jelenlegi vízszintje (50 m) és a tsingy felszín legmagasabb pontja (190 m) között a magasságkülönbség mindössze 140 m. A karsztvízszintnek a felszínhez közelségére utal az is, hogy a Kis-tsingy egyik teremszerűen kiszélesedő hasadékrészletén a mészkövön vizes medence található. A medence talpa a környező felszíntől mintegy 10 m-rel van alacsonyabban. Itt a karszvízszint magassága megegyezik a folyó kisvízhozamánál fennálló vízszint magassággal (ez mindkét helyen 50 m). A medence hasadékfalain felismerhetők a vízszint változás (elszíneződési szintek formájában) nyomai. Ez utóbbi jelentheti 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.

- A folyó törések mentén elszivárgó vize folyosókat fejleszthetett oldalirányban, vagy kapcsolhatott egybe.
- A folyó vize áradások idején a Kis-tsingy folyóhoz közeli részeinek hasadékaiba áramlik (a hasadéktalpakon mint említettük folyóvízi homok is előfordul).
- A folyó bemélyülése során a már meglévő barlangjáratokat 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 változása okozta. Miután az oldódás elsősorban a karsztvízszint közelében számottevő a karszt belsejében, a hasadéktalpakon végbemenő oldódást, tehát az egykori járatok mélyülését, a karsztvízszint süllyedése tette lehetővé. A karsztvízszint süllyedésének az okai az alábbiak lehetnek:

- A folyó bevágódása miatt 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. Az áttörési szakaszon sem nagyobb számottevően a folyó mentén a felszín magassága. A folyó bevágódása, ha nem is számottevő mértékben, de hozzájárulhatott a karsztvízszint süllyedéséhez és így az egykori járatok 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..
- A karsztvízszint ingadozását még növelheti a folyó vízhozam változása miatti vízszint ingadozás is.

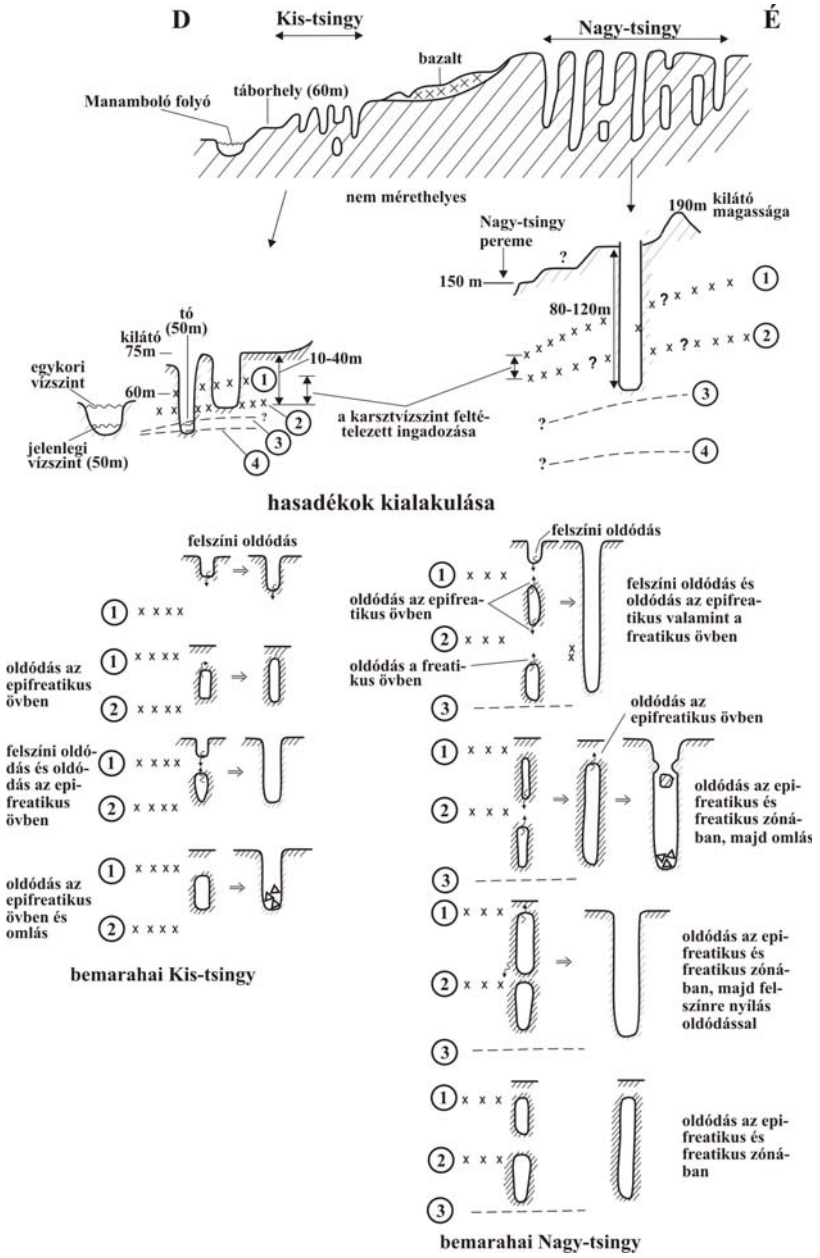
- Az üregesedés előrehaladtával a karsztvíz visszaduzzadásának a mértéke a gyorsabb áramlás miatt csökkent, ez a karsztvízszint süllyedését eredményezi.

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

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

A két zónás, vagy csak egy zónás 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 áramlási sebességek igen eltérőek lehetnek (*III. táblázat*), bár ennek oka lehet (mint azt már említettük a folyosó (járat) mintázat és morfológia is. 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 lett volna, 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 kialakulásának kezdetén. Ez esetben a járatok lefelé mélyülését – karsztvízszint közeli oldódással – az tette volna lehetővé, hogy az üregesedés előrehaladtával és az ezt kísérő egyre gyorsabb oldalirányú áramlás miatt, a karsztvíz visszaduzzadása (és így a vízszint „*feldomborodása*”) egyre kisebb mértékű lett volna. 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.



17. ábra: A Bemarahai-tsingy kialakulása és fejlődése
Jelmagyarázat: 1. egykori felső karsztvízszint, 2. egykori alsó karsztvízszint, 3. jelenlegi felső karsztvízszint, 4. jelenlegi alsó karsztvízszint
Fig 17: Forming and development of the Bemarahai-tsingy
Legend: 1. former upper karst water table, 2. former lower karst water table, 3. upper karst water table at present, 4. lower karst water table at present

- 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 karsztvíz szintje (a már említett medence vízszintje) között a magasságkülönbség mint említettük, 0 m.

A Nagy-tsingy hasadékainak (járatainak) nagy függőleges kiterjedése, három tényezővel is magyarázható. Ezek az alábbiak (*17. ábra*):

- A Nagy-tsingyn a karsztvízszint ingadozása, miután távolabb helyezkedik el az erózióbázistól nagyobb lesz, mint a Kis-tsingyn.
- A Nagy-tsingyn a karsztvízszint „*domborodása*”-nak megváltozása ugyancsak a folyótól való nagyobb távolság miatt az üregesedettség előrehaladtával további, a Kis-tsingyhez képest nagyobb mértékű karsztvízszint süllyedést eredményezett.
- A Nagy-tsingy területén a járatok kialakulása a freatikus övre is átterjedt.

A Kis-tsingyn a maximális hasadék magasságból (18 m) leszámítva a hasadékok felső, nem karsztvízszint alatt kialakult részét (amelyet a sziklahidak vastagságának, a hasadékok felső, keskenyebb részének függőleges irányú és a nem aláhajló falaknak ugyancsak a függőleges irányú kiterjedésének a figyelembevételével 1-2 m-re becsülünk) a karsztvízszint ingadozását 15-17 m-re tehetjük. Ilyen vízszintingadozást még a folyó áradása is előidézhet, hiszen a jelenlegi vízszint felett 10 m-rel magasabban is előfordulhat folyóvízi homok. Ugyanakkor az is megállapítható, hogy a Nagy-tsingyn potenciálisan függőlegesen kiterjedtebb üregek kialakulására volt lehetőség, mint a Kis-tsingyn. Amíg a Kis-tsingyn az erózióbázis feletti maximális kőzetvastagság 25 m, addig ez a Nagy-tsingyn 140 m.

A fentiek figyelembevételével az alábbi hasadék kialakulási módok lehetségesek a Kis-tsingy területén (*17. ábra*).

- A törések mentén beszivárgó víz hasadékokat alakít ki.
- Az epifreatikus zónában kialakult folyosó, oldódással felfelé, a felszíni hasadék lefelé fejlődve összeoldódik (folyosó felnyílás oldódással).
- Az epifreatikus zónában kialakult folyosó miután mennyezete kivékonyodik, beomlik.
- Az epifreatikus zónában kialakult folyosó oldódással a felszín irányába magasodik, de mivel a magas karsztvízszint a felszínhez képest viszonylag mélyebben helyezkedik el, a folyosó nem nyílik fel.

A Nagy-tsingyn a hasadékok kialakulása a következő módokon történhetett (*17. ábra*).

- Kettő, vagy több folyosó alakul ki az epifreatikus zónában. Ezek összeoldódnak, majd ez utóbbi oldódással felfelé fejlődve összenő a lefelé mélyülő felszíni hasadékkal és felnyílik.

- Folyosók alakulnak ki az epifreatikus ill. a freatikus zónában. Ezek összenőnek, majd az így kialakult folyosók mennyezetük beomlásával a felszínre nyílnak.
- Folyosók képződnek az epifreatikus és a freatikus zónában. Összeoldódnak, majd az összenőtt folyosók oldódással felfelé fejlődve felszínre nyílnak.
- Folyosók képződnek az epifreatikus és a freatikus zónában. Összeoldódnak, de az így kialakult folyosók miután még a magas karsztvízszint is viszonylag mélyebben helyezkedik el a felszín alatt, nem nyílnak a felszínre.

8. Következtetések

- Mind az Ankaranai-, mind a Bemarahai-tsingy olyan karregyüttesek, ahol a hasadékkarrok a meghatározók („*corridor karst*", „*labyrint karst*"), de a hasadékok közti felszíneken szinte az összes 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 intenzitását eléri, sőt meg is haladhatja.
- Az Ankaranai-tsingy hasadékait a beszivárgó csapadékvíz alakítja ki a talajukat vesztett felszíneken. Különböző karregyüttes változatainak a kialakulása a töréssűrűségtől, továbbá attól függ, hogy a karrosodás mennyire intenzív (pl. mennyi csapadékot kap a környezetétől), vagy a folyamat mióta megy végbe. A hasadékfalak felületileg oldódnak le. 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 jelenlegi barlangjai az egykori barlanghálózat maradványai.

IRODALOM

BALÁZS D. (1980): Madagaszkár karsztvidékei – Karszt és Barlang I. p. 25-32.
BÖGLI, A. (1956): Grundformen von Karsthohlenquerschnitten – Z. Schweiz. Ges. Hohlenforsch., p. 56-62.

CHEVALIER, P. (1944): Distinction morphologique entre deux types d'érosion souterrainé – Rev. Geogr. Alpine, 32. p. 475.
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 scous les Tsingy de Bemaraha, Madagascar 1993 – Etudes et Documents de I'ADEKS, 4. p. 1-62.
DUFLOS, J. (1966): Bilan des explorations biospéléologiques 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 scalpturing (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-Ornicho-Malacological Expedition: Tsingy de Bemaraha, Western Madagascar-Journal of the Sydney Speleological Society, 40. p. 141-158.
MIDDLETON, G. (1998): International Speleo-Ornitho-Geo-Malaco-logical Expedition: Northern Tsingy de Bemaraha, Western Madagascar-Journal of the Sydney-Speleological Society, 42. p. 231-243.
MIDDLETON, G. (2004): Madagascar – In: Gunn, J. (szek.): Encyclopedia of Caves and Karst Scienca p. 493-495, Taylor and Francis Books, New York
ROSSI, G. (1974): Morphologie et evolution d'un Karst en milieu tropical l'Ankarana – In: Phenomenes Karstiques II. Memorres 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, Proocedings of the Angla-French Karst Symposium – Geo Books, Norwich
SALOMON, J. N. (1987): Le sudouest de Madagascar – Université D'Aix – Marseille, Marseille
SLABE T. (1995): Cave Rocky Relief – Znanstvenaraziskovalni Center Sazu, Slubljana p. 128.
SWEETING, M. M. (1973): Karst Landforms – Columbia University Press, New York.
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 topography in Sarawak, The Journal of Tropical Geography 21. p. 44-70.