

A KÍNAI KARSZTVIDÉKEK KÜLÖNLEGES KARSZTOS MÉLYEDÉSEI, A TIANKENGEK 1. RÉSZ

MÓGA JÁNOS–HORVÁTH GERGELY

SPECIAL KARSTIC DEPRESSIONS OF THE CHINESE KARST REGIONS:
THE TIANKENGES

Abstract

In the last decades, expeditions by karst and cave researchers have explored several huge depressions in the vast karst regions of China, reminiscent of classic dolines. However, due to their extreme size they have been introduced as a new term in karst morphology under the name “tiankengs” (“heavenly pits” or “sky holes”). Tiankengs are giant dolines with steep walls and a depth of at least 100 m. Their area both at the top and the bottom varies between 10,000 and 350,000 m², and their volume exceeds 1,000,000 m³ (however, the biggest, Xiaozhai, has a volume of almost 120 million m³). Most of them were formed as a result of the collapse of a large underground cave, whose roof was increasingly eroded by underground rivers until it finally collapsed, forming a massive doline. A smaller part of the tiankengs has also been formed by erosion. Tiankengs exist also in other parts of the world, among others at the Mulu Karst in Borneo (Sulawesi) and in New Guinea, but most of them can be found in the South China Karst Region. This paper deals with some famous tiankengs in two different karst regions, Xingwen (Sichuan Province) and Wulong (Chongqing Municipality). The studied tiankengs were examined by Global Mapper 20 program using satellite images, digital elevation models and field observations. The accomplished morphometric analyses of the Xingwen Karst Region proved that their formation was the result of the disruption of former cave passages. The karst phenomena of another investigated area, the Three Natural Bridges region are good examples of the origin and development of erosional tiankengs.

Keywords: South China karst, cave chamber, collapsed doline, tiankeng, Xingwen Karst Region, Wulong Karst Region

Bevezetés

Kínát méltán tekintik a karsztok paradicsomának, hiszen az ország 9,6 millió km²-es területének több mint 1/3-a, 3,4 millió km² karsztvidék, ebből 0,9 millió km² nyílt, a többi fedett vagy eltemetett karszt (YUAN D. 1991; SWEETING, M. M. 1995; YUAN D. et al. 1995). Ezen belül a Földön legnagyobb, közel 0,6 millió km²-es, szinte teljesen összefüggő karsztvidék is Kínában, azon belül Dél-Kínában, Yunnan és Guizhou tartományokban, valamint Guangxi Zhuang Autonóm Területen található, de átnyúlik Sichuan tartományba, illetve Chongqing tartományi jogú város területére, sőt kis foltokban folytatódik Hubei és Hunan tartományokban is. Ezek a dél-kínai karsztok világhírűek, nemcsak a karsztkutatók körében, hanem az érdeklődő nagyközönség, különösen a turisták számára is, elsősorban változatos, látványos, sőt varázsos formakincsüknek köszönhetően (BALÁZS D. 1986, SWEETING, M. M. 1995, WALTHAM, T. 2009, WANG K. et al 2019).

A Dél-kínai-karsztvidéket hagyományosan három részre, az átlag 2000 m magas Yunnani- és a tőle egy lépcsővel elkülönülő, 1000 m átlagmagasságú Guizhoui-fennsíkra – ezt a két tájat összefoglalóan Yunnan–Guizhoui-, vagy rövidített kínai formában Yungui-fennsíkknak is nevezik –, valamint a tengerszint magasságához közeli Guangxi-karsztvidékre szokás tagolni (BALÁZS D. 1961a; HORVÁTH G. 1988, 2008); kiterjedésük

többé-kevésbé lefedi a hasonló nevű, fentebb említett közigazgatási egységek területét. A régióban a kambriumtól a triászig felhalmozódott karbonátos kőzetek vastagsága helyenként eléri a 10 000 m-t, és a nedves trópusi-szubtrópusi éghajlaton, ahol – a domborzathoz is kapcsolódó függőleges övezetességgel – az évi középhőmérséklet 15-19 °C, a karsztosodást erősen meghatározó csapadék pedig szinte mindenhol meghaladja az évi 1000 mm-t (de akár a több ezer mm is lehet), a karsztformák rendkívül fejlettek (BALÁZS D. 1961a, SWEETING, M. M. 1995; WALTHAM, T. 2009). Példaként a Wulong-karsztvidéken az évi középhőmérséklet 11,2 °C és 18,5 °C közötti, az évi csapadékmennyiség pedig 870 mm és 1215 mm között váltakozik, és az esős évszak májustól októberig tart (ekkor hullik a csapadék 70%-a).

A felszín fő meghatározói, a legismertebb karsztformák a sokszor laterittel, terra rossa-val, esetleg vékony folyóvízi üledékkel borított karsztos tönkfelületből magányosan vagy csoportosan meredeken kiemelkedő, 50-300 m magas, barlangokkal átszótt kúp vagy torony alakú hegyek, a fengcongok és fenglinek (YUAN D. 1985, BALÁZS D. 1990a, WALTHAM, T. 2008); előbbieik összterülete körülbelül 134 500 km², utóbbiaké pedig hozzávetőlegesen 101 000 km². Alakjuk alapján ezek a látványos formák régebben kúp- és toronykarsztok néven váltak ismertté, helyesebb azonban az ilyen típusú trópusi vagy szubtrópusi karsztvidékeket – követve BALÁZS D. először 1959-ben bevezetett szakkifejezését – szigethegyes karsztnak nevezni.

Az említett látványos kiemelkedő formák és a mélyben húzódó barlangjáratok mellett az utóbbi évtizedekben kerültek a karszt kutatás látókörébe a tiankengek, ezek az óriási méretű töbrök, amelyek legalább 100 méteres szélességgel, hosszúsággal, mélységgel, és függőleges, vagy legalábbis a függőlegeshez közelítő oldalfalakkal rendelkeznek. Tanulmányunk ezeknek a különleges karsztformáknak a megismertetésére irányul.

Kutatási előzmények

A trópusi karsztok kutatása mintegy száz évre tekint vissza. Elsősorban Indonézia, Malajzia, Kuba, Jamaica területén található karsztokról jelentek meg tanulmányok (DANEŠ, J. V. 1915; LEHMANN, H. 1954; JENNINGS, J. N. – BIK, M. J. 1962; CROWTHER, J. 1978; FORD, D. C. – WILLIAMS, P. 2007), ám az ötvenes évekig – szórványos híradások kivételével – Kína karsztjai alig voltak ismertek a geográfusok körében, annak ellenére, hogy már a régi kínai évkönyvekben említés történt a barlangok és karsztforrások hasznosításáról, a cseppkövek gyógyító hatásáról stb. Az első kínai barlangkutató, XU XIAKE, a „kínai barlangkutató atyja” már 1636–1641 között bejárta a Dél-kínai-karsztvidéket és részletes leírást adott formakincseről és barlangjairól (BALÁZS D. 1989, RAVBAR, N. 2003). Több mint 300 barlangot vizsgált meg, amelyekről részletes leírást adott. Ez volt a Föld első barlangkatasztere, amelyben minden barlang 11 fontos jellemzőjét – bejáratának tájolása, mérete, típusa, alakja, üledékei, klimatikus és hidrológiai viszonyai, biológiai jellemzői, akusztikája, cseppkőképződményei és régészeti leletei – megadta. Azonban Kína területének legnagyobb része, beleértve kiterjedt karsztvidékeit is, ismeretlen maradt, legalább is az európaiak előtt a 19. század végéig. Érdekességként megemlítendő, hogy a SZÉCHENYI BÉLA vezette magyar expedíció az európai utazók közül elsőként járt 1879-ben a karsztvidékekben gazdag Yunnan tartományban, Tibet határán, és LÓCZY LAJOS, az expedíció geológus és geográfus kutatója hatalmas összegző munkájában említést is tett a karsztjelenségekről: „*Csung-tien vidéke bővelkedik szikla-kútakban (dolina), barlangokban... csaknem egymás mellett találtam vízelnyelő, szívó lyukakra, melyek a tó vizét lecsapolták, és felbugyogó forrásokra, melyek vizét táplálták*” (LÓCZY L. 1886, p. 583); azonban, mint ez érzékelhető, ezek az említések sok konkrétumot nem tartalmaznak.

A 20. század első felében a polgárháborúk nehezítették Kína megismerését, az ötvenes években pedig a Kínai Kommunista Párt politikai irányítása alá került országban a fejlett nyugati világból senki sem kapott engedélyt a karsztok kutatására, és nem volt sokkal megengedőbb a kormányzat a baráti szocialista országok kutatóival sem. A Kínával kötött tudományos együttműködési egyezmények laza keretében szinte csodával határos módon egy kis rés nyílt ki rövid időre, amit BALÁZS DÉNES magyar karsztkutató zseniális helyzetfelismeréssel használt ki 1959-ben. Hónapokig tartó egyszemélyes expedíciója során vizsgálatokat végzett a Dél-kínai-karszt szigethegyes karsztvidékein, a helyi hatóságok szerény támogatásával, amelynek során feltérképezett föld alatti folyókat és hatalmas karsztos szakadékokat is. Ez úttörő vállalkozás volt, mivel akkoriban még a kínaiakban sem tudatosult, hogy milyen különleges természeti értékekkel rendelkeznek, és hogy náluk található a Föld legnagyobb és legérdekesebb karsztvidéke (amelynek több része együttesen az UNESCO világörökség része is lett 2007-ben, majd kibővítve 2014-ben). BALÁZS DÉNES – aki 30 évvel később újra bejárhatta a karsztvidéket – kétségtelenül elévülhetetlen érdemeket szerzett a külföldi kutatókat jóval megelőzően megjelentetett szakcikkeivel (l. pl. BALÁZS D. 1961b, 1971) és nemzetközi konferenciákon tartott előadásával a különleges kínai karsztjelenségek megismertetése terén.

A „nyitás és reform” politikájának a múlt század nyolcvanas éveiben kibontakozott meghirdetése olyan nagy gazdasági fellendülést indított el, ami a 21. század elejére Kínát a világ egyik vezető hatalmává tette. Hatalmas mértékben bontakoztak ki a tudományos kutatások, közte a karsztkutató is, amihez még egy jelentős tényező is hozzájárult: a népesség növekedése és a gazdaság fejlődése, továbbá az életszínvonal lassú, de fokozatos emelkedése a gazdaságban és a kommunális szolgáltatásokban egyaránt a jó minőségű víz iránti igény növekedését eredményezte. Ezért nagymértékben felértékelődött a felszín alatti vizekben rendkívül gazdag karsztvidékek szerepe. Tudományos feltárásukra hozták létre Dél-Kínában, Guangxi Zhuang Autonóm Terület látványos karsztformákban gazdag városában, a mára a turizmus egyik fellegvárává vált Guilinban a Karsztgeológiai Kutatóintézetet, amely napjainkra a világ egyik legrangosabb karsztkutató intézményévé vált. Természetesen az alapvető fontosságú karszthidrológiai vizsgálatok mellett a karsztok fejlődési folyamata és felszínalakítása is kiemelt szerepet kapott az intézet kutatómunkájában. A megváltozott körülmények között immár a nemzetközi karsztkutató legkiválóbb képviselőinek is alkalmuk nyílt a kínai karsztok helyszíni tanulmányozására és kutatási eredményeik megjelentetésére.

E kutatások részeként kezdődött meg az óriás beszakadásos dolinák, a tiankengek vizsgálata is, amelyeket először az 1980-as években kínai karsztokon ismertek fel és írtak le. Például az általunk is vizsgált Xingwen-karszton a Xiaoyanwan tiankenget 1992 szeptemberében egy brit barlangi expedíciós csapat fedezte fel, miközben vizsgálta a karszt hidrogeológiai jellemzőit, kutatott föld alatti folyó- és barlangrendszereket, és tárt fel 89 barlangban több mint 30 km-nyi barlangszakaszt, amelyek közül a két leg-hosszabb, a Tianquandong (8100 m) és Zhucaojing (8800 m) barlangrendszerek járatai közvetlenül a Xiaoyanwan tiankeng oldalába nyílnak (WALTHAM, T. [A. C.]–WILLIS, R. G. 1993; WALTHAM, T. et al. 1993; ZHU X. et al. 1995). A karsztvidék feltárásába nemzetközi kutatócsoportok is bekapcsolódtak; különösen kiemelendő a brit és kínai kutatók együttműködésével lebonyolított China Caves projekt, amelynek keretében 1994-ben felfedezték a legnagyobb kínai tiankenget, Xiaozhait. Szinte ugyanekkor fedezték fel a Wulong-karsztvidéken a Qingkou tiankenget is, amely az első ismert eróziós tiankengnek bizonyult (ZHU X. 2001; ZHU X.–CHEN W. 2005). E kutatásokkal párhuzamosan hasonló formákat világszerte találtak különféle karsztrégiókban (WALTHAM, T. 2005b; ZHU X.–WALTHAM, T. 2005).

A kínai karsztok feltárásában különösen kiemelendő a guilini Karsztgeológiai Kutatóintézet két vezető kutatója, ZHU XUEWEN és CHEN WEIHAI munkássága. Terepmunkájuk során kutatótársaikkal bejárták a legérdekesebb karsztvidékeket és számba vették a leglátványosabb karsztos jelenségeket, köztük az óriási méretű tiankengeket is. Ennek ellenére a tiankengek szakirodalma még az ezredfordulón is nagyon szegényes volt, hiányoztak a mértékadó tanulmányok és főleg az összehasonlító vizsgálatok a világ más tájain található formákkal. A hiányosságok pótlására ZHU XUEWEN elindított egy újabb, kimondottan a tiankengekre irányult, 2005-ben lezárult nagy kutatási projektet, amelyhez nemzetközi hírű karszt- és barlangkutatókat hívtak meg. A kínai és külföldi kutatók a projekt zárásaként Guilinban egy konferencia keretében összegezték a tiankengekről szóló ismereteket, meghatározták magát a fogalmat, megvitathatták morfogenetikájukat és összevetették a Föld egyéb tájain ismert hatalmas szakadéktöbrökkel. A projekt eredményeként Kínában 49 ilyen képződményt azonosítottak (ZHU X. – CHEN W. 2005), míg a Föld egyéb karsztvidékein további 33-at (WALTHAM, T. 2005b). Mindezeknek és további expedícióknak köszönhetően a tiankeng fogalom a karsztok nevezékánának része lett; ahogy a Cave and Karst Science folyóiratnak a tiankengekkel foglalkozó 2005. évi különszáma címodalán látható – a Huangjing tiankenget ábrázoló – fényképhez fűzött szöveg írja: „...ez ragyogó példája az óriás beomlásos dolináknak, amelyek leginkább tiankeng néven ismertek – egy új kifejezés, amely egyenesen a kínai eredetiből kerül be karsztos irodalomba”.

Érdekesség, hogy a tiankeng-konferenciával egy időben ülésezett a Dél-kínai-karsztvidéket világörökségre jelölő bizottság is; a konferencia határozatban javasolta, hogy a Dél-kínai-karszt (pontosabban annak három kiemelt része, a Shilin-, Libo- és Wulong-karsztvidék) elnyerje a világörökségi címet. A javasolt területekbe beletartoztak a legszebb tiankengek, így a Wulong-, a Fengjie- és a Leye-karsztvidékek tiankengjei is (WALTHAM, T. 2005a). Az UNESCO végül 2007-ben adta meg a természeti világörökség címet, majd 2014-ben egy újabb felterjesztés nyomán annak területét még meg is növelte, így jelenlegi kiterjedése 971 km². A világörökségi címre való nevezés szükségessé tette részletes pályázati anyag kidolgozását (South China Karst. World Natural Heritage Nomination – a továbbiakban: Nomination 2006), amely a területen fekvő tiankengek részletes földtani és felszínalaktani jellemzését is tartalmazta.

A tiankengek túlnyomó része a trópusi övezetben és a szubtrópusi öv szubtrópusi monszun és mediterrán területein található. Jellemző, hogy mindegyik érett karsztos területen, leggyakrabban jól fejlett szigethegyes karsztos térszínen fordul elő, bár nem szükségszerű a többnyire kúp alakú karsztos szigethegyek jelenléte. Az ismert tiankengek száma elvileg még változhat, és elképzelhető, hogy vannak még felfedezésre váró tiankengek egyes távoli, esőerdővel borított trópusi fennsíkokon, de a nagy felbontású műholdfelvételek korában kicsi a valószínűsége további jelentős felfedezéseknek.

Kína gazdasági fejlődésével párhuzamosan a helyi hatóságok fokozatosan felismerték, hogy a karsztvidékek igen nagy turisztikai potenciált képviselnek, a robbanásszerű fejlődés pedig olyan úthálózatot teremtett, amelyek révén megközelíthetők is lettek a különleges karsztvidékek, és ezáltal egyes tiankengek is. Hatalmas lelkesedéssel és külföldi szakértők bevonásával láttak neki a geoturisztikai idegenforgalmi fejlesztéseknek, amihez az ország egyedülálló természeti csodái és épített öröksége óriási vonzerőt szolgáltatott (YUAN D. 1991; WALTHAM, T. [A. C.]–WILLIS, R. G. 1993; WALTHAM, T. et al. 1993; SWEETING, M. M. 1995; SONG L. et al. 1997; HUANG B. et al. 2004; WALTHAM, T. 2005a; ZHU X. – CHEN W. 2005; BAI J. et al. 2010). A kínai karsztos területek hasznosíthatóságát korábbi munkáinkban magunk is vizsgáltuk (HORVÁTH G. et al. 2006a, 2006b). Napjainkban a látványos karsztos felszínformákat, barlangokat, föld alatti folyókat, karsztos szurdokvölgyeket és tiankengeket tucatnyi nemzeti, tartományi és helyi

parkban, valamint UNESCO globális geoparkban, illetve nemzeti geoparkban lehet felkeresni, amely bemutatóterületek évente sok millió látogatót vonzanak, egyre inkább ismertté téve a tiankeng nevet és fogalmat világszerte.

Célok és alkalmazott módszerek

Az elmúlt években önállóan szervezett, ill. ösztöndíjakkal támogatott tanulmányutakon, konferenciákhoz, kutatócserékhez kapcsolódó terepbejárások során, esetenként egyetemi és kutatóintézeti kollégák vezetésével több olyan kínai karsztvidéket kerestünk fel és tanulmányoztunk, ahol a szubtrópusi karsztok jellegzetes formakincsével ismerkedhettünk, közöttük a Xingwen-, Wulong-, Dashiwei-, Leye- és Sanmenhai-karsztvidékekkel, ahol a legnagyobb és legismertebb tiankengek típusai is előfordulnak. Sok adatot kaptunk munkánkhoz a Guilini Karsztkutató Intézetben, a Leye-Fengshan Geopark Központjában és Múzeumában (Fengshan városban), ill. a geoparkok látogatóközpontjaiban. Mivel e témakörnek lényegében nincs magyar nyelvű szakirodalma, idegen nyelvű, főleg angol nyelvű szakirodalmi háttérre támaszkodtunk.

Mindezekre alapozva célunk ezt a különleges formakincset magyar nyelven is bemutatni, ismertetni. Tanulmányunkban természetesen csak egyes kínai tiankengek bemutatására nyílik lehetőség. Terepbejárások, műholdfelvételeken alapuló morfológiai elemzések és digitális terepmodellek segítségével áttekintjük az UNESCO globális geoparkja címet elnyert Xingwen Geopark karsztvidékének három tiankengjét, amelyek a forma fejlődésének három jellegzetes állomását reprezentálják a kialakulási folyamatoktól indulva az érett, jól fejlett stádiumon át a degradált tiankengig vezető ív mentén, a formaképződést meghatározó folyamatok bemutatásával, a Wulong-karsztvidék két mintaterületén pedig a ritkán előforduló eróziós tiankengek morfogenetikájába nyerünk bepillantást.

Munkánk során a vizsgált helyszínek topográfiai, hidrológiai és morfológiai adatainak vizsgálatához Global Mapper 20 program segítségével letölthető műholdfelvételeket és digitális terepmodelleket használtunk fel. A morfológiai és morfológiai mérések végzésére és az elemzésekhez a Global Mapper 20 programból surfer ascii srf formátumban kiexportált digitális domborzatmodellt használtunk, ami a domborzatot 30 m-es felbontással ábrázolja. A Surfer 1.3. Golden Software program segítségével a DDM-ből szintvonalas térképet és 3D-modellt generáltunk, ami az elérhető legnagyobb felbontás volt elemzéseink során. Ennél kisebb méretű felszínformák vizsgálatára csak a terepen volt lehetőségünk. A tiankengek és szurdokvölgyek méretét, megnyúltságát (hossztengelyét) és irányát műholdfelvételen mértük és rózsadiagramokat készítettünk GeoRose 0.3 szoftverrel. A karsztos tájakról készített térképvázlatokat, domborzati és földtani szelvényeket Global Mapper 20 és Map Viewer 8 programmal szerkesztettük.

A tiankeng fogalma és a tiankengek típusai

A kínaiak tiankengnek nevezik azokat az óriási méretű – a magyar karsztos nomenklatúrában szakadéktöbörnek nevezett formára emlékeztető – negatív felszínformákat, amelyek csak a Föld bizonyos karsztos területein alakultak ki, felszíni nyílásuk kerülete általában közelít a kerek vagy ovális alakhoz, nagyon meredek, többnyire függőleges vagy aláhajló falak határolják, átmérőjük 100 m és 1000 m között változik, mélységük többnyire meghaladja a 100 métert (a legmélyebbek elérhetik a 700 métert is). A legtöbb tiankeng lényegében egy hatalmas beszakadásos, beomlásos dolina.

ZHU X. – WALTHAM T. (2005), ZHU X. – CHEN W. (2005), valamint ZHU X. et al. (2019) szerint minden tiankengnek meg kell felelni az alábbi kritériumoknak.

- a) Nagyméretű, meredek falú, negatív karsztforma, jóval nagyobb, mint egy átlagos szakadéktöbör. ZHU X. – CHEN W. (2005) 49 tiankeng adatait közlik; térfogatuk 0,6 millió és 119,3 millió m³, területük mind a felszínen, mind a mélyedés talpán 8000 m² és 352 000 m² között váltakozik, mélységük pedig többnyire meghaladja a 100 métert, de néhány tiankengé az 500 m-t is.
- b) Kialakulási folyamatai különböznek a hagyományos szakadéktöbrökétől. A legtöbb dolina a csapadékból származó esővíz által végzett oldással a sekély telítetlen zónában (epikarszt) fejlődik ki, és nincs közvetlen kapcsolata barlangi folyókkal. A tiankengek ezzel szemben a telítetlen zóna alján (a vadózus zóna alján, ill. az epifreatikus zónában) keletkeznek. Közvetlenül kapcsolódnak a karsztrendszer nagy felszín alatti vízfolyásaihoz, amelyek részt vesznek a kialakításukban.
- c) A beomlásos tiankengek a felszín alatti járatok főtéjének eróziós és oldási folyamatok hatására bekövetkező felszakadása, beomlása révén alakulnak ki. Bármilyen karsztos területen létrejöhetnek. Természetesen a beomlás mindig eltünteti az egykori főte feletti felszínen található karszt felszínformáit, legyen az akár karsztos szigetegy, akár karsztos mélyedés.
- d) Minden tiankengnek sajátos geomorfológiai környezete van (ami magában foglal bizonyos geológiai és hidrogeológiai körülményeket is), ezek miatt is különbözik a nagyméretű szakadéktöbröktől. A felszíni nyílásuk nincs szerves kapcsolatban a környező karsztos felszínformákkal.

ZHU X. – CHEN W. (2005) a tiankengeket nagyságuk alapján három osztályba sorolták: hatalmas, nagy és közepes méretűek. A hatalmas tiankengek közé azok tartoznak, amelyek átmérője eléri vagy meghaladja az 500–600 m-t és mélységük is hasonló méretű. Ebből nagyon kevés van, eddig Kínában csak hármat találtak (Xiaozhai, Dashiwei és Haolong). A nagy tiankengek 300–500 m közötti átmérővel és mélységgel rendelkeznek, ezekből is keveset ismerünk világszerte. Az ismert tiankengek nagy része közepes méretű, 100–300 m átmérővel és mélységgel (tulajdonképpen ez tekinthető „normál” méretnek).

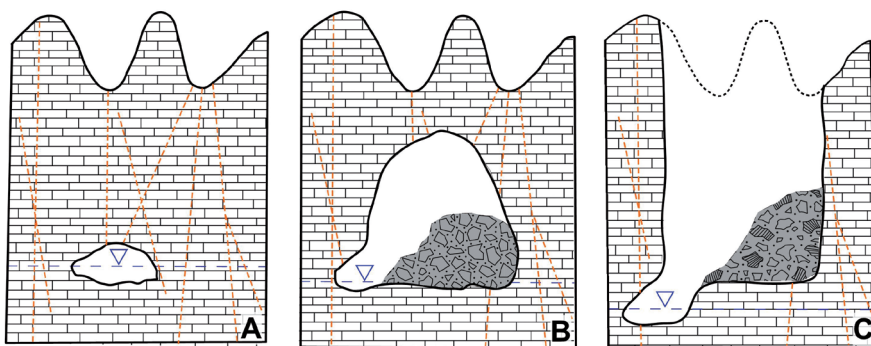
Ami a tiankengek genetikai típusait illeti, a kutatások szerint két fő csoportra oszthatók: beomlásos és eróziós tiankengekre. Az első csoportba tartozó tiankengek sokkal elterjedtebbek és nagyobb számban képviselik magukat, mint a másodikba sorolhatók (ZHU X. – CHEN W. 2005).

A *beomlásos tiankengek* (1., 2a. ábra) olyan jól oldódó kőzetben alakulnak ki, ahol jelentős mennyiségű kőzetanyag oldódik ki, és azt egy nagy barlangi folyó elszállítja. Először egy tágas barlangfolyosó alakul ki az epifreatikus szintben, amelynek mennyezete szakaszosan beomlik, a járat fokozatosan nagyméretű teremmé szélesedik. Az omlásból származó kőtörmelék a felszín alatti folyó apránként elszállítja, miközben a barlangterem teteje tovább harapódik felfelé, és végül a felszínre nyílik. A beszakadást meredek, függőleges vagy aláhajló sziklafalak veszik körbe, amelyek a beomlás után egy közel kúp alakú üreget vesznek körül. Az aljzatot az omlásokból visszamaradó kőtömbök beborítják, de ahol az aljzaton aktív barlangi vízfolyás van, ott a folyó a törmelékkel idővel elszállítja. Mindebből következően az aljzatot átszelő felszín alatti vízfolyás a beomlásos tiankengek kiemelkedően fontos alkotóeleme, hiszen nemcsak oldja és erodálja a kőzetet, hanem elszállítja a főtéről leomlott kőzetanyagot is. Megfigyelhető, hogy az idősebb tiankengek már többnyire elveszítették ezt a barlangi vízfolyást.

A tiankengek időbeli fejlődését illetően megfigyelhető, hogy a fiatalabb, kisebb tiankengek keresztmetszete általában egy harangra emlékeztet, aláhajló falakkal; az érettebbek, nagyobbak közel függőleges falaikkal egy kútra hasonlítanak, míg az idős, degra-

dált tiankengek már többnyire a típusos töbrökre (dolinákra) hasonlóan megközelítően tálszerű alakkal rendelkeznek.

A tiankengek egy fontos jellegzetessége, hogy nincs kapcsolat a felszíni nyílásuk helyzete és a környező felszín morfológiai képe között. Mint fentebb említettük, egy oldásos tiankeng a keletkezése során eltüntethet mélyedéseket, töbröket, vakvölgyeket és bármilyen pozitív felszínformát, ugyanis a felszín alól a felszín felé fejlődik.



1. ábra A beomlásos tiankengek kialakulásának három fázisa: A) kialakul egy föld alatti folyó; B) a föld alatti folyó tágas folyósója omlásokkal kiszélesedik; C) a barlangterem mennyezete beomlik (Szerk. MÓGA J. a Leye–Fengshan Geopark Központi Múzeumának poszttere alapján)

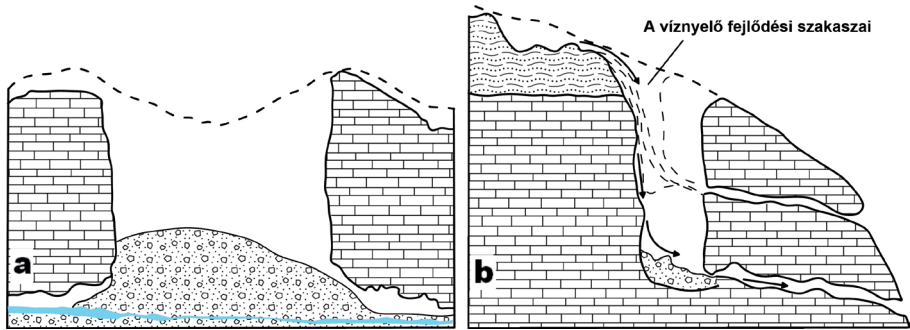
Figure 1 Three phases of the formation of collapse tiankengs: A) an underground river forms; B) the spacious passage of the underground river widens due to collapses; C) the roof of the cave chamber collapses (Ed. by MÓGA, J. based on a poster of the Central Museum of the Leye–Fengshan Geopark)

Mint az 1. ábrán látható, a beomlásos tiankengeknek három fejlődési állomása van: 1) kialakul egy barlang, tágas, vízfolyással rendelkező járattal; 2) a föld alatti folyó mentén részben oldási, részben omlási folyamatok során kialakul egy nagy barlangterem, 3) a mennyezet teljes beomlásával kialakul a felszín felé nyitott tiankeng. A fejlődés végső állapota a 2a. ábrán látható.

A típuson belül vizes vagy tavas tiankengről akkor beszélhetünk, ha a szakadék alját egy folyó vagy tó vize teljesen kitölti. Vannak olyan vizes tiankengek, amelyek egy föld alatti folyó felszínre nyíló ablakai. Utóbbira példaként említhető a Leye–Fengshan Geopark területén a *Sanmenhai-karszt* öt karsztablaka, amelyeken át betekintés nyerhető a felszín alatti bővízű folyóra. Más vizes tiankengek alján a freatikus zónában felhalmozódó víz képez tavat, ilyen pl. a *Crveno Jezero* (Vörös-tó) szakadéka Horvátországban az Imotskói-polje peremén. Utóbbi szakadéka 528 m mély, a tó mélysége 281 m, a legmélyebb pont pedig 6 méterrel van a tengerszint alatt (KRANJIC, A. 2005; WALTHAM, T. 2005b).

A másik fő – bár alárendeltebben előforduló – típust az *eróziós tiankeng*ek jelentik, amelyek az oldható kőzetek felső, telítetlen zónájában fejlődnek ki, nem karsztos (allogén) térszínekről érkező vízfolyások közreműködésével. Általában oldódó és nem oldódó kőzetek határán alakulnak ki (WALTHAM, T. et al. 1993; WALTHAM, T. 2005a; ZHU X. – CHEN W. 2005; ZHU X. et al. 2019), ritka előfordulásuk a kialakulásukhoz szükséges különleges feltételeknek tulajdonítható. A kialakulási folyamat során a felszínről érkező nagyeesű vízfolyások a kőzethatárnál függőlegesen alábukva oldják és erodálják a karsztosodó kőzeteket, szükséges tehát egy bővízű vízfolyás, amely a meredek, függőleges falról zuhatagként folyik le és a felszín alatt folyik tovább. Ugyanakkor nem szükségszerű a napjainkban is aktív mélybe bukó vízfolyás, de a kialakulásuk idején azoknak meghatározó szerepük volt. Egyes tiankengeknél az egykori vízfolyásra már csak eróziós nyomok és mésztufakiválások utalnak. Jellemző, hogy általában hiányoznak az

aljazaton az omlásból származó törmelékek. A beomlásos tiankengekkel szemben, ahol a felszíni nyílás alulról, hirtelen nyílik fel, az eróziós típusnál fokozatosan halad a fejlődés a felszíntől az aljzatig tartó erózió következtében. A felszíni vízfolyások lefelé törekvő, mélyítő, valamint a törmelékeket és az oldási maradékokat elszállító horizontális munkája kiegészítik egymást (2b. ábra). Az eróziós típus a felszín alatti vízfolyás völgyfőjénél fekszik, emiatt általában egy hatalmas barlangtorkolat alakul ki a befolyási oldalon.



2. ábra A beomlásos (a) és eróziós (b) tiankengek eltérő keletkezése és formakincse
(Szerk. MÓGA J., ZHU X. et al. [2019] nyomán)
Figure 2 Different genesis and morphology of the collapse (a) and erosional (b) tiankengs
(Ed. by MÓGA, J. based on ZHU, X. et al. [2019])

Fejlődési szakaszai is eltérnek a beomlásos tiankengétől. A víz általában a kőzetrepedések mentén alakítja ki a víznyelőket. Ahol a telítetlen zóna (vadózus zóna) vastag, ill. az erózióbázis mélyen van, a víz sokáig lefelé mozog. A nagy esés miatt a jelentős vízhozammal rendelkező vízfolyás nagy energiája a szállított hordalékkal fokozatosan bővíti, szélesíti és mélyíti az aknát, amit az aknában magában foglaló kőzet omlásai is erősítenek. Ha ez a folyamat tartósan fennmarad, a víznyelő tiankenggé alakulhat. Földtani szerkezetük alapján további két altípust is el lehet különíteni: az egyik esetében a fekvő vízszint – ilyen pl. a Qingkou tiankeng a Wulong-karsztvidéken –, a másik esetében a fekvő valamely irányban dőlt – ilyen az észak-borneói Édenkert (Garden of Eden) a Sarawakban található Mulu-karsztvidék területén (BALÁZS D. 1990b, HAZEBROEK, H. P. – MORSHIDI, A. K. 2002, HORVÁTH G. et al. 2011).

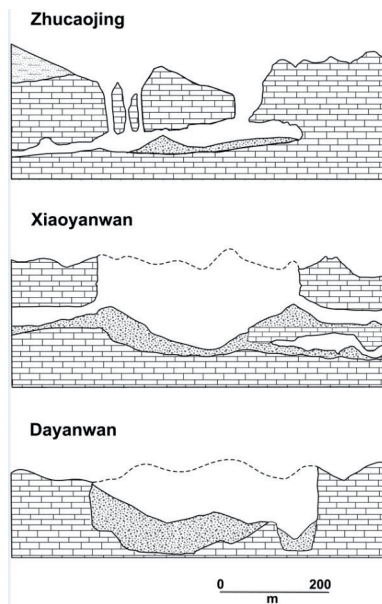
Vannak átmeneti jellegű tiankengek is. Ezeket lényegében beomlások alakítják ki, de az eróziós típusra hasonlító folyamatok is részt vesznek a formaképződésben. Esetükben az allogén vízfolyás hozzájárult a mai formakincs kialakulásához, de a magját az egykori barlangterem beomlása hozta létre.

Tanulmányunkban a továbbiakban alapvetően két karsztvidék tiankengjeit tekintjük át. A Xingwen-karsztvidék három tiankengje a tiankengek fejlődésének három jellegzetes állapotát reprezentálja, példájukon a kialakulási folyamatoktól indulva az érett, jól fejlett tiankeng állapoton át a degradált tiankeng vezető ívet kísérhetjük végig a formaképződést meghatározó folyamatok bemutatásával. A Wulong-karsztvidék két mintaterületén a ritkán előforduló eróziós tiankengek morfogenetikájába nyerünk bepillantást.

A Xingwen-karsztvidék tiankengjei

A mintegy 40 km² nagyságú Xingwen-karsztvidék Kína Sichuan tartományának déli részén található, a Yunnan és Guizhou tartományokkal határos területen, medenceperemi helyzetben. A felszínen jellegzetes szubtrópusi karsztformákat lehet megfigyelni, alacsony

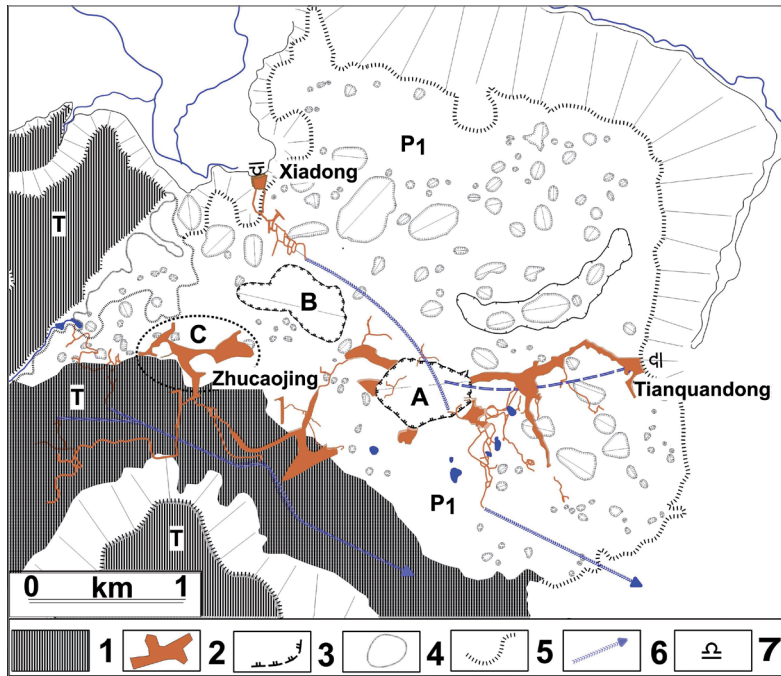
kúp alakú szigethegyeket, amelyek köerdőkkel és kisebb-nagyobb töbrökkel váltakoznak. A karsztos térszín alatt barlangi folyók és nagy, régi, elhagyott járatrendszerek húzódnak a 350 m-es vastagságú mészkő rétegsorban. Számos látványos karsztjelensége közül kiemelkedően érdekes az a három óriási beszakadás (a Xiaoyanwan, Dayanwan és Zhucaojing tiankengek), amelyek fejlődéstörténetileg kapcsolódnak egymáshoz (3. ábra), valamint egy kisebb köerdő, amelyek földtudományi jelentősége és értéke következtében a Xingwen-karsztvidék 2015-ben elnyerte az UNESCO globális geopark címet. A geoparkon belül a három tiankeng a Shunhe folyó víznyelője és a Donghe folyót tápláló karsztforrás között egy néhány km²-es területen fekszik (4., 5. ábra).



3. ábra A Xingwen-karszt három nagyméretű tiankengjének metszete. A Zhucaojing a fiatal (juvenilis), a Xiaoyanwan az érett (maturus), a Dayanwan az idős, degradált (senilis) tiankengtípust képviseli (Szerk. MÓGA, J., ZHU, X. et. al. [1995] és WALTHAM, T. [2005a] nyomán)

Figure 3 Cross-section of three large tiankengs of the Xingwen Karst. Zhucaojing represents the juvenile, Xiaoyanwan the mature, Dayanwan the senile tiankeng type (Ed. by MÓGA, J. based on ZHU, X. et. al. [1995] and WALTHAM, T. [2005a])

A karszt az alsó perm időszaki mészkő és dolomitos mészkő rétegsorában fejlődött ki. 1992 szeptemberében egy brit barlangi expedíciós csapat tárta fel a tiankengekhez kapcsolódó föld alatti folyó- és barlangrendszereket, és kutatta a karszt hidrogeológiai jellemzőit (WALTHAM, T. – WILLIS, R. G. 1993; WALTHAM, T. et al. 1993, ZHU, X. et al. 1995). Több mint 30 km hosszan tártak fel barlangi folyosókat 89 barlangban; a két leghosszabb barlang a Tianquandong (8100 m, 6. ábra) és a Zhucaojing (8800 m). A Shunhe–Donghe folyók vízgyűjtő területe jobbra alacsony, kúp alakú hegyekkel borított szigethegyes karszt, amelyet a karbonátos kőzetek felszíni előfordulása és a töréslépcsők menti kiemelkedések alakítottak ki. A telítetlen zóna (vadózus zóna) 150-300 m mély. A vízgyűjtő terület kb. felét triász homokkő és agyagpala fedi, így bőséges allogén víz áll rendelkezésre a tiankengek fejlődéséhez. Az két fő kapcsolódó barlangrendszer nagyméretű régi inaktív járatokkal rendelkezik, amelyek minden valószínűség szerint valaha egy rendszernek a részei voltak, és szoros kapcsolatban állnak a Xiaoyanwan tiankeng fejlődésével.

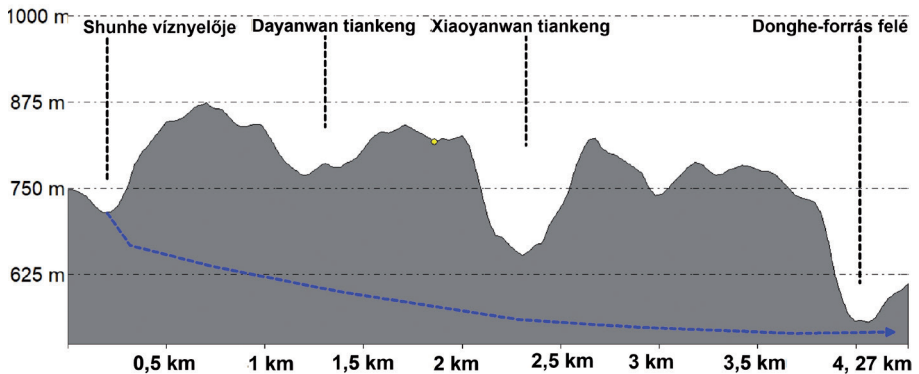


4. ábra A Xingwen-karszt alsó perm mészkőben és dolomitos mészkőben (P₁) kialakult három fő tiankengjének elhelyezkedése.

Jelmagyarázat: 1 – triász homokkő és agyagpala (T); 2 – feltárt barlangjáratok; 3 – tiankengek; 4 – töbrök a hossz tengely felültetésével; 5 – a karsztípus pereme; 6 – felszín alatti folyók, szaggatott vonallal korábbi feltételezhető felszín alatti folyásirány; 7 – barlangbejárat. Tiankengek: A – Xiaoyanwan; B – Dayanwan; C – Zhucaojing (Szerk. MÓGA J., ZHU X. – CHEN W. [2005] nyomán)

Figure 4 Location of the three main tiankengs of the Xingwen Karst formed in Lower Permian limestone and dolomitic limestone (P₁).

Legend: 1 – Triassic sandstone and shale (T); 2 – explored cave passages; 3 – tiankengs; 4 – dolines with their longitudinal axes; 5 – rim of the karst plateau; 6 – underground rivers, dashed line indicating presumed former flow direction; 7 – cave entrance. Tiankengs: A – Xiaoyanwan; B – Dayanwan; C – Zhucaojing (Ed. by MÓGA, J. based on ZHU, X. – CHEN, W. [2005])



5. ábra A Xingwen-karszt keresztmetszelvénye (Szerk. MÓGA J.)

Figure 5 Profile of the Xingwen Karst (Ed. by MÓGA, J.)



6. ábra A Tianquandong-barlang bejárata a Xiaoyanwan tiankeng függőleges sziklafalában
(Fotó: MÓGA J.)

Figure 6 Entrance of the Tianquandong Cave in the vertical rock wall of the Xiaoyanwan tiankeng
(Photo by MÓGA, J.)

Xiaoyanwan

A Xiaoyanwan tiankeng az érett tiankeng klasszikus példája, szinte teljesen körbe veszik a több mint 100 m magas függőleges mészkő sziklafalak. Az ovális alakú, 625 m hosszú és 475 m széles szakadék beomlásával 12 kúphegy és a köztük nyíló töbrök egy része elpusztult, megcsonkított maradványaik a tiankeng felszíni nyílása körül láthatók. A tiankeng legalacsonyabb pontjától (622 m) számítva 248 méterrel emelkedik ki a szakadék legmagasabb pereme, és még a legalacsonyabb peremi pontja is 178 méterrel

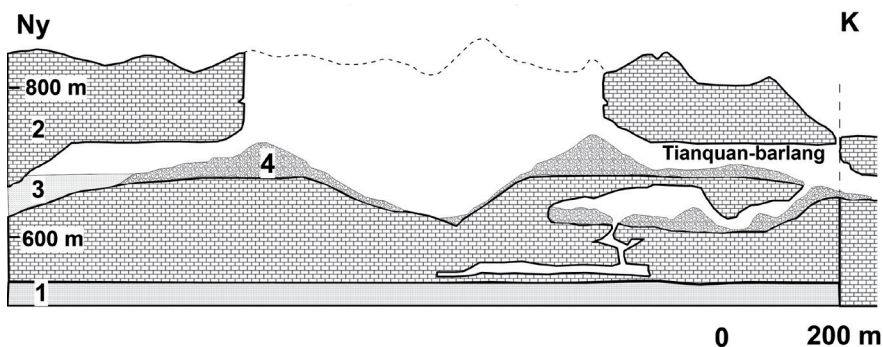
magasabbra emelkedik a katlan aljánál. A térfogata ebből adódóan körülbelül 36 millió m³. A tiankeng felső részét alkotják a függőleges sziklafalak, amelyekhez a tiankeng alján lankásabb lejtők kapcsolódnak. A lejtők többsége kavicsos, törmelékes, amelyeket vékony talaj és növényzet borít, bár megfigyelhetők csupasz kőfolyások és törmelékkúpok is.

A Xiaoyanwan peremét négy nagy barlang bejárata töri meg (7. ábra), a bejáratok a függőleges sziklák lábainál vannak. Minden barlangjárat körülbelül 60 m széles, és legalább 40 m magas, bár a bejáratokat módosítja a bejárati zóna kőzeteinek aprózódása. Mind a négy barlang nagyon öreg, száraz folyosókkal, amelyek falát és mennyezetét a freatikus zónában keletkezett oldási nyomok díszítik. A nyugati oldalon lévő három barlangjárat valószínűleg egyidőben (vagy egymást követő időszakokban) kapcsolódott a közel 9 km hosszú Zhucaojing-barlangrendszerhez. Közülük csak a Xiang Shui barlangjárat kapcsolódik a fő ághoz. A mintegy 8 km hosszú Tianquandong fő barlangjárata a Xiaoyanwan keleti oldalán nyílik (6. ábra). Van egy alacsonyabb szinten nyíló, alig észrevehető kisebb barlangbejárat is, ami az ún. Pók-barlangrendszer labirintusába vezet (szövevényes járatai alapján a brit felfedezők nevezték el így), de a tiankeng széle alatt omladék zárja el a folytatását (8. ábra). A három nyugati barlangág és a két keleti barlangfolyosó közötti kapcsolat a tiankeng kialakulásához vezető omlások következtében megszakadt, de az említett Pók-barlangrendszerben lehetnek még nem ismert barlangjáratok, amelyek összekapcsolják a barlangrendszer már ismert szakaszait (WALTHAM, T. – WILLIS, R. G. 1993; WALTHAM, T. et al. 1993; ZHU X. et al. 1995).

A Xiaoyanwan tiankeng felszíne ma száraz, elnyeli az összes csapadékból származó vizet, amely akadály nélkül beszivárog a szakadék alját borító törmelékeken keresztül. A Xingwen-karsztvidék vizeit összegyűjtő Donghe folyó jelenlegi barlangfolyosójának egy szakasza elérhető a Pók-barlangrendszer alatt lévő aknában. Ez a Xiaoyanwan tiankeng alatt 70 méterrel mélyebben található, de bizonytalan, hogy van-e hidrogeológiai kapcsolat a barlangban lévő folyó és a Xiaoyanwan vízgyűjtője között. Nem ismert, hogy



7. ábra A Xiaoyanwan tiankeng leszakadó falai barlangok bejárataival. (Fotó: MÓGA J.)
Figure 7 Vertical walls of the Xiaoyanwan tiankeng with cave entrances. (Photo by MÓGA, J.)



8. ábra A Xiaoyanwan tiankeng keresztmetsvénye a barlangjárattal
 Jelmagyarázat: 1 – szilur időszaki homokkő; 2 – perm időszaki mészkő; 3 – barlangi kitöltés;
 4 – omlásból származó törmelék

(Szerk. MÓGA J. ZHU X. – CHEN W. [2005] nyomán)

Figure 8 Cross-section of the Xiaoyanwan tiankeng with cave entrances

Legend: 1 – Silurian sandstone; 2 – Permian limestone; 3 – cave filling; 4 – debris originated from collapses
 (Ed. by MÓGA, J., based on ZHU, X. – CHEN, W. [2005])

volt-e bármilyen egykori jelentős allogén vízfolyás a Xiaoyanwan tiankengbe, illetve az alatta lévő barlangokba. A homokkő fedő a tiankeng szélétől már csak 500 m-re van, amely folyamatosan hátrál a sziklafal eróziója által, emiatt feltételezhető, hogy lennie kellett allogén hozzáfolyásnak a tiankenghez, amikor a homokkő felszíne még elérte a karsztfennsíknek azt a részét, ahol most a tiankengek nyílnak. Nincs azonban semmi bizonyíték arra, hogy ott valaha is egy nagyobb vízhozamú patak, vagy folyó lett volna, amely eróziós munkájával részt vett volna a tiankeng kialakításában (WALTHAM, T. 2005a).

Dayanwan

A Xiaoyanwan tiankengtől kb. egy kilométerre nyílik a Dayanwan tiankeng szakadéka, amelynek hossza 680 m, maximális szélessége 280 m. Független sziklák alkotják a peremét körös-körül, kivéve a nyugati végét, ahol a sziklafalat lejtőtörmelék takarja. Sok helyen a sziklafalak magassága eléri a 100 métert, és a szakadék pereme keresztülzeli a szomszédos alacsony karsztos hegyeket és a köztük fekvő töbröket egyaránt. A szakadék alját vastag málladék- és talajtakaró borítja, amelyen gyepek növényzet alakult ki, a meredek lejtők lábánál törmelékűpok formálódtak. A nem karsztos fekélyzet ismeretlen mélységben fekszik, csak a tiankeng keleti végében bukkan felszínre a szakadék alján nyíló három töbrő egyikének az alján, amely egyben a tiankeng legmélyebb pontja. A mészkő alsó határa kb. 100 méterrel a tiankeng jelenlegi felszíne alatt húzódik. A Dayanwan falában nincsenek barlangok, de néhány nagy, régi járat eltömődött maradványa látható a tiankeng körül, annak az egykori barlangrendszernek a maradványai, amelynek járatai egykor a tiankeng helyén húzódtak keresztül. A Xiadong-barlang mai föld alatti folyója, amely a Shunhe folyó víznyelője és a Donghe karsztforrása között elhalad a Dayanwan északi szélének közelében, nincs közvetlen kapcsolatban a tiankeng eddig megismert részeivel.

A Zhucaojing-barlang felszakadó kürtői

A Zhucaojing-barlangrendszer a legnagyobb a Xingwen-karsztvidéken feltárt barlangok közül, csaknem 9 km hosszú az ismert barlangjáratok hossza, amelyek feltérképezésére 1992-ben került sor. A legtöbb folyosó a triász homokkővel takart fedett karsztos térszín

alatt jött létre, az egyik fő alagút a Xiaoyanwan tiankeng keleti pereméhez kapcsolódik. A barlang bejárata alatt olyan termek sorakoznak, amelyek a homokkő és mészkő határán alakultak ki, és ahol napjainkban is megfigyelhetők aktív oldási, eróziós és omlási folyamatok, amelyek a járatok tágulását eredményezik (3. ábra). A főág, a Zhucaojing-barlang tágas bejárati csarnokai és az omlási folyamatok révén felszínre nyílt kürtői egy tiankeng kialakulásának kezdeti szakaszát képviselik. Nem lehet tudni, hogy mikor, de valamikor a barlangbejárat körüli meggyengült támasztékú mennyezet be fog omlani, ami egy új tiankeng kialakulását eredményezi majd.

A barlang 250 m hosszú, 120 m széles és körülbelül 30 m magas bejárati csarnokának teteje egy ferde réteglap mentén alakult ki, amelyet omlások módosították, egyik oldalán egy nagy ablak nyílik a felszínre. Ismeretlen mélységekig terjedően sár és törmelék fedi az aljzatot, amelyen egy hasadékból szivárgó kisebb patak folyik keresztül. A bejárati teremből két irányba vezetnek a viszonylag nagyméretű járatok. Egy tágas hasadék mentén alakult ki a nyugat felé megnyúlt terem, amely a felszínre nyílik. A „Gyöngysornak” nevezett keleti folyosó arról a három zsombolyról vagy kürtőről kapta a nevét, amelyek egy tágas hasadék vonalát követve sorjáznak a felszínen. A zsombolyok nyílása a barlang felett kb. 100 méterrel magasabban van egy nagy tagolt töbrő alján. Esőzések idején a homokkő fedőközeten kialakult kis vízgyűjtőkből lefolyó víz zuhanyként ömlik be a lenti járatokba.

A Xingwen-karsztvidék tiankengjeinek fejlődése

A karsztvidék kutatói szerint (WALTHAM, T. 2005a; ZHU X. – CHEN W. 2005) a Xingwen-karszton található három tiankeng három egymást követő fejlődési fázist képvisel a tiankengek növekedési folyamatában, ami nagyon tanulságos képet nyújt a kialakuló, az érett és a szenilis, pusztuló tiankengekben lejátszódó folyamatokról és formakincséről.

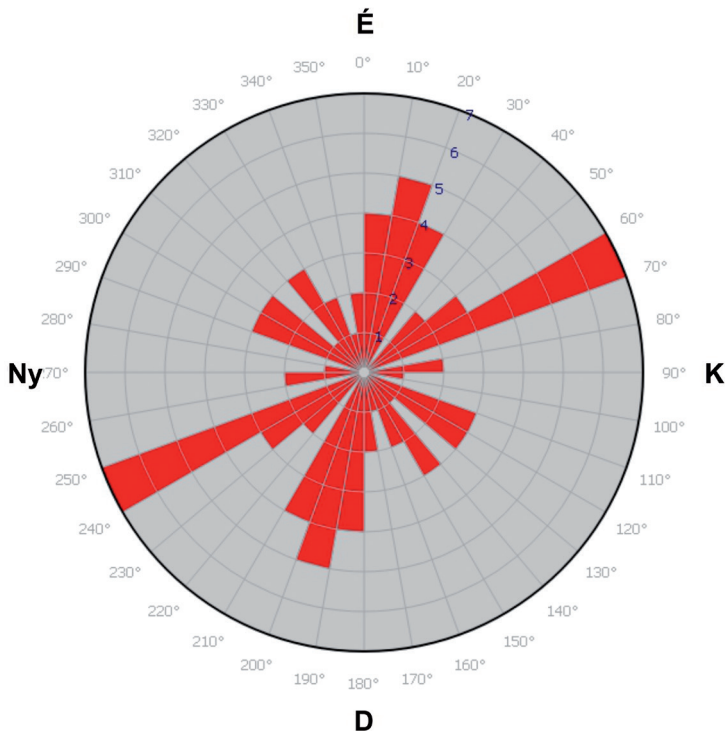
A *Zhucaojing-barlangrendszer* felszakadt kürtői (3. ábra) egy kialakuló tiankeng részei, a fiatal (juvenilis) fejlődési állapotot képviseli. A felszíni és felszín alatti formák és folyamatok jól szemléltetik, hogy egy nagy barlang mennyezetének a beomlása hogyan vezet el egy nyitott tiankeng kialakulásához. Az előrehaladó erózió a barlang falait oldja és erodálja, a központi pillérek egyre keskenyebbek lesznek, végül ezek a keskeny pillérek és a barlang teteje vagy egyszerre omlanak be, vagy külön-külön. Amikor majd a két nagy barlangterem és a barlangjáratok körül a kürtősoros keleti ág teteje beomlik, akkor egy 500 m hosszú és 200 m széles tiankeng fog képződni. Az új tiankeng beomlása valószínűleg 5 kúp-karsztos hegyet és 5 töbröt fog felemészteni, és várható mélysége elérheti a 140-200 métert (bár ezt a mélységet csökkentheti a leszakadó omladék, ameddig az erózió azt el nem tünteti). A feltételezések szerint a Zhucaojing tiankeng az erózió előrehaladtával elérheti a Dayanwan tiankeng méretét, ami később a sziklafalak hátrálásával még tovább növekedhet, ezáltal elérheti a Xiaoyanwan tiankeng méretét is.

A tiankengek érett szakaszát a *Xiaoyanwan tiankeng* (3. ábra) képviseli. Azonban előfordulhat, hogy a fejlődése már túljutott a tetőponton, mivel már megszűnt a szakadék aljáról a barlangi folyó általi anyagszállítás, a víznyelő ezért a hanyatlási időszak kezdetén lehet. Valószínű, hogy a Xiaoyanwan tiankeng kialakulása előtt a helyén legalább 5 nagy barlangjárat húzódott, amelyeknek szerepük volt a tiankeng kialakulásában. A Zhucaojing tiankeng a bizonyítéka annak, hogy a tiankengek fejlődésének oka egy fejlett törésrendszer, amely először a barlangok kialakulását segíti, később azonban a barlangfolyosók kiszélesedésével azok beomlását okozza. Ezt a folyamatot a folyosókból és termek mennyezetéből felszínre nyíló kürtőkön keresztül befolyó allogén vízfolyások eróziója gyorsítja. Valószínűleg a tiankengek felett kialakuló töbrök mélyülése is szerepet játszhat a beomlásban, de azoknak a szerepe egyelőre még ismeretlen.

A *Dayanwan* egy lepusztult tiankeng, amely az idős (szenilis) fázist képviseli a tiankengek fejlődésében. Nincsenek barlangbejáratok a szakadékban, vagy legalább is nem láthatók, de a járatok maradványai valószínűleg a leomlott törmelék alatt rejtőzködnek (3. ábra). A föld alatti folyót (amely elszállította a törmelék a tiankengből) lefejezte és magához kapcsolta egy fiatalabb, mélyebb szinten fejlődött barlangi folyó. A sziklaperem néhány szakasza még mindig magas és függőleges, de más szakaszokon már törmeléklettké alakult. A további degradálódás átalakítja a tiankeng egész formakincsét, olyanná, mint amilyen sok más nagy, öreg dolina, amelyeket az oldás és a berogyás együttesen formált. Ez az átalakulás a tiankeng nyugati végen kezdődött, ahol a törmeléklettké már eléri a szegély szintjét. Idővel a *Dayanwan* tiankeng alacsonyabb lesz és kissé szélesebb „mega-dolinává” fog fejlődni, amely nem hordozza többé a tiankengekre jellemző formákat (ZHU X.–WALTHAM, T. 2005).

Morfometriai vizsgálatok

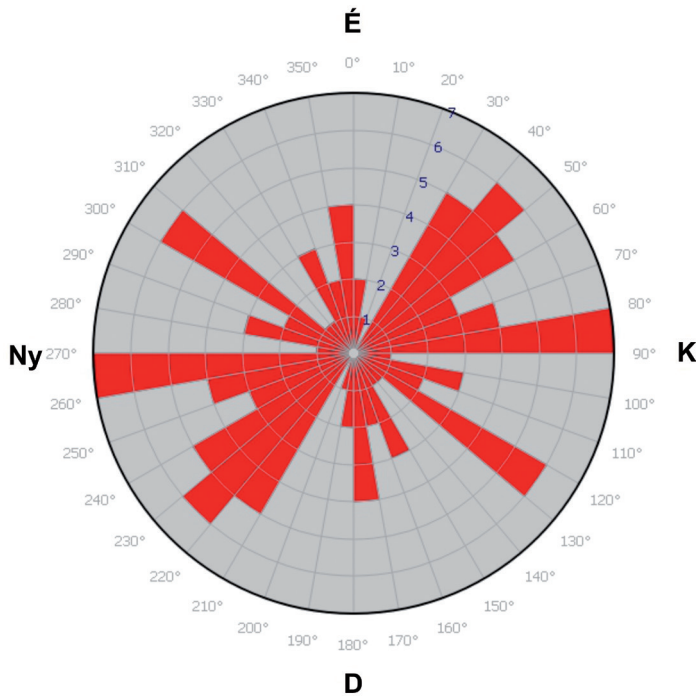
A Xingwen-karsztvidékről készített műholdfelvételek lehetőséget nyújtottak a nagyobb töbrök és a tiankengek lokalizálására és morfológiai mérések végzésére. Mértük a legnagyobb átmérő hosszát és irányát, utóbbit rózsadiagramon ábrázoltuk. Vizsgáltuk továbbá a területről rendelkezésre álló térképeken a barlangok (Tianquandong és Zhucuoqing) folyosóinak a tektonikai irányítottságát is, amit szintén rózsadiagramon ábrázoltunk (9. ábra).



9. ábra Az Xingwen-karsztvidéken ismert barlangi folyosók tektonikai irányítottságát ábrázoló rózsadiagram (Szerk. MÓGA, J.)

Figure 9 Rose diagram showing the tectonic preformation of the known cave passages of the Xingwen Karst (Ed. by MÓGA, J.)

A barlangfolyosók és a beomlásos tiankengék tektonikai irányítottsága közötti egyezés szembevetendő, ami egyértelműen bizonyítja, hogy az egykori barlangfolyosók felszakadása játszott fontos szerepet a kialakulásukban. A legtöbb folyosó a $60\text{--}70^\circ\text{--}240\text{--}250^\circ$ irányú törésvonalhoz igazodik, de van egy másodlagos, nagyobb szórású kitüntetett irány is, $0\text{--}30^\circ\text{--}180\text{--}210^\circ$ irányban. A töbrök hossz tengelyének megnyúlása azonban ettől eltér. Ez azt tanúsítja, hogy fejlődésüket más epikarsztos folyamatok irányítják, és jöllehet a törésvonalaknak itt is volt vagy lehetett szerepe a töbrök kialakításában, de a domborzati adottságok, a lejtőviszonyok, a kitértség és egyéb epikarsztos tényezők és folyamatok hatására más kitüntetett megnyúlási irányok jellemzik. A vizsgált 55 ovális töbrő nagytengelye két kitüntetett irányt követ, az egyik a K–Ny-i irány ($80\text{--}90^\circ\text{--}260\text{--}270^\circ$), ill. $120\text{--}130^\circ\text{--}300\text{--}310^\circ$), nagyobb szórással a $30\text{--}60^\circ\text{--}210\text{--}240^\circ$ tartományban (10. ábra).



10. ábra A Xingwen-karszt töbreinek hossz tengelye mentén mért irányok ábrázolása rózsadiagramon (Szerk. MÓGA J.)

Figure 10 Rose diagram showing the measured directions along the longitudinal axes of the dolines of the Xingwen Karst (Ed. by MÓGA, J.)

Folytatása következik

MÓGA JÁNOS
ELTE TTK FFI Természetföldrajzi Tanszék, Budapest
janosmoga12@gmail.com

HORVÁTH GERGELY
ELTE TTK FFI Környezet- és Tájföldrajzi Tanszék, Budapest
horvrger@gmail.com

- BAI J. – ZHOU Y. – WANG W. 2010: Eco-tourism image positioning for Dashiwei Tiankeng group on the basis of comprehensive fuzzy evaluation. – *Carsologica Sinica* 29. 1. pp. 93–97. (kinai nyelven, angol összefoglalóval)
- BALÁZS D. 1959: A trópusi karszt terminológiai problémái. – *Karszt- és Barlangkutató Tájékoztató* 4. 3. pp. 14–20.
- BALÁZS D. 1961a: A Dél-kínai karsztvidék természeti földrajza – *Földrajzi Közlemények* 85. 4. pp. 327–346.
- BALÁZS D. 1961b: Die Höhlen des südchinesischen Karstgebietes. – *Die Höhle* 12. 1. pp. 14–21.
- BALÁZS D. 1971: Relief types of the tropical karst areas. – *Proceedings of the Symposium on Karst-Morphogenesis*. Budapest. pp. 1–22.
- BALÁZS D. 1986: Kína karsztvidékei. – *Karszt és Barlang* 2. pp. 123–132.
- BALÁZS D. 1989: Xu Xiake, az első kínai barlangkutató. – *Karszt és Barlang* 1-2. pp. 48–49.
- BALÁZS D. 1990a: Új fogalmak a karsztalaktanban. – *Természet világa* 114. 7. pp. 305–310.
- BALÁZS D. 1990b: Mulu-barlangok '88 expedíció. – *Karszt és Barlang* 1. pp. 71–74.
- CROWTHER, J. 1978: Karst regions and caves of the Malay peninsula, west of the Main Range. – *Transactions of the British Cave Research Association* 5. 4. pp. 199–214.
- DANEŠ, J. V. 1915: Das Karstgebiet Goenoeng Sewoe in Jawa. – *Sitzungsberichte der Königlich Böhmisches Gesellschaft der Wissenschaften in Prag, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Classe*. Prag. 89 p.
- FORD, D. C. – WILLIAMS, P. 2007: Karst hydrogeology and geomorphology. – John Wiley et Sons, Chichester. 562 p. <https://doi.org/10.1002/9781118684986>
- HAZEBROEK, H. P. – MORSHIDI, A. K. 2002: A guide to Gunung Mulu National Park. – Kota Kinabalu, 91 p.
- HORVÁTH G. 1988: A Kínai Népköztársaság (Regionális természetföldrajzi vázlat). – *Földrajzi Közlemények* 112. 3–4. pp. 229–266.
- HORVÁTH G. 2008: Kelet-Ázsia természeti viszonyai. – In: HORVÁTH G. – PROBÁLD F. – SZABÓ P. (szerk.): *Ázsia regionális földrajza*. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. pp. 181–216.
- HORVÁTH G. – LEÉL-ÖSSY SZ. – MÓGA J. – ZÁMBÓ L. 2006a: Karsztos tájak Kínában. – III. Magyar Földrajzi Konferencia, Budapest, CD-ROM, 18 p
- HORVÁTH G. – LEÉL-ÖSSY SZ. – MÓGA J. – ZÁMBÓ L. 2006b: Karsztos tájak leromlása (degradációja) kínai karsztokon. – In: KISS A. – MEZŐSI G. – SÜMEGHY Z. (szerk.): *Táj, környezet és társadalom*. Szegedi Tudományegyetem, Szeged. pp. 281–291.
- HORVÁTH G. – KARANCSI Z. – LEÉL-ÖSSY S. 2011: A Mulu Nemzeti Park barlangjai. – In: TÓTH Á. – BÁRTH M. J. (szerk.): *Karszt, történelem, helynevek*. Magyar Természetbarátok Turista Egyesülete, Budapest. pp. 97–109.
- HUANG B. – CAI W. – XUE Y. – ZHU X. 2004: Research on tourism resource characteristics of Tiankeng group in Dashiwei, Guangxi. – *Geography and Geo-Information Science* 20. 1 pp. 109–112.
- JENNINGS, J. N. – BIK, M. J. 1962: Karst morphology in Australian New Guinea. – *Nature* 194. pp. 1036–1038. <https://doi.org/10.1038/1941036a0>
- KRANJC, A. 2005: An example of karst terminology evolution: from “dolina” to “tiankeng”. – *Carsologica Sinica* 28. 2. pp. 169–173. (kinai nyelven, angol összefoglalóval)
- LEHMANN, H. 1954: Der tropische Kegelkarst auf den Großen Antillen. – *Erdkunde* 8. 2. pp. 130–139.
- LÓCZY L. 1886: A Khinai Birodalom természeti viszonyainak és országainak leírása. – Királyi Magyar Természetudományi Társulat, Budapest. 882 p.
- RAVBAR, N. 2003: The earliest Chinese karstologist Xu Xiake. – *Acta Carsologica* 32. 1. pp. 243–254. <https://doi.org/10.3986/ac.v32i1.376>
- SONG L. et al. 1997: Stone Forest. A Treasure of Natural Heritage. – China Environmental Science Press. Beijing. 136 p.
- SWEETING, M. M. 1995: Karst in China. – Springer Verlag, Berlin, 265 p. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-79520-6>
- WALTHAM, T. 2005a: The 2005 Tiankeng Investigation Project in China. – *Cave and Karst Science* 32. 2-3. pp. 51–54.
- WALTHAM, T. 2005b: Tiankengs of the world, outside China. – *Cave and Karst Science* 32. 2-3. pp. 67–74.
- WALTHAM, T. 2008: Fengcong, fenglin, cone karst and tower karst. – *Cave and Karst Science* 35.3. pp. 77–88.
- WALTHAM, T. 2009: The karst lands of southern China. – *Geology Today* 25. 6. pp. 232–238. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2451.2009.00736.x>
- WALTHAM, T. (A. C.) – WILLIS, R. G. 1993: Xingwen. China Caves Project 1989–1992. – British Cave Research Association, Bridgwater. 48 p.
- WALTHAM, T. – BROOK, D. – BOTTRELL, S. 1993: The caves and karst of Xingwen, China. – *Cave Science* 20. 3. pp. 75–86.
- WANG K. – ZHANG C. – CHEN H. – YUE Y. – ZHANG W. – ZHANG M. – QI X. – FU Z. 2019: Karst landscapes of China: patterns, ecosystem processes and services. – *Landscape Ecology* 34. 12. pp. 2743–2763. <https://doi.org/10.1007/s10980-019-00912-w>

- YUAN D. 1985: New observations on tower karst. – Manchester, 14 p.
- YUAN D. (szerk.) 1991: Karst of China. – Geological Publishing House. Beijing. 224 p.
- YUAN D.–LI B.–LIU Z. 1995: Karst in China. – Episodes 18. 1-2. pp. 62–65.
<https://doi.org/10.18814/epiugs/1995/v18i1.2/013>
- ZHU X. 2001: China's karst tiankeng and its value for science and tourism. – Science & Technology Review 10. (160.) pp. 60–63. (kínai nyelven, angol összefoglalóval).
- ZHU X.–CHEN W 2005: Tiankengs in the karst of China. – Cave and Karst Science 32. 2-3. pp. 55–66.
- ZHU X.–CHEN W.–ZHANG Y. 2019: Tiankeng, Definition of. – In: WHITE, W. B.–CULVER, D. C.–PIPAN, T. (szerk.): Encyclopedia of caves. Elsevier. pp. 1071–1076.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814124-3.00124-2>
- ZHU X.–WALTHAM, T. 2005: Tiankeng: definition and description. – Cave and Karst Science 32. 2-3. pp. 75–79.
- ZHU X.–ZHANG R.–ZHANG Y.–HAN D. 1995: Karst and caves in Xingwen stone forest area, Sichuan. – Carologica Sinica 14 (suppl.) pp. 28–48. (kínai nyelven, angol összefoglalóval)
- South China Karst. World Natural Heritage Nomination 2006. – Ministry of Construction of People's Republic of China. Beijing. 231 p + Appendices 358 p.