

Gadányi Péter

FOLYÓVÍZI ERÓZIÓ HATÁSÁRA KIALAKULT BARLANGOK BAZALTLÁVÁBAN

ÖSSZEFOGLALÁS

Az izlandi Jökulsárgljúfur-kanyon tömör, de hülési repedésekkel tagolt bazaltlávából álló falai-ban Jökulsá á Fjöllum-gleccserfolyó hatalmas energiájú áradásai által kialakított barlangoknak több morfológiai típusát figyelhetjük meg. Adott eróziós tényezők mellett e barlangok a kanyonfalak jobb állékonyságú köztrészein belül települt – anyagi összetételtől és közetszerkezettől függően – gyengébb állékonyságúak kihordódásával képződnek. A kialakuló barlangok formáját meghatározza a folyóvíz által kihordott gyengébb állékonyságú részek korábbi – az ellenállóbb részekben belüli – térbeli elhelyezkedése. A befoglaló kőzet, valamint a belőle kihordott anyag közetszerkezeti és összetéti tulajdonságaitól függően a Jökulsárgljúfur-kanyonban a folyóvízi eróziós barlangok formálódása a következők szerint történik: 1.) Gyengébb állékonyságú breccsásodott bazaltláva-részek kimosódása következtében létrejött anyaghiány felett a függőleges repedésekkel elválasztott bazaltoszlopok (kolonnád) tagjainak kihullásával. Az oszlopok részben, illetve teljes egészükben kihullhatnak, illetve kidőlhetnek, de az ily módon zajló befelé, illetve felfelé történő kihordódás az oszlopsorok feletti szabálytalanul repedezett – ezáltal statikailag jobb megtartású – entablaturában – amennyiben az kellő vastagságú – megáll. 2.) Az áradások által kipreparált szubvulkáni kőzettestek kupolaszerűen felboltozódott és jobb állékonyságú részei alatt, a legyezőszerűen szétnyíló, sűrűn repedezett köztrészek kihordódásával. 3.) Tömör bazalt közé települt áthalmazott folyóvízi görgetegekből és kavicsokból álló rétegek, valamint lazább szerkezetű vulkáni agglomerátumok kihordódásával. 4.) A tömör bazaltlávában korábban kialakult, de a folyó által feltárt üregek (pl. gázhólyagüreg) feltárásával és eróziós továbbformálásával.

1. BEVEZETÉS

A bazaltláva-folyások tömör, hülési repedésekkel átjárt tömegeiben a folyóvízi erózió által kialakított barlangképződéshez több olyan hidrológiai, valamint geológiai feltétel együttes meglétére van szükség, amelyek elősegítik a sziklás folyómeder egyes részeinek a környezetükhöz képest hatékonyabb mértékű erózióját.

A folyóvizek eróziós munkájával közvetlen kapcsolatban álló sziklás kőzetek azon részei kedvezőek a barlangképződés szempontjából, amelyek a környezetükhöz képest jó állékonyságúak (lassan hátrálnak), viszont az erózióval szemben kevésbé ellenálló (gyorsabban hátráló) kőzetrészeket is tartalmaznak (MOORE, D. G. 1954, SUNAMURA, T. 1992, DAVIES, P.–WILLIAMS, A. T. 1985).

A sziklás meder kőzeteinek anyagát a turbulensen áramló folyóvíz fellazítja és magával ragadja. Ez a fluviorapció (fluvius: folyó, rapere: megfog, elragad) (MALOTT, C. A. 1928, THORNBURY, W. D. 1954) folyamata melynek következményeként a vízbe kerülő és a – folyó munkavégző képességétől függően különböző szemcsenagyságban – továbbszállított hordalék a meder oldalát csiszoló munkájával is pusztítja (PÉCSI M. 1971). A folyóvíz sodorvonala a folyómeanderek külső (homorú) oldalának út-

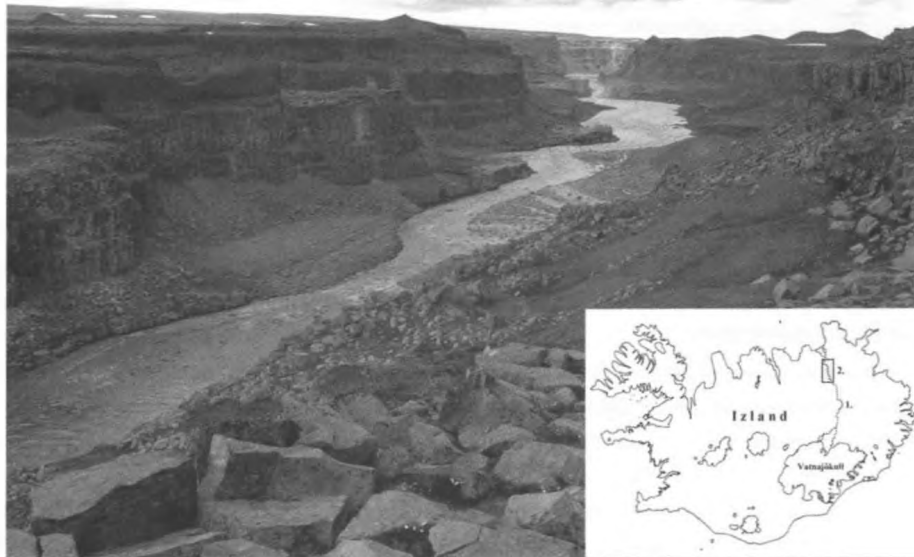
közik, aminek következtében ott a fluviorapció és a kőzetmaró hatására oldalazó erózió által kialakított meander-barlangok képződnek (JENNINGS, J. N. 1985). A folyóvízi erózió hatására hátráló völgyfalakban a már korábban meglévő üregek és barlangok is feltáruhatnak, illetve a folyó tovább is formálhatja azokat (VERESS M. 1981).

Az alábbiakban az izlandi Jökulsá á Fjöllum bazaltkanyonjában található barlangok kialakulásának hidrológiai, eróziós, közetszerkezeti feltételei, majd a közetszerkezettől függően folyóvízi eróziós hatásokra létrejött barlangok morfológiai sajátosságai kerülnek bemutatásra.

2. BAZALTÁVA-BARLANGOK KIALAKULÁSÁNAK HIDROLÓGIAI ÉS ERÓZIÓS FELTÉ-TELEI AZ IZLANDI JÖKULSÁRGLJÚFUR-KANYONBAN

Izland nagy tömegű jégtakaróiból és azok gleccsereiből táplálkozó jelentős vízhozamú, de kis hosszúságú folyói az átlagosan 600–800 m magas belső Felföldről rövid úton (20–240 km) jutnak el az Atlanti-óceánig, ezért nagy energiájúak (GUDMUNDSSON, A. T.–KJARTANSSON, H. 2007). A Vatnajökull jégtakaróból eredő Jökulsá á Fjöllum-gleccserfolyó 206 km hosszú utat tesz meg északi irányban haladva az Öxarfjörður öböl felé. Átlagos vízhozama 212 m³/sec (EINARSSON, Þ. 1994). A Felföld az utolsó glaciális jégtakarójának elolvadása következtében izosztatikusan kiemelkedett, amelynek következtében a Jökulsá á Fjöllum folyómedrének lejtőssége a Felföld és az óceán közötti peremterületeken megnövekszik és a Jökulsárgljúfur-kanyonban 25 km hosszúságban bevágódó szakaszjellegűvé válik, zúgókkal és nagyobb vízesésekkel (pl.: Dettifoss, Hafragilsfoss, Sellfoss). A Jökulsá á Fjöllum vízgyűjtő területe 7750 km² (EINARSSON, Þ. 1994) amelynek nagy része a Vatnajökull jégtakaró területén húzódik. Vízhozama ezért napi és évszakos ingadozást mutat.

Egy-egy folyó eróziós tevékenysége az árvizek idején annak tetőzéséig a legnagyobb, főként a szélsőséges vízjárású folyók esetében (PÉCSI M. 1971). A Vatnajökull több száz méter (helyenként 1 km) vastag jégtömege alatt epizodikus bekövetkező vulkánkitörések nagy jégmennyiséget megolvasztó hatására a Jökulsá á Fjöllum vízhozama hirtelen, akár néhány perc (!) alatt a 2–3 ezerszeresére is duzzadhat



1. kép. A Jökulsárgljúfur-kanyon (a térképen 2. szám jelöli) részlete, melyet egy gigantikus méretű jökulhlap során lökészerűen megáradt Jökulsá á Fjöllum-gleccserfolyó (a térképen 1. szám) alakított ki 2500 évvel ezelőtt. A kép bal felső sarkában a 2/b. képen szereplő barlang látható.

(JÓHANNIS-DÓTTIR, S. S.–HELGA DÓTTIR 2005). Körülbelül 2500 évvel ezelőtt a Vatnajökull alatt húzódo Bárðarbunga-vulkán kitörésekor a Jökulsárgljúfur-kanyont egy, a Vatnajökull nagy jégnyomása alól hirtelen előtörő 900 000 m³/sec (ALHO, P. et al 2005) vízhozamú gleccseráradás (jökulhlaup) alakította ki. Ekkor a Felföld platójának peremi zónájába mélyült korábbi sziklafalakkal határolt medrébe egyik pillanatról a másikra közel 10 km³ (THORDARSON, T.–HÖSKULDSSON, A. 2006) olvadékvíz zúdult, melynek mélysége és sebessége a beszűkülő mederben megnövekedett (SCHLICHTING, H. 1951, KÁDÁR L. 1960), és energiája elérte a 46 000 W/m²-t (ALHO et al 2005). A lökészerűen megemelkedett vízhozamú és munkavégző képességű Jökulsá á Fjöllum 6 nagyobb bazaltláva-folyáson és 2 üledékes rétegen keresztül vágódott be (THORDARSON, T.–HÖSKULDSSON, A. 2006), és helyenként (pl. a Dettifoss-vízesés alatt) 100 m mélységű, eróziós sziklateraszokkal tagolt kanyonra alakította medrét, miközben oldalaiba fülkéket és barlangokat vájt (1. kép). A IX. századtól, az emberi letelepedést követően több beszámoló szól a Jökulsá és Fjöllum kisebb áradásairól, amelyek összefüggésben lehetnek a Vatnajökull jégtömege alatt zajló vulkáni működéssel, mint például legutóbb 1996-ban a jégalatti Gjalp-vulkán kitörésekor is (KRISTMANNSDÓTTIR, H. et al. 1999).

3. BAZALTLÁVA-BARLANGOK KIALAKULÁSA FOLYÓVÍZI ERÓZIÓ HATÁSÁRA A JÖKULSÁRGLJÚFUR KANYONBAN

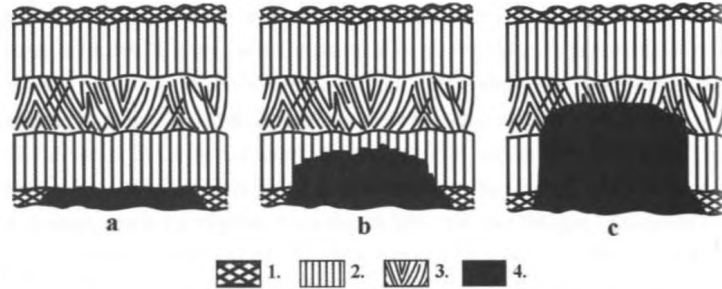
Az előbbieken részletezett, 2500 éve lezajlott jökulhlaup által hirtelen megnövekedett energiájú Jökulsá á Fjöllum áradatának fluviorapációs és kőzetcsiszoló tevékenysége a korábban hülési repedések mentén elvált bazalt-sziklatömbök méteres darabjait is könnyedén kiszakította az – ily módon igen gyorsan mélyülő – kanyon partfalaiból. A mederfalakból az egyes barlangok mélyítése során az alátámasztás hiányában a folyóba omlott sziklatömböket a hatalmas vízhozamú és energiájú áradás az om-lással csaknem egy-időben elhordta. A folyóba szakadt törmelékek egymáshoz és a mederhez csapódva – attrícióval – gyorsan tovább aprózódtak, helyet adva a növekvő barlangba nyomuló víz további eróziós munkájának. Így a kihordódott és vízbehullt bazalttörmelék nem halmozódott fel olyan mértékben a növekvő barlang aljzatán, hogy megakadályozta volna annak további mélyítését. Az alámélyítés-leomlás-elhordás-felaprózás eróziós szakaszok időtartamai e hatalmas áradás során tehát nagymértékben lerövidültek. Azonban így is számos kisebb-nagyobb bazalttömb maradt a mélyülő barlangok gleccser-hordalékban gazdag, víztől kavargó csapdájában, ahol nagymértékű pusztító, koptató, illetve csiszoló munkát végeztek a barlangfalakon.

A hirtelen megáradt folyó a Jökulsárgljúfur-kanyon kimélyítésekor a folyóvízi eróziós hatótényezőkre egymástól eltérő mértékben ellenálló bazaltláva kőzeteket tárt fel. A lökészerűen több ezerszeresére duzzadt Jökulsá á Fjöllum nagyobb területre kiterjedően, nagyobb energiával pusztított, így a barlangképződés szempontjából ideális kőzetrészeket is nagyobb eséllyel tárt fel. Az egységesen kevésbé ellenálló kőzetekből felépülő partfal-szakaszok gyorsan, a teljes felületükön egyenlő sebességgel hátráltak, így bennük barlangok nem jöttek létre. Az egységesen jó állékonyságú kőzetekből felépült partfal-szakaszok lassan, szintén a teljes felületükön egyenlő sebességgel hátráltak, ezért bennük a barlangképződés esélye ugyancsak kicsi volt. A Jökulsárgljúfur-kanyon partfalainak azon részein képződtek nagyobb eséllyel barlangok, ahol a lassabban hátráló, relatíve jó állékonyságú kőzetrészek között nagyobb sebességgel hátráló, kevésbé ellenálló kőzetrészek helyezkedtek el. Ezek az áradás során feltártult és a barlangképződés szempontjából ideális kőzetszerkezeti viszonyok többfélék lehetnek, melyekben – a kőzetszerkezettől függően – eltérő formakincsű barlangok képződnek, az alábbiak szerint.

3.1. Oszlopos elválású bazaltlávában

A bazaltláva-folyások hülés során kialakult elválási felületeinek (a hülési repedések) irányja általában merőleges a lávafolyásnak a fekével, illetve a levegővel érintkező alsó és felső hülési felszínére. A vastagabb,

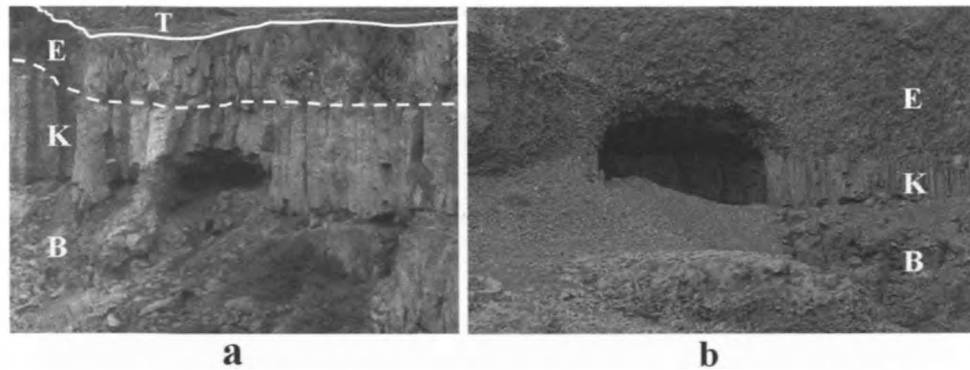
felduzzadással kialakuló (GADÁNYI P. 2008) lávafolyások oszlopos hülési repedésrendszere a hülési felületek irányának tekintetében gyakran 5 eltérő szerkezetű zónára (THORPE, R. S.–BROWN, G. C. 1985, LYLE, P. 2000) osztható (1. ábra). A bazaltláva-folyások felső és alsó zónáját alkotó szabálytalan repedezettsgű breccsás részek a folyóvízi erózióval szemben legtöbbször kevésbé ellenállóak a kőzetkörnyezetükhöz képest. Ennek következtében a Jökulsárgljúfur-kanyon falaiban a lávafolyások breccsásodott részeiben a folyó hatékonyabban mélyíti medrét, melynek hatására – amennyiben a felettük levő kolonnád oszlopsora nem omlik tovább – a kanyon oldalfalain a lávafolyások – a folyó által feltárt – áldőlési irányával párhuzamosan megnyúlt, alacsony barlangok képződnek (1/a ábra). Az így kialakult barlangok felett húzódó kolonnád 50–80 cm átmérőjű oszloppait azonban legtöbbször a hossztengegyükre merőleges – az oszlopok kialakulásakor a szakaszos összehúzódás következtében, nyírófeszültség hatására előalakított (preformált) – repedések is tagolják, melyek mentén elválva az oszlopok egyes részei kihullhatnak. Ily módon a barlang mennyezete feljebb harapódzva a kollonádban tovább tágul (1/b ábra, 2/a kép). Amennyiben az oszlopok az alsó anyaghiány miatt teljes hosszukban kihullanak, akkor a növekvő barlang boltozatát a kolonnád felett húzódó entablatura állékonyabb részei alkotják (1/c ábra, 2/b kép). Az entablaturában a hülési repedések irányai nem párhuzamosak, ezért ebben a zónában az oszlopok hajlott formájúak, a hülési repedések sokhelyütt lefelé összetartóak, melynek követ-



1. ábra. Vastag, több eltérő hülési repedezettsgű sorból álló bazaltláva-folyásokban a folyóvízi erózió hatására kialakuló barlangok három típusa. Lásd még a 2/a, b képeket.

Jelmagyarázat: 1. breccsás zóna, 2. kolonnád, 3. entablatura, 4. barlang

hatására előalakított (preformált) – repedések is tagolják, melyek mentén elválva az oszlopok egyes részei kihullhatnak. Ily módon a barlang mennyezete feljebb harapódzva a kollonádban tovább tágul (1/b ábra, 2/a kép). Amennyiben az oszlopok az alsó anyaghiány miatt teljes hosszukban kihullanak, akkor a növekvő barlang boltozatát a kolonnád felett húzódó entablatura állékonyabb részei alkotják (1/c ábra, 2/b kép). Az entablaturában a hülési repedések irányai nem párhuzamosak, ezért ebben a zónában az oszlopok hajlott formájúak, a hülési repedések sokhelyütt lefelé összetartóak, melynek követ-



2. kép. Az 1. ábra „b” (a) és „c” (b) barlangtípusai.

Jelmagyarázat: B: breccsás zóna, K: kolonnád, E: entablatura, T: eróziós terasz

keztében nagyobb eséllyel alakulnak ki köztük statikailag állékonyabb részek (a bazaltoszlopok nem hullanak ki, hanem ha egy kicsit le is zökkennek, akkor is beszorulnak a szomszédos rögök közé). Ezért a folyóvízi erózióval szemben a bazaltláva-folyások legállékonyabb részei általában az entablaturás szerkezetű zónák, amelyet jól mutat az is, hogy a Jökulsárgljúfur-kanyon eróziós eredetű teraszainak felszíne megegyezik az entablaturák felső határával (1/c ábra, 2/b kép). Az áradások során a kanyon oldalfalainak gyorsabb hátrálása, a breccsás zónák által alámélyített kolonnádokban történt. Az ilyen típusú barlangok továbbformálását – csakúgy, mint a továbbiakban ismertetteket is – amennyiben nem éri újabb előntés, a fagyaprózódás veszi át.

3.2. Szubvulkáni kőzettest válogató eróziós kihordásával

Az Izland aktív vulkano-tektonikus zónájához tartozó Sveinar-árokban 6000 évvel ezelőtt lezajlott Rauðborgir-Rauðhólar hasadékvulkáni kitörés során a Jökulsárgljúfur-kanyon Hljóðaklettar nevű szakaszában felépült, és azt részben kitöltő bazaltvulkáni hegy is a 2500 évvel ezelőtti jökulhlaup levonulásának az útjába került (GUDMUNDSSON, A. T. 1996). Ekkor a hatalmas erejű áradás néhány óra (!) alatt elhordta a vulkáni felépítmény nagy részét., miközben annak jobb állékonyságú, oszlopos elválású magmás intrúzióit és szubvulkáni kőzettestjeit és lávafolyás-részleteit kipreparálta a kőzetkörnyezetük-ből (3–8. képek). A Hljóðaklettarban található, egymásra települt lávafolyások és magma-benyomulások oszlopos elválási felületeinek irányultságai – a Jökulsárgljúfur-kanyon idősebb lávafolyásaival összehasonlítva – bonyolultabb megjelenésűek, szerzeágazóbb irányúak, oszlopaik vékonyabbak. Az egymással közel párhuzamos, keskeny (10–15 cm átmérőjű) oszlopok gyakran hajlottak és sugárirányban szétterjedtek. A sziklafalak jobb állékonyságú részeit a hajlott oszlopok zónája (entablatura) mellett az oszlopsorok antiklinális-, illetve szinklinális-szerűen hajlott formái alkotják. A köztük levő bazaltláva részletek szabálytalanul repedezettek, töredezetek és így kevésbé ellenállóak a folyóvízi erózióval szemben. Ezen a részen a 2500 évvel ezelőtti jökulhlaup eróziós tevékenysége is hatékonyabban működött. Ahol ezek mellett, kis távolságon belül (néhány méter) jobb állékonyságú részek helyezkedtek el, akkor azok lassabb hátrálásának következtében, a bennük levő gyengébb ellenállású részek kihordódásával jöttek létre barlangok.

Az ilyen barlangkeletkezésre szép példa a Jökulsá á Fjöllum nyugati partjától 200 m távolságban, az egykori áradás által elhagyott egykori mederalfjatban található Kirkjan-barlang, amely egy kúpszerű eróziós maradványforma kupolaszerűen meghajlott kolonnádjá alatt jött létre (4–7. képek). Kialakulásakor a kolonnád-boltozat alatt korábban elhelyezkedett, valószínűleg jóval kisebb ellenálló képességű, sűrűn repedezett kőzetrészeket az áradás magával ragadta, csakúgy, mint a kipreparálódott boltozat feletti kőzetrészeket is (4–7. képek). Nem zárható ki azonban az sem, hogy az áradó folyó itt egy gázhólyagüreget tárt fel és azt tágította tovább. Ezen kívül egyéb beágyazódott, lazább szerkezetű anyag (pl vulkáni agglomerátum) is kihordódhatott a kúp belsejéből, bár erre utaló jelek, mint például a bazalthoz hegedt agglomerátum-maradványok (lásd: a következő típusnál) nem utalnak. További kérdés, hogy azok a Kirkjan-barlangot magában foglaló kúphoz hasonló, de az erózió által meg nem bontott, zárt formák, melyekből több is található e környéken mi rejtőzik: gázüreg, vagy lazább szerkezetű, zárványként beágyazódott pl. agglomerátum? De lehet benne töredezetebb és így gyengébb ellenállású, de a környezetével megegyező összetételű bazalt is. A 6. képen az erózió által megbontott, elfelezett kúp látható, amely egyfelől megerősíti ezt az utóbbi feltételezést, és e példa alapján nagy valószínűséggel a Kirkjan-barlang is egy ilyen megbontott és az áradás által „kibelezett” kúpban képződött.

A Kirkjan-barlang mennyezete későbbi omlások következtében tovább harapódzott felfelé. Érdekes módon a Kirkjan-barlang bejárata nem a Jökulsá á Fjöllum jelenlegi folyásirányával szemben nyílik. Ebből arra következtethetünk, hogy az egykori hatalmas vízáradat aljzatán működő hatalmas, pusztító erejű turbulens, visszafelé is áramló, örvénylő vízmozgásoknak is jelentős szerepük volt a barlang mélyítésében. Ezt a feltételezést megerősíti az is, hogy a Kirkjan-barlang előtt egy, a környező kipreparált magaslatok által körülzárt medence található, amely a barlanghoz hasonlóan szintén az egykori gyengébb ellenálló képességű kőzetrészek folyóvízi erodálásával mélyült (3, 5. képek). A barlang aljzatán a mennyezet omlásából származó kőtömbök között bazalthomok is felhalmozódott (7. kép). Ez a homok az áradás elvonulása után még egy ideig a barlang előterében levő medencében, finomszemcsés hordalékban gazdag állóvízből rakódott le, majd később a víz elszivárgása után a szél hordta át a barlang aljzatára. A barlang térfogatának megfelelő mennyiségű kőzetanyag nem található a közelben, ami alapján feltételezhető, hogy a Kirkjan kimélyítésével a folyóba került kőzetanyag a barlang előterében található medence (3–5. képek) feltöltéséhez is hozzájárulhatott, illetve az áradás annak egy részét elszállította.



3. kép. Az izlandi Jökulsárgljúfur-kanyonban található Hljóðaklettar részletének légi fotója (forrás: Landmælingar Íslands), a Kirkjan és a Tröllahellir folyóvízi eróziós barlangok helyzetével. A képen jól láthatóak a Jökulsá á Fjöllum korábbi folyásirányai és a 2500 évvel ezelőtti jökulhlaup által kipreparált jobb állékonyságú kőzetrészek, egykori szubvulkáni kőzetestek. A pontozott vonal a Kirkjan-barlang bejáratának előterében található medence helyét jelzi. A 8. kép felvételi szöge a kép bal felén látható.



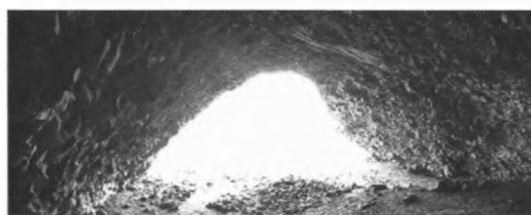
4. kép. A Kirkjan-barlang a 2500 éve lezajlott Jökulhlaup által feltárt kúp formájú magmás benyomulás (intrúzió) belsejében alakult ki. Hljóðaklettar, Izland.



5. kép. A Kirkjan-barlang bejárata. A fehér nyíllal jelzett ember érzékelteti a barlang méretét. Hljóðaklettar, Izland.



6. kép. A környezetéből a 2500 évvel ezelőtti jökulhlaup válogató eróziója által egy elfelezett kúp formájában meghagyott magmás benyomulás. Magassága 15 m. Hljóðaklettar területén több tucat ehhez hasonló forma található. Nagy valószínűséggel a Kirkjan-barlang is egy ilyen kúp hülési repedésekkel sűrűbben átjárt, így lazább szerkezetű belső részének folyóvízi erózió által történt kihordódásával (fluvi-orapcióval) keletkezett (lásd még: 4, 5, 7. képeket) Jökulsárgljúfur-kanyon, Hljóðaklettar, Izland.



7. kép. A Kirkjan-barlang a bejárata felé fotózva. Hosszúsága 26 m, legnagyobb szélessége 25,5 m, magassága a bejáratnál 11 m. Az aljzatán a mennyezet további omlásával felhalmozódott kőtömbök találhatóak. Jökulsárgljúfur-kanyon, Hljóðaklettar, Izland.



8. kép. A Tröllahellir-barlang a Jökulsá á Fjöllum keleti partján, a környezetében levő kipreparált, állékonyabb magmabenyomulásokból, szubvulkáni kőzetestekből (pl. bazalttájk) kialakult eróziós szikla-formákkal. A barlangot magában foglaló eróziós maradványtorony magassága 48 m. A kép felvételi szöge a 3. képen látható. Hljóðaklettar, Izland.

3.3. Tömör bazaltba ágyazódott gyengébb állékonyságú anyagok kihordásával

A Kirkjan-barlangtól 2 km-re déli irányban, közvetlenül a Jökulsá á Fjöllum keleti partján található a Tröllahellir (3., 8–14. képek). A Tröllahellir a környezeténél jobb állékonysággal rendelkező, így a folyóvízi erózió hatására lassabban hátráló közettömegben keletkezett. A barlang kialakulása tömör, hülési repedésekkel átjárt, de jó megtartású eróziós sziklatoronyban elhelyezkedő, korábban beágyazódott gyengébb állékonyságú, törmelékes bazalt-agglomerátum, valamint összecementált bazaltkavicsok és görgetegek gyorsabb fluviorapációs kihordódásával képződött (8–14. képek). Az így keletkezett anyaghiányba a hülési repedésekkel elválasztott nagyobb bazalttömbök még omlanak és így tovább tágítják a barlangot. A Tröllahellirt magában foglaló környezeténél állékonyabb szerkezetű lávákából álló kipreparálódott eróziós torony sziklafala irányváltásra kényszeríti a Jökulsá á Fjöllum-folyót, melynek következtében annak sodorvonala a sziklafalnak ütközik, jelentősen fokozva a benne elhelyezkedő, előbb említett lazább szerkezetű anyagoknak a környezetükhöz képest szelektív erózióját (8. kép).

Az elmúlt évszázadokban is zajlottak jégalatti vulkánkitörések által keltett gleccseráradások a Jökulsá á Fjöllumban (KRISTMANNSDÓTTIR, H. et al. 1999). A Tröllahellir a folyó vízszintjéhez közel helyezkedik el (8–9. képek), illetve időszakosan vízelborítás alá is kerül. Ezért kialakulása, de főképp a továbbformálódása nem köthető egyértelműen a Jökulsá á Fjöllum 2500 évvel ezelőtti áradásához, bár a barlangot magában foglaló eróziós torony (8. kép) akkor alakult ki.

Amikor a folyó nem árad, akkor az alámélyítés-leomlás-elhordás-felaprózás medereróziós szakaszok időtartamai is meghosszabbodnak. A kisebb munkavégző képességű folyó a Tröllahellir aljzatára leomlott bazalttörmelék nagyobb tömbjeit már nem képes elszállítani, ezért azok a barlangi előtérben és az aljzaton felhalmozódva előbb lelassítják, majd később le is állíthatják a barlang további, horizontális irányú növekedését. Így a barlang csak a mennyezetének felharapódzásával – például fagyaprózódás hatására – tágulhat. A Tröllahellir további, jelentősebb mértékű növekedése csak nagyobb áradások idején lehetséges, amelyre a Vatnajökull vastag jégtömege alatt húzódó Bárðarbunga vulkán kitöréseknek van nagy esély.

A Tröllahellirben több, egymást követő évben végzett terepi munkám során újra és újra a barlang vízzel való elborításának nyomait találtam (leülepedett homokos, iszapos hordalék), de a nagyobb bazalttömbök helyzete, így a barlang morfológiája nem változott lényegesen ez idő alatt (9, 10. képek).

A Tröllahellirtől 2 km-el déli irányban (a folyásirányban felfelé) piroklasztitok és tömör bazaltlávák közé települt folyóvízi bazaltgörgetegekből álló 2–8 m vastagságú réteget tárt fel a Jökulsá á Fjöllum. E réteg vastagabb részének részleges kihordásával alakított ki barlangot az áradó folyó (15, 16. képek).

A Tröllahellirtől 5 km-el déli irányban, a Jökulsá á Fjöllum nyugati partjának közelében a Tröllahellirt magában foglaló eróziós maradványtoronnyal azonos kialakulású formaegyüttes található, amely azonban ma már a folyóval nincs közvetlen összeköttetésben (17. kép). A 2500 évvel ezelőtti áradással a kőzetkörnyezetéből kipreparálódott sziklaalakzatban a folyó szintjétől 20 m magasságban található a lencse alakú Gloppa-barlang (17–23. képek). A Gloppa-barlang a Tröllahellirhez hasonlóan módon, úgy keletkezett, hogy tömör bazaltba ágyazódott, lazább szerkezetű, e helyre áthalmozódott bazaltvulkáni agglomerátum, illetve ezzel vegyes folyóvízi kavics és görgetegtömeget az áradó Jökulsá á Fjöllum elszállította.

A több csúcsi kúpából álló eróziós sziklatorony, vagy „eróziós sziklavár” (17. kép) egyik alacsonyabb tornya alatt egy kisebb, a Glóppához hasonló módon keletkezett barlang található (18. kép). A két barlang közötti, oldalirányból zárt, üstformájú térben a 2500 évvel ezelőtti áradás döbbenetes méretű folyóvízi görgetegei rekedtek csapdába, melyek nagy valószínűséggel a Gloppa-barlang kiválásában is közreműködtek (18. kép).

A Gloppa-barlang mennyezetének nagyobb felülete omlásokkal egyre feljebb harapódik, azonban a mennyezet $\frac{1}{3}$ részét még a ráömlő forró bazalt érintkezési (kontakt)zónájában összesült és a bazaltfalakhoz tapadt – így ebből következően jobb állékonyságú – áthalmozott bazaltvulkáni agglomerátum



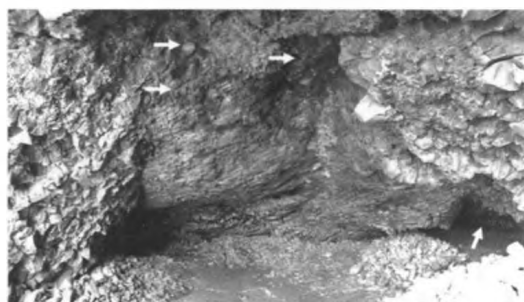
9. kép. A Tröllahellir belsejének részlete, a bejárata (magassága 11 m) felé fotózva. A folyó túloldalán a Karl (28 m) és a Kerling (20 m) magas, bazaltdájkából kialakult eróziós tornyok láthatóak. A kép jobb alsó felén friss homokos, iszapos leülepedett hordalék látható, melynek formája évről évre változik, ugyanis a barlang a Jökulsá á Fjöllum-gleccserfolyó által, a Vatnajökull jégtakaró nyár eleji hóolvadásai idején, időszakosan vízborítás alá kerül. A bejárat jobb alsó oldala részletesebben a 11. képen szerepel. Hljóðaklettur, Izland.



10. kép. A Tröllahellir végpontja (a kép ké-szültekor a folyótól 19 m távolságban) Az itt felhalmozódott homokos, iszapos üledék maradványa (magassága 80 cm). A lerakódások folyó felőli részét egy nagyobb erejű áradás elhordta, majd a megmaradt és instabillá vált üledékfal peremi részei leomlottak. Hljóðaklettur, Izland.



11. kép. A Tröllahellir oldalfala a bejáratánál (lásd 9. kép). A tömör, 20 X 40 cm nagyságú bazalt-tömbök közötti pados szerkezetű hűléses repedési síkok lefelé dőlnek, melynek következtében a pados elválásra merőleges törések mentén elváló bazalt-tömbök – alátámasztás hiányában – a folyó (a kép bal felén) irányába mozdulnak el. Hljóðaklettur, Izland.



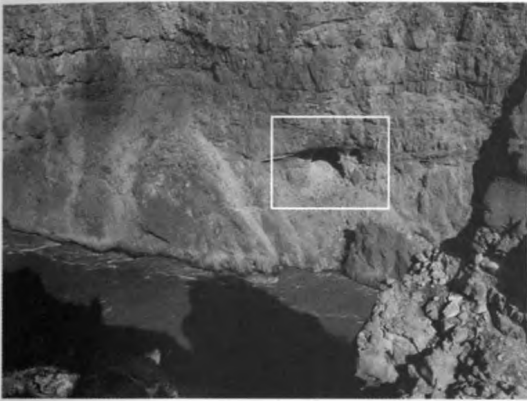
12. kép. A Tröllahellir oldalfalain és mennyezetén folyóvízi koptatás eredményeként lekerekített bazaltkavicsok (5–10 cm átmérőig) és görgetegek 40 cm átmérőig) táruulnak fel (a fehér nyílak jelzik). A kavicsok és görgetegek egyes részei – valószínűleg az elborító magma/láva és a folyóvízi hordalék kontaktzónájában – a környező bazalthoz vannak forradva, abba be vannak ágyazódva. A Jökulsá á Fjöllum áradásai e lazább üledéket a környező tömör bazaltból elhordva alakította ki barlangot (lásd még 13, 14. képeket, melyek készitési helyét a jobb alsó nyíl mutatja). Hljóðaklettur, Izland.

és bazaltkavicsok elegye alkotja, amely meggátolja a felettük húzódo hűlési repedésekkel átjárt bazalt leomlását (20–23. képek).

A Jökulsárgljúfur-kanyon falaiban a barlangok a folyó mai szintjéhez mérten változatos magasságokban tárultak fel (8, 15, 17, 24. képek). A nagyobb magasságokban elhelyezkedő barlangok feltárulása a már említett 2500 évvel ezelőtti nagy áradáskor történhetett, de közvetlenül a tetőző ár idején, ami után számottevő falbontás és elszállítás már nem történt és a barlangokat környezetükkel együtt az áradás már nem pusztította el. Ennek jele lehet, hogy a barlang környezetében a kanyonfalak hátrálásából származó nagyobb mennyiségű omladék nem található, ugyanis azt az áradó folyó elszállította. A kanyon barlangjai közvetett úton, vagyis a pusztító áradás levonulása után is feltárulhattak, amikor az instabillá alakított kanyonfalak a fagy-aprózódás segítségével történő további hátrálásával, nyitják fel ezen üregeket, akár



13. kép. A Tröllahellir végpontjának oldalfala a folyó által feltárt bazaltkavicsokkal és görgetegekkel (a kép közepén a legnagyobb 35 cm átmérőjű), homokkal keverten (lásd még 12. kép). E lazább szerkezetű részen a barlang kiöblösödik. Az oldalfalon és a mennyezeten a kavicsok, görgetegek közti homok a felülről és oldalról beszivárgó vizektől nedves (lásd: sötétebb elszíneződés). Hljóðaklettur, Izland.

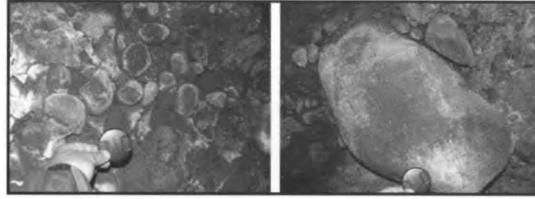


15. kép. Piroklasztit (fekü) és tömör bazaltláva (fedő) rétegek közé települt, lencseszerűen kivastagodó, a környezeténél lazább szerkezetű bazaltgörgetegekből álló rétegben mélyült barlang (fehér kerettel jelölve) a Jökulsárgljúfur-kanyon oldalában. A barlang a Jökulsá á Fjöllum folyó szintjétől a kép készítésekor kb. 20 m magasságban volt látható.

több száz évvel az áradás után. Ez esetekben a feltárt barlangok környezetében jelentősebb mennyiségű omladék található.

3.4. Gázhólyag-barlang feltárásával, valamint a hozzá kapcsolódó piroklasztitok kihordásával

A 24–26. képeken szereplő barlang egy gázhólyag-üreg feltárulásából és egy felette húzódó, fröccs-kúp bazaltsalakkal eltömődött kürtőjének a részleges feltárásával képződött, tehát morfogenetikai szempontból összetett barlang. Az áradás itt egy



14. kép. A Tröllahellir kiöblösödő végpontjában az oldalfalakon feltároló – a köztük levő homokkal kisebb mértékben összecementált – folyóvízi kavicsok és görgeteg (lásd még 12, 13. képek). A görgeteg jobb oldala közvetlenül a lávához kapcsolódik, ahhoz van forradva, ezért a nagy tömege ellenére nem hullt még ki az oldalfalról. Hljóðaklettur.



16. kép. A 15. képen bemutatott barlang közelebről. Jól láthatóak a bazaltanyagú, gyengén összecementált, akár félméteres, vagy annál is nagyobb folyóvízi görgetegek, amelyek részleges kihordásával a barlang kialakult (magassága kb. 8 m).



17. kép. A Jökulsá á Fjöllum 2500 évvel ezelőtti áradása a korábbi szubvulkáni kőzettestekből több, a képen látható „eróziós sziklavárat”, és egyéb különleges formájú eróziós maradványformákat is hátrahagyott. Az egyik nagyobb eróziós maradvány-toronyban alakult ki a Gloppa-barlang (fehér nyíl jelzi). Jökulsárgljúfur-kanyon, Izland.



18. kép. A Gloppa-barlang bejáratának (bal oldalt) előtere. Az üstszerű mélyedésben a 2500 évvel ezelőtti Jökulhlaup által ideszállított és hátrahagyott 1–1,5 m átmérőjű görgetegek halmozódtak fel. A kép jobb oldalán látható kúp alatt egy kisebb barlang húzódik. Jökulsárgljúfur kanyon, Izland.



20. kép. A Gloppa-barlang észak oldala. A világos színű falrészletet az erózió által meghagyott agglomerátummal vegyes bazaltkavicsok burkolják. Ezek az egykori nagyobb domború agglomerátum-összet felső részét képezték és a ráömlő bazalt érintkezési zónájában összesülve a bazalthoz forradtak. Az agglomerátum/kavics-összetnek a – kontaktzónán kívül eső – belső részét az áradás kivájta. Az a, b, c jelű fehér téglalapok az alábbi képek készítési helyeit mutatják. Jelmagyarázat: a: 21. kép, b: 22. kép, c: 23. kép.



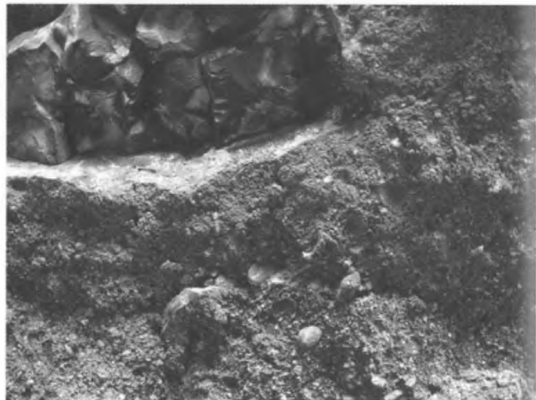
22. kép. A ráömlő forró bazalt által összesült és hozzáhegedt áthalmazott bazaltvulkáni agglomerátum és kavicsok a Gloppa-barlang mennyezetén. A fekete szaggatott vonal a bazalt és az áthalmazott, összesült hordalék határát jelzi. A kép bal oldalán a falból kipreparálódott, hólyagos bazaltból kialakult folyóvízi kavics (fehér nyíl jelzi) látható (lásd még 20. kép). Jökulsárgljúfur kanyon, Izland.



19. kép. A Gloppa-barlang belsejének részlete a bejárat felé fotózva. A bejárat magassága a törmelék felett 6,2 m. A kép előterében az áradás által a barlangban hagyott 40 x 80 cm es bazaltgörgeteg látható. Jökulsárgljúfur kanyon, Izland.



21. kép. Az agglomerátum/kavics-összletre ömlő bazalt kontaktzónája (lásd: 20. kép), és a barlangi mennyezet egyik lefelé mozduló röge. Gloppa-barlang, Jökulsárgljúfur kanyon, Izland.



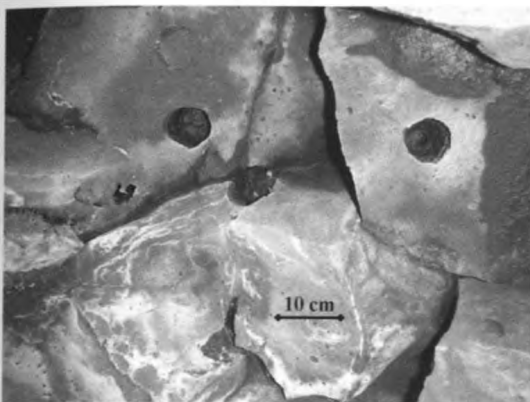
23. kép. A Gloppa-barlang mennyezetének részlete (lásd 20. kép). A kép bal felső oldalán omlással feltárult a bazalt. A fennmaradt részek áthalmazott bazaltvulkáni agglomerátumból, folyóvízi kavicsokból és görgetegekből állnak. Jökulsárgljúfur kanyon, Izland.



24. kép. A Jökulsárgljúfur-kanyon egyik terasza feletti függőleges sziklafalban feltárult barlang helyét a fehér nyíl jelzi.



25. kép. A 24. képen jelzett barlang bejárata. A barlang első szakasza egy feltárult gázhólyag-barlang. Magassága a bejáratnál 2,1 m. A 2500 évvel ezelőtti jökulhlaupt áradása miután feltárta a barlangot, áttört egy lazább szerkezetű piroklasztitos összletbe és abban a barlangot befelé és felfelé jelentősen kitérítette, ahol e belső terem magassága 3,7 m, szélessége 4,8 m. Jökulsárgljúfur-kanyon, Izland.



26. kép. A 25. képen látható gázhólyag-barlang menynyezetén omlással feltárult – kerek keresztmetszetű – egykori gázvezető csatornák. Jökulsárgljúfur-kanyon, Izland.

egykor működött lávaszökőkút visszahullot piroklasztjaiból felépült fröccs-kúp, vagy salakkúp felszínalatti részeit tárta fel, amely úgy keletkezett, hogy a láva vizes területre folyva a megnövekedett vízgőztartalma miatt a felszínre tört. A kitörés végén a kürtő változó mértékben összehegedt salakos szerkezetű, helyenként kézzel is könnyen omlasztható piroklasztitokkal tömődött el. A piroklasztitok

alatt a vízgőz-keletkezés helyén kialakult gázhólyag-barlang megőrződött, amíg az áradás azt fel nem tárta és rajta keresztül a felette húzódó lazább, könnyen erodálható anyaghoz jutva, benne felfelé kiöblösödő barlangot vajt.

IRODALOM

- ALHO, P.–RUSSEL, A. J.–CARRIVICK, J. L.–KÄYHKÖ, J. (2005): *Reconstruction of the largest Holocene jökulhlaupt within Jökulsá á Fjöllum, NE Iceland.* – Quaternary Science Reviews, Vol. 24, (22), pp. 2319–2334.
- DAVIES, P.–WILLIAMS, A. T. (1985): *Cave development in Lower Lias coastal cliffs, The Glamorgan Heritage Coast, Wales, UK.* – Proceedings of the Iceland Coastal and River Symposium, Reykjavík, Iceland, pp. 75–92.
- EINARSSON, Þ. (1994): *Geology of Iceland.* – Mál og menning, Reykjavík, 308 p.
- GADÁNYI P. (2008h): *Kéregalatti bazaltláva barlangok.* – Karszt és Barlang 2008. I-II. pp. 21–33.
- GUDMUNDSSON, A. T.–KJARTANSSON, H. (1996): *The coastline.* In: *Earth in Action – Vaka-Helgafell*, Reykjavík, pp. 30–34.
- GUDMUNDSSON, A. T.–KJARTANSSON, H. (2007): *Living Earth – Outline of the Geology of Iceland.* – Mál og Menning, Reykjavík, 308 p.
- JÓHANNSDÓTTIR, S. S.–HELGADÓTTIR (2005): *The river Jökulsá á Fjöllum.* – Environment and Food Agency, Natural Conservation Pamphlets, Iceland.
- KÁDÁR L. (1960): *Hordalékmozgás és folyószakaszjelleg.* – Földrajzi Értesítő, IX. évfolyam, 3. füzet, pp. 310–329.
- KRISTMANNSDÓTTIR, H.–BJÖRNSSON, A.–PÁLSSON, S.–SVEINBJÖRNSDÓTTIR, Á. E. (1999): *The impact of the 1996 subglacial volcanic eruption in Vatnajökull on the river Jökulsá á Fjöllum, North Iceland.* – Journal of Volcanology and Geothermal Research, Vol. 92. (3–4), pp. 359–372
- LYLE, P. (2000): *The eruption environment of multi-tiered columnar basalt lava flows.* – Journal of the Geological Society, London, Vol. 157, pp. 715–722.

- MALOTT, C. A. (1928): *An analysis of erosion*. – Proceedings of the Indiana Academic Sciences, 37, pp. 153–163.
- MOORE, D. G. (1954): *Origin and development of sea caves*. – National Speleological Society Bulletin 16; pp. 71–76.
- PÉCSI M. (1971): *A mederben áramló állandó vízfolyások eróziós tevékenysége*. – In: Pécsi M.: Geomorfológia, Tankönyvkiadó, Budapest, pp. 54–99.
- SCHLICHTING, H. (1951): *Grenzschicht-Theorie*. – Kézirat, Karlsruhe.
- SUNAMURA T. 1992: *Geomorphology of Rocky Coasts*. – John Wiley & Sons, pp. 184–193.
- THORDARSON, T.–HÖSKULDSSON, A. (2006): *Classic Geology in Europe 3 - Iceland*. – Terra Publishing, England, 200 p.
- THORNBURY, W. D. (1954): *Erosion and transportation agencies*. – In: Thornbury, W. D.: Principles of Geomorphology - John Wiley and Sons, pp. 47–49.
- THORPE, R. S.–BROWN, G. C. (1985): *The Field Description of Igneous Rocks*. – Open University Press, Milton Keynes 154 p.
- VERESS M. (1981): *A Csesznek környéki barlangok genetikájának vizsgálata*. A Bakony természettudományi kutatásának eredményei XIV. pp. 32–42.

RIVER EROSION CAVES IN BASALTLAVA OF DIFFERENT STRUCTURE IN THE JÖKULSÁRGLJÚFUR CANYON, ICELAND

ABSTRACT

The basalt canyon Jökulsárgljúfur in Iceland is formed by a giant mega-flood caused by a melting effect of a subglacial volcanic eruption under the Vatnajökull ice cap 2500 years ago. In the walls of this canyon there are very impressive examples of caves can be found e.g. the Tröllhellir, Gloppa, Kirkjan, which are made by an erosion of the glacier river Jökulsá á Fjöllum. This article focuses on the hydrological, erosive and structural conditions of cave formation in the Jökulsárgljúfur, where, under certain given river erosion conditions, it is the structure of basalt lava rocks what is determine the morphology of the caves. On a base of the different basaltlava rock structures the following morphogenetic subtypes of river erosion caves can be distinguished: 1. caves in columnar jointed basalt lava; 2. by washing out relatively fractured segments of sub-volcanic material; 3. by washing out slightly cemented basalt gravels and boulders as well as compound and less resistant fractured basalt agglomerate intercalated into compact basalt; 4. by the opening of gas blisters and further development by river erosion, and by quarrying of the connecting pyroclastics.

Gadányi Péter
Nyugat-magyarországi Egyetem, Földrajz- és Környezettudományi Intézet
Szombathely, Károli Gáspár tér 4.
gpeter@ttk.nyme.hu
20/562 1199