

Pécsi Tudományegyetem  
Természettudományi Kar  
Földtudományok Doktori Iskola

**Bazaltláva-barlangok kialakulása,  
típusai és formakincse**

Ph.D. értekezés tézisei

GADÁNYI PÉTER

Témavezető:  
Prof. Dr. Schweitzer Ferenc  
Egyetemi tanár, a földrajztudomány doktora

Pécs, 2010

**A doktori iskola címe:** Földtudományok Doktori Iskola

**Vezetője:** Prof. Dr. Tóth József  
Egyetemi tanár, a földrajztudomány doktora  
Rector Emeritus  
PTE TTK Földrajzi Intézet, Társadalomföldrajzi és  
Urbanisztikai Tanszék

**A doktori  
témacsoport címe:** természeti földrajz és földtan

**Vezetője** Prof. Dr. Budai Tamás  
PTE TTK Környezettudományi Intézet

**Tudományága:** geomorfológia

**Témavezető:** Prof. Dr. Schweitzer Ferenc  
Egyetemi tanár, a földrajztudomány doktora  
PTE TTK Földrajzi Intézet, Magyarország Földrajza  
Tanszék  
Intézetigazgató, MTA Földrajztudományi Kutatóintézet

## I. Bevezetés

Földünk felszínének (a Világóceánnal borított területeket is beleértve) leggyakoribb kőzettípusa a bazalt, melynek döntő hányada hígán folyós és rövid idő alatt nagy területeket beborító pahoehoe típusú lávafolyások formájában ömlik a felszínre. A bazaltban a kihülése során, és azt követően is, néhány cm-es nagyságrendtől a több km-ig terjedő nagy méretben, különféle módokon, változatos formakincsű üregek és barlangok képződnek. Izlandi nyelven a pahoehoe típusú lávamezőket - találón - „helluhraun”-nak nevezik, ami magyarra fordítva: „barlangosláva” (hellir=barlang, hraun=láva).

A bazaltláva-barlangok a karsztos területek barlangjaihoz képest igen rövid idő alatt keletkeznek, és kialakulásukban az oldódásnak nincs számottevő szerepe. Bár genetikailag különböznek egymástól, mégis, érdekes módon, morfológiailag, valamint hidrológiai viszonyaik tekintetében sok hasonlóság fedezhető fel közöttük. Ezért a lávabarlangok pszeudokarsztos jelenségnek tekintendők.

A Vulkanoszepeleológia a magmás és vulkáni kőzetekben található barlangok kutatásával foglalkozó tudományág. A bazaltlávában kialakult barlangoknak a kialakító folyamataik és az ebből következő formájuk alapján még nem rendszereztek kellő részletességgel, illetve több morfogenetikai típusának ismertetése csak elvétve, vagy egyáltalán nem található a szakirodalomban. Mivel a bazaltláva-barlangok eddigi kutatásai döntően a lávaalagút barlangok vizsgálatára irányultak, ezért a többi – kisebb méretű és ritkábban előforduló – szintén változatos kialakulású és formakincsű típusok részletesebb kutatása még sok új eredményt hozhat.

Az izlandi pajzsvulkánok, hasadékvulkánok, pahoehoe és aa típusú lávamezők, bazaltba mélyített kanyonok, és a sziklás óceáni tengerpartok kiváló kutatóterületet jelentenek a bazaltláva-barlangok morfogenetikai kutatásához. 1997-óta évi rendszerességgel végzek terepi vizsgálatokat e szigeten gyakran több hónapig tartó, többnyire gyalogos terepbejárásaimon. Izlandon kívül eddig még Japánban a Fuji-san oldalában, Csedzsü-szigeten (Dél-Korea) és Magyarországon bazaltláváin végeztem kutatásokat. Munkámmal szakmai példaképem Balázs Dénes e területen végzett munkásságát is szeretném megismertetni és ezúton folytatni.

## II. Célkitűzés

A disszertáció célja a bazaltláva-barlangok változatos keletkezési módjainak (a genetikájuk), illetve az ezek során kialakuló formai jegyeik (a morfológiájuk) sokszínűségének bemutatása, az e szempontok alapján történő rendszerezése, illetve az egyes morfogenetikai barlangtípusok és felszíni kapcsolataik részletes bemutatása.

### III. Kutatási módszerek

A bazaltláva-barlangok felkutatásához, a formakincsüket kialakító folyamatok feltáráshoz és ezek alapján e barlangok típusokba sorolásához a természetföldrajz csaknem valamennyi ágának összefüggő ismerete szükséges.

A terepi kutatásokat megelőzően a szingenetikus bazaltláva-barlangok képződési folyamatainak az adott képződési területek földtani, vízrajzi viszonyainak és a barlangot kialakító vulkanológiai folyamatait vizsgáltam.

A barlangok formai elemeinek részletes terepi tanulmányozásakor az adott formákat kialakító vulkáni folyamatok, valamint a bazaltlávák felszínre jutásának és a folyékony zónájának a szilárdtól való elkülönési módjának ismeretében az egyes barlangrészek kihülési sorrendjéből (a relatív korukból) következtettem az adott barlangtípus kialakulási folyamatára. A barlangi részletek relatív kormeghatározásában segítséget jelentettek a láva lehűléskor kialakuló összehúzódnás eredetű (kontrakciós) hasadékok, vagy az omlások során feltárt barlangfal-keresztmetszetek, valamint a barlangkitöltő formák, például a lácseppkövek különféle eredetű genetikai típusai, azok relatív kora és képződési helyeik a barlangban.

A posztgenetikus bazaltláva-barlangok közül az vízeróziós eredetűek esetében a barlangokat befoglaló bazaltláva kőzetekre ható, a bennük barlangok kialakító tengereknek és folyóknak az eltérő szerkezetű bazaltlávákra differenciáltan ható és egy adott helyre koncentrált mértékű eróziós folyamatait, a barlangok megjelenési formáját döntően meghatározó bazaltlávából álló sziklafalak közetszerkezeti tulajdonságait (például az erózióval szemben való eltérő ellenállás, a repedésirányok, repedéssűrűség), valamint azok kialakulásának geológiai és vulkanológiai eredetét vizsgáltam.

Izlandon 11 különböző genetikai típushoz tartozó, összesen 32 bazaltlávában kialakult barlang részletes térképezési célú felmérését, alaprajzuk, hossz- és keresztmetszetük elkészítését egyedül végeztem el. A felmérésekkor Leica Disto D5 lézeres távolságmérő műszert használtam a ferde és vízszintes távolságok mm-es pontosságú, illetve a dőlésszögek  $\pm 50^\circ$ -ig  $0,1^\circ$ -os pontosságú meghatározására. A nagyobb dőlésszögek mérését a műszerhez illesztett Recta DS56 tájolóval, annak beépített dőlésszögmérőjével végeztem  $1^\circ$ -os pontossággal. Az irányszögek mérése a bazalt vastartalmának erős  $10-15^\circ$ -ot is elérő eltérítő (deviációs) hatását kiküszöbölésére házilag előállított, fotóállványra szerelhető,  $0,5^\circ$ -os mérési pontosságú  $360^\circ$ -os beosztású körlapot használtam. A kezdő  $0-360^\circ$ -os pont a barlang bejárata közelében látható és a térképen is szereplő tereptárgy és a barlang bejárata előtt felállított műszert összekötő egyenes volt.

A bazaltláva-barlangok egyes meghatározott morfogenetikai típusú képviselőjének célzott felkutatáshoz részletes topográfiai, geológiai és fotótérképeket, valamint részletgazdag ortofotókat is felhasználtam.

## IV. Az eredmények összefoglalása

Kutatásaim során kialakítottam a bazaltlávákban kialakult barlangok morfológiai szempontú rendszerezését:

### I. Szingenetikus bazaltláva-barlangok

#### 1.....Kiürüléssel (lecsapolódással) keletkező bazaltláva-barlangok

##### 1. 1.....Lávaalagút-barlangok (reogén bazaltláva-barlangok)

##### 1. 1. 1.....Nyílt lávacsatorna befedésével kialakult lávaalagút-barlangok

##### 1. 1. 1. 1.A lávacsatorna pereméről kiindulón, fokozatos kéregnövekedéssel kialakult lávaalagút-barlangok

##### 1. 1. 1. 2...Úszó kéregtáblák összeforradásával

##### 1. 1. 1. 3...Lávagátak íves összeforradásával

##### 1. 1. 2.....Tektonikai és vulkano-tektonikai hasadékokban

##### 1. 1. 3.....Lávaalagút-barlangok a felduzzasztott pahoehoe láva belsejének részleges kiürülésével

##### 1. 1. 4.....Felszíni lávaalagút-barlangok

#### 1. 2.....Kürtő-bazaltláva-barlangok

#### 1. 3.....Bazaltládák részleges kiürülésével kialakult barlangok

#### 1. 4.....Kéregalatti-bazaltláva-barlangok felduzzasztott pahoehoe-típusú lávamezőkben

##### 1. 4. 1.....Nyomásplató-barlang

##### 1. 4. 2.....Tumulusz-barlang

##### 1. 4. 3.....Oldalgerinc-barlang és lávanyelvgerinc-barlang

#### 2.....Lávakéreg-turolás-barlang

#### 3.....Törmelék-eredetű (klasztogén) bazaltláva-barlangok

##### 3. 1.....Hornító-barlang, agglutinát-kúp-barlang

##### 3. 2.....Agglutinát-sánc és fröccs-sánc barlang

##### 3. 3.....Fröccs-kúp-barlang

- 4.....Gázhólyag-barlangok
- 4. 1.....Gázhólyag-barlang bazaltdájkban
- 4. 2.....Gázhólyag-barlang lávafolyások, vagy lávatavak mélyebb zónájában
- 4. 3.....Fa-öntőforma-barlangokhoz kapcsolódó gázhólyag-barlangok
- 4. 4.....Lávafolyások, vagy lávatavak felszíni kérgét felboltozó gázhólyag-barlang

- 5.....Bazaltláva-öntőforma-barlangok
- 5. 1.....Fa-öntőforma-barlangok
- 5. 1. 1.....Üreges lávaoszlop
- 5. 1. 2.... Álló fa-öntőforma barlang
- 5. 1. 3.... Elhajlott, vagy törött fa-öntőforma barlang
- 5. 1. 4.... Ferde fa-öntőforma barlang
- 5. 1. 5.... Elsodródott fatörzsből kialakult fa-öntőforma barlang
- 5. 1. 6.... Kidőlt, fekvő fatörzsből kialakult fa-öntőforma barlang
- 5. 1. 7.... Összetett fa-öntőforma-barlang

## II. Posztgenetikus bazaltláva-barlangok

- 1. ....Eróziós hatásra kialakult bazaltláva-barlangok
- 1. 1. ....Abráziós bazaltláva-barlangok
- 1. 1. 1.....Oszlopos elválású bazaltlávában
- 1. 1. 2.....Szabálytalan repedéshálózatú bazaltlávában
- 1. 1. 3. ....Bazaltlávákban korábban kialakult üregek feltárulásával
- 1. 1. 4.....Bazaltláva-deltában
- 1. 1. 5.....Bazaltvulkáni agglomerátum, vagy lazább szerkezetű (aa) láva, tömör bazalt közül való kihordódásával
- 1. 1. 6.....Párnalávában
- 1. 1. 7.....Bazaltdájkban
- 1. 1. 8.....Bazaltdájk és bazalttufa határán
- 1. 2.....Folyóvízi eróziós bazaltláva-barlangok
- 1.2.1.....Oszlopos elválású bazaltlávában
- 1. 2. 2.....Szubvulkáni kőzettest bazaltanyagának válogató eróziós kihordásával
- 1. 2. 3...Tömör bazaltba ágyazódott gyengébb állékonyságú, törmelékes bazalttagglomerátum, valamint összecementált bazaltkavicsok és görgetegek kihordásával

1. 2. 4...Gázhólyag-barlang feltáráásával és eróziós továbbformálásával, valamint a hozzá kapcsolódó piroklasztitok kihordásával

2.....Fagyaprózódással kialakuló bazaltláva-barlangok

3.....Hasadék-bazaltláva-barlangok

3. 1.....Tektonikus hasadékbarlangok

3. 2.....Gravitációs eredetű, blokkcsuszamlásos hasadékbarlangok

3. 3.....Alsó anyagihiány miatt felszakadt bazaltláva-barlangok

3. 3. 1.....Természetes anyagihiány miatt felszakadt

3. 3. 1. 1..Mesterséges anyagihiány miatt felszakadt (konzekvencia barlang)

3. 4.....Kőomlás tömbjei közötti barlangok

4.....Oldódással kialakult bazaltláva-barlangok

5.....Posztgenetikus fa-öntőforma-barlangok

A következőkben az egyes típusok vizsgálatakor elért új eredményeimet mutatom be.

### **1. Felszíni lávaalagút-barlangok (kisméretű lávaalagút-barlangok a felszín síkjából kiemelkedő boltozattal) kialakulása**

A felszíni lávaalagutak nem a nagy mennyiségű lávát át bocsájtó, felszín alá bemélyülő lávacsatornák, vagy hasadékok befedésével alakulnak ki, hanem a felszínre ömlő, kisebb hozamú, hígan folyós, pahoehoe lávafolyások felszínén szétágazó lávaágaiban. A felszíni lávaalagutak barlangjainak 1-2 m, vagy ennél is kisebb átmérőjű kereszt-szelvényük általában félkör alakú. Megfigyeléseim szerint, felszíni lávaalagutak az alábbi helyzetekben alakulnak ki:

1. lávaszökőkutakból származó lávafolyások azon részeiből, amelyek nem terelődnek lávagátak közé ebből következően a felszínén kis vastagságban szétterülve, kanyarogva folynak, majd a hűléssel kialakuló külső kérgük alól kifolynak. Az e típushoz tartozó barlangokat az izlandi Trölladyngja pajzsvulkán délnyugati lejtőin vizsgáltam.

2. hornitók és fröccs-kúpok oldalában a gázkifúvás során kilökődött, még képlékeny lávadarabokból (láva-agglutinátok) kialakuló kisebb felszíni lávafolyások felszínének bekérgeződését követően a folyékony magjuk a lecsapolódásával. Az e típushoz tartozó barlangokat az izlandi Gjábkahraun lávamezón található Tintron kürtőbarlang agglutinát kúpján vizsgáltam.

3. pajzsvulkánok krátereiben kialakult látavaknak a kráterperemeken történő túlsordulásából, a kráterkörnyéki enyhe lejtőkön kanyarogva kiinduló kisebb lávanyelvek belsejének lecsapolódásából. Az e típushoz tartozó barlangokat az izlandi Skjaldbreiður pajzsvul-

kán kráterperemén, valamint a Stromparhraun lávamezőn, a Strompar vulkán kráterperemén vizsgáltam.

A felszíni lávaalagutakat a kialakulásuk után újabb lávaelborítás érheti. Az ilyen módon felszín alá került felszíni lávaalagutak tektonikai hasadékok falaiban vagy pajzsvulkánok kráterfalaiban tárnak fel, mint például az izlandi Urðalháls pajzsvulkán kráterében és Þingvallahraun lávamező hasadékaiban.

## **2. A lávaalagút-barlangok egyes formai elemei**

### ***Rácyszerűen elrendeződött gerincvonulatok kialakulása a lávaalagút-barlangok mennyezetén***

A barlangfalakon kialakuló hűléses eredetű összehúzódás során kialakuló kontrakciós hasadékok a kisebb hőmérsékletű barlangi levegőt a barlangfalak belsejébe vezeték, melynek következtében a környezetüket alkotó kőzetrészek gyorsabban hűlnek le és szilárdulnak meg, miközben a kontrakciós hasadékoktól távolabb eső kőzetrészek még közelebb vannak az olvadt halmazállapothoz, illetve egyes részeik még olvadt állapotban vannak. Ennek következtében a repedések nagyobb mértékben kikristályosodott kőzetkörnyezetei (ez általában egy 5-10 cm-es sáv), főként a mennyezetén fokozatosan, gerinceket formálva kiemelkednek a barlangfalakból. A kontrakciós hasadékoktól távolabb eső, részlegesen olvadt halmazállapotú falrészletekről az olvadt láva a gerincek felé folyik, csordogál, ami tovább növeli a hasadékot tartalmazó gerincek és a többi falrészlet közti relatív magasságkülönbséget. A kontrakciós a lávaalagutak falain gyakran hálószerű elrendezésben alakulnak ki, amelyből következően e helyeken a templomok kazettás mennyezetének gerinceihez hasonlóan, hálószerűen alakulnak ki gerincszerkezetek. E gerincvonulatok a barlangfalakon csordogáló lávát összegyűjtik melyből adódóan rajtuk alakulnak ki legnagyobb eséllyel lávasztalaktitok. Kutatásaimat Csedzsü-szigeten (Dél-Korea) a Yongcheon, Waheul, Susan, és Socheon lávaalagút-barlangokban végeztem.

### ***Vonszolódási nyomok***

A lávaalagút-barlangokban folyó lávafolyások pereméről a barlangok falához hozzákenődött, még képlékeny lávát a lejjebb süllyedt, de még áramló lávarészek magukkal húzzák, nyújtják és meggyúrik. Az így kialakuló vonszolódási nyomok az oldalfalakon a láva lecsapolódása után jelzik az egykori lávafolyás áramlási irányát.

### ***A sűrűn megtört irányú, girbegurba alakú csöves lávasztalaktitok (láva-heliktitek) kialakulásának egyik oka***

Az izlandi Viðgelmir és Langihellir lávaalagút-barlangokban történt megfigyeléseim alapján a csöves lávasztalaktitok belsejében csordogáló láva mindig a kisebb ellenállású részek felé törekszik, ezért gyakran változtatja irányát. A gyakori irányváltoztatások oka a cseppkő alsó részének megszilárdulása, amely elzárja a csőben folyó láva útját, melynek következtében a láva nem lefelé, hanem gyakran oldalirányban folytatja útját.



### ***A lávasztalagmitok kialakulási helyüktől függő mérete és eloszlásuk az aljzaton a barlangi lávafolyó aktivitásának függvényében***

A lávafolyás egykori sodorvonalának közelében, a lávafolyás nagyobb vastagságának és sebességének következtében a lávaalagút aljzatának középső zónájában alakul ki legkésőbb szilárd kérgű felszín. Ebben a zónában a lávasztalagmitok növekedéhez kevesebb idő áll rendelkezésre, aminek következtében azok átlagmagassága kicsi.

A nagyobb méretű, magasabb lávasztalagmitok (20-40-70 cm) az oldalfalak közelében alakultak ki, ahol már a láva visszahúzódásának kezdetén leállt a lávafolyás mozgása. Ezek a helyeken a lávasztalagmitok hosszabb ideig változatlan körülmények között, több idő alatt épülhettek fel. Az aljzat peremi zónájában felépülő lávasztalagmitok nagyobb méretéhez nemcsak a mennyezetről, hanem az aljzat fölé hajló oldalfalokról a nagyobb mennyiségben összegyűlő és lecsepegő és hozzájuk hegedő lávák is hozzáadódnak.

A mennyezet gerincvonulataira összegyűlő és onnan az aljzatra csepegő lávából az aljzaton a lávasztalagmitok a „lávagyűjtő” mennyezeti gerinc alatt, egy vonalban, sorba rendeződve alakulnak ki.

Lávasztalagmitok legnagyobb számban és méretben közvetlenül az utolsó lávafolyó leállítását követően épülnek fel a lávaalagutak aljzatán. A még forró barlangban a mennyezetről és az oldalfalokról az aljzatra ekkor csepeg le nagyobb mennyiségben olvadt láva, amelyet már nem szállít tovább lávafolyás. Ezt egyértelműen bizonyítja az, hogy közvetlenül a lávasztalagmitok fölötti mennyezetrészekben függenek azok a csöves lávasztalagmitok, amelyekből a lecsepegő láva az álló láva-cseppköveket felépítette. Az aljzat lávasztalagmitjai a lávafolyó már a megállt, a hűlés során bekéregződött felszínére települtek, amely alatt a lávafolyás belső részei még hosszabb ideig izzón folyós állapotban maradhatnak. Ezt bizonyítják a belső részek hűlésekor keletkezett és a felszíni lávakéregre átöröklött kontrakciós hasadékok is, amelyek több esetben keresztezik az aljzat lávasztalagmitjait, melyek egyértelműen jelzik a lávasztalagmitok csak néhány órával fiatalabb korát, a talapatukat jelentő lávafolyáshoz képest.

### ***A lávaalagút-barlangok boltozatának beomlása egy ráömlő lávafolyás hatására***

A lávaalagutak boltozatára – a kialakulása után akár több ezer évvel később - ráömlő újabb lávafolyás a magas hőmérsékleténél fogva az alatta levő barlang mennyezetét részlegesen újraolvaszthatja, melynek következtében az a felette húzódó lávatömeg súlyánál fogva megsüllyed, lehajlik. A lehajló mennyezetben a kihűlése során lefelé széttartó irányú kontrakciós hasadékok képződnek, melyek közül a mennyezet darabjai nagyobb eséllyel hullnak ki, és leomlanak, feltárva a felettük húzódó, a mennyezet lesüllyedésért felelős, már korábban megszilárdult, lávafolyást. Ezen új lávafolyásnak az alsó lapja lesz az alul húzódó barlang új mennyezete, amely vöröses elszíneződésű a vastartalmának az alsó, már kihűlt, oxigénben gazdagabb barlangi légtérrel való érintkezése következtében történt oxidációja miatt. Megfigyelésemet a Csedzsu-szigeten (Dél-Korea) található Manjanggul barlangban végeztem.

### **3. A lávaalagút-barlangok feltárulása a felszint képező boltozatuk megemeléssel, majd lesüllyedésével**

A lávaalagút-barlangok a bennük áramló láva kiürülésével egy időben is föltárulhatnak, azokon a helyeken, ahol a barlangnak - a felszint is képező – 1-5 m vastagságú boltozatának

egy nagyobb - akár több 10 m hosszúságú - szakaszát a belső lávamennyiség túlnyomása megemeli, majd e kéregrész a láva kiürüléskor a korábbi szintjénél mélyebbre lesüllyed. Így tárult fel és alakult ki a bejárata az izlandi Hallmundarhraun lávamezón a Surtshellir barlang egyik fő járatszakaszának is, amikor a folyásirányban felette elhelyezkedő - korábban megemelt - lávakéreg lesüllyedt, miközben a folyásirányban lefelé eső - és fel nem tört - kéregszakasz a korábbi helyzetében fennmaradt.

#### **4. A kürtő-barlangok kialakulásának eddig nem ismertett módjai**

Közvetlenül a magmakamrából felnyomuló, majd visszahúzódozó bazaltláva alakította ki az izlandi Krafla-kalderában található Leirhnjúkur hasadékvulkán kürtőbarlangjait a következők szerint: Az 1984-es kitöréskor a hasadékból felszökő lávafüggöny egyes részei hamarosan egymástól különálló lávaszökőkutakká összpontosultak. A lávaszökőkutak a hasadék felső részén egymástól válaszfalakkal elkülönített kürtősort hoztak létre, miközben a hasadék többi részét a visszahulló piroklasztok befedték, tovább növelve a válaszfalak magasságát és vastagságát. A kitörés utolsó szakaszában azokon a helyeken, ahol lokálisan hirtelen szűnt meg a magma-utánpótlás ott a láva visszahúzódozott a hasadék mélyebb zónájába és a korábbi lávaszökőkutat tápláló kis kürtők üresen maradtak. Az így kialakult, lefelé palack alakban kiszélesedő vertikális kiterjedésű üregek mélyebben helyenként egybenyílnak és egymással összefüggő rendszert alkotnak. E kürtőbarlangok felszíni nyílásai kisméretűek 1-2 m szélesek, de lefelé kiszélesednek. Függőlegesen 4-5 méter kiterjedésűek.

A kürtőbarlangok másik kialakulási módja, amikor a nagyobb, aktív lávaalagút-barlangokból, a bennük ömlő lávafolyó hozamának emelkedéskor, a láva felfelé bepréselődhet egy, a lávabarlanghoz kapcsolódó, hasadékba, vagy törési zónába és azt a - karsztos forrásbarlangokhoz hasonló formájúra - magas hőmérsékletével és mechanikus eróziójával folyamatosan tágítja. Ere példát az izlandi Stromparhraun lávamezón található Djúpihellir barlangban találunk. A kürtőbarlang kialakulásakor a lávaalagútból felnyomuló láva a felszínre nem ömlött ki. Ebben az esetben a felfelé táguló járatból újra és újra visszaáramlott a láva a tápláló lávafolyóba, hogy a helyére onnan friss, forró láva folytassa felfelé a kürtő tágítását. A barlang későbbi feltárulása az elvékonyodott mennyezet beomlásával történt.

#### **5. Törmelék-eredetű (klasztogén) bazaltláva-barlangok**

A nagy területeket beborító pahoehoe lávafolyások gyakran vízzel átitatott rétegekből felépülő mocsaras tavas területekre is ráfolyhatnak, melynek következtében a láva forrásától akár több tíz, vagy száz km távolságra is gőz és láva kitörések során a láva újra darabokra töredezik. A kidobódott, még képlékeny lavadarabokból az egy központra szorító kitörés esetén helyenként kúpszerű, kupolás felépítmények, hornitók képződnek, melynek során így barlangot hoznak létre a környező légtér bizonyos térfogatának magukba zárásával. Barlangok közvetlenül a magma-kamrából táplálkozó hasadékkitörések felett, lávaszökőkutak kilöködött, még képlékeny (agglutinát), illetve izzó salakdarabok formájában történő visszahullásakor szintén kialakulhatnak, mint például hasadék-kitörések felett a fröccs-sánc- vagy agglutinát-sánc-barlangok, valamint fröccs-kúp, illetve az agglutinát-kúp-barlangok.

Mivel e barlangok lávatórmelékekből (piroklasztokból) kialakított lávafelépítmények belsőben jönnek létre, ezért megkülönböztetésükhöz a „törmelék-eredetű (klasztogén)” elnevezést javasolom.

## *A hornító-barlangok morfológiája és az üreges hornító-felépítmények erős stabilitásának okai*

Az izlandi Aðaldalshraun lávamezőn történt kutatásaim során az ott nagy sűrűségben előforduló átlagosan 2-5 méter magasságú és ehhez hasonló alsó átmérőjű hornitók és bennük található hornítóbarlangok morfológiáját és az üreges hornító-felépítmények erős stabilitásának okait vizsgáltam.

A hornító-barlangok aljzatának szintje legtöbbször a hornító környezeténél 0,5-1 méterrel alacsonyabban van. Ezért a barlangjának belső magassága nagyobb, mint a hornító külső, relatív magassága. E barlangok 1-5 m átmérőjűek, az aljzatuktól felfelé fokozatosan kupolaformában felfelé összeszűkülnek. Egy hornító mindig egy összefüggő barlangot tartalmaz, azonban, ritkább esetben 2-3, egymás mellett szorosan kialakuló hornító üregei egymásba is nyílnak.

A hornitók boltozati nyílásainak átlagos mérete 0,5-1,5 m, melyek külső erők, valamint a barlang belsejéből felharapódzó omlások hatására tovább szélesedhetnek. Ritkábbak a teljesen zárt barlangú hornitók, amelyeknek a boltozatát a kisebb, belső lávaszökőkutak feldobott anyagai belülről is kibélelték.

Az Aðaldalshraun üreges hornítóinak falvastagsága alulról 1 - 1,5 - 2 m-től, a boltozatuk felé fokozatosan 15 - 5 cm-re csökken.

Az üreges hornitók stabilitása csak részben függ az agglutinátiból felépülő falaik vastagságától. A hornító-kupolák falainak stabilitása az időegység alatt nagy mennyiségben egymásra rakódott agglutinát darabok összeforradása és összehegedése (összesülése) következtében is növekszik. Ezt fokozza még, hogy az agglutinátok az épülő hornítófalra való becsapódásuk után még kisebb-nagyobb mértékben rá is folynak az alattuk lévő darabokra. A becsapódásuk és lerakódásuk után az agglutinát darabokban levő gázok tovább terjednek, gyakran 2 – 8 cm átmérőjű belső gázüreget hozva létre. Az agglutinátok így mintegy felfújódnak és még jobban egymásnak feszülnek, miközben a már lerakódott agglutinátok közötti üreges részekbe nyomulnak, mely által egymásnak feszülnek, tovább fokozva az összehegedésük mértékét. A hornító felépítmények gyakori jó megtartásában ezeken felül nagy szerepe van a belső „vakolatuknak” is. Ez a belső merevítő vázként szolgáló, lávafröccscseppkövekkel tarkított belső burkolat a felnyomuló lávából ragad a kupola belső oldalára, de a lávából felszökő gázok is kisebb mennyiségű lávát szórhatnak fel rá. Az átlagosan 5-10 cm vastagságú belső réteg elegendő a durvább szemcsés, levegőhézagokkal átjárt agglutinát-fal egyenetlenségeit

A hornító-barlangok belső simább, kevesebb felszört lávacseppkővet tartalmazó oldalrészletei a láva gyors, nagyobb mélységekbe történt visszahúzódására is utalnak a hornitóból. A láva visszahúzódása után a sima, de képlékeny lávamáz szerű felszín a saját súlyánál fogva lefelé kúszik, melyet a lefelé hajló lávaredők is jeleznek

Az Aðaldalshraun lávamezőn, Síflaekur tanyától délre található hornító aljzata kötélfontos, gyűrődött felszínű lávafolyásból áll. A lávaredők a hornító központjára koncentrikusak, amely arra utal, hogy a hornító kialakulásának utolsó szakaszában a felnyomuló láva már gáztalanodott és kiömléses jellegűvé vált

Mivel a hornitók kialakulása gyakran vizes területekhez köthető, ezért a forrásuktól távolra jutott lávamezőkön található hornitók az egykori nedves ösföldrajzi környezeti viszonyok jelzői lehetnek és a lávafolyás korának megállapításával viszonylag pontosan meg tudható az egykori nedves terület eltűnésének az ideje is.

## 6. Kéregalatti-bazaltláva-barlangok

A pahoehoe típusú bazaltláva-folyások fokozatosan megszilárduló kérgé alá benyomuló és ott felhalmozódó folyékony láva által megemelt, illetve felboltozott plasztikus és szilárd halmazállapotú bazaltláva-kérgék alól - a szakirodalomból már ismert okok következtében - a folyékony lávazóna teljes, vagy részleges kiürülésével barlangok alakulnak ki.

Az így keletkezett barlangok átlagosan 10-50 cm-es mélységben, közvetlenül a szilárd felszíni kéreg alatt húzódnak ezért megkülönböztetésükre a "kéregalatti bazaltláva-barlang" elnevezést javaslom, amely elnevezés nincs ellentmondásban azzal, hogy az eltérő genetikájú fa-öntőforma-barlangok, vagy a lávaalagút barlangok némely típusait (pl. felszíni lávaalagút) egyes esetekben szintén hasonló vastagságú kéreg választja el a felszíntől.

A lávafolyások felduzzadásának különböző módozatai miatt bennük a folyékony láva is eltérő formákban gyülemlik fel. A különböző formájú folyékony lávárészek lecsapolódásával a kéregalatti-barlangok különféle morfológiájú típusai alakulnak ki.

### *A kéregalatti-barlangok kialakulásának egyik fő feltétele: a lávamező felső kérgének plasztikus zónája*

A pahoehoe lávamezők felső kérgének alsó (a külső szilárd kéregrésztől alul és a folyékony zóna felett húzódnak) plasztikus halmazállapotú zónájának különösen fontos szerepe van abban, hogy a láva nagyobb mértékben képes felduzzadni. Ez a nagy szakítószilárdságú plasztikus zóna nem törik, hanem a belül felgyülemelő folyékony láva nyomásával szemben tartja az alakját. A kéreg alá injektálódó folyékony láva belső hidrosztatikai nyomásának további fokozódásával is a plasztikus zóna inkább hajlik, nyúlik, vagy kis mértékben folyik, miközben szakadás és törés nem keletkezik benne. E tulajdonságainak köszönhetően a plasztikus zóna megakadályozza az általa körbezárt felgyülemelő folyékony láva felszínre nyomulását. Így a folyékony láva nem, illetve csak egyes helyeken jóval kisebb mértékben préselődik ki a felső merev berepedezett zóna hasadékaiban keresztül a felszínre, és tovább gyűlve a felszíni kérget belülről tovább emeli.

### *A kéregalatti-bazaltláva-barlangok és a lávaalagút-barlangok fő morfogenetikai különbségei és ezek okai*

A megemelt, illetve felboltozott bazaltláva kérgék alatt keletkező kéregalatti barlangok térfogata - a lávaalagút barlangoktól eltérően - közel azonos a kéreg alól kiürülő láva térfogatával (a kiürülés után a kéreg, alátámasztás híján, még valamennyit süllyedhet, befelé hajolhat, illetve berogyhat), míg a lávaalagút-barlangok a térfogatukat jóval nagyobb mértékben meghaladó térfogatú és nagyrészt közel horizontálisan folyó láva elvezetését biztosítják. Mivel a kéregalatti bazaltláva-barlangok - a lávaalagút barlangokkal ellentétben - a lávafolyás egyéb részeiről érkező folyékony lávát jelentős mennyiségben nem vezetnek el, így a barlangfalaik oldalaiban nincsenek, vagy elhanyagolhatóak a láva áramlására utaló - a lávaalagút-barlangokra jellemző - nyomok, mint például a láva áramlási irányával párhuzamos lávakarcok, lávaszínlök illetve a vonszolódási nyomok.

Amennyiben a lecsapolódás szakaszosan történik, akkor a kéregalatti bazaltláva-barlangok kialakulásakor a süllyedő, döntően vertikális mozgást végző olvadt láva a felszínének szilárdabb kéregrészeivel a még plasztikus oldalfalakba inkább függőleges karcokat vájnak.

### *Nyomásplató-barlang*

A felduzzasztott pahoehoe típusú bazaltláva-folyásoknak a környezetükhöz képest platóvá megemelt kéregrészei alatt kialakult nyomásplató-barlangok alacsony átlagmagasságúak (0,5-1,5 m), a lávamező felszínével és a felső kéreggel párhuzamosan 5-10-15 m kiterjedésűek, kissé ívelt boltozattal, a lávalecsapolódás irányában csak kis mértékben elnyúlt formájúak. A kéreg alá benyomuló folyékony láva a nyomásplató horizontálisan nagyobb kiterjedésű felszíni kérgé valamint a - folyékony zóna alatt található - pasztikus/szilárd átmeneti lávazónával kapcsolódó lávafolyás előtti felszín között, azok „szorításában” halmozódik fel. A felduzzadáskor a belső folyékony zóna terjedése e zónákkal párhuzamos irányokban, azok mentén oldalirányban igényel kisebb energiát és lecsapolódásakor – a helyben maradt, vagy kisebb mértékben lesüllyedt kéreg alatt - keresztmetszetükben lapos, lencse formájú barlangokat hagy maga után.

A nyomásplató-barlangok nagyobb eséllyel azokon a helyeken alakulnak ki, ahol már a lávafolyás előtti felszínen eredetileg is sekély, tál alakú mélyedés volt. A kéreg alatt egyenesen süllyedő folyékony láva ezeken a helyeken nagyobb mértékben eltávolodhat a kéregtől.

A kéreg alatt a folyékony láva lecsapolódása, süllyedése - így a barlang kialakulása - gyakran több szakaszban történik. Erre utalnak a nyomásplató-barlangok oldalfalain látható akkréciós lávapalockok, amelyek a húzamosabb ideig (néhány óráig, vagy esetleg napig) a barlangban stagnáló szintű láva felszínén kialakult kéregnek az oldalfalához való forradásával képződtek. A folyékony láva több ütemben történt süllyedésekor kialakult nyomásplató-barlangok oldalfalainak függőleges szakaszai hosszabbak (20-80 cm), így keresztmetszetükben e barlangok nem lencse, hanem inkább lapos téglalakúak. Szintén a láva szakaszos süllyedéséről árulkodnak az aljzat kérgének 10-45 ° szögben a barlang belseje felé dőlő táblái, amelyek egykor a már egy bizonyos szintig lesüllyedt folyékony láva felszínén képződtek, majd az alattuk húzódnó folyékony láva újabb süllyedésekor alátámasztás híján törtek össze és billentek le.

A nyomásplató barlangok boltozatát alkotó felszíni kéreg – az eltérő hűlési sebességek miatt - nem egyenletes vastagságban fejlődik ki (10 és 50 cm között változik). A helyi kéreg-megvastagodásoknak egyik oka az, hogy a kérgen a lávafolyás felduzzadása során a kéreg felfelé hajlítása miatt vagy a hűlésből eredő összehúzódás következtében hasadékok képződnek. A hasadékok, repedések környezetében a kéreg nagyobb mélységig hűl le, és ebből adódóan ezeken a helyeken vastagabb szilárd kéregrész képződik, melyeket az alóluk lecsapolódott folyékony láva eltávoztása után a hullámos mennyezet 5-20 cm-el lenyúló gerincvonulatai és „hullámhegyei” jeleznek

A nyomásplató barlangok-feltárulása szingenetikusan többféle módon történhet: 1.) a barlangok felett húzódnó vékony kéreg hűléses eredetű összehúzódásakor keletkezett repedések mentén beomlik. 2.) már a lecsapolódással egyidejűleg lesüllyednek egyes kéregrészek, melyek a boltívesebb, statikailag jobb megtartású helyben maradt kéregrészek alatt kialakult barlangot így feltárják. 3.) amikor a nyomásplató-barlang lecsapolódásakor a folyékony láva oldalirányban, illetve felfelé áramolva a felszínre nyomul, úgy a kifolyó láva felszínén – a kiömlő izzó láva súrlódásos és olvasztó eróziója miatt - csak vékonyabb felszíni kéreg képződik. Ez a vékony kéreg a lecsapolódást követően beszakad, és így oldalirányból feltárja a már kiürült vastagabb kéreg-mennyezetű barlangot.

Az e típushoz tartozó barlangokat az izlandi Stromparhraun, Hallmundarhraun és Illahraun lávamezőkön vizsgáltam.

### *A tumulusz-barlangok kialakulása*

A tumulusz-barlangok létrejöttének legfőbb feltétele a megfelelő tartóerővel rendelkező kéregkupola. A lávafelduzzadással kiemelkedő kéregkupola már megszilárdult külső palástját repedések és hasadékok tagolják, ezért a külső szilárd és törékeny zóna alatt levő hajlékony, de már kellően jó megtartású plasztikus kéregzóna lesz az, ami megakadályozza a lecsapolódással üregekké váló tumulusz boltozatának a beomlását. Vékony plasztikus kéregrész nem lesz képes megtartani a kupola külső, szilárd hasadozott tetőzetét a lecsapolódás után. A túl vastag plasztikus kéregzónát viszont az alsó láva-felhalmozódás nem lesz képes olyan mértékben felpúpozni, hogy alatta a későbbi lecsapolódással barlangméretű üreg képződhessen. Az ideális vastagságú plasztikus kéregrész számottevő meghajlításkor sem törik, felboltozható, illetve emellett megfelelő tartóereje is van, és a lecsapolódással járó belső lávanyomás (az alátámasztás) csökkenésével sem süllyed számottevő mértékben. Ezért a lávamező hülésekor a felszíni kéreg plasztikus zónájának tehát megfelelő vastagságot kell elérnie, még mielőtt az alatta húzódnó folyékony zóna lecsapolódik.

A tumulusz-barlangok kialakulása a következők szerint történik: A pahoehoe-lávafolyás egy felszíni mélyedés felett nagyobb vastagságban halmozódik fel. A mélyedésben felhalmozódott vastagabb láva nagyobb hőkibocsátása következtében annak felszíni kérgé vékonyabb a környező kéregrészekhez viszonyítva. A láva további kéreg alá történő injektálásával (a felduzzadásával) a mélyedés feletti kéregrész a kisebb ellenállása miatt gyorsabban emelkedik a környező kéregrészekhez képest. Az alatta húzódnó vastagabb izzó lávaréteg miatt lassabban hűlő, így vékonyabb (kisebb kérgellenállású) plasztikus és a külső szilárd kéregrész együtt kupolaszerűen felpúpozódik. E felboltozódás során a plasztikus rész ívesen meghajlik, míg a külső szilárd kéregzóna törik és lefelé szűkülő hasadékok keletkeznek benne, melyek azonban csak a plasztikus zónáig hatolnak. A kéreg alatt a folyékony láva további felhalmozódásával, a fokozódó belső lávanyomás következtében a plasztikus zóna is átszakadhat, felhasadhat. Ezekben az esetekben a nyomás alatt levő folyékony láva a hasadékokon felpréselődik és ráömlik a merev, repedezett, hasadozott lávafelszínre. Ezek az úgynevezett láva-felpréselődések, de találó név rájuk a „lávabuzgár” is. A láva-kipréselődés hatására csökken a folyékony zóna alulról történő feszítő nyomása, ezért ezzel egyidejűleg a kéreg süllyedni kezd és súlyával nyomva a folyékony részt, fokozza annak a felszínre préselődését. A lávabuzgárok által a felszínre juttatott folyékony láva a felszínen kihűl és megszilárdulva kívülről vastagítva hozzáferr a kéreghez, így azt statikailag is jelentősen megerősítheti. Ez hasonló ahhoz a folyamathoz, ahogy az inuit (eszkimó) emberek a firn- illetve jégtéglákból épített jégkunyókat, az igluk kupolás tetejére vizet locsolnak, hogy az ráfagyva eltömítse a firn/jégtéglák közti réseket és egységes burokként jobban szigeteljen, de ez által statikailag is jobb megtartású lesz a kunyhókat.

Az e típushoz tartozó barlangokat az izlandi Stromparhraun, Hallmundarhraun és Hafnasandur lávamezőkön és a Heimaey-szigeten vizsgáltam.

### *Oldalgerinc-barlang és lávanyelverinc-barlang*

Laposabb medencékbe, illetve völgyekbe benyomuló felduzzasztott pahoehoe típusú lávamezők lávanyelveinek folyékony lávamága amennyiben lejtésirányban lecsapolódik, úgy a felső lávakéreg középső területei alátámasztás híján besüllyednek, melynek következtében a süllyedés során összetört kéregtáblák befelé dőlnek. A süllyedéskor a lávanyelv feltört kérgének külső, vastagabb peremi részei azonban helyben maradhatnak. E folyamat ered-

ményeként a lávanyelv peremi területein a kéreg táblái egymással ellentétes irányban dőlnek és egymásnak támaszkodnak. Amennyiben az így kialakult oldalgerincek, illetve lávanyelvgerincek kérgé alól a folyékony láva kiürül (és a belső kéregzóna süllyedésekor nem préselődik beléjük olyan láva, ami eltömítené őket) úgy bennük a kéreg omlásaival egymástól elválasztott – lávanyelvgerinc-barlangok, míg az oldalgerincek belsejében oldalgerinc-barlangok sorozata alakul ki

Az e típushoz tartozó barlangokat az izlandi Leirhnjúkshraun lávamezőn vizsgáltam

### **7. Lávakéreg-turolás-barlang**

A lávafolyások felszíni kérgének megemelkedése nem csak a kéregalatti lávafelduzzadás eredménye lehet. A kéreg alatt a folyékony láva áramlása a felső kérget is magával sodorja. Abban az esetben, amikor a felső szilárd kéreg valami miatt elakad (vagy valamilyen okból lassabban mozog), de az alatta mozgó láva nem áll meg, illetve gyorsabban áramlik, akkor az a kéregre keltett horizontális nyomása által a felső plasztikus és szilárd kéregzónát feltöri, és az így képződött kéregtáblákat megbillenti, feltorlaszolja, aminek következtében a felszíni kéregben térrövidülés történik. Az így feltorlaszolt kéregtáblák a folyásirányra merőleges gerincszerű vonulatokat, turolásokat alkotnak. A lávakéreg-turolások megbillenő kéregtáblái felemelkedve elválnak a folyékony lávazónától, melynek következtében az egymásra dőlő, támaszkodó táblák alatt a folyásirányra merőleges turolás-vonulatokban barlangok alakulnak ki.

Az e típushoz tartozó barlangokat az izlandi Vogahraun, Leirhnjúkshraun lávamezőkön és a Heimaey-szigeten vizsgáltam.

### **8. Gázhólyag-barlangok**

#### *Gázhólyag-barlangok bazaltládákban*

Azokban az esetekben, amikor a magma gyengébb állékonyságú kőzetek közé egy hasadékban nyomult fel, akkor az így létrejött szilárdabb bazaltládák később kireparálódhat a környezetéből, feltárva a benne rejlő gázhólyag-üregeket, melyre példát az izlandi Dyngjufjöll hegységben figyeltem meg.

#### *A gázhólyag-barlangok feltárulása és az eredeti valamint a látszólagos méreteik közti különbség egyik oka*

Mélyen a lávafelszínek alatt, illetve még a magmában képződött gázhólyag-barlangok csak ritkán tárulnak fel. Ha ez mégis megtörténik, az egyúttal a szingenetikusan kialakult formájuk pusztulását is jelenti. A gázhólyag-üregeket Izland lávafolyásokból álló kanyonjaiban a gleccserfolyók, valamint az óceánpartokon az abrázió tárhatja fel, de hamarosan ugyanazzal a tevékenységével el is tüntetheti, illetve a felismerhetetlenségig átalakíthatja azokat

A gázhólyag-üregek közvetlen közelében a befogadó kőzet gyakran sűrűn repedezett, aminek következtében az gyorsabban kipereg a gázhólyag-üregek körül. Ezért gyakran túlbecsülhetjük az ilyen módon megnövekedett átmérőjű gázhólyag-üregek valódi, eredeti méretét

### *Gázemeléses kéregalatti-barlang (kéregalatti gázhólyag-barlang) kialakulásának feltételei*

A pahoehoe típusú bazaltláva-folyások, vagy lávatavak felszíni kérgét felboltozó gázhólyag-barlangok kialakulásakor több feltétel együttes – ritkán előforduló - találkozására van szükség. A relatíve viszkózusabb, pasztikus felszíni kéreg jelentősen gátolhatja, illetve megakadályozza az alatta felhalmozódó gázok felszínre jutását. A pasztikus kérget az alatta felgyülemelő gázok feszítőereje alulról nyújtva felfelé boltozza, azonban a még nyúlós kéregben olyan repedések és hasadékok, amelyeken a gázok elszökhetnek, nem képződnek. Ez lehetővé teszi azt, hogy a kéreg alatt a gázok jelentősebb mértékben összegyűlhessenek és akár barlang méretű teret is kialakítva szétválasszák egymástól az alsó folyékony zónát a felfelé boltozódó külső pasztikus kéregtől. A felboltozódott pasztikus lávakéreg csak álló, vagy igen lassan mozgó, leginkább a felduzzasztott pahoehoe láva-, vagy lávatavak felszínén maradhat fenn. A mozgó láva ugyanis összegyűrné és széttroncsolná a még képlékeny állapotban levő felszíni gázhólyag-burkot. Amennyiben a gázakkumuláció keltette kéregemelés időben elég tartós ahhoz, hogy a kialakult gázhólyag megemelt kéregboltozata megfelelő mértékben megszilárdulhasson, akkor az a gázok eltávolítását követően, az alátámasztást biztosító nagyobb gáznyomás hiányában sem omlik össze. A folyékony lávazónában a felfelé szálló majd a kéreg alatt egyesülő és felhalmozódó gázbuborékok a nagyobb vastagságú és felső szilárd zónával is rendelkező kérget már csak kis mértékben képesek megemelni. Ilyenkor a gázakkumuláció a későbbi üreget döntően a kéreg alatt oldalirányban, illetve lefelé terjedve, a folyékony zónában alakítja ki

A gázemeléses kéregalatti barlangok a tumulusz-barlangoknál vékonyabb kéreggel rendelkeznek, kisebbek és kevésbé tartósak, ugyanis legtöbbször már a kihülés során keletkező kontrakciós hasadékok mentén berognak, illetve összeomlanak.

Az e típushoz tartozó barlangokat az izlandi Leirhnjúkshraun lávamezón vizsgáltam.

### **9. Abráziós barlangok kialakulása és formakincse különböző kőzetszerkezetű bazaltlávákban**

Amennyiben a tengeri eróziós hatótényezőkkel szemben a bazaltlávák gyorsabban pusztuló kőzetrészeket állékonyabbak veszik körül, úgy bennük a tengeri abráziós folyamatok koncentráltan, relatíve nagyobb határfokkal működnek és megindul az abráziós barlang képződése.

A bazaltlávák kőzetszerkezeti viszonyai határozzák meg a bennük tengeri abrációval kialakított barlangok formakincsét.

Az azonos anyagi felépítésű bazaltlávák kőzetszerkezeti viszonyai attól függően alakulnak ki, hogy adott időegység alatt mekkora tömegben milyen hőmérsékletű, nyomású és halmazállapotú közegbe (pl. levegő, vagy víz) ömlenek. Az eltérő kőzetszerkezet ezért egy adott időben jellemző, akár kis helyen is eltérő kiömlési, illetve kitörési környezetre utalhat, így az abráziós barlangok tanulmányozásakor az adott barlangot befoglaló kőzetek képződésének idején egykor uralkodó ösföldrajzi viszonyokra is hasznos információkat kapunk.

#### *Oszlopos elválású bazaltlávában*

Az abráziós barlangok kialakulása szempontjából különösen ideálisak azok a berepedezett kőzetzónák, amelyek függőleges, illetve közel függőleges repedésekkel határolt kolonádokat alkotnak, illetve ezek felett entablatura helyezkedik el. Abráziós hatásra az oszlopok akár több m<sup>3</sup>-es darabjai is belezuhannak, vagy dőlnek a tengerbe, különösen viharok



idején, így ebben a zónában a barlang gyorsan növekszik. A bazaltoszlopok azon részein törnek el könnyebben, ahol az oszlop hosszstengelyére merőleges repedések, vagy azt előidéző kristályelrendeződések vannak. A barlang felharapódzása legnagyobb eséllyel azonban az entablatúrában áll meg. Itt ugyanis a jóval szabálytalanabb és sűrűbb repedéshálózatú lávában, az egymásba kapaszkodó kőzetrészek által nagyobb eséllyel alakulnak ki statikailag jobb megtartású - döntően felfelé széttartó repedezetségű - részek. Így az entablatúrában alakul ki az abráziós barlang gyakran íves boltozata, míg közel a függőleges oldalfalait a feltártult oszlopok adják

Az e típushoz tartozó barlangokat az izlandi Arnarstapi és Hellnar, valamint Reynishöfn partvonalán vizsgáltam.

#### ***Szabálytalan repedéshálózatú bazaltlávában***

E barlangok szabálytalanul sűrűn repedezett kőzetkörnyezetének a barlangfalak irányába lefelé széttartó repedésirányai idézik elő a köztük levő kőzetdarabok kihullását. Mivel a repedésirányok kis területen is erősen változó mértékűek, ezért a kipergés általi barlangnövekedés sebessége és annak irányai jóval esetlegesebbek, véletlenszerűbbek, mint a szabályosan repedezett láva esetében, melynek következtében e barlangok formája is szabálytalan lesz

Amennyiben a szabálytalan repedéshálózatú tömör bazaltlávát a tengeri hullámzás irányára közel párhuzamos irányban újabb, dominánsabb tektonikus repedés metszi át, úgy az mentén az abrázió hatékonyabban működik, és a partra merőleges hosszú, keskeny, szabályosabb alaprajzú barlangot alakít ki az új repedés szabálytalanul repedezett kőzetkörnyezetének ily módon irányítottá vált kihordásával.

Az e típushoz tartozó barlangokat az izlandi Hraunsvík, Dritvík, valamint Dyrhólaey partvonalán vizsgáltam.

#### ***Bazaltláva-folyások szingenetikus barlangjainak abráziós feltárulásával és továbbformálásával***

A bazaltvulkáni kőzetekből álló sziklás tengerpartok abráziós eredetű hátrálásakor a kőzetben szingenetikus üregek és barlangok tárulhatnak fel és formálódhatnak tovább abráziós hatásokra. Az izlandi Heimaey szigeten a part közelében kialakult lávaalagút-barlangot tárta fel a tengeri abrázió és jelenleg tovább formálja. Szintén e szigeten egy 52 m magasságú, egymásra települt pahoehoe-lávaárból felépült sziklafal tetején egy tumulusz-barlang abráziós hatásra bekövetkezett, a parti sziklafallal párhuzamos repedés mentén történt om-lással tárult fel. Abráziós hatásra az izlandi Ísafjörður fjordban fa-öntőforma üregek, míg Dyrhólaeyben gázhólyag-barlangok tárultak fel.

#### ***Bazaltláva-deltában***

Az izlandi Dyrhólaey 25m magas sziklafala tövében vizsgált abráziós barlang egy tömör láva- és lazább szerkezetű hidroklasztitos lávarétegekből váltakozóan felépült lávadelta rétegsorába mélyült, amelyet később egymásra települt tömör lávarétegek borítottak be. Ebben a rétegsorban a befelé kiöblösödő abráziós barlang kialakulását, az alábbiakban leírt, több kőzettani előfeltétel együttes megléte tette lehetővé: 1. hülési repedésekkel átjárt tömör, kis dőlésszögű lávarétegek, melyek elég vékonyak ahhoz, hogy abráziós hatásra felszakadjanak. E lávarétegek az aktív abráziós barlangba nyomuló tengervíz nyomóerejének, illetve

a lávarétegek hasadékaiba bepréselt és a benyomult víz visszahúzódásával robbanásszerűen távozó levegő „ékesítő-robbantó” erejének együttes hatására, alulról törtek fel. 2. a lávarétegek közé települt, vastagabb, de lazább szerkezetű, töredezettségű (hidroklasztos) lávarétegek, melyekben a barlang gyorsabb, hatékonyabb tágítása zajlott. 3. a lávadelta tömör lávarétegei az abráziós partfaltól befelé haladva kivékonyodóak, míg a lazább lávarétegek kivastagodóak. Ezért a benyomuló tengervíz és a bepréselődő levegő a sziklafaltól beljebb, a váltakozó rétegsor belső részeiben tágította eredményesebben a barlangot, illetve a tömör lávarétegeket a barlang belsejében szakította fel alulról hatékonyabban. Ennek következtében a barlang befelé kiöblösödik. 4. a barlang mennyezetének stabilitását az alulról fel nem szakított és egyben a mennyezetet alkotó lávarétegek adják. 5. az oldalfalak stabilitása a már felszakított lávamennyezet-rétegeknek az oldalfalakban maradt és helyenként párkányokká preparálódott részeinek köszönhető, amelyek mint „merekítő vázak” megakadályozzák az oldalfalak beomlását.

#### ***Bazaltvulkáni agglomerátum, vagy lazább szerkezetű (aa) láva, tömör bazalt közül való kihordódásával***

A tömör lávába zárt törmelék, vagy aa láva gyakran teljes mértékben kihordódik, a tengeri erózió hatására. Ilyenkor a kialakuló abráziós barlang formája - az eddigi példáktól eltérően - nem a bezáró látatömeg repedésirányaitól, hanem az egykoron láva által körbefolyt laza törmelék alakjától függ, melynek abráziós kihordódásával a barlang alakja annak mintegy negatív lenyomatát képezi

Az e típushoz tartozó barlangokat Csedzsü-sziget (Dél-Korea), valamint izlandi Hraunsvík partvonalain vizsgáltam.

#### ***Párnalávában***

Az izlandi Valahnúkar hegy abráziósan pusztuló sziklás tengerpartján feltárt párnaláva-összletben, egy nagyobb repedés mentén növekedésnek indult abráziós barlangot vizsgáltam. Az üveges szerkezetű párnaláva kéreg-héjak a legjobb megtartású részei a párnaláva-összletnek. A tengeri erózió hatására e kerek, íves, szilárd gömbhéjak közül a párnaláva-lebenyek belső, sugárirányú elválási felületei közül pereg ki a bazaltanyag. Az üveges kéregrészeknek ezért nagy szerepük van az abráziós barlang falának stabilitásában, mivel mintegy merevítő, omlástól védő hálóként, fogják össze a köztük levő repedezett, laza anyagot. Így, adott eróziós körülmények között az üveges külső párnaláva-héjak lapjainak az irányultsága valamint a kipergő, töredezett lāvapárna-belső repedésirányai határozzák meg a kialakuló barlang alakját.

#### ***Bazaltdájkban***

Az izlandi Hraunsvík öböl partvonalán feltárt, hidrovulkáni tufában kialakult bazaltdájkban alsó részének abráziós pusztításában a hullámzás által a sziklafalnak csapódó 20-70 cm átmérőjű abráziós sziklagörgetegeknél van elsődleges szerepe. Az így létrejövő alsó anyagihiány felett a bazaltdájk felsőbb részén a hülési repedésekkel elválasztott kőzetdarabok is kirázódnak és a hasadékfalakra merőleges repedések mentén elválva behullnak a tengerbe, melynek hatására barlang mennyezete a bazaltdájkban felfelé harapódzik a hidrovulkáni tufa mentén. A bazaltdájk hülési repedésekkel elválasztott 8 x 30 cm, illetve 12 x 50 cm-es darabjai hullnak ki. E folyamat következtében a keményebb anyagból álló tö-

mör, de hülési repedésekkel elválasztott tömbökből álló bazaltládák hordódi ki gyorsabban, mint a környezetét alkotó lazább szerkezetű hidrovulkáni tufa.

#### **10. Folyóvízi eróziós barlangok kialakulása és formakincse különböző kőzetszerkezetű bazaltlávákban az izlandi Jökulsá á Fjöllum bazaltkanyonjában**

Az izlandi Jökulsá á Fjöllum gleccserfolyó 2500 évvel ezelőtti gigantikus áradása által kialakított bazaltkanyonjában található barlangok képződésének hidrológiai, eróziós, kőzetszerkezeti feltételeit, illetve a kőzetszerkezettől függően folyóvízi eróziós hatásokra létrejött barlangok morfológiai sajátosságait vizsgáltam.

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.

A Jökulsárgljúfur kanyon falaiban a barlangok a folyó mai szintjéhez mérten változatos magasságokban tárultak fel. 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 nincs a kanyonfalak hátrálásából származó nagyobb mennyiségű omladék, ugyanis azt a folyó elszállította.

A kanyon barlangjai közvetett úton, vagyis a pusztító áradás levonulása után is feltáruhattak, amikor az instabillá alakított kanyonfalak a fagyaprózódás segítségével történő további hátrálásával, nyitják fel ezen üregeket, akár több száz évvel az áradás után. Ez esetekben a feltárukt barlangok környezetében jelentősebb mennyiségű omladéknak kell lennie.

#### ***Breccsás zóna feletti oszlop elválású bazaltlávában***

A bazaltláva-folyások felső és alsó zónáját alkotó szabálytalan repedezetségű breccsás részek a folyóvízi erózióval szemben kevésbé ellenálló részeiben a folyó hatékonyabban mélyíti medrét, melynek hatására - amennyiben a felettük levő kolonnád oszlopsora nem omlik tovább - a kanyon oldalfalain a lávafolyások (ál)dőlési irányával párhuzamosan megnyúlt, alacsony barlangok képződnek. Az így kialakult barlangok felett húzódó kolonnád 50-80 cm átmérőjű oszlopait azonban legtöbbször a hossz tengelyükre merőleges - az oszlopok kialakulásakor a szakaszos összehúzódás következtében preformált - repedések is tagolják, melyek mentén elválva az oszlopok egyes részei kihullhatnak. Ílymódon a barlang mennyezete feljebb harapódzva a kolonnádban tovább tágul. Amennyiben az oszlopok az alsó anyaghiány miatt teljes hosszukban kihullnak, akkor a növekvő barlang boltozatát a kolonnád felett húzódó entablatura állékonyabb részei alkotják. Az entablaturában a hülési repedések irányai nem párhuzamosak, ezért ebben a zónában az oszlopok hajlott formájúak, melynek következtében nagyobb eséllyel alakulnak ki köztük statikailag állékonyabb részek. 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, míg az áradások során a kanyon oldalfalainak gyorsabb hátrálása, a breccsás zónák által alámélyített kolonnádokban történt.

### ***Szubvulkáni kőzettest relatíve töredezetebb részének kihordásával***

A Jökulsá á Fjöllum nyugati partjától 200 m távolságban, az egykori áradás által elhagyott egykori mederaljzatban található Kirkjan-barlang a 2500 éve lezajlott jökulhlaup által feltárt kúp formájú magmás/szubvulkáni intrúzió belsejében, annak kupolaszerűen meghajlott kolonnája alatt és felett korábban elhelyezkedett, kisebb ellenálló képességű, sűrűn repedezett kőzetrészek áradás által történt kihordódásával keletkezett.

### ***Tömör bazaltba ágyazódott, áthalmazott, gyengébb állékonyságú, törmelékes bazalt-agglomerátum, valamint összecementált bazaltkavicsok és görgetegek kihordásával***

A Jökulsá á Fjöllum keleti partján található a Tröllahellir barlang a környezeténél jobb állékonysággal rendelkező, így a folyóvízi erózió hatására lassabban hátráló kőzettömegben található gyengébb állékonyságú, törmelékes bazalt-agglomerátum, valamint összecementált bazaltkavicsok és görgetegek gyorsabb fluviorapációs eróziójával, illetve az így keletkezett anyaghianyba a hülési repedésekkel elválasztott nagyobb bazalttömbök kihullásával keletkezett. Ezt bizonyítják a Tröllahellir barlang oldalfalain és mennyezetén folyóvízi koptatás eredményeként lekerekített bazaltkavicsok (5-10 cm átmérőig) és görgetegek 40 cm átmérőig). 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 nyugati partjának közelében a 2500 évvel ezelőtti áradással a kőzetkörnyezetéből kipreparálódott sziklaalakzatban a folyó szintjétől 20 m magasságban található, lencse alakú Gloppa barlang, amely a Tröllahellirhez hasonlóan, tömör bazaltba ágyazódott, lazább szerkezetű, e helyre áthalmazódott bazaltvulkáni agglomerátum, illetve ezzel vegyes folyóvízi kavics és görgetegtömegnek az áradó Jökulsá á Fjöllum általi kihordásával keletkezett. A több csúcsi kútból álló eróziós sziklatorony, vagy inkább „eróziós sziklavár” egyik alacsonyabb tornya alatt egy kisebb, a Gloppához hasonló módon keletkezett barlang található. A két - korábban valószínűleg egybefüggő - barlang között beszakadással keletkezett, oldalirányból zárt, üstformájú térben a 2500 évvel ezelőtti áradás döbbenetes méretű folyóvízi görgetegei rekedtek csapdába, melyek nagy valószínűséggel a Gloppa barlang kiválásában is közreműködtek. A Gloppa barlang mennyezetének nagyobb felülete omlásokkal egyre feljebb harapódzik, azonban a mennyezet 1/3-ad részét még a bazaltfalakhoz tapadt - a ráömlő forró bazalt érintkezési (kontakt)zónájában összesült, így ebből következően jobb állékonyságú - áthalmazott bazaltvulkáni agglomerátum és bazaltkavicsok elegye alkotja, amelyek meggátolják a felettük húzóódó hülési repedésekkel átjárt bazalt leomlását.

### ***Gázhólyag-barlang feltárásával és eróziós továbbformálásával, valamint a hozzá kapcsolódó piroklasztitok kihordásával***

A Jökulsárgljúfur kanyon nyugati oldalában található barlang első szakasza egy feltárt gázhólyag-barlang. A 2500 évvel ezelőtti jökulhlaup áradása miután feltárta a barlangot, áttört egy piroklasztitos összletbe és abban a barlangot befelé és felfelé jelentősen kitágította. Az áradás itt egy egykor működött lávaszökőkút, fröccs-kúp, vagy salakkúp felszínalatti részeit tárta fel, amely úgy keletkezett, hogy a láva vizes területre folyva a meg-növekedett vízgőztartalma miatt a felszínre tört. A kitörés végén a kürtő összesült piroklasztitokkal

eltömődött, amely alatt a vízgőz-keletkezés helyén az áradás által történt feltárulásáig megőrződhetett a gázhólyag-barlang.

## **11. Tektonikus hasadékbarrangok**

### *Barlangok kialakulása tektonikus hasadékok utólagos befedésével*

Az Izlandot ÉK-DNY-i irányban átszelő divergens törési zóna, felszíni bazaltláván létrejövő tektonikus eredetű hasadékok 10-15 méter mélyek is lehetnek. Felső részük beomlása, illetve az omláson megtelepedő vastag, tözeges, mohával fedett talaj az így kialakult keskenyebb, viszont mély hasadékok közül többet is befedhet, amelyek így barlanggá alakulnak. Az ily módon történő hasadéklefedés vulkano-tektonikai eredetű hasadékoknál is létrejöhet, ahol hasadék lezárását okozhatják a vulkáni működés során a felszínre visszahulló piroklastok (agglutinát, salak) is.

Az e típusúhoz tartató barrangokat az izlandi Leirhnjúkshraun lávamezőn vizsgáltam

### *Lezőkkenéses eredetű tektonikus árkok peremi hasadékszónájában kialakult hasadékbarrangok*

Az Izlandot átszelő divergens lemezhatáron működő belső széthúzó erők hatására kialakult fő törészóna keresztülhalad a Vogahraun lávamezőn is, ahol ennek következtében a belső húzóerők hatására egy széles, lesüllyedésses árok alakult ki. E lezőkcent kéregrészből kialakult árok nyugati peremén húzóató vetőzónában több méter széles és több száz méter hosszú párhuzamos hasadékok keletkeztek. Ebben a zónában az árok peremi közettömbjeinek lebillenése folytán keletkezett - lefelé kiszélesedő, „A” keresztmetszetű - felszínelatti hasadékok helyenként barrangméretűvé nyíltak. A Grjótagjá barrang egy ilyen lefelé kiszélesedő hasadék felső részének felszakadásos eredetű továbbformálódásával jött létre, melynek során a hasadék felső, korábban keskenyebb részének, lefelé széttartó irányú repedésekkel elválasztott kőzetkörnyezete beomlott a hasadék alsó, lefelé szétnyíló szélesebb részébe. Ez az omlásos eredetű tágulás már a tektonikus árok kialakulásával egyidejűleg bekövetkezhetett.

Izland nagyszámú tektonikus eredetű lezőkkenéses árkaikak peremén a Grjótagjá barranggal megegyező módon kialakult jellegzetes hasadékbarrang-típus számos példáját vizsgáltam a Leirhnjúkshraun lávamezőn, valamint a Mygludalir tektonikus árok peremén, például a Vatnhellir hasadékbarrangot.

#### A disszertáció alapjául szolgáló tanulmányok:

- GADÁNYI P. 2007: *Bazaltláva barlangok morfogenetikai típusai Izlandon*. Karszt és Barlang 2006. I-II. pp.19-32.
- GADÁNYI P. 2007: *Balázs Dénes kutató munkássága a lávabarlangok területén*. Karsztfejlődés XII. pp.13-24.
- GADÁNYI P. 2007: *Lávasztalaktitok és lávasztalagmitok a Viðgelmir lávaalagút-barlangban*. Karsztfejlődés XII. Szombathely, 2007. pp. 361- 378.
- GADÁNYI P. 2008: *Formation and locations of lava stalactites and lava stalagmites in the Viðgelmir lava tube (Iceland)*. Carpathian Journal of Earth and Environmental Sciences, Vol. 3, No. 1, pp. 65-73.
- GADÁNYI P. 2008: *Tengeri abrázios barlang képződése hialoklasztitos lavadelta rétegsorban*. A Nyugat-magyarországi Egyetem, Savaria Egyetemi Központ Tudományos Közleményei XVI. 2008, pp. 59-71.
- GADÁNYI P. 2008: *Caves under uplifted surface crusts of basaltlava flows*. In: Proceedings of the 10th International Symposium on Pseudokarst, Gorizia, Italy, pp. 119-126.
- GADÁNYI P. 2008: *Sea cave development in an alternating sequence of nearly horizontal basaltic hyaloclastite- and lava layers in Dyrhólaey, Iceland*. Cadernos Lab. Xeolóxico de Laxe, Coruna, Spain, Vol. 33, pp. 155-165.
- GADÁNYI P. 2008: *Folyóvízi erózió által kialakított barlangok bazaltlávában*. Geographia generalis et specialis, Debrecen, 2008, pp. 175-182.
- GADÁNYI P. 2008: *Hornito caves on the Aðaldalshraun lava field, Iceland*. In: The 13th International Symposium on Vulcanospeleology, September 1-5, 2008, Jeju Island, Republic of Korea, pp. 20-21.
- GADÁNYI P. 2008: *Research work into lava caves of the Hungarian geographer Dénes Balázs*. In: Proceedings of the 13th International Symposium on Vulcanospeleology, Jeju Island, Republic of Korea, p.110
- GADÁNYI P. 2008: *Kéregalatti bazaltláva barlangok*. Karszt és Barlang 2008. I-II. pp. 21-33.
- GADÁNYI P. – VÖRÖS P. 2009: *Izland* - In: Kucsera M. – Lieber T. (szerk.): *Barlangtúrák – Föld alatt a Föld körül*, Kornétás Kiadó, pp. 285-302.
- GADÁNYI P. 2009: *Abrázios barlangok kialakulása és formakincse különböző kőzetszerkezetű bazaltlávákban és piroklasztitokban*. Földrajzi Közlemények 3-4. megjelenés alatt.

## A disszertáció alapjául szolgáló előadások:

GADÁNYI P. 2006: *Pszudokarsztos és karsztszerű jelenségek planetáris analógiákkal Izland vulkáni területein*. Régiók és a természettudományok Konferencia, Berzsényi Dániel Főiskola, 2006. november 8.

GADÁNYI P. 2007: *Abráziós barlangok képződése bazaltlávában és Piroklasztitban*. II. Regionális Természettudományi Konferencia, Berzsényi Dániel Főiskola, 2007. 02.07.

GADÁNYI P. 2007: *Balázs Dénes kutató munkássága a lágabbarlangok területén*. X. Karsztfeljlődés Konferencia, Szombathely, 2007. március 23-24.

GADÁNYI P. 2007: *A Viðgelmir-barlang lágacseppkövei*. X. Karsztfeljlődés Konferencia, Szombathely, 2007. március 23-24.

GADÁNYI P. 2007: *Lágaaalagút-barlangok típusai és morfológiája izlandi példák alapján*. X. Karsztfeljlődés Konferencia, Szombathely, 2007. március 23-24.

GADÁNYI P. 2007: *Monogenetikus és poligenetikus bazaltlág barlangok*. XXXVIII. Ifjú Szakemberek Ankétja (a Magyar Földtani Társulat és a Magyar Geofizikusok Egyesülete), Bakonybél, 2007. március 30-31.

GADÁNYI P. 2007: *The development of some sea caves in the combination of basaltic lava flows and pyroclastic deposits on the Icelandic coast* - International Conference on Granite Caves, A Coruna, Spain - September 17-22, 2007.

GADÁNYI P. 2007: *Lava Dripstones of the Viðgelmir Lava Tube*. Carpatho-Balkan-Dinaric Conference on Geomorphology (International Association of Geomorphologists), Pécs, Hungary - October 24-28, 2007.

GADÁNYI P. 2008: *A bazaltlág-barlangok genetikai osztályozása*. III. Regionális Természettudományi Konferencia, Szombathely, 2008, január 31. pp. 33-34.

GADÁNYI P. 2008: *Barlangok kialakulása bazaltlág kérgék fel-boltozódásai alatt*. XI. Karsztfeljlődés Konferencia, Szombathely, 2008. március 28-29. p. 35.

GADÁNYI P. 2008: *Tumulus-caves*. The 10th International Symposium on Pseudokarst, april 29 – may 2, 2008. Gorizia, Italy, p. 16.

GADÁNYI P. 2008: *Folyóvízi erózió által kialakított barlangok bazaltlágában*. Konferencia Kádár László születésének 100. évfordulójára, Debrecen, 2008. május 16-17. p. 20.

GADÁNYI P. 2008: *Hornito caves on the Aðaldalshraun lava field, Iceland*. The 13th International Symposium on Vulcanospeleology, September 1-5, 2008, Jeju Island, Republic of Korea

GADÁNYI P. 2008: *Research work into lava caves of the Hungarian geographer Dénes Balázs*. In: Proceedings of the 13th International Symposium on Vulcanospeleology, Jeju Island, Republic of Korea, p.110

GADÁNYI P. 2008: *Falenyomat-üreges bazaltlávában*. Barlangkutatók Szakmai Találkozója, Budapest, 2008. november 8-9.

GADÁNYI P. 2009: *Hornító-barlangok*. XII. Karsztfejlődés Konferencia, Szombathely, 2009. március 21-22. p. 38.

GADÁNYI P. 2009: *Falenyomat-üreges bazaltlávában*. XII. Karszt-fejlődés Konferencia, Szombathely, 2009. március 21-22. p. 39.