

Gadányi Péter

KÉREGALATTI BAZALT-LÁVA-BARLANGOK

ÖSSZEFOGLALÁS

A pahoehoe típusú bazaltláva-folyások felszíne alatt 10–50 cm-es mélységben, közvetlenül a szilárd felszíni kéreg alatt húzódó úgynevezett kéregalatti barlangok különféle folyamatok során alakulnak ki. A nyomásplató-barlangok, az oldalgörinc- és lávanyelvgerinc-barlangok, valamint a tumulusz-barlangok a pahoehoe típusú bazaltláva-folyások folyamatosan szilárduló és vastagodó felszíni kérge alá benyomuló és ott felhalmozódó (a kérget megemelő) láva lecsapolódásával képződnek. A lávakéreg-turulás-barlangok kialakulásakor a szilárd kéreggel rendelkező lávafolyások felszínével közel párhuzamos irányú nyomóerő a kérget feltöri és tábláit feltorlaszolja. A kéregalatti gázhólyag-barlangok, vagy más néven gázemeléssel kéregalatti barlangok a plasztikus felszíni lávakéreg alatti gázakkumuláció és az ebből adódó gázemelés során képződnek.

1. BEVEZETÉS

Földünk felszínének (a Világóceánnal borított területeket is beleértve) leggyakoribb közettípusa a bazalt. Azonban nemcsak ez teszi különleges közetté. A bazaltban ugyanis a kihűlése során, de még azt követően is, néhány cm-es nagyságrendtől a több km-ig terjedő nagy méretben, különféle módokon, változatos formakincsű üregek és barlangok képződnek. A bazaltláva-barlangok genetikai, formai változatosságát a magyar közönség először Balázs Dénes által ismerhette meg nagyobb részletességgel (BALÁZS 1974). Balázs Dénes ez irányban végzett munkáját folytatva, az öt nagyra tisztelő szerző (GADÁNYI 2007a, 2008) a bazaltláva-barlangok izlandi jellegzetességeiről írt a „Karszt és Barlang” korábbi oldalain (GADÁNYI 2007b).

A bazaltlávák döntő hányada higan folyós és rövid idő alatt nagy területeket beborító pahoehoe típusú lávafolyások formájában ömlik a felszínre. A kiömléskor 1000–1200 °C hőmérsékletű pahoehoe bazaltláva-folyásoknak a hűlés során fokozatosan vastagodó felszíni kérge több különböző folyamat eredményeként megemelkedhet. Ezek közül a legfontosabb a „felduzzadás”, amikor a fokozatosan hűlő és vastagodó felszíni kéreg alá – annak kialakulásával egyidejűleg – folyékony láva nyomul, ott felhalmozódik, felgyülemlik, miközben a kérget több méter magasságban megemeli. A pahoehoe-lávafolyások tehát a kéreg alatt belülről növekedve érik el a később is látható vastagságukat – a felszínre ömlésük helyétől több km távolságban. Az ily módon vastagodó lávafolyás elnevezése az angol nyelvű szakirodalomban az „inflated pahoehoe”, amelyre „felduzzasztott pahoehoe” elnevezést javaslok. Az utóbbi két évtizedben a bazaltláva-folyások területén zajlott kutatások legérdekesebb eredményei döntően e folyamat tanulmányozása során születtek. Az „inflated basaltic lava” vagy „felduzzasztott bazaltláva” immár egyre szélesebb körben elfogadott, sok bizonyítékkal alátámasztott tényként kezelhető (CHITWOOD 1994, PETERSON *et al.* 1994, HON *et al.* 1994, SELF *et al.* 1998, KAUAHIKAUA *et al.* 1998, HON *et al.* 2004, GRIMES 2008), és új megvilágításba helyezi azon szingenetikus bazaltláva-barlangok kialakulását is, melyek e folyamat során, annak következményeként jönnek létre. A hawaii Kilauea és Mauna Loa pahoehoe típusú bazaltláva-folyásainak felszínre ömlési módja, valamint formakincsük tekintetében nagy hasonlóságot mutatnak az izlandi lávafolyásokkal (HON *et al.* 1994). Ezért a felduzzasztott lávafolyások kutatásának Hawaii lávamezőin elért új eredményeit a morfogenetikailag hasonló izlandiakon is alkalmazhatjuk.

E tanulmány célja a felduzzasztott pahoehoe típusú bazaltláva-folyások hűléses eredetű, megemelt felszíni kérgéi alatt kialakuló barlangok keletkezésének, típusainak és formakincsének a bemutatása. Az izlandi pahoehoe-lávamezők kiváló kutatóterületet jelentenek e barlangok morfogenetikai vizsgálatahoz, mellyel így még sok új és érdekes eredménnyel gazdagíthatjuk a vulkánzspeleológia e területét.

2. A FELDUZZASZTOTT PAHOEHOE TÍPUSÚ BAZALTLÁVA-FOLYÁSOK ÁLTALÁNOS JELLEMZŐI

A pahoehoe láva felszínre ömléskor a kezdetben kisebb, különálló folyási egységek egyesüléséből kialakul a lávamező. Ily módon az esetek többségében néhány km-es hosszúságú és több 100 m széles (de lehet jóval kiterjedtebb is) úgynevezett „lepelláva” („sheet flow”) formálódik (*HON et al.* 1994, *HALLIDAY* 1998, *SELF et al.* 1998, *HON et al.* 2004). A lepellávák átlagos vastagsága az általuk beborított területük-höz képest kicsi - a vastagság/befedettség arányszáma 1/100 vagy annál is kisebb (*WALKER* 1973).

Közvetlenül a kiömlés után az izzón folyós bazaltláva hűlni kezd, de a legkülső kérgé kezdetben még vékony, nyúlós, plasztikus. Ez a legkülső zóna néhány óra alatt fokozatosan szilárd burokká alakul és a hűléses eredetű összehúzódás következtében törik, reped, hasad, de mindig csak az alatta húzódó plasztikus zónáig. A folyékony zónából felfelé migráló buborékok a kéreg alsó plasztikus zónájában, valamint ez felett a szilárd kéreg alján csapdába esnek (illetve a szilárd kéreg hasadékain részben kijutnak a levegőbe). Ezek következtében a felső kéreg buborék-zárványokban gazdagabb, kisebb sűrűségű lesz és úszik az alatta húzódó nagyobb sűrűségű, buborékokban szegényebb folyékony zónán (*WALKER* 1991).

A szilárd, törékeny, buborékosabb kéregzóna alatt a lávafolyás belseje felé haladva a láva halmazállapota fokozatosan változik, plasztikus, nyúlós, képlékeny, majd legbelül folyékony. Ez a folyékony zóna a felduzzadás során a lávafolyás forrása felől, belülről folyamatos utánpótlást kap, gyarapszik, gyűlik, melynek során megemeli a felette húzódó viszkózusabb, illetve szilárd halmazállapotú zónákat. Az ily módon történő belső eredetű vastagságnövekedés, vagyis a felduzzadás mértéke – így a kéreg megemelése is – jelentős lehet. Hon és munkatársai megfigyelései alapján a felszínre kiömlött híg 10–50 cm vastagságú lepelláva néhány nap alatt 4 m-t, de 1–2 óra alatt 1 m-t is megemelkedik (*HON et al.* 1994, 2004). A folyékony láva kéreg alatti felgyülemelését általában a lávafolyás homlokzónájának továbbhaladását megállító, vagy nagyban lelassító, természetes gátat jelentő domborzati akadály, vagy a belső folyékony láva feszítőerejének nagymértékben ellenálló, vastagabb homlokzónái kéreg okozza (*BALÁZS* 1974, *GREELEY* 1987, *HON et al.* 1994).

A szilárd kéreg megemelését a felszínen megbillent látványok jelzik, amelyek dőlésszöge a megemelt terület peremén, akár 70–90° is lehet. Az eredetileg közel vízszintes helyzetüket a felszínükön látható kötélfonatok mutatják (*HON et al.* 1994, *CHITWOOD* 1994). A megemelés, illetve felboltozás következtében megbillent, korábban közel vízszintes helyzetben megszilárdult táblák – mint egy kirakós játéknál – a peremeiknél összeilleszthetőek (*WALKER* 1991).

3. A „KÉREGALATTI BAZALTLÁVA-BARLANGOK” ÁLTALÁNOS KÉPZŐDÉSI FELTÉTELEI

A barlangképződés szempontjából a pahoehoe lávamezők nagymértékű lávafelduzzasztásnak azért van nagy jelentősége, mert minél nagyobb a felszíni kéreg alatt felgyülemlett folyékony láva mennyisége, annál kiterjedtebbek lesznek a lecsapolódásukkor keletkező üregek. A pahoehoe lávamezők kérgének alsó (a külső szilárd kéregrésztől húzódó) 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 láva belső hidrosztatikai nyomásának további fokozódásával is 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 felduzzasztás során megemelt, illetve felboltozott bazaltlávakéreg alatt húzódo barlangok kialakulásakor a pahoehoe-lávafolyás felduzzadásáért felelős és a kérgüket megemelő láva még folyékony belső magja (vagy annak egy bizonyos hányada) a környező pasztikus és szilárd zónától elválik és lecsapolódással kiürül. A lecsapolódás vagy leeresztődés a felduzzasztással vagy felgyülemeléssel ellentétes folyamat. Ez többnyire a lávafolyás azon részein történik, ahol a kéreg alatt felgyülemelő láva a lávafolyás kérgét átszakítva továbbfolyik, viszont ezzel egyidejűleg a lávaakkumuláció utánpótlása is megszűnik (HON *et al.* 1994). A lecsapolódáskor a megemelt kéreg alatt a folyékony láva szintje süllyedni kezd, ami vertikális mozgást jelent a fent helyben maradó (vagy csak a kisebb mértékben lesüllyedt) kéregrészhöz – vagyis a kialakuló barlang boltozatához – képest.

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 (ez nincs ellentmondásban azzal, hogy az eltérő genetikájú lávaalagút barlangok vagy falenyomat-barlangok némely ritka típusait egyes esetekben szintén hasonló vastagságú kéreg választja el a felszíntől).

4. A KÉREGALATTI BAZALT-LÁVA-BARLANGOK ÉS A LÁVAALAGÚT-BARLANGOK FŐ MORFOGENETIKAI KÜLÖNBSÉGEI

A lávaalagút-barlangok a térfogatukat jóval nagyobb mértékben meghaladó térfogatú és nagyrészt közel horizontálisan folyó láva elvezetését biztosítják, amely a lávaalagút medrét termális és mechanikus erózióval tovább is mélyíti (GREELEY 1987, HON *et al.* 2004). Erre utalnak a lávaalagutak több száz méteres vagy kilométeres hosszúságban elnyúló, enyhén kanyargó folyosószerű járatai, amelyek magassága – nagyobb mértékű bevágódás esetén – gyakran meghaladja a szélességüket. A nagy mennyiségű olvadt láva horizontális mozgását a lávaalagút-barlangok oldalfalain található vízszintes lávakarcok, vonszolódási nyomok, valamint – az áthaladó lávafolyó mederbe-vágódásával járó szintsüllyedését, illetve változó hozamát is jelző – közel vízszintes bevágódások, negatív formák, mint például a lávaszínlők, valamint benyúló, pozitív formák, mint például a lávaerkélyek és akkréciós lávapalcok sorozatai mutatják.

A megemelt, illetve felboltozott bazaltlávakéreg alatt keletkező kéregalatti barlangok térfogata – ellentétben a lávaalagút barlangokkal – közel azonos a kéreg alól kiürülő láva térfogatával (a kiürülés után a kéreg, alátámasztás híján, még valamennyit süllyedhet, befelé hajolhat, illetve berogyhat). Amennyiben a még pasztikus kéreg és a folyékony láva között felhalmozódó gázok végzik a kéregemelést, akkor a barlang térfogata szintén közel azonos a kérget felboltozó és annak nyomása alatt felgyülemlett gázok térfogatával.

A kéregalatti bazaltláva-barlangok – a lávaalagút barlangokkal ellentétben – a lávafolyás egyéb részeiről érkező folyékony lávát jelentős mennyiségben nem vezetnek el, így bennük nincs vagy elhanyagolható a láva horizontális áramlása (WALKER 1991). Ez az oka annak, hogy a barlangfalaik oldalában a jelentősebb horizontális lávamozgásra utaló nyomok, mint például a vízszintes lávakarcok, lávaszínlők és vonszolódási nyomok is hiányoznak. Amennyiben a lecsapolódás szakaszosan történik, akkor a süllyedő, döntően vertikális mozgást végző olvadt láva a felszínének szilárdabb kéregrészeivel a még pasztikus oldalfalakba inkább függőleges karcokat vájnak.

5. A KÉREGALATTI BAZALT-LÁVA-BARLANGOK MORFOGENETIKAI TÍPUSAI

A pahoehoe-lávafolyások felduzzadásának módját a lávafolyás által elborított felszín domborzati viszonyai, illetve a lávafolyás intenzitása, effúziós rátája nagyban befolyásolják (SELF *et al.* 1998, HON *et al.* 1994). A lávafolyások felduzzadásának különböző módozatai miatt bennük a folyékony láva is

eltérő formákban gyülemlik fel, így ezek lecsapolódásával a kéregalatti barlangok különféle morfológiájú típusai alakulnak ki (pl. nyomásplató-barlangok, tumulusz-barlangok).

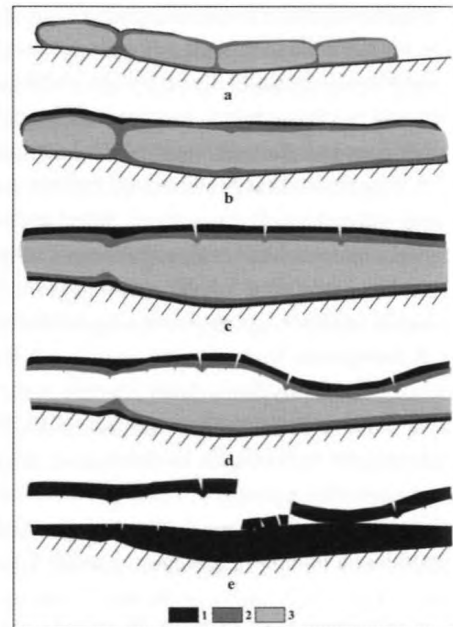
A pahoehoe-lávafolyások kéregalatti barlangjai a felduzzasztáson kívül – kisebb gyakorisággal – kialakulhatnak a lávafolyások felszínével közel párhuzamos irányú nyomóerő, valamint gázakkumuláció megemelő hatására is, amelyek során a felszíni lávakéreg – kisebb barlangot hozva létre – válik el a folyékony zónától.

5.1. Nyomásplató-barlang

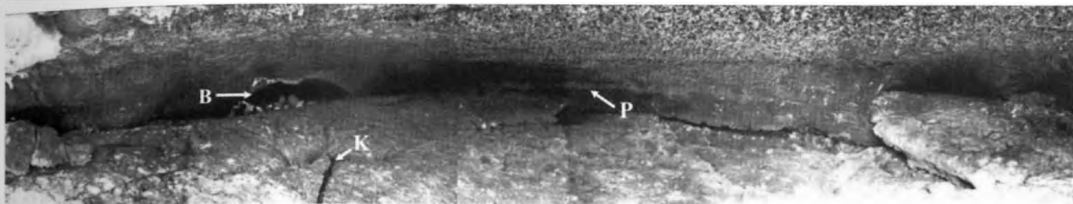
Az egységnyi idő alatt jelentősebb mennyiségben (nagy effúziós rátával) a kis lejtésű, közel sima vagy enyhén hullámos felszínre ráömlő pahoehoe lávafolyások általában nagyobb kiterjedésű területeken egységes mértékben duzzadnak fel és emelik meg a felszíni kérgüket (*SELF et al. 1998*). A környezetükhöz képest platóvá megemelt lávamező-részletek közel vízszintes felszíne „barátságos”, helyenként csaknem sima, máshol enyhén hullámos, és nagyobb területeken egységesen szépen kifejlődött kötélfonatokkal mintázott. Az így megemelt lávamező-részletek az úgynevezett „nyomásplatók”, angolul „pressure plateau” (*CHITWOOD 1994*), vagy „lava rise” (*WALKER 1991*). Átmérőjük néhány m-től 1–2 km-ig, míg felduzzadással kialakult vastagságuk (tehát a kéregemelés mértéke) általában 1 m és 20 m között változik. A szélességükhöz képest hosszú, elnyújtott, esetenként kanyargó megemelt kéregrészek az úgynevezett „nyomásgerincek”, melyek például a lávaalagutakat teljesen kitöltő és túlnyomás alá került folyékony láva emel meg. (A nyomásgerinceket egyes értelmezések szerint a kéregre ható horizontális nyomás hatására feltorlaszolódó kéregtáblák alakítják ki. Erre a szerző szerint a helyes elnevezés a lávakéreg-turulás – lásd később.)

A felduzzasztott pahoehoe típusú bazaltláva-folyások kérgéi alatt kialakult nyomásplató-barlangok átlagosan átlagmagasságúak (0,5–1,5 m), laposak, kissé ívelt boltozatúak. Keresztmetszetük gyakran lencse alakú és a lávalecsapolódás irányában csak kis mértékben elnyúlt formájúak. A lapos, lencse alakú üregformák kialakulása azzal magyarázható, hogy a lecsapolódás előtt a folyékony láva a nyomásplató horizontálisan nagyobb kiterjedésű felszíni kérgé, valamint a – folyékony zóna alatt található – plasztikus/szilárd átmeneti lávazónával kapcsolódó lávafolyás előtti felszín között, azok „szorításában” halmozódik fel. A felduzzadáskor a belső folyékony zóna terjedése e zónákkal párhuzamos irányokban igényel kisebb energiát (*1. ábra*). Ez hasonló folyamat ahhoz, ahogy a talpunk bőrrétegei között növekszik a vízhólyag, csak ez „lávahólyag”, és a viszkózusabb lávarétegek között, a felszíni kéreg alatt terjed.

A nyomásplatók képződésekor a felduzzadás során az emelkedő kéreg alatt az egyes különálló lávanyelvek folyékony zónái fokozatosan összeérnek, majd egyesülnek, és a felszínnel párhuzamosan nagyobb kiterjedésű kéregalatti horizontális olvadt zónát, „kiterjedt lapos lávahólyagot” hoznak létre (*1/a,b,c ábra*). Amennyiben az így kialakult folyékony zóna lecsapolódik, és ezzel egyidejűleg a felette húzódo plasztikus/szilárd kéregzóna helyben marad (vagy csak kisebb mértékben süllyed le), úgy alatta „nyomásplató-barlangok” képződnek (*1/d ábra*). A nyomásplató-barlangok nagyobb eséllyel azokon a helyeken alakulnak ki, ahol már a lávafolyás előtti felszínen eredetileg is sekély,



1. ábra. A nyomásplató-barlangok kialakulásának szakaszai
1. Silárd bazalt 2. Plasztikus bazaltláva
3. Folyékony bazaltláva



1. kép. 180 o-os felvételi szögben készített panoráma felvétel az izlandi Illahraun-lávamező egyik nyomásplató-barlangjáról. A barlang feletti kéreg 30-50 cm vastag. A bejárat (B) a kép készítési helyétől 10 m-re található, magassága 90 cm (kívülről a 3. képen látható). A barlang legnagyobb magassága 1,2 m. A folyékony láva több szakaszban történő süllyedését az oldalfalak akkréciós lávapolcai (P) jelzik. K: kontrakciós hasadék.

tál alakú mélyedés volt. A kéreg alatt egyenletesen süllyedő folyékony láva ezeken a helyeken nagyobb mértékben eltávolodhat a kéregtől.

A kéreg alatti a folyékony láva lecsapolódása, süllyedése – így a barlang kialakulása – gyakran több szakaszban történik. Erre utalnak a nyomásplató-barlangok oldalfalain látható akkréciós lávapolcok, amelyek a huzamosabb ideig (néhány óráig vagy esetleg napig) a barlangban stagnáló szintű láva felszínén kialakult kéregnek az oldalfalakhoz való forradásával képződtek (1. kép). A több ütemben történt lávasüllyedéssel kialakult nyomásplató-barlangok oldalfalainak függőleges szakaszai hosszabbak (20-80 cm), így keresztmetszetükben e barlangok nem lencse alakúak, hanem inkább lapos téglalakúak (1. kép). 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 húzódozó folyékony láva újabb süllyedésekor alátámasztás híján törtek össze és billentek le.

A nyomásplatók lecsapolódása előtt a folyékony zóna nem teljesen összefüggő, hanem a velük egy szintben levő viszkózusabb zónák különálló részekké tagolják. A viszkózusabb részek a körülöttük levő folyékony láva lecsapolódásakor helyben maradnak és belőlük alakulnak ki a későbbi nyomásplató-barlangok járatainak a válaszfalai.

A lecsapolódáskor a felső kéreg szilárd részei egyes helyeken – alátámasztás hiányában – szintén lesüllyednek. A kéregsüllyedéseknél a nyomásplató-barlangok lehajló mennyezete helyenként összeér az aljzatával, amely egyes részeken el is zárja egymástól az ily módon lencse alakú elvégződést mutató nyomásplató-barlangokat (1/d,e ábra). Gyakori eset, főként a kisebb méretű (10–30 m átmérőjű) nyomásplatóknál, hogy a kiemelkedett kéregrész középső része lesüllyed, és a lesüllyedt rész körül – jellegzetesen háromszög keresztmetszetű – barlangok csak a peremi, fennmaradt kéregrészek alatt képződnek (hasonló módon, mint a későbbiekben ismertetett oldalgerinc-barlangok és lávanyelvgerinc-barlangok esetében).

A nyomásplató-barlangok lapos, több irányban kifejlődött szabálytalan alaprajzú lapos és széles, néhol enyhén kanyargó lencsés keresztmetszetű járatrendszeinek kis magasságú (0,5–1,5 m), de a magasságukhoz viszonyítva kiterjedt, (10–15 m szélességű) termeiből változatos irányokban több járat ágazik el, melyek többnyire hamar ellaposodnak, beszűkülnek és elvégződnek. E járatok egyes esetekben azonban a nyomásplatók különálló lapos termeit össze is köthetik (GRIMES 2008).



2. kép. Átlagosan 50-80 cm magasságú nyomásplató-barlang az izlandi Stromparhraun-lávamezőn (bejárata kívülről a 4. képen látható). A hullámos mennyezet az eltérő mértékű kéregmegvastagodás (30-60 cm) eredménye.

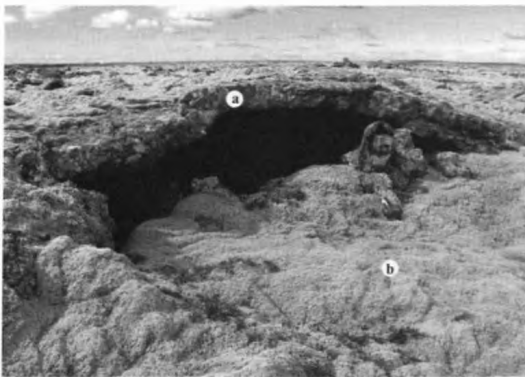
A nyomásplató barlangok boltozatát alkotó felszíni kéreg – az eltérő hűlési sebességek miatt – nem egyenletes vastagságban fejlődik ki (10 és 50 cm között változik). A helyi kéregmegvastagodásoknak egyik oka az, hogy a kérgen a lávafolyás felduzzadása során a kéreg felfelé hajlítása miatt vagy a hűlésből 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 (1/c,d ábra), melyeket az alóluk lecsapolódott folyékony láva eltávozása után a hullámos mennyezet 5–20 cm-el lenyúló gerincvonulatai és „hullámhegyei” jeleznek (1/d,e ábra, 2. kép).

A nyomásplató-barlangok mennyezetét és aljzatát a lecsapolódáskor lesüllyedő folyékony láva felszíne, valamint a fennmaradó plasztikus zóna elválási felületei alkotják. E két zóna szétválása ahhoz hasonlítható, mint amikor szétnyitunk egy kétrétegű, belül lekvárral vagy mézzel megkent kenyeret. Az elválási felületek – bár nagyobb léptékben – a nyomásplató-barlangoknál is hasonlóan formálódnak. A lecsapolódás megindulásakor a plasztikus mennyezetre ragadt képlékeny lávát a lesüllyedő láva részben magával ragadja, és belőle lávasztalaktitokat „nyújt ki”, átlagosan 1–5 cm hosszúságban (1. 2. kép), amelyek azonban gravitációs hatásra a lassan hűlő barlangi légtérben később még tovább nyúlhatnak. A lesüllyedő (leendő) barlangaljzat felszínének a mennyezetről történő leváláskor az előzővel hasonló módon megnyúlt formái nem sokkal a leválás után belesimulnak a süllyedő folyékony lávafelszínbe. Amennyiben a leválását követően a süllyedő láva felszíne (elválási felülete) gyorsabban hűl le (vagy a lesüllyedő láva relatíve viszkózusabb), akkor a süllyedés irányában megnyúló felszínformák is megszilárdulnak, és tűhegyes (ruhát szaggató), nagy sűrűségben kialakuló, apró (0,5–2 cm-es) lávasztalagmitok teszik érdekessé az aljzatot is.

A lesüllyedt lávafelszínből kialakult barlangi aljzat hűléses eredetű térfogat-csökkenésekor és horizontális összehúzódásakor 0,5–1 cm szélességben és akár több méter hosszúságban kontrakciós hasadékok képződnek (1/e ábra, 1. kép). A lesüllyedt és már stagnáló láva függőleges irányú hűléses eredetű összetömrődését az aljzat enyhén lefelé, a barlang középső része felé dőlő összetört látatáblái jelzik (1/e ábra).

A nyomásplató-barlangok feltárlása többféle módon történhet. *Szingenetikusan*: 1.) a barlangok felett húzódó 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 feltárlják (1/e ábra, 3, 4. kép); 3.) amikor a nyomásplató-barlang lecsapolódásakor a folyékony láva oldalirányban, illetve felfelé ára-



3. kép. Az 1. képen látható nyomásplató-barlang szingenetikus kéregsüllyedéssel kialakult bejárata az izlandi Illahraun lávamezőn. **a**: fennmaradt kéregrész (a barlang boltzata). **b**: lesüllyedt kéregrész.



4. kép. A 2. képen látható nyomásplató-barlang szingenetikus kéregsüllyedéssel kialakult bejárata az izlandi Stromparhraun-lávamezőn (háttérben az Bláffjöll-hegység). **a**: fennmaradt kéregrész (a barlang boltzata). **b**: lesüllyedt kéregrész

molva 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 kéregmennyezetű barlangot. Posztgenetikusán: földrenség, fagyaprózódás, vagy emberi beavatkozás hatására beomlik.

5.2. Tumulusz-barlang

Az egységnyi idő alatt aránylag kisebb mennyiségben (kis effúziós rátával) felszínre kiömlő pahoehoe láva felduzzadása – a nyomásplatóktól eltérően – nagyobb területen nem egységes mértékű, hanem egyes helyeken intenzívebb, míg közvetlenül a megemelt részek között a lávakéreg szinte alig emelkedik. A lávamező felszíne ennek következtében kiemelkedésekkel és a köztük helyben maradt mélyedésekkel tagolt, dimbes-dombos lesz (*SELF et al.* 1998).

A felszíni kéreg intenzívebben emelkedő helyein, ahol repedések miatt a kéreg foltokban gyengébb és/vagy vékonyabb, ott a kéreg alá benyomuló és felhalmozódó folyékony láva a kérget felboltozza, felpúpozza. E folyamat eredményeként úgynevezett tumuluszok képződnek (az angol nyelvű szakirodalomban ismeretes „tumulus” magyar elnevezésére leginkább a genetikájára jobban utaló „felpúpozódott lávahólyag” lenne). A tumuluszok kialakulásakor a felboltozódó felszíni kéreg a megemeléssel egyidejűleg hül és vastagodik, ezért benne – a nyomásgerincektől eltérően – nem jön létre térrövidülés (*WALKER* 1991). A tumuluszok többnyire kerek, ovális, enyhén megnyúlt, illetve enyhén kanyargós alaprajzúak. A kéregboltozódás során a felül szilárd és megbillent kéregtáblák között kialakult törések és hasadékok által sugárirányban tagolt palástjuk ívesen meghajlított, kupolaformájú. Mivel a kéreg a felboltozásával egyidejűleg vastagodik, ezért akár közel szabályos félgömb formájú tumuluszok is kialakulnak.

A kéreg felboltozásáért felelős felgyülemlett folyékony zóna részleges vagy teljes lecsapolódásakor a helyben maradt kéreg-kupola alatt üreges tumuluszok – „hollow tumulus” (*HALLIDAY* 1998, *WALKER* 1991) – illetve tumulusz-barlangok képződnek. Az Izlandon megfigyelhető tumulusz-barlangok kerek, enyhén megnyúlt, illetve kissé kanyargó alaprajzúak. Kupolás termeik 0,5–2 m magasságúak, szélességük 2–3 m-től 10–20 m-es is lehet.

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 üregessé 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 meghajlításnál 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.

Üreges, barlangos tumuluszok kialakulásához a mélyedésekkel tagolt hepehupás domborzatú területekre ömlő – így egyenetlen vastagságban szétterülő – pahoehoe-lávában különösen kedvező feltételek alakulnak ki. A felszíni mélyedésekben a láva nagyobb vastagságban gyülik össze. Ezek a vastagabb lávarészek nagyobb belső folyékony maggal rendelkeznek, ezért a környezetükben lassabban hülnek, miközben hosszabb időn keresztül nagyobb hőmennyiséget adnak át környezetüknek. Ennek következtében a mélyedésekben felgyülemlett vastagabb lávarészek felszíni kérge is lassabban képződik, és a környező kéregrészekhez képest vékonyabb lesz. A láva további felduzzadásakor, amikor a kéreg alá újabb folyékony láva nyomul, akkor a belső lávanyomással szemben kisebb ellenállású vékonyabb kéregrészek a környezetükben nagyobb mértékben emelkednek meg. Így tehát ahol a lávaelöntés előtti felszínen mélyedés volt, ott a ráömlő és felduzzadó láva felszínén kiemelkedés, tumulusz alakul ki. A tumuluszok alaprajza ebből adódóan nagyban függ az alattuk található – lávaelöntés előtti – felszíni bemélyedés alakjától. Ahol a mélyedés kör alakú volt, ott szabályos kerek tumuluszok képződnek, míg az elnyúltabb, esetleg enyhén kanyargó mélyedésben felhalmozódó láva a kérget is elnyúltabb, kanyargósabb formában emeli tumuluszá (tumuluszsorok, illetve hosszú, elnyújtott tumuluszok kialakulhatnak a folyékony lávától

megettelt és túlcsonduló lávaalagutak felett is). A korábbi felszíni mélyedések felett kialakult tumuluszok lecsapolódásakor a lesüllyedő folyékony láva – az eredetileg magasabb térszínekre ömlő környező lávárészekhez képest – a felboltozott kéregtől nagyobb mértékben távolodik el, így az ilyen tumuluszok kérge alatt nagyobb eséllyel alakulnak ki barlangok.

A fentiek alapján a tumulusz barlangok kialakulása a 2. ábrán látható folyamat során az alábbiak szerint történik.

A pahoehoe-lávafolyás egy felszíni mélyedés felett nagyobb vastagságban halmozódik fel. A nagyobb hő kibocsátása következtében a mélyedésben felhalmozódott vastagabb láva felszíni kérge vékonyabb a környező kéregrészekhez viszonyítva (2/a ábra).

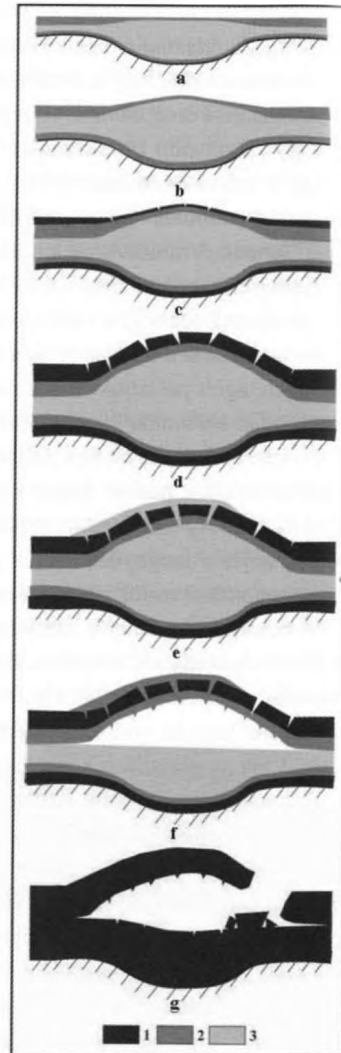
A láva további felduzzadásával a mélyedés feletti kéregrész a kisebb ellenállása miatt gyorsabban emelkedik a környezeténél (2/b ábra), miközben a további emelkedéssel a kéreg folyamatosan vastagszik, a hűléssel kialakul a külső szilárd, törékeny kéregrész is (2/c ábra).

A kisebb kéregellenállású – és a lassúbb hűlés miatt a vékonyabb – plasztikus/szilárd kéregrész kupolaszerűen felpúpozódik, melynek során a plasztikus rész ívesen meghajlik, míg a külső szilárd kéregzóna törik, és lefelé szűkülő hasadékok keletkeznek benne, melyek csak a plasztikus zónáig hatolnak (2/d ábra).

A folyékony lávafelduzzadás miatt 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 (2/e ábra). 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 a nyomáscsökkenéssel egyidejűleg a kéreg süllyedni kezd, és súlyával nyomva a kipréselődést fokozza. A lávabuzgárok által a felszínre juttatott folyékony láva a felszínen kihűl és megszilárdulva kívülről vastagítja hozzáfórra a kéreghez, így azt statikailag is jelentősen megerősítheti (2/e, f ábra, 5, 6. kép). Ez hasonló ahhoz a folyamathoz, ahogy az inuit (eszkimó) emberek a firn-, illetve jégtéglákból épített jégkunyhójuk, az igluk kupolás tetejére vizet locsolnak, hogy az ráfagyva eltömítse a firn/jégtéglák közti réseket, és egységes burrként jobban szigeteljen, de ez által statikailag is jobb megtartású lesz a kunyhójuk.

Amennyiben a felboltozódásért felelős, nyomás alatt levő folyékony láva a lávafolyás egyéb részein talál, illetve tör utat magának, úgy megindul a láva lecsapolódása és szintjének csökkenése. A kéreg alatt lesüllyedő folyékony zóna elválik a kéreg plasztikus zónájától, és létrejön a tumulusz kéregalatti barlangja (2/f ábra, 7, 8. kép). A tumulusz-barlangok mennyezetén és aljzatán megfigyelhető lávacseppkövek kialakulásukat és formakincsüket tekintve nagyon hasonlóak nyomásplató-barlangokéhoz.

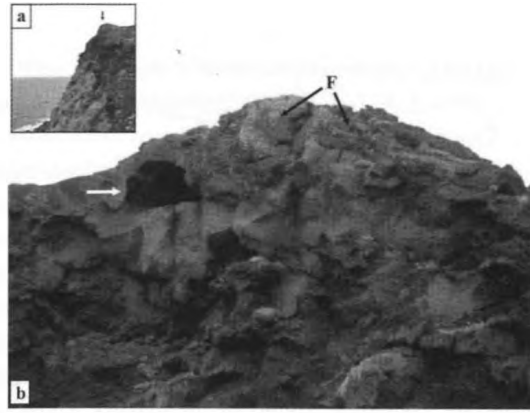
A felboltozódott tumulusz-barlang kupolájának a hűléssel annak plasztikus kéregzónája is kikristályosodik, megszilárdul és összehúzódik, melynek következtében a benne keletkező kontrakciós hasadékok mentén helyenként leomolhat, feltárva a kéregalatti tumulusz-barlangot (2/g ábra, 5, 7. kép). A tumulusz-barlangok a kialakulásuk után eróziós hatásra (pl. tengeri abrúzió) is feltárolnak (6, 8. kép).



2. ábra. A tumulusz-barlangok kialakulásának szakaszai
1. Szilárd bazalt 2. Plasztikus bazalt-láva 3. Folyékony bazaltláva



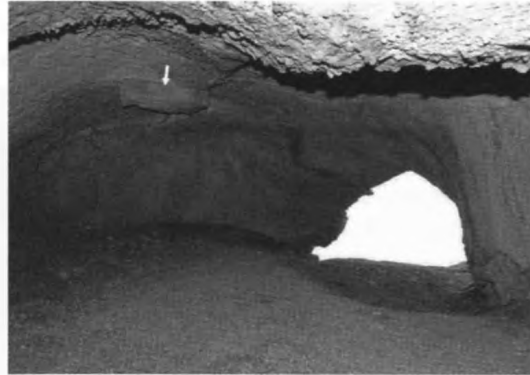
5. kép. Boltozatának süllyedésével és omlásával feltárt tumulusz-barlang bejárata az izlandi Illahraun-lávamezőn. F: láva-felpréslődések.



6. kép. a: az izlandi Heimaey-sziget keleti partvonalának egymásra települő lávafolyásokból felépült, hátráló abrziós sziklafal peremén kb. 30 m tengerszint feletti magasságban található üreges tumulusz (fekete nyíljal jelölve). b: az „a” képen látható tumulusz az óceán felől teleobjektívval fotózva. Fehér nyíl mutatja a tumulusz barlangjának a tengeri abrzió által előidézett omlásos feltárulását, az „ablakát”. F: láva felpréslődések.



7. kép. Az 5. képen látható tumulusz barlangja. Hosszúsága 12,5 m, legnagyobb szélessége 5,8 m, legnagyobb magassága 1,6 m. A bejárat a kép készítési helyétől 9 m-re található, magassága 1,6 m. A barlang oldalfalairól hiányoznak a vízszintes lávakarcok, vonszolódási nyomok, illetve az akkréciós lávapalcok. Ez arra utal, hogy a tumulusz lecsapolódásakor a folyékony láva vízszintes irányban jelentősebb mértékben nem áramlott, és szintje egy ütemben, megszakítás nélkül süllyedt le



8. kép. A 6. képen látható tumulusz barlangja, kilátással az Atlanti-óceánra. Az ajzaton szél által behozott lávahomok bazaltsalak-törmelék található. A boltozat repedéseitől körbevett kötömb (fehér nyíl mutatja) félig lezökkent, majd beszorult.

A jobb megtartású tumulusz-kupolák hasadékokkal elválasztott „építőelemei” a kupola boltívével párhuzamosan egymásnak feszülnek, támaszkodnak, esetleg csak lezökkennek (8. kép), illetve belőlük csak néhány hullik ki, így a tumulusz-barlangok boltozatai a római kor kupoláihoz hasonlóan több ezer évig is fennmaradhatnak.

5.3. Oldalgerinc-barlang és lávanyelvgerinc-barlang

A mélyedésekben felgyülemelő pahoehoe-láva a rajta kialakuló szilárd kéreg alatt nagyobb mértékben duzzad fel, amelynek eredményeként a lávaelborítás előtti felszín kiemelkedései fölé is magasodhat (SELF et al. 1998). A teknőformájú völgyekbe a völgyfő irányában benyomuló pahoehoe-lávafolyás

lávanyelve a felduzzadása során a felszíni kérgét a nyomásplatókénál meredekebb ívben hajlítja meg (3/a ábra, 9. kép). Ez azért lehetséges, mert a teknővölgy oldalai és völgyfője korlátozza a láva előre és oldalirányú terjedését, és megemelése során oldalról megtámasztja a felduzzadó láva kérgét.

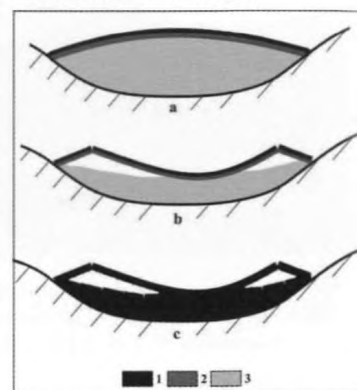
A felduzzasztott lávanyelv folyékony lávamagjának a teknővölgy lejtésirányában történő lecsapolódásakor a felső kéreg középső területei alátámasztás híján besüllyednek, melynek következtében a süllyedés során összetört kéregtáblák befelé dőlnek. A süllyedéskor a lávanyelv feltört kérgének külső, vastagabb peremi részei azonban helyben maradhatnak. E folyamat eredményeként a lávanyelv peremi területein a kéreg táblái egymással ellentétes irányban dőlnek és egymásnak támaszkodnak, melynek következtében úgynevezett oldalgerincek és lávanyelvgerincek („lateral ridges”, „toe ridges”) képződnek (OLLIER 1988) (3/b ábra, 9. kép).

Amennyiben a folyékony láva e gerincekből is kiürül (és a belső kéregzóna süllyedésekor nem préselődik beléjük olyan láva, ami eltömítené őket), úgy bennük a völgyfőnél a völgybe benyomuló lávanyelv elvégződésénél, a teknővölgy csapásirányával közel párhuzamosan – a kéreg omlásaival egymástól elválasztott – lávanyelvgerinc-barlangok, míg az oldalgerincek belsejében oldalgerinc-barlangok sorozata alakul ki (3/b, c ábra, 9. kép).

Az oldalgerinc-barlangok és a lávanyelvgerinc-barlangok oldalfalai és mennyezete a lávanyelv belseje felé, illetve a kifelé megdőlt lávakéreg-táblákból alakul ki. Az ellentétes irányú dőléséből adódóan e barlangok keresztmetszete gyakran háromszög alakú (3/b, c ábra). A mennyezetük láva-sztalaktitjai keletkezési módjukat és formájukat tekintve hasonlóak a nyomásplató-barlangok mennyezetén megfigyelhetőekkel. Az oldalgerinc-barlangok és a lávanyelvgerinc-barlangok aljzatát a lecsapolódáskor lesüllyedt láva felszíne adja.

5.4. 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. Hasonló jelenség tengeri, tavi jégtáblákon is gyakori (CHOLNOKY 1907). A lávakéreg-turolások megbillenő kéregtáblái felemelkedve elválnak a folyékony lávazónától, melynek következtében az egymásra dőlő, támaszkodó táblák alatt a folyásirányra merőleges turolás-vonulatokban barlangok alakulhatnak ki (4. ábra). A lávakéreg-turolás-barlangok esetében az üregek képződés tehát nem a kéreg alatti folyékony láva lecsapolódásának



3. ábra. Az oldalgerinc-barlangok:
1. Szilárd bazalt 2. Plasztikus bazaltláva
3. Folyékony bazaltláva



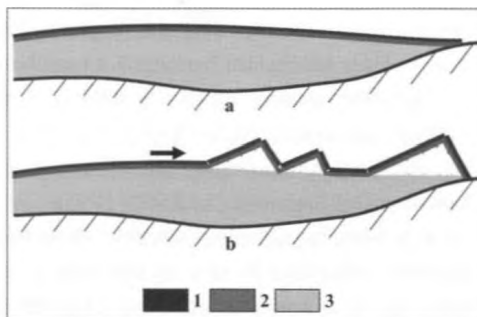
9. kép. Az izlandi Leirhnjúkur hasadékvulkán 1984-ben kiömlött lávafolyásának egyik felduzzadt, majd lecsapolódott lávanyelve és oldalgerince. A fehér szaggatott vonalak a felduzzadt lávanyelv lecsapolódás előtti felszínét jelzik. A fehér nyíl az oldalgerinc barlangok képződési helyét mutatja.

lesz az eredménye, hanem azt a horizontális nyomás hatására megbillenő kéreg feltört tábláinak a folyékony zónától való felemelkedése okozza.

A lávakéreg-turolás-barlangok formakincse hasonló az oldalgerinc-barlangokéhoz, de a hosszúságuk általában nagyobb és még szabályosabb háromszög keresztmetszetűek (10, 11. kép). Magasságuk 0,5–1,5 m, szélességük 1–5 m. A láva folyásirányára közel merőleges irányokban érik el legnagyobb hosszúságukat, amely az eddig megtalált izlandi példák alapján több méter is lehet.

5.5. Gázemeléses kéregalatti barlang – kéregalatti gázhólyag-barlang

A felduzzasztott pahoehoe-lávafolyások helyenként több méter vastagságú, magas hőmérsékletű belső híg folyékony zónája viszonylag hosszú idő alatt hűl le, ezért a benne kiváló gázbuborékoknak elegendő ideje és tere van ahhoz, hogy felfelé emelkedésük közben egymással találkozzanak, és nagyobb buborékokká egyesüljenek. A nagyobb gázbuborékok gyakran a még képlékeny lávafelszín/levegő határát elérve – a hirtelen nyomáscsökkenés hatására – szétrobbannak. A nyúlós és a folyékony lávával együtt mozgó kérget a felszínre jutó gázok gyakran a rágógumihoz hasonlóan felfújják, mígnem az kipukkan, és félig leeresztve továbbsodródik (HON et al. 2004).



4. ábra. A lávakéreg-turolás-barlangok kialakulásának szakaszai. A nyíl a nyomás irányát mutatja.
1. Szilárd bazalt 2. Plasztikus bazaltláva 3. Folyékony bazaltláva



10. kép. Lávakéreg-turolás antiklinálist alkotó táblái és az alattuk húzódó barlang bejárata az izlandi Vogahraun lávamezőn. Magassága 80 cm.



11. kép. Az izlandi Leirhnjúkur hasadékvulkán egyik lávafolyásának peremén kialakult lávakéreg-turolás-barlang. Magassága 110 cm.

A viszkózusabb, plasztikus felszíni kéreg azonban már jelentősen gátolhatja, illetve megakadályozza az akkumulálódott gázok felszínre jutását. A plasztikus kérget az alatta felgyülemelő gázok feszítőereje alulról nyújtja, 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 plasztikus kéregtől. Amennyiben a gázakkumuláció keltette kéregemelés időben elég tartós ahhoz, hogy a kialakult gázhólyag megemelt kéregboltozata megfelelő mértékben megszilárdulhasson, akkor az a gázok eltávozását követően, az alátámasztást biztosító nagyobb gáznyomás hiányában sem omlik össze.

Az így keletkezett üregek tehát az előző típusoktól eltérően nem a folyékony láva lecsapolódásával, hanem annak kiszorításával, illetve a különböző halmazállapotú lávák (alsó folyékony és felső plasztikus) szétválasztásával alakulnak ki. Mivel a kéreg megemlése (és a folyékony zónától történő elválása) ezekben az esetekben gázakkumuláció és gázemelés következtében történik, ezért a kéregalatti barlangok

e típusára a „gázemeléssel kéregalatti barlang” vagy „kéregalatti gázhólyag-barlang” elnevezést javaslom. A gázemeléssel kéregalatti barlangok a tumulusz-barlangoknál vékonyabb kéreggel rendelkeznek, kisebbek és kevésbé tartósak, ugyanis legtöbbször már a kihülés során keletkező kontrakciós hasadékok mentén berogynak, illetve összeomlanak. A szabályos kupola, illetve félgömb alakban megemelt gázemeléssel kéregalatti barlangok azonban akár több ezer évig is fennmaradhatnak, mint például a 4–5 méter átmérőjű Abo Dome Dél-Idahóban (LARSON 1993).

A folyékony lávazónában a felfelé szálló majd a kéreg alatt egyesülő és felhalmozódó gázbuborékok a nagyobb vastagságú és felső szilárd zónával is rendelkező kéreg 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.

IRODALOM

- BALÁZS D. (1974): *Lávaiüregek keletkezése, típusai és formakincse* – Földrajzi Közlemények, (2), pp.135–148.
- CHITWOOD, L. A. (1994): *Inflated basaltic lava – examples of processes and landforms from central and southeast Oregon* – Oregon Geology, Vol. 56, 1, pp. 11–21.
- CHOLNOKY J. (1907): *A Balaton jege* – In: A Balaton tudományos tanulmányozásának eredményei – Első kötet, Ötödik rész, IV. szakasz. A Magyar Földrajzi Társaság Balaton-bizottsága, Budapest, pp. 75–87.
- GADÁNYI P. (2007a): *Balázs Dénes kutató munkássága a lávabarlangok területén* – Karsztfejlődés XII. pp.13–24.
- GADÁNYI P. (2007b): *Bazaltláva barlangok morfogenetikai típusai Izlandon* – Karszt és Barlang 2006. I-II. pp.19–32.
- 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.
- GREELEY, R. (1987): *The role of lava tubes in Hawaiian volcanoes* – In: Volcanism in Hawaii, USGS, pp.1589–1602.
- GRIMES, K. (2008): *Small Subcrustal Lava Caves: Examples from Victoria, Australia* – AMCS Bulletin 19/SMES Boletín 7, pp.35–44.
- HALLIDAY, W. R. (1998): *Sheet flow caves of Kilauea Caldera, Hawaii County, Hawaii* – International Journal of Speleology, 27B (1/4), pp.107–112.
- HON, K.–GANSECKI, C.–JOHNSON, J. (2004): *Lava Flows and Lava Tubes – What They Are, How They Form* – DVD film, Volcano Video Productions, Hilo, Hawaii
- HON, K.–KAUAHIKAUA, J.–DENLINGER, R.–MACKAY, K. (1994.): *Emplacement and inflation of pahoehoe sheet flows: Observations and measurements of active lava flows on Kilauea Volcano, Hawaii* – Geological Society of America Bulletin, Vol. 106, pp. 351–370.
- KAUAHIKAUA, J.–CASHMAN, K. V.–MATTOX, T. N.–HELIKER, C. C.–HON, K. A.–MANGAN, M. T.–THORNER, C. R. (1998): *Observations on basaltic lava streams in tubes from Kilauea Volcano, island of Hawaii* – Journal of Geophysical Research, Vol. 103, pp. 27,303–27,323.
- LARSON, C. V. (1993): *An Illustrated Glossary of Lava Tube Features* – Western Speleological Survey Bulletin, 87. Vancouver, Washington, 56 p.
- OLLIER, C. (1988): *Volcanoes* – Basil Blackwell Ltd, Oxford, 224 p.
- PETERSON, D. W.–HOLCOMB, R. T.–TILLING, R. I.–CHRISTIANSEN, R. L. (1994): *Development of lava tubes in the light of observations at Mauna Ulu, Kilauea Volcano, Hawaii* – Bulletin of Volcanology, Vo. 56, pp. 343–360.
- SELF, S.–KESZTHELYI L.–THORDARSON, TH. (1998.): *The importance of pahoehoe* – Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences, Vol. 26, pp. 81–110.
- WALKER, G. P. L. (1973): *Lengths of lava flows* – Phil. Trans. Royal Society of London, Vol. 274, pp.107–118.
- WALKER, G. P. L. (1991): *Structure and origin by injection of lava under surface crust, of tumuli, „lava rises”, „lava pits”, and „lava-injection clefts” in Hawaii* – Bulletin of Volcanology, 53., pp.546–558.

SUBCRUSTAL BASALTLAVA CAVES

Abstract

The uplifting of the solid, semisolid or viscoelastic surface crusts of basaltlava-flows of pahoehoe type can be a result of several processes within the moving and cooling lava flows. The draining of the fluid parts derives the forming several types of caverns: the so called „subcrustal caves” under them. In case of these kinds of cave development the fluid lava does not take a considerable horizontal distance below the uplifted crusts. The absence of “tide marks” on the sidewalls and ceilings of these caves indicates that the draining out of fluid lava from below the upheaved and arched surface crust was accomplished in a single uninterrupted act. The aim of this study is to present the processes which can uplift the upper hardened surface crusts of basaltlava-flows, and how the caves evolve under them. Pressure-plateau caves can evolve when the almost flat parts of solidified surface crusts of basaltlava flows uplift as a result of the inflation caused by the accumulating fluid lava under it and then the accumulated lava drains into the deeper parts of the lava flow. If the relatively broad uplifted lava surface crust can support itself, a flat cave remains under it. Lava-tumulus caves evolve when fluid lava injects underneath the relatively thin surface crust of the basaltlava-flow contemporaneously with the solidifying and thickening of the surface crust and arches it up forming a cupola-like form without any horizontal shortening of it. If the molten lava drains from below this lava surface-crust-cupola, there is a tumulus cave remaining. Lateral-ridge caves and toe-ridge caves form when the inner part of basaltlava-flows with a convex surface and solid surface crust sags because the supporting lava underneath sinks, but the marginal parts of the lava field crust remain in situ position. Lavacrust-piling caves evolve as a result of lateral pressure in basaltlava-flows which lift up and buckle the solidified surface crust causing a shortening of it. While the surface crust arches up, a rather long and narrow cave forms under it. Subcrustal gas-blister caves evolve close to the surface of basaltlava-flows or lava lakes because of the accumulating gases which can swell up the viscoelastic parts of the cooling lava surface crust, but this lava crust does not allow the expanding gases to escape from below. If the arched surface crust solidifies before sinking back, a gas blister cave can remain below it.

Gadányi Péter

*Nyugat-magyarországi Egyetem, Savaria Egyetemi Központ, Természetföldrajz tanszék, Szombathely
gpeter@ttmk.nyme.hu, 20/562 11 9*