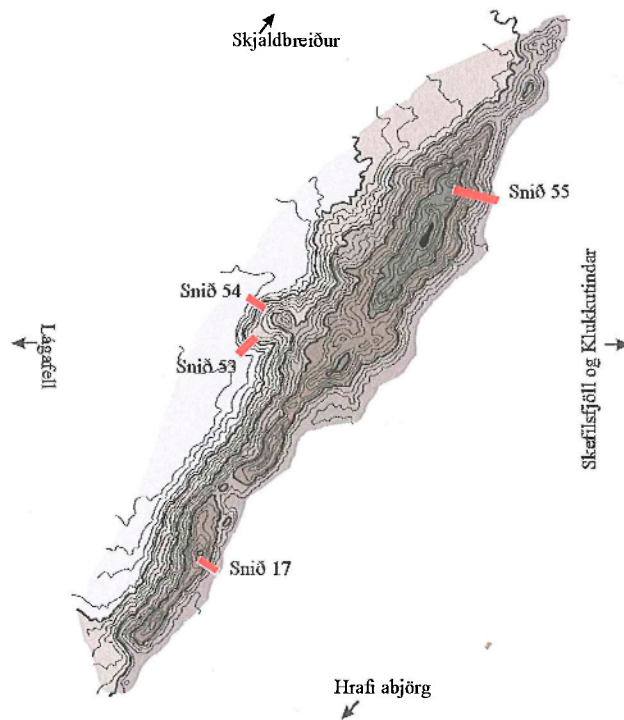


Tindaskagi
Setfræðileg rannsókn á móbergshrygg

Jakob Þór Guðbjartsson og Herdís H. Schopka

NI-01015

Reykjavík, ágúst 2001



NÁTTÚRUFRAEÐISTOFNUN ÍSLANDS



ÁGRIP

Tindaskagi er 8 km langur móbergshryggur sem myndaðist við eldgos undir jökli á síð-pleistósen (0,01–0,78 milljón ár). Hann er í vestra gosbeltinu þar sem nútímahraun hafa lagst upp að honum og grafið hann að nokkru leyti. Fjallið er aðallega byggt upp úr gosmóbergi, setmóbergi (þar sem efnið hefur sest til eftir skamman flutning) og yfirborðshraunum. Meginuppistaða móbergsins í Tindaskaga er gjóska sem myndaðist við gufusprengingar í gosi undir jökli.

Setstrúktúrar í móberginu benda til þess að það hafi sest til í vatni eða vatnsríku umhverfi, bæði meðan á gosinu stóð og eftir að því lauk. Mikið er um smá, óregluleg basaltinnskot og má rekja sum þeirra yfir í hrauka af bólstrabergi. Ekkert sökkulbólstraberg fannst og er það í samræmi við niðurstöður nýlegra jarðeðlisfræðimælinga sem sýna að Tindaskagi er efsti hluti miklu stærri gosmyndunar sem nútímahraun eru á góðri leið með að kaffæra. Jarðhitaummyndun á móberginu í Tindaskaga er minni háttar, en tvö aðskilin ummyndunarferli voru greind: Vatnsgufa hefur verið ráðandi næst gosstöðvunum en vatn á jöðrum hryggjarins.

Niðurstaða rannsóknar okkar er sú að Tindaskagi sé í grófum dráttum gerður úr tveimur megin-einingum: Norðurhluta og suðurhluta. Þar að auki má skipta norðurhlutanum í efri og neðri gosmyndun. Setmóberg úr nyrðri hlutanum liggur mislægt ofan á syðri hlutanum og bendir það til þess að þessir tveir hlutar hafi hugsanlega ekki myndast í sama gosi. Þetta gæti jafnvel þýtt að fjallið sem heild sé ekki samtímamyndun og að jökulhettan hafi horfið og svo vaxið á ný, jafnvel nokkrum sinnum, meðan fjallið byggðist upp í endurteknum gosum. Athuganir okkar benda til þess að jökullinn umhverfis Tindaskaga hafi verið 600–700 m þykkur þegar fjallið myndaðist.

ABSTRACT

Tindaskagi, an 8 km long basaltic hyaloclastite ridge in Southwest Iceland, was apparently constructed by subglacial volcanic activity during the Upper Pleistocene (0,01–0,78 Ma). It lies in the Western Volcanic Zone and has been partly buried by Holocene lavas. The mountain is primarily made up of hyaloclastites, vitroclastic sediments of short transport and subaerial lavas. The bulk of the hyaloclastites was formed by subglacial phreatomagmatic eruptions.

The primary object of our study was to reconstruct by structural and lithofacies analysis the main stages of the volcano's history of formation. The sedimentary sequences appear to have been deposited mainly in a water-saturated environment, both during and after the eruptions. Irregular, small basaltic intrusions are numerous, some with apophyses that can be traced into lenses of pillow lava. No true basal pillow lava could be located, which is in agreement with recent geophysical studies indicating that the exposed part of Tindaskagi is the top of a much larger structure. Only minor hydrothermal alteration of the hyaloclastites was observed. Two separate environments could be determined in which basaltic glass was altered to palagonite, a steam-dominated system close to the eruption centers and a water-dominated system within the sedimentary sequences.

We conclude that Tindaskagi consists of two main structural units, separated by sediments, a northern and a southern unit, with the northern unit consisting of an upper and a lower unit. Sediments from the northern unit unconformably overlay the southern unit, indicating the possibility that they were not formed in the same eruptive event. This may even mean that the mountain was not formed during just one stadial but that the ice sheet grew and waned several times while the volcano was being built up by numerous eruptions. Our investigations suggest that the glacier around Tindaskagi was approximately 600–700 m thick when it was constructed.

EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	2
ABSTRACT	2
1 INNGANGUR	5
1.1 Móberg og móbergsrannsóknir	5
1.2 Markmið rannsóknarinnar	5
2 AÐFERÐIR OG VINNUBRÖÐ	7
2.1 Útvinna	7
2.2 Innvinna	7
3 JARÐSAGA SVÆÐISINS	8
4 HUGTÖK – SKILGREININGAR	9
5 JARÐLAGASNIÐ	10
5.1 Snið 17 – Lýsing og túlkun	10
5.1.1 Eining 1	10
5.1.2 Eining 2	11
5.1.3 Eining 3	11
5.1.4 Eining 4	12
5.1.5 Eining 5	12
5.1.6 Eining 6	12
5.1.7 Samantekt á sniði 17	13
5.2 Miðnes	18
5.2.1 Snið 54 – Lýsing og túlkun	18
5.2.2 Snið 53 – Lýsing og túlkun	20
5.2.3 Samantekt og vangaveltur um snið 54 og 53	22
5.3 Snið 55 – Lýsing og túlkun	27
5.3.1 Eining 1	27
5.3.2 Eining 2	27
5.3.3 Eining 3	28
5.3.4 Eining 4	29
5.3.5 Eining 5	29
5.3.6 Samantekt og vangaveltur um einingar 1–5	30
5.3.7 Eining 6	32
5.3.8 Eining 7	35
5.3.9 Samantekt á einingum 6 og 7	35
6 NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA	39
7 FREKARI RANNSÓKNIR	41
8 ÞAKKARORÐ	42
9 HEIMILDASKRÁ	43

MYNDIR

1. mynd. Yfirlitskort af Tindaskaga sem sýnir þær fjórar opnur sem skoðaðar voru	6
2. mynd. Staðsetning sniðs 17 í Tindaskaga	10
3. mynd. Valin lög úr sniði 17	15
4. mynd. Staðsetning sniða 53 og 54 í Tindaskaga	18
5. mynd. Sérkennileg dreifing gelpalagóníts í fersku síderómelangleri	18
6. mynd. Snið 54 í Miðnesi	23
7. mynd. Snið 53 í Miðnesi	25
8. mynd. Staðsetning sniðs 55 í Tindaskaga	27
9. mynd. Aðfærsluæð, berggangur sem breytist í bólstra og brotaberg	33
10. mynd. Skematísk teikning af völdum jarðlögum í sniði 55	36

LJÓSMYNDIR

1. ljósmyndablað. Valdar ljósmyndir af sniði 17	16
2. ljósmyndablað. Valdar ljósmyndir af sniði 54 í Miðnesi	24
3. ljósmyndablað. Valdar ljósmyndir af sniði 53 í Miðnesi	26
4. ljósmyndablað. Valdar ljósmyndir af snið 55	37

1 INNGANGUR

Hugmyndin að verkefninu kviknaði á vordögum 1999. Ætlast er til að allir jarðfræðanemar taki þátt í námskeiði í bergfræði en þar er m.a. fjallað lítillega um móberg, tilurð þess og ummyndun. Ljóst er að mikið vantar upp á þekkingu vísindamanna á þessum jarðmyndunum og vildu höfundar skýrslunnar gjarna leggja sitt af mörkum til að fylla í eyðurnar. Dr. Sveinn P. Jakobsson, jarðfræðingur á Náttúrufræðistofnun Íslands og umsjónarmaður verkefnisins, stakk upp á Tindaskaga sem hentugum byrjunarreit.

Sótt var um styrk fyrir launakostnaði til Nýsköpunarsjóðs námsmanna. Þar fékkst styrkur upp á þrjú mannmánuði sem skipt var jafnt á milli þátttakenda, hálfur annar mánuður á mann. Náttúrufræðistofnun Íslands lagði fram rausnarlegt mótframlag til að standa straum af kostnaði við útivinnu. Þar undir flokkast t.d. dagpeningar, bílakostnaður, gögn og búnaður til útivinnu, ská- og loftmyndir o.fl. tilfallandi. Starfsmenn Háskóla Íslands voru mjög hjálplegir og lánuðu tæki og sérfræðiþekkingu sína. Þunnsneiðar voru gerðar á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins (Rb) á Keldnaholti.

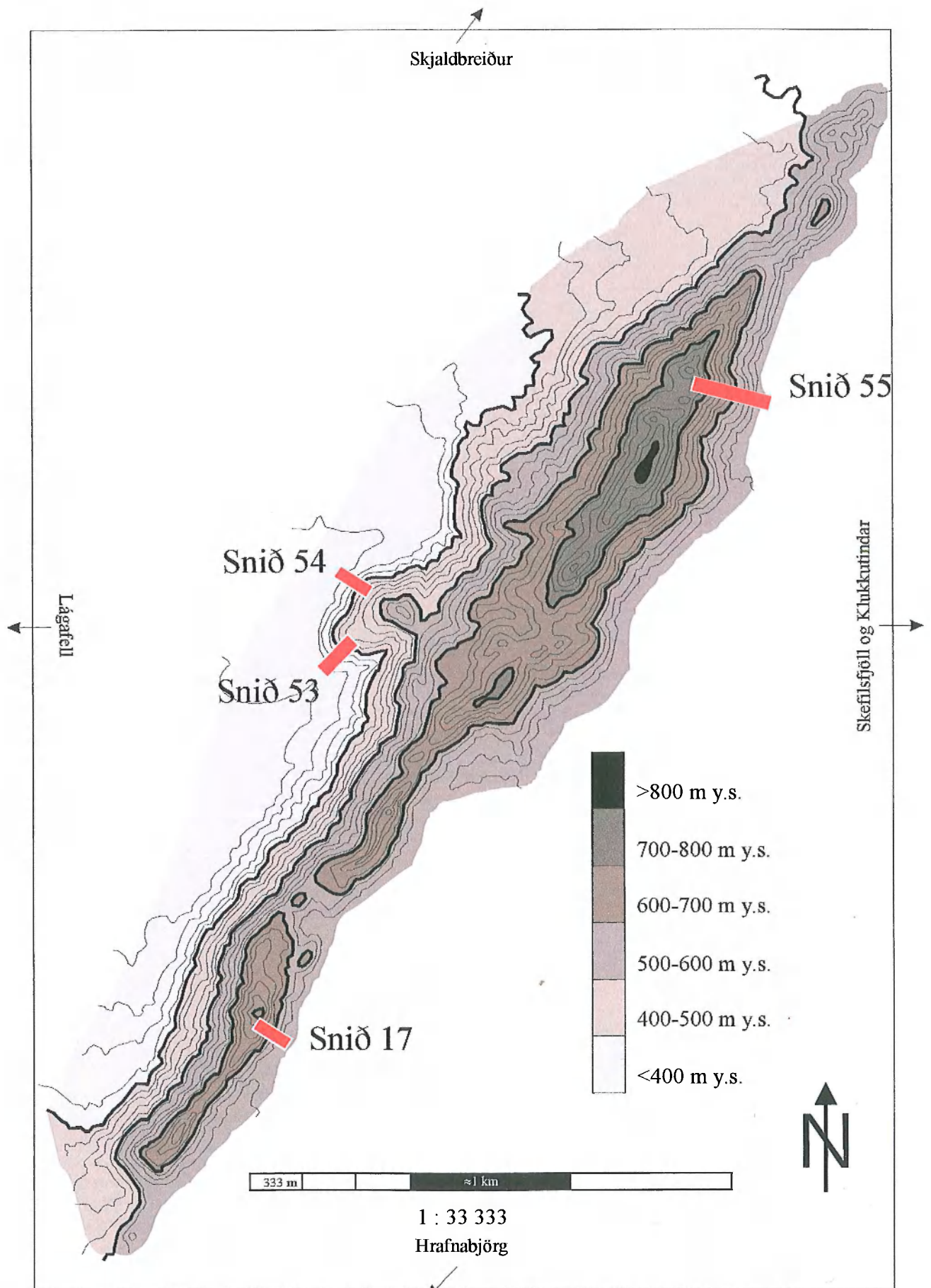
1.1 Móberg og móbergsrannsóknir

Hérlendis finnst mikið móberg greipt í jarðlagastaflann, þ.e. varðveitt milli hrauna sem runnu á hlýskeyðum ísaldar. Því hefur verið lýst á nokkrum stöðum; á Íslandi (Helgi Pjetursson 1900; Peacock 1925; Noe-Nygaard 1940; Guðmundur Kjartansson 1943, 1959; Þorleifur Einarsson 1960; Walker og Blake 1966; Jones 1969, 1970; Sveinn P. Jakobsson 1972, 1978; Furnes o.fl. 1980; Allen o.fl. 1982; Bergh og Sigvaldason 1991; Moore og Calk 1991; Werner og Schmincke 1999), Breska Columbia (Mathews 1947; Allen o.fl. 1982; Moore o.fl. 1995) og Suðurskautslandinu (Le Masurier 1972; Wright 1980; Wörner og Viereck 1987; Smellie o.fl. 1988, 1993; Smellie og Skilling 1994; Skilling 1994).

Eins og sjá má hafa móbergsrannsóknir verið stundaðar með einu eða öðru sniði alla tuttugustu öldina, þó það sé aðeins tiltölulega nýlega að farið var að beita setlagafræðilegum aðferðum í þessum rannsóknum. Fram að þeim tíma hafði móbergi verið lýst út frá berg- og efnafræði en lítill gaumur verið gefinn að þeim setlagafræðilegu ferlum sem ríkja við upphleðslu jarðlaganna.

1.2 Markmið rannsóknarinnar

Eitt aðalmarkmið þessa verkefnis var að leitast við að lýsa jarðlögum í Tindaskaga með aðferðum setlagafræðinnar. Til að ná því fram voru fjórar opnur teknar sérstaklega fyrir (1. mynd). Þannig vildum við fá tiltölulega nákvæma vitneskju um þær aðstæður sem ríktu meðan á upphleðslu fjallsins stóð. Svipaðar rannsóknir hafa verið stundaðar í litlum mæli á Suðurskautslandinu (Smellie o.fl. 1993; Smellie og Skilling 1994; Skilling 1994) og hérlendis (Werner og Schmincke 1999; Bergh og Sigvaldason 1991).



1. mynd. Yfirlitskort af Tindaskaga sem sýnir þær fjórar opnur sem skoðaðar voru.

2 AÐFERÐIR OG VINNUBRÖÐ

2.1 Útvinna

Þrjár vettvangsferðir voru farnar seinni hluta sumars 1999. Sú fyrsta var farin dagana 21.–23. júlí til að kynna aðstæðum á staðnum og finna staði í fjallinu sem væru hentugir til nákvæmra rannsókna. Önnur ferðin var farin 18.–21. ágúst og sú þriðja dagana 29. ágúst – 3. september. Báðar seinni ferðirnar voru nýttar til að ganga um stærstan hluta fjallsins og kortleggja jarðlögin, auk þess sem nokkur snið voru mæld upp með setfræðiaðferðum. Okkur til aðstoðar í þessari vinnu höfðum við loftmyndir af svæðinu og skámyndir af vesturhlíðum hryggjarins.

Áhersla var lögð á að taka nokkur nákvæm setfræðileg snið sem nýst gætu við mat á umhverfisaðstæðum. Þar sem því varð við komið voru málband og hallamælir notuð til að finna raunverulega þykkt laganna. Myndavél var alltaf með í för og voru teknar milli 150 og 200 ljósmyndir til að styðjast við í úrvinnslu. Sýnataka var mikilvægur þáttur af útivinnunni. Sýni voru tekin í öllum stærstu og mikilvægustu opnunum (þ.e. þeim sem við lýstum lag fyrir lag og mældum upp) og úr þeim voru gerðar þunnsneiðar á Rb á Keldnaholti. Einnig tókum við sýni í öðrum opnum og hafa þau nýst vel við úrvinnslu gagna.

2.2 Innvinna

Þegar útivinnu lauk hófst úrvinnsla gagna; jarðlagasnið voru teiknuð upp af fjórum stöðum, þeim lýst í texta og þau túlkuð m.t.t. umhverfisaðstæðna. Aðeins lítið brot af þeim gögnum sem söfnuðust er birt í þessari skýrslu.

Vinna með þunnsneiðar var mikilvægur þáttur í gagnasöfnuninni. Þunnsneiðarnar voru skoðaðar og þeim lýst. Samsetning móbergsins var metin, þ.e. hlutfall glers, bergbrota og kristalla, og kornastærðarathuganir voru gerðar. Allar þessar athuganir geta veitt mjög mikilvægar upplýsingar um uppruna setsins og flutningsmáta, auk þess að gefa góða hugmynd um sögu setsins eftir að það settist til. Þannig voru niðurstöðurnar úr þunnsneiðaskoðuninni nýttar til að fá enn betri hugmynd um sniðin en unnt hefði verið með setlagafræðilegum lýsingum einum saman.

3 JARÐSAGA SVÆÐISINS

Tindaskagi er einn af fjölmörgum móbergshryggjum á Íslandi. Hann tilheyrir vestra gosbeltinu, hinu svonefnda Reykjanes-Langjökuls-gosbelti, og er ~15 km NA af Þingvöllum. Hryggurinn er rúmir 8 km á lengd og nær upp í 817 m y.s. Allt um kring liggja nútímahraun þétt upp að hryggnum og mesta afstæða hæð hans yfir umhverfið er 450 m. Hann er talinn hafa myndast á síðasta kuldaskiði ísaldar, Weichsel (Kristján Sæmundsson 1992).

Í Þingvallasigdældinni má sjá flekaskil. Jarðskorpuhreyfingum á flekaskilum fylgja miklir jarðeldar og hefur svæðið verið virkt í milljónir ára. Elsta bergið á yfirborði innan vatnasviðs Þingvallavatns hefur verið aldursgreint með K/Ar-aðferðinni og reyndist það vera 1,8–1,6 milljón ára gamalt, þ.e. það tilheyrir Olduvai-segulskeiðinu (LaBrecque o.fl. 1977). Frá þeim tíma hefur eldvirkni hlaðið upp bæði móbergsmýndunum og hraunum eftir því sem kulda- og hlýskeyði ísaldar hafa skipst á. Á nútíma hafa öll fjögur eldstöðvakerfin sem þekkt eru á svæðinu látið á sér kræla með misstórum sprungu- og dyngjugosum (Kristján Sæmundsson 1992).

Tektóník Þingvallasvæðisins skipar veigamikinn sess í hvers konar jarðfræðirannsóknnum á svæðinu. Mest ber á siggengjum, þau afmarka ósamhverfan sigdalinn. Vesturhlið sigdalsins er mörkuð af fáum og vel afmörkuðum misgengjum meðan austurhliðin er miklu minna áberandi sigrin; hún sígur niður í mörgum lágum misgengjum. Jarðlögin sem sjást á yfirborði sýna svo ekki verður um villst að á meðan á myndun þeirra stóð var svæðið mjög virkt, tektónískt séð (Kristján Sæmundsson 1992).

Talið er að undanfarin 10 þúsund ár eða svo hafi Ísland verið að mestu leyti íslaust. Fyrir um 11–10 þús. árum náði jökullinn alla leið þangað sem nú er Fossvogur (Hreggviður Norðdahl 1990) og snemma á Preboreal (10–9 þúsund ár BP) hafði jökullinn aðeins hörfað inn að núverandi Mosfellsbæ (Hreggviður Norðdahl 1990). Ekki hafa fundist heimildir um nánari hörfun meginjökulsins á Þingvallasvæðinu en Skjaldbreiðarhraunið er 9000 ¹⁴C-ára gamalt (Kristján Sæmundsson 1992). Þetta þýðir að hörfun jökulsins hefur verið mjög hröð þegar inn á Preboreal var komið.

Á hlýskeyðum ísaldar hafa hraunlög lagst upp að Tindaskaga. Samkvæmt jarðlagalíkani sem Magnús T. Guðmundsson o.fl. (2000) bjuggu til út frá jarðeðlisfræðilegum gögnum bendir margt til þess að móbergið í Tindaskaga nái nokkur hundruð metra niður fyrir núverandi yfirborð. Sá hluti Tindaskaga sem sést á yfirborði virðist því aðeins vera toppurinn af mun stærra fjalli.

4 HUGTÖK – SKILGREININGAR

Vegna þess hve fáar rannsóknir hafa verið framkvæmdar á þessu sviði jarðfræðinnar eru hugtök lítt þekkt og stundum óljós. Til þess að einfalda hið flókna var leitast við að nota hugtök sem þegar hafa verið viðurkennd innan eldfjalla- og setlagafraeðinnar.

Móberg er flókið fyrirbæri og margt í myndun þess er vert að rannsaka enn frekar. Þessi ritgerð er hugsuð sem eitt af mörgum skrefum í átt að aukinni þekkingu í setfræðilegri eldfjallafræði hér á landi, þar sem leitast verður við að rannsaka setlagafraeðilega uppbyggingu gosmyndana eins og móbergsfjalla.

- **Gjóska (tefra):** Ósamliamt, pýróklastískt eða hýdróklastískt efni, án tillits til kornastærðar eða uppruna.
- **Móberg:** Samliamt, ummyndað, basískt/ísúrt og glerríkt gosberg. Að uppruna aðallega gjóska. Móberg skiptist eftir kornastærð í túff (fínkorna) og túffbrotaberg (fín- og grófkorna). Hér er móberginu skipt eftir uppruna í gos- og setmóberg:
 - Gosmóberg* myndast næst upptökunum og sýnir engin eða dauf byggingar-einkenni sem rekja má til flutnings.
 - Setmóberg* myndast/hleðst upp fjær upptökunum og einkennist af greinilegum flæðistrúktúrum (lóðgreiningu, skálögun, trogum o.fl.); upphleðsla þar sem niðurbrot og flutningur á gosmóbergi á sér stað.
- **Móbergshryggur/-fjöll/-myndanir:** Gosmyndun hlaðin upp undir jökli, í vatni eða sjó. Samanstendur af gosmóbergi og/eða setmóbergi, en einnig innskotum, bólstrabergi og yfirborðshraunum.
- **Setskriða:** Vísar til flutnings gjósku í þurru eða röku umhverfi.
- **Setflóð:** Vísar til flutnings gjósku í vatni, hvort sem er grunnu eða djúpu.

5 JARÐLAGASNIÐ

Hér eru birt markverðustu gögn, sem söfnuðust í vettvangsferðum um Tindaskaga, og þau túlkuð. Athygli er vakin á því að aftast í köflum 5.1–5.3 er jarðlagasnið sem sýnir skematíska afstöðu og einkenni hvers sniðs fyrir sig. Einnig fylgja nokkrar ljósmyndir máli okkar til stuðnings. Á 1. mynd má sjá staðsetningu þeirra sniða sem voru kortlögð. Í textanum má finna undirkafla sem nefnast „Til umhugsunar“. Þar eru á ferðinni hugmyndir og vangaveltur í tengslum við þau gögn sem söfnuðust í Tindaskaga.

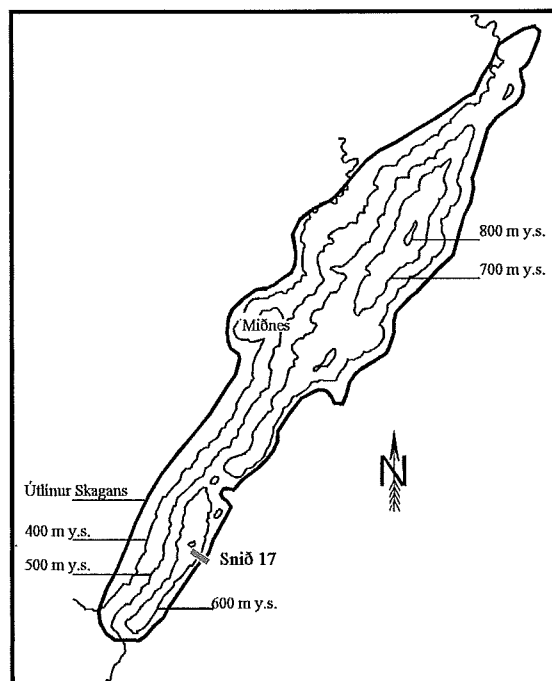
5.1 Snið 17 – Lýsing og túlkun

Snið 17 er staðsett sunnarlega í Tindaskaga (2. mynd). Í stuttu máli er hér um að ræða leifar af stórum hraungíg, ekki ósvipuðum og hlóðst upp í Surtseyjargosinu 1964–1967 (Sigurður Þórarinnsson 1965, 1968a, 1968b). Við fyrstu sýn bendir margt til þess að Tindaskaga megi skipta í a.m.k. tvö gossvæði, syðra og nyðra. Gígurinn við snið 17 er líklega miðpunktur þeirrar gosvirkni sem átt hefur sér stað á suðurgossvæðinu. Sniðinu er skipt upp í 6 einingar og verður hverri einingu lýst frá botni og upp og hún túlkuð.

5.1.1 Eining 1

Aðeins tvö lög voru skoðuð í þessari einingu (Ia og Ib) og túlkuð sem setmóberg. Þau eru talin gefa góða mynd af einingunni í heild. Lag Ia er grunnborið, misleitt með gjalli á víð og dreif. Einstaka gjallmolar eru rauðoxaðir. Gert er ráð fyrir að lag Ia hafi myndast í gjóskuflóði og eigi uppruna sinn í „surtseyskri“ eldvirkni. Lag Ib er hins vegar úr fremur einsleitu, lítt lagskiptu setmóbergi með gjalli (4–6 cm) á víð og dreif. Inn á milli er grófara efni í illa afmörkuðum, misþykkum lögum. Lag Ib er líklegast myndað úr endurteknum háeðlisþyngdarstráumum.

Handsýni var tekið úr lagi Ia og þunnsneið gerð. Hún var kornastærðargreind og kom í ljós að um 80% þeirra korna sem voru mæld eru 0,06–2 mm (sandur eða gróf aska). Í fljótu bragði þykir þetta benda til að hluti finu öskunnar hafi borist upp í gosmekki eða verið þeytt í burtu í kjölfar gufusprenginga (Fisher og Schmincke 1984). Um 60% glersins er palagónítiserað, en það sem skekkir þessa niðurstöðu er smæð glerkornanna¹. Þegar glerkorn >5 mm í þvermál voru skoðuð kom í ljós að þykkt palagónítsins var í flestum tilfellum sú sama, sem bendir til þess að ummyndun hafi átt sér stað í vatns- en ekki gufuumhverfi (Sveinn P. Jakobsson, munnlegar upplýsingar). Engin bergbrot sást í þunnsneiðinni, þó nokkuð hafi sést af bergbrotum í setlaginu sjálfu. Síðsteindir í þunnsneiðinni eru um 16% en vegna smæðar tókst ekki að tegundagreina þær. Mikið sást af snöggkældum kristöllum í glerinu.



2. mynd. Staðsetning sniðs 17 í Tindaskaga. Mælikvarði myndarinnar er 1:75 000.

¹ Magn palagóníts var metið út frá talningu í þunnsneið. Með þeirri stækkun sem notuð var við talningu virtist sem mest allt glerið væri palagónítiserað, en þegar meiri stækkun var notuð kom annað í ljós: Glerkornin voru ekki öll palagónítiserað heldur með palagónít-rönd.

5.1.2 Eining 2

Einingin er grunnborin (sandstærð) og aðskilin frá einingu 1 af roffleti (sjá 1. ljósmyndablað, mynd B). Gjósku- og bergmolar, allt að 30 cm í þvermál, eru dreifðir um eininguna. Þeir eru úr þéttu, mjög ólivínríku bergi. Að okkar mati er hér um að ræða annaðhvort aurflóð (lahar) eða aurskriðu (debris flow). Aurflóð einkennast af óljósri lagskiptingu, grunnbornu efni með stórum hnellingum og verða til er umhverfi gosstöðva mettast af vatni og framhlaup á sér stað. Aurskriður einkennast aftur á móti af einsleitu efni, þær eru grunnbornar og samloðunarstyrkur grunnmassa er mikill.

Mjög einkennandi halli mældist á setlögnum ofan við einingu 1. Mæling gaf 56° inn að miðju hryggjarins. Aðstæður á vettvangi benda sterklega til þess að einingin sé hluti af sprengigíg sem nú er nánast horfinn. Hugsanleg skýring á þeim mikla halla sem mældist í einingunni er að okkar mati sú að setið hafi verið mjög eðlisþétt og samloðandi og hafi halli setlaganna því varðveist, en einnig má leita skýringarinnar í höggum.

5.1.3 Eining 3

Þessi eining er úr einsleitu, grunnbornu setmóbergi. Gjósku- og bergmolar (<20 cm, að meðaltali 5–10 cm) eru jafndreifðir um lagið. Lítið er um gjall í einingunni. Bergbrotin innihalda mikið af ólivínkristöllum. Blöðrur eru smáar eða að meðaltali 3 mm að þvermáli. Inn á milli er grófara efni í illa afmörkuðum misþykkum lögum; meðalstærð kornanna í þessum lögum er 20–25 cm. Einingunni hallar mjög mikið, um 46° inn að miðju hryggjarins. Túlkun á einingu 3 er sú sama og fyrir einingu 2.

Handsýni var tekið úr einingunni og búin til þunnsneið. Hún var kornastærðagreind og kom í ljós að 80–90% þeirra korna sem mæld voru eru 0,06–2 mm (sandur eða gróf aska). Þetta er nánast sama útkoma og fékkst í einingu 1. Athygli vakti að engin ummyndun hefur átt sér stað í einingunni önnur en samlíming. Þetta vakti upp spurningar um eðli ummyndunarinnar, þ.e. dreifingu varma, því rétt steinsnar frá einingunni er þykkur hraunbunki (eining 5), sem án efa hefur valdið tímabundinni hækkun hitastiguls. Engar síðsteindir greindust í þunnsneiðinni.

Til umhugsunar: Mikill halli setlaga í eldfjallaumhverfi

Mjög áhugavert er að velta fyrir sér hvernig á því getur staðið að setlögnum hallar svo mikið í einingum 2 og 3. Eins og kom fram í túlkun einingar 2 er líklegt að samloðun og innri styrkur setsins hafi mikið að segja um þann halla sem setið stoppar í. Myndunarumhverfi Tindaskaga er mjög vatnsmettað; til þess bendir allt glerið í móberginu. Við skulum velta því fyrir okkur hvernig gjóska hagar sér í snertingu við vatn.

Laus setlög í vatni þola minni halla en sambærileg setlög á þurru landi vegna þess að eðlisþyngd vatnsins kemur af stað flotjafnvæghreyfingum meðal kornanna og minnkar þannig innra viðnám þeirra (Áslaug Geirsdóttir og Jón Eiríksson 1995). Því er harla ólíklegt að setlög með >45° halla geti myndast í vatni. Hins vegar hafa Wohletz og Sheridan (1983) bent á að gígmyndanir í vatnsumhverfi (grunnt yfirborðsvatn) eru brattari, bæði að innan- og utanverðu, en gígmyndanir á þurrlandi. Mesti utanverður halli sem þeir gefa upp er 30° í Surtsey og Koko-gíg á Hawaii, en innanverður halli getur orðið meiri. Miklir efnisflutningar eiga sér stað inni í gígum við þessar aðstæður. Því getum við ályktað að setlögin í einingum 2 og 3 hafi myndast í umhverfi sem einkenndist af grunnstæðu vatnsborði, þar sem gosmyndanir hlóðust upp ofan vatnsborðs.

5.1.4 Eining 4

Þessi eining liggur beint undir einingu 5 (helluhraun) og mældist 1,5 m. Einingin einkennist af tveimur ásýndum (IVa og IVb) sem skiptast á reglulega upp eininguna.

Lag IVa einkennist af innbyrðis kornastærðaraðgreiningu þar sem hver kornastærð raðast upp í lög. Þessi lög eru þó ekki með nein skýr lagmót. Áberandi eru blöðróttir gjallmolar, eldfjallagler og hreinir, stakir ólívínkristallar (nokkrir mm að stærð). Lag IVb skortir alla grófa gjósku, auk þess sem lagskiptingin er ógreinileg. Hér sáum við nokkuð af bombuförum. Enginn vafi leikur á að um „surtseyska“ eldvirkni er að ræða og lög IVa og b eru því mynduð við gjóskufall á þurru landi.

Handsýni var tekið úr einingunni og gerð af því þunnsneið. Mikil palagónítisering hefur átt sér stað (50–70% af glerinu), auk þess sem mikið magn síðsteinda hefur myndast í blöðrum og öðrum holrýmum. Meira sást af takkylíti í þessu sýni en þeim sem áður hefur verið lýst í sniði 17. Gæti það bent til þess að gosefnið hafi í ríkari mæli loftkælst í stað þess að vatnskælast sem síderómelan.

5.1.5 Eining 5

Í þessari einingu eru eingöngu þunn hraun. Heildarþykkt hraunanna er um 20 m, en hver hraunstraumur er 2–4 m þykkur. Bergið er mjög þétt og hart með stórum ólívínkristöllum og smáum feldspatkristöllum. Þegar hér er komið sögu hefur eldvirknin einangrast frá öllu vatni.

5.1.6 Eining 6

Ofan á hraununum liggur mjög óreiðukennt setmóberg. Lagið er >10 m þykkt en lárétt útbreiðsla þess er um 400 m. Í láréttu sniði má sjá miklar breytingar í setstrúktúrum, miklu meiri en í lóðréttu sniði. Túlkun gagna bendir til þess að hér sé um að ræða lahar. Einingin er þykkust í norðurendanum (>10 m) en þynnst, 1 m, í suðurendanum (sjá 3. mynd). Í norðurendanum er uppbygging ógreinileg, einna helst sáust straumkenndir strúktúrar (VIb), sem marka skil milli VIa og VIc. Í suðurendanum má greina m.a. roffleti og skálögun í setlaginu. Þykkt norðurhlutans og staðsetning hans innan sniðsins þykir benda til þess að um innri gígarm sé að ræða. Bogadregnar rennslissprungur sem fundust ofarlega í norðurhlutanum benda til þess að gjóskan hafi þurft að yfirvinna innri skerstyrk til þess að geta borist niður á hraunin í einingu 5, þ.e.a.s. flóðið hagaði sér ekki eins og Newtonskur vökví. Setið í einingunni er grunnborið og mikið er af rauðoxuðu gjalli og ólívínríkum bergbrotum sem benda sterklega til myndunar ofan vatnsborðs. Samanburður á bergmolum úr einingu 6 og hrauninu fyrir neðan bendir til að bergbrotin séu ættuð úr sama gosfasa (þarf ekki að hafa verið sama gos). 3. mynd sýnir í grófum dráttum hvernig einingin kom fyrir sjónir. Meðfylgjandi er 1. ljósmyndablað, sem ætlað er að gefa 3. mynd meiri dýpt.

Við þunnsneiðarskoðun kom í ljós að mikið var af takkylíti og bergbrotum sem styður þær hugmyndir að einingin hafi myndast ofan vatnsborðs. Það merkilegasta við þessa þunnsneið var samband ummyndunarsteinda og fínnar ösku. Fín aska (<0,06 mm) hefur komist inn í stórar blöðrur (0,5–4mm), sest þar til eins og hvert annað set og ummyndunarsteindirnar síðan kristallast yfir. Þetta var eina þunnsneiðin þar sem tókst að greina kristöllunarröð ummyndunarsteinda: Gróffjaðra leir->(ópal?)>kabasít. Töluverðar líkur eru fyrir því að hitinn í setinu hafi náð allt að 60°C; til þess bendir magn palagóníts og tilvist kabasíts. Að öllum líkindum hefur hitinn borist upp frá kólnandi hrauninu í einingu 5; ekkert bendir til þess að jarðhitasvæði hafi myndast eftir gosið (sbr. einingu 3) (Sveinn P. Jakobsson 1978; Sveinn P. Jakobsson og Moore 1986).

5.1.7 Samantekt á sniði 17

Eftir að hafa skoðað öll gögnin og borið þau saman við áður þekkt gos er ljóst að gosvirknin við snið 17 er merkilega lík því sem átti sér stað í Surtsey á árunum 1964–1967 (Sigurður Þórarinnsson 1965, 1968a, 1968b): Eldgos sem rís upp fyrir vatnsfirborð.

Eining 1 sker sig úr þessum stafla. Ekki er ólíklegt að hún sé mynduð við allt aðrar aðstæður en efri einingarnar, jafnvel gæti hún verið leifar af miklu eldri myndun. Gjóskan bendir þó til að gosvirknin hafi að einhverjum hluta einkennst af sprengivirkni og gjallmyndun, sem setur gosrásina ofan eða rétt við vatnsborð. Ummyndunin í einingu 1 bendir til að einingin hafi verið á kafi í vatni. Vatnið gæti verið jökulbráð, grunnvatn, stöðuvatn o.s.frv.

Helsta einkenni á einingum 2 og 3 er hinn mikli halli (46–56°). Hann er sérstæður þar sem laus setlög eru óstöðug við þennan halla og hafa tilhneigingu til að fara af stað og setjast til aftur undir minna horni. Laus setlög í vatni þola minni halla en sambærileg setlög á þurru landi eins og áður hefur verið bent á (Áslaug Geirsdóttir og Jón Eiríksson 1995). Þetta gæti þýtt að þessi lög hafi ekki sest til í djúpu vatni heldur innan á bröttum gígvegg sem hélt mesta vatninu frá kvikunni. Þrír þættir styðja þá hugmynd að gígmyndun hafi átt sér stað við snið 17 (1. ljósmyndablað, mynd A): Mikill halli setlaga inn að hryggnum, uppsöfnun hrauna og túffið sem safnaðist saman ofan á hraunin. Vegna legu hraunanna má einnig ímynda sér að gígurinn hafi verið flangur, 500 m langur og 250 m breiður. Líklega var gígurinn ekki orðinn alveg „þurr“ meðan lög in í einingum 2 og 3 voru að myndast, það má greina á mikilli dreifingu í kornastærð, síderómelangleri og því að engar öskubaunir eða bombur (eða för eftir bombur) er að finna í þessum lögum.

Hins vegar er sennilegt að eining 4 hafi myndast í „surtseyskri“ eldvirkni. Þessi eining er gjörólík neðri einingunum, bæði hvað varðar samsetningu (gler, gjall, vel kristallað berg, stakir ólívínkristallar og öskubaunir), lagskiptingu (greinileg, fín), byggingareinkenni (för eftir bombur) og halla (minni halli en í einingum 2 og 3).

Þau fjögur handsýni sem safnað var við vettvangsvinnu (einingar 1,3,4 og 6) eru öll mikið palagónítiseruð nema eitt, sýnið úr einingu 3. Áður en lengra er haldið skal tekið fram að myndun einingar 1 er mjög óljós og alls óvíst að hún tengist að nokkru leyti einingunum fyrir ofan, eins og áður hefur komið fram. Hins vegar er mjög auðvelt að leiða að því líkur að hitinn frá hraununum í einingu 5 hafi valdið ummynduninni í einingunum að ofan og neðan. Í Surtsey myndaðist jarðhitakerfi um það bil sem gosvirkni lauk og var uppruni þess rakiinn til hita frá innskotum (Sveinn P. Jakobsson og Moore 1986). Hitinn frá jarðhitakerfinu palagónítiseraði túffið og breiddist ummyndunin út á nokkrum árum. Samkvæmt framansögðu bendir ekkert til þess að ummyndun hafi breiðst út eins og gerðist í Surtsey (Sveinn P. Jakobsson og Moore 1986). Því má áætla að ekkert jarðhitakerfi hafi myndast í tengslum við gosvirknina í sniði 17.

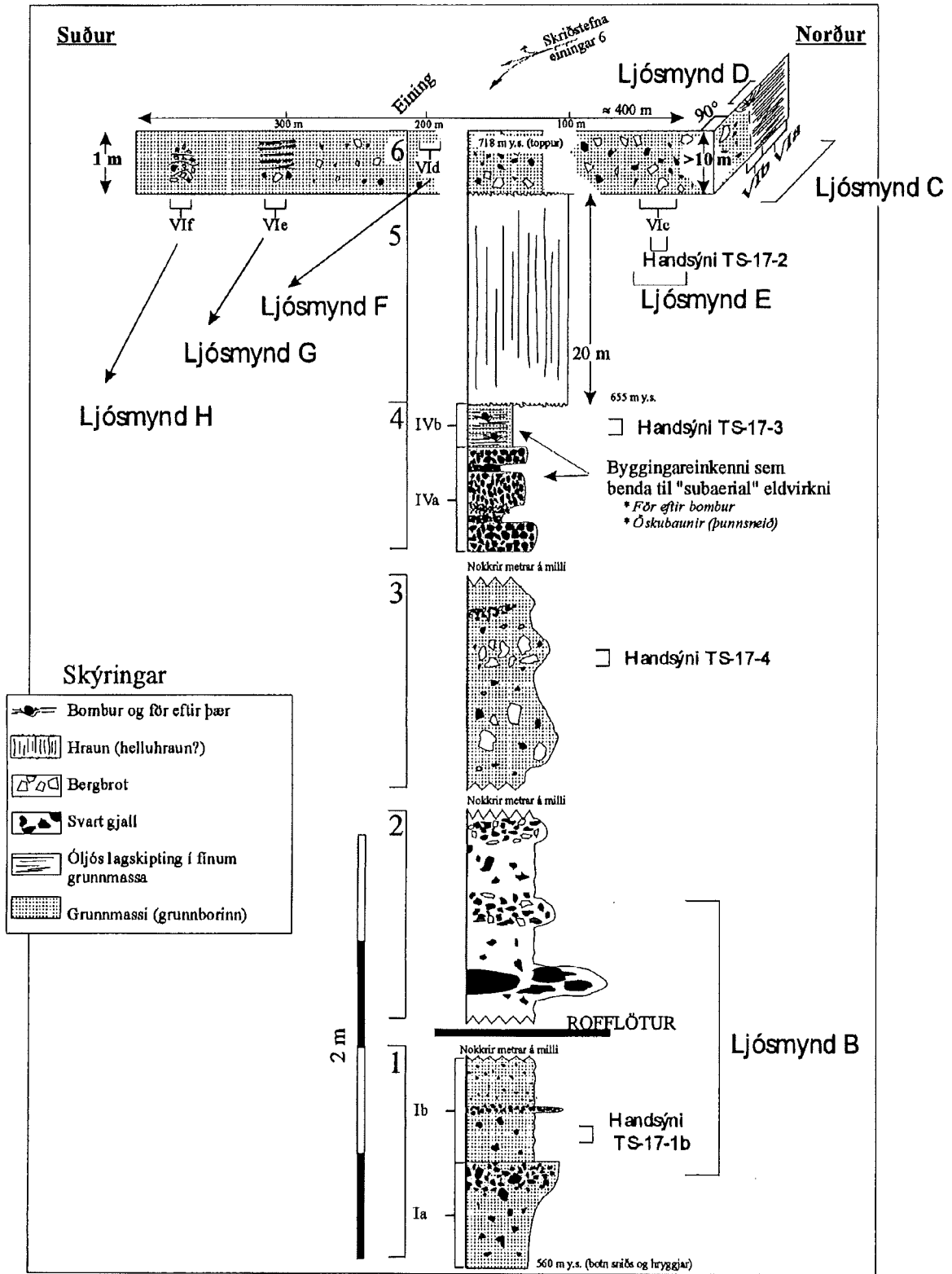
Áður en horfið er frá þessari umræðu er vert að nefna þætti sem hafa áhrif á ummyndun glers, annars vegar vatn og hins vegar hiti. Hvor þessara þátta var takmarkandi í ummyndunarferlinu við snið 17 verður ekki svarað hér en vert er að athuga það nánar því svo virðist sem útbreiðsla hitans við sniðið hafi verið mjög staðbundin, þ.e. mest næst hraununum.

Eftir að hafa rakið í fljótu bragði helstu einkenni eininga 1–4 er kominn tími til að huga að hugsanlegu myndunarumhverfi. Ekki þykir nauðsyn að fjalla sérstaklega um einingar 5 og 6 því þær koma sjálfkrafa inn í myndunarsöguna. Vitað er að sá hluti Tindaskaga sem sést nú er aðeins efsti parturinn af mun stærri myndun (sjá að framan). Þess vegna er líklegt að snið 17 hafi hlaðist upp ofan á miklum móbergshaug. Þessi vitneskja gerir túlkun aðeins flóknari en

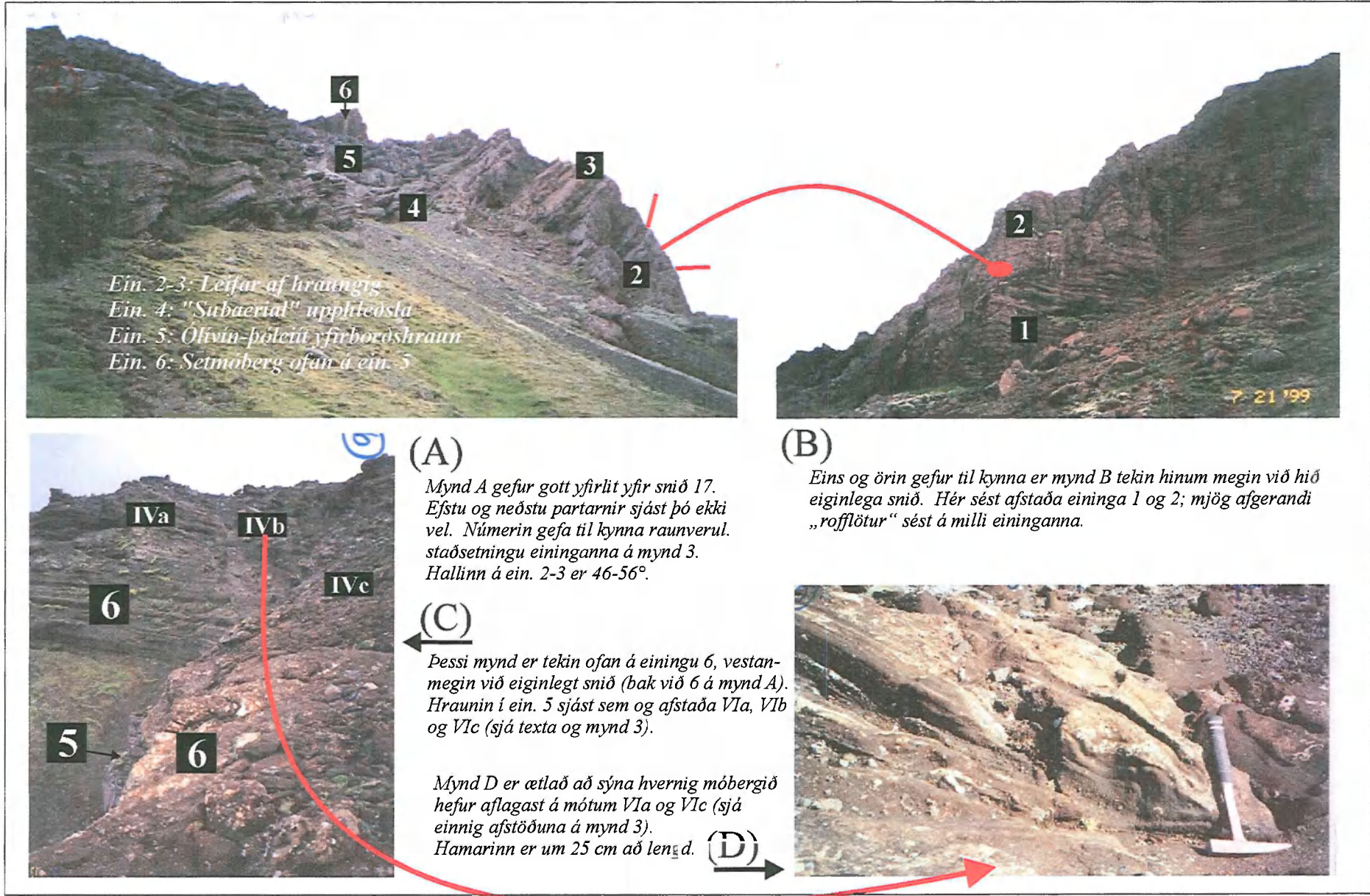
einnig markvissari, því auðveldara verður að setja gosmyndunina í víðara samhengi. Ljóst er að mikið vatn kemur við sögu í myndunarferli sniðs 17, því er sett fram hér sú tilgáta að upphleðslan hafi átt sér stað í öðru hvoru þessara umhverfa:

- 1) Öll opnan myndast á hlýskeiði; umhverfið þó vatnsmettað: Grunnt lón eða stöðuvatn.
- 2) Opnan lýsir eldvirkni í jökulumhverfi.

Hvort sem eldgosíð sem myndaði snið 17 varð á ísöld eða ekki liggur ljóst fyrir að mikill hluti þessarar jarðmyndunar er horfinn og aðeins eftir um 250 m breið spilda efst á hryggnum sem gefur til kynna hversu mikilfengleg jarðmyndun þetta hefur verið. Rofið hefur að öllum líkindum orðið vegna núnings ísaldarjökuls við hrygginn.



3. mynd. Valin lög úr sniði 17.



Ein. 2-3: Leiðar af hraungíg
 Ein. 4: "Subaerial" upphléðsla
 Ein. 5: Ólívín-þóleið yfirborðshraun
 Ein. 6: Setmóberg ofan á ein. 5

(A)

Mynd A gefur gott yfirlit yfir snið 17. Efstu og neðstu partarnir sjást þó ekki vel. Númerin gefa til kynna raunverul staðsetningu eininganna á mynd 3. Hallinn á ein. 2-3 er 46-56°.

(B)

Eins og örin gefur til kynna er mynd B tekin hinum megin við hið eiginlega snið. Hér sést afstaða eininga 1 og 2; mjög afgerandi „rofflötur“ sést á milli eininganna.

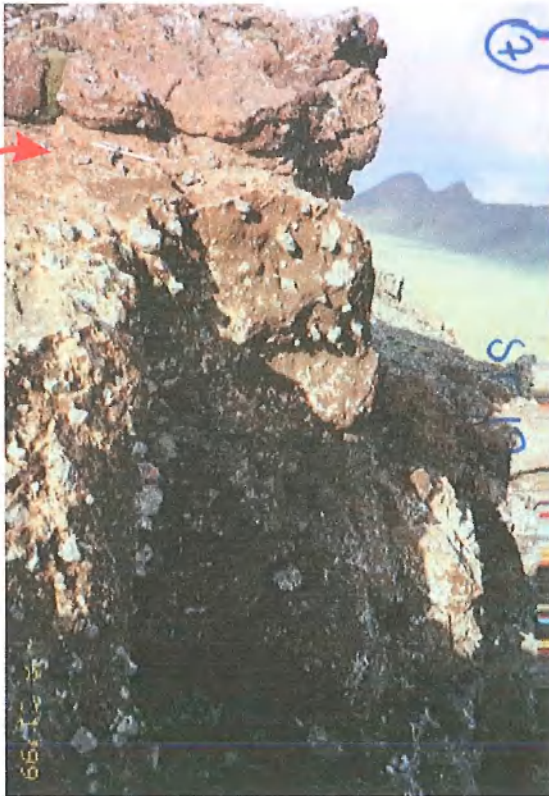
(C)

Þessi mynd er tekin ofan á einingu 6, vestanmegin við eiginlegt snið (bak við 6 á mynd A). Hraunin í ein. 5 sjást sem og afstaða VIa, VIb og VIc (sjá texta og mynd 3).

(D)

Mynd D er ætlað að sýna hvernig móbergið hefur aflagast á mótum VIa og VIc (sjá einnig afstöðuna á mynd 3). Hamarinn er um 25 cm að lengd.

1. ljósmyndablað. Valdar myndir af sniði 17.



(E)

Eins eitur móbergsmassi við VIc, einingu 6. Engin lagskipting sást hér. Herðis er neðst, til vinstri á myndinni. Svona var einingin uns komið var í VId (mynd F).

(F)

Hér er einingin orðin mun þynnri (nokkrir metrar) en á mynd E (VIc). Ef myndin væri skýrari sýjum við glitta í hraunin í einingu 5 neðst, hægra megin á myndinni. Ef vel er rýnt í myndina má sjá glitta í hamar og tommustokk ofarlega á myndinni (sjá ör).



(G)

Þessi mynd er tekin við VIe, staðsett um 300 m frá „upptökum“ einingar 6. Myndin er tekin um 100 m frá mynd F. Hér sjáum við „traction-carpet“ sem myndast hefur ofan á grófara efi. Nánari umfjöllun í texta.



(H)

Þessi mynd er tekin um 360 m frá „upptökum“ einingar 6 (VIj). Hér er gjóskur byrjuð að mynda aðskilin settlög. Mikið er af rauðoxuðu gjalli í setinu, auk vel kristallaðra bergbrota. Skaftið á hamrinum er um 25 cm að lengd.

aukna og öfluga sprengivirkni í vatnsríku eldfjallaumhverfi. Sama getur átt við um gjallið og móbergsbrotin. Móbergsbrotin benda til þess að hryggurinn hafi verið byrjaður að myndast. Bergbrotin eru líklega ættuð nálægt gosrásinni, ekki er þar með sagt að móbergið sé það líka. Móbergið getur verið ættað frá a) gosrásinni, þ.e. öflugar gufusprengingar í jöðrum gosrásarinnar sprengja móbergið laust, eða b) flóð fer af stað (t.d. iðustreymandi lahar) með þeim afleiðingum að rof og uppbrot á sér stað. Út frá þeim gögnum sem söfnuðust í lagi 2 getum við sett upp tvö myndunarferli, annars vegar eðjustraum (turbidity currents) og hins vegar lahar.

Rennslisstrúktúrar einkenna lag 3. Jöfn kornastærðardreifing og skortur á lóðgreiningu bendir til þess að iðustreymi hafi verið ríkjandi í setlaginu; líklega er hér um að ræða fleiri en tvo strauma. Það er ekki margt í lagi 3 sem bendir til þess að það hafi myndast neðan vatnsborðs, líklegra er að umhverfið hafi verið mjög vatnsmettað. Gögnin benda því til þess að hér hafi verið á ferðinni lahar með 40–80% af gjósku á móti vatni (Reading 1996). Grófa lagið í miðjunni (sjá 6. mynd) er afleiðing skerspennukrafta, en þá leita grófustu korn setsins upp í lægstu skerpennum, hvort sem hún er í miðju laginu sjálfu eða á yfirborði.

Í lagi 4 skiptast á setlög gerð úr fínni (IVb) og grófri gjósku (IVa) (sjá mynd A á 2. ljósmyndablaði). Reglulegar endurtekningar setlaganna benda eindregið til púlsvirkni í upphleðslu (Francis 1996). Mikið magn glerjaðs gjalls og öskukennds grunnmassa bendir til þess að gjóskan hafi ekki myndast undir vatnsborði, heldur frekar í tengslum við phreatomagmátíska gosvirkni. Túlkun leiddi í ljós að lag 4 myndaðist ofan vatnsborðs í litlum aurskriðum sem myndast í phreatomagmátísku gosi.

Lögum 5 og 6 svipar nokkuð til laga 3 og 4, a.m.k. teljum við að sama túlkun eigi við þó byggingareinkennin greini þau nokkuð í sundur. Helst má nefna að hlutfallið vatn : set hefur líklega verið nokkuð lægra í lagi 5 en lagi 3 og að setlögin í lagi 6 eru mun þynnri en í lagi 4.

Tvítoppa lóðgreining og gjall einkenna lag 7. Hér bendir margt til þess að setlagið sé gert úr a.m.k. tveimur gjóskuflóðum (subaerial gravity flow deposit).

Lag 8 er þykkasta lagið í þessu sniði (4 m). Laginu má skipta í þrennt: Öflug lóðgreining (VIIIa), rétt lóðgreining (VIIIb) og óljós lagskipting í fínum grunnmassa (VIIIc). Mikil þykkt, lóðgreindir setstrúktúrar og fjölbreytileiki berggerða innan lagsins bendir til mikils framboðs gosefna. Hér er því margt sem bendir til þess að um sé að ræða lahar.

Lög 9, 11, 12 og 14 eru öll mjög svipuð og verður þeim lýst og þau túlkuð saman. Öll eru þessi lög rétt lóðgreind og innhalda bæði gjall- og bergbrot. Lóðgreiningin bendir til þess að nokkurs iðustreymis hafi gætt í setinu. Einkar athyglisverðir straumstrúktúrar sáust efst í lagi 14 (2. ljósmyndablað, mynd D), en túlkun þeirra bendir til að vatnsdýpi á setmyndunartímanum hafi ekki verið mikið. Með hliðsjón af þeim gögnum sem söfnuðust má áætla að hér sé um að ræða lahar (hyperconcentrated flow yfir í debris flow).

Lögum 10 og 13 svipar um margt til laga 4 og 6 hvað upphleðslu varðar, en kornastærðin í lögum 10 og 13 er nokkuð minni. Túlkun okkar á þessum lögum er því sú sama og hér að ofan: Setmyndun ofan vatnsborðs í litlum aurskriðum sem myndast í phreatomagmátísku gosi.

Til umhugsunar: Syrpur í gosvirkni

Ekki reyndist auðvelt að skýra hvernig þunnu setlögín í lögum 4, 6, 10 og 13 mynduðust. Hér verða teknar saman upplýsingar sem skýrt gætu myndun þessara setlaga og í leiðinni sett fram hugmynd að upphleðsluformi í móbergsmýndun.

Hugum fyrst að lögum 4 og 6. Stærstu kornin í þessum lögum eru um 10 cm. Þeir sem rannsakað hafa dreifingu gjósku umhverfis gosrás hafa komist að þeirri niðurstöðu að gjóska, 1–10 cm í þvermál berist að hluta til upp í gosmekkinum og falli sem proximal gjóska (Fisher og Schmincke 1984) á meðan að fínni gjóska berist lengra í burt. Fisher og Schmincke (1984) benda einnig á að áhrif vinda á gjóskukorn >10 cm séu hverfandi. Með þetta í huga er sett fram sú tilgáta að lög 4 og 6 hafi myndast á eftirfarandi hátt: Gróf gjóska safnast fyrir í næsta nágrenni við gosið, en fínni gjóska neðar. Eitthvað veldur því að grófa gjóskan, ofar í fjallinu, rennur af stað með þeim afleiðingum að hún leggst yfir fínu gjóskuna. Ásýnd setlaga sem myndast á þennan hátt á ekkert skylt við loftborin gjóskulög.

Annað athyglisvert við upphleðslu setlaganna í Tindaskaga er uppsöfnun siltkenndra syrpubundinna setlaga (lög 10 og 13). Ef haft er í huga eðli gosmakkar, þ.e. áhrif gasspyrnuhluta, uppdreifshluta og hatts, á dreifingu ösku (<2 cm) kemur í ljós að aska getur borist tugi km upp og allt að 15 km til allra hliða, ef ekki er gert ráð fyrir áhrifum vinda né varmataps vegna vatnskælingar (Carey og Sparks 1986). Samkvæmt niðurstöðum úr Gjálpargosinu 1996 (Magnús T. Guðmundsson o.fl. 1997) og því sem við höfum séð í Tindaskaga er mikið af fínum gosefnum (ösku) sem ná því aldrei að verða loftborin en hlaðast þess í stað upp umhverfis eða í nánd við gosstöðvarnar. Af ofansögðu setjum við fram hugmyndir um umhverfisaðstæður sem skýrt geta mikla uppsöfnun fínkornaðra syrpubundinna gjóskulaga í næsta nágrenni eldstöðvar: a) Mjög lítil sprengivirkni á sér stað við gosrásina sökum lítils magnútstreymis kviku eða skorts á vatni, dreifing ösku því lítil, og b) Hugsanlega hindrar eitthvað gjóskuna frá því að stíga upp í andrúmsloftið, t.d. íshella (Gjálp) eða vatnsgufa(?).

Til umhugsunar: Lagmótin milli 8 og 9

Milli laga 8 og 9 eru lagmót mjög skýr en óregluleg eins og fram kemur á 2. ljósmyndablaði (mynd C). Óreglan (fargför) bendir til þess að hörðnun setsins í lagi 8 hafi ekki átt sér stað milli þess er setlögín mynduðust (Jón Eiríksson 1993). Fargförin myndast er pökkun neðra setsins eykst, vegna smávægilegs titrings sem veldur því að groppan (porosity) minnkar. Þetta verður til þess að holrýmivætni í setinu byrjar að streyma út. Vatnsrennsli í seti getur einnig stafað af vökvaprýstingi í setstaflanum. Setið efst í lagi 8 hefur án efa ysjust (fluidized) er lag 9 olli titringi með þeim afleiðingum að setið varð deigara.

5.2.2 Snið 53 – Lýsing og túlkun

Sniðið einkennist af mjög vel lagskiptum, lóðgreindum setlögum, 20–260 cm þykkum. Setlögín samanstanda mestmegnis af ferskri samlímdri gjósku, mesta stærð molanna er 25x15 cm. Bergbrotin eru yfirleitt vel kristölluð og af svipaðri stærð og gjóskan. Grunnmassinn er allur úr eldfjallagleri. Á 3. ljósmyndablaði (mynd A) má sjá yfirlitsmynd af sniðinu. Þar sjást þeir tveir sniðsbútar sem skoðaðir voru (blá lína). Í stað þess að fjalla um hvert setlag fyrir sig hefur setlögúnun verið skipt í fjóra flokka, byggða á byggingareinkennum og ásýndum. Öll eru setlögín í þessu sniði ættuð úr sama gosumhverfinu, þ.e. phreatómagmatísk eldvirkni (þ.a.l. hafa setlögín myndast í vatnsmettuðu umhverfi). Það sem helst aðgreinir einingarnar er setstyrkur (magn sets á móti vatni) og samsetning.

Til einingar 1 teljast þrjú lög. Þau einkennast af jafnri dreifingu gjósku með grófari lögum inn á milli og áberandi lítilli lóðgreiningu. Ofarlega í Ia sáum við troglaga roffleti en í Ib og Ic bar meira á óljósri lagskiptingu. Hér er líklegast um að ræða lahar.

Eining 2 inniheldur 12 setlög sem dreifast á fjóra staði í sniðinu. Lög 12 eru rétt lóðgreind, innihalda gjall-, móberg- og bergbrot og með mjög óljósa innbyrðis lagskiptingu eftir gjóskukornum (sjá 3. ljósmyndablað, mynd B). Mót laganna eru óregluleg og ójöfn. Hér höfum við annað afbrigði af lahar.

Eining 3 inniheldur tvö setlög sem dreifast á tvo staði. Einingin er rétt-öfugt-rétt lóðgreind. Algennt er að sjá gróft gjall (8–10 cm), og berg- og móbergsbrot (5–30 cm) í einingunni. Í efsta hluta setlaganna tveggja eru fargförl, skálögun og litlir setstuðlar. Á 3. ljósmyndablaði (mynd C) sést vel hvers eðlis fargförlin eru. Túlkun á einingu 3 er sú sama og á einingu 2, nema hvað hér má gera ráð fyrir að setstyrkur hafi verið nokkuð meiri.

Eining 4 er mjög frábrugðin hinum þremur. Hér skiptast á fín- og grófkorna þunn setlög (mm til cm) sem sýna mjög góða aðgreiningu eftir kornastærð. Mikið sést af fargförlum í grófarilögnum (3. ljósmyndablað, mynd D), og víða má sjá skálögun og setstuðla. Þessi eining er erfiðust í túlkun, en í fljótu bragði virðist helst um að ræða litlar, vel aðgreindar aurskriður. Roffletirnir og fargförlin benda sterklega til þess að setlögin hafi myndast í vatnsríku umhverfi við lárétta tilfærslu gosefna en ekki lóðréttu.

Til umhugsunar: Samanburður á einingum 2 og 3 – magn sets á móti vatni

Samanburður á einingum 2 og 3 leiðir í ljós að það eina sem skilur þær að er magn sets á móti vatni, ef gert er ráð fyrir að vegalengdin sem setstraumarnir ferðast sé svipuð og upptökin þau sömu. Flotjafnvægi milli korna í einingu 3 hefur valdið því að í stað þess að stærstu kornin botnféllu ofar í hlöðinni, eins og virðist hafa gerst í einingu 2, þá bárust þau niður með straumnum sökum hagstæðs hlutfalls sets : vatns og iðustreymis. Iðustreymið hefur valdið því að mikið fínkornaset náði að safnast fyrir efst á flóðeiningunni, sbr. litlu setstuðlana. Eining 3 bendir tvímælalaust til aukinnar virkni í gosrás; þá hugsanlega bæði hvað magnústreymi kviku snertir og sprengivirkni.

5.1.1.1 Þunnsneiðar

Þrjú handsýni voru tekin úr sama laginu í einingu 3. Sýnin voru tekin neðst (TS-53-3), í miðju (TS-53-2) og efst (TS-53-1) í því skyni að varpa ljósi á kornastærð og innri eiginleika setsins. Þunnsneiðar voru gerðar af öllum handsýnunum. Í ljós kom að öll glerkornin, hvort sem um ræðir síderómelan eða takkylít, innihalda blöðrur. Oft má sjá blöðrur í stórum glerkornum (u.þ.b. 2,5 mm) hálffullar af mjög fínni gjósku ($\ll 1$ mm). Þykir þetta styðja þá niðurstöðu okkar að setlögin hafi myndast við láréttan tilflutning (sbr. einingu 6 í sniði 17). Plagíóklas-kristallar hafa tilhneigingu til að mynda knippi þar sem í eru >15 kristalnálar, þessi knippi eru oft staðsett í miðju síderómelan-glerkorna.

Ummyndunin í setlaginu er ekki mikil en misdreifð, bæði innan hvers sýnis sem og innan einstakra glerkorna (sjá skýringarmynd (A) á 7. mynd). Svipuð dreifing palagóníts sést í þunnsneið TS-55-1 (snið 55, eining 2). Ljósbrúnt gelpalagónít einkennir sýnin þegar þau eru skoðuð í lítill stækkun, en með meiri stækkun (x45 eða x100) sést að allt sýnið er húðað með dökkgrænbrúnu fíbrópalagóníti. Algennt er að sjá gelpalagónítið leggjast upp að óummynduðu síderómelangleri. Athyglisvert er að skoða afstöðu fíbró- og gelpalagónítsins. Augljóst er að gelpalagónítið hefur myndast fyrst í sprungum en fíbrópalagónítið myndast síðar í blöðrum og á brotsárum og yfirprentar gelpalagónítið (sjá nánar skýringarmynd (A) á 7. mynd). Þykkt fíbrópalagónítsins er á bilinu 50–100 μm . Þegar fíbrópalagónítinu sleppir er eins og síderómelanglerið verði matt, án þess að nein áberandi ummyndun sjáist. Nánari eftirgrennslan leiddi í

ljós að þarna er um að ræða mjög þétttriðið net rása: Örsprungur (micro-cracks) (Morgenstein og Riley 1975) eða göng eftir gerla (Thorseth o.fl. 1990). Af ofansögðu þykir margt benda til að snið 53 hafi orðið fyrir tveimur aðskildum ummyndunarferlum; yfirprentun gelpalagónítsins með fibrópalagóníti styður þetta.

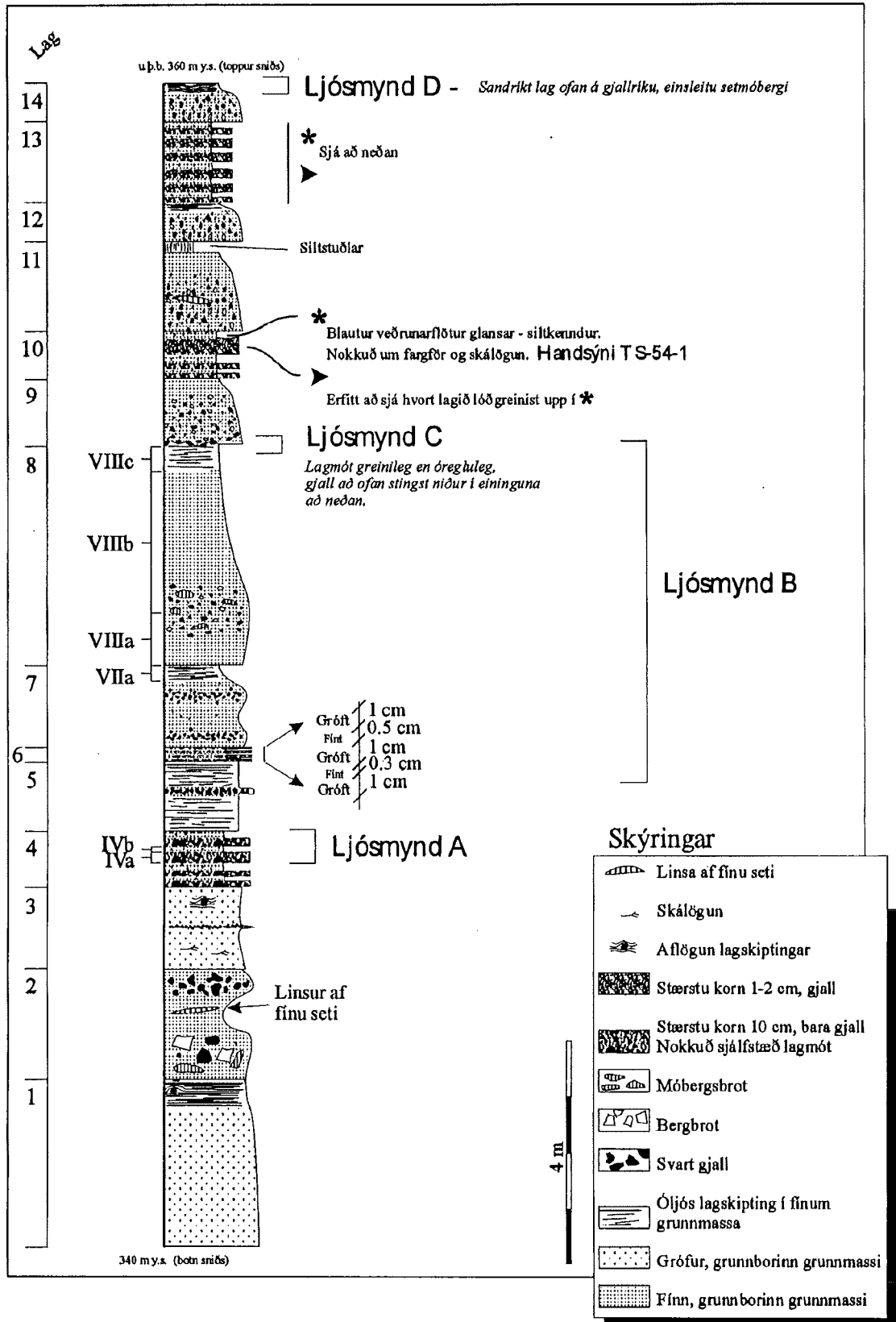
Í efsta handsýninu sáust pípur eða göng, <1 mm í þvermál og allt að 3–5 mm að dýpt. Þykir þetta benda til að setið hafi ysjust (fluidized) við upphleðslu. Þetta kemur vel heim og saman við það sem áður hefur verið sagt um setlöggin og styður enn og aftur að um láréttan flutning gjósku er að ræða í vatnsríku umhverfi.

5.2.3 Samantekt og vangaveltur um snið 54 og 53

Í inngangi að þessum kafla er minnst á að ofan við Miðnes megi sjá leifar af hraungíg. Eftir að hafa borið sniðin tvö saman út frá setfræðilegu sjónarmiði og skoðað jarðfræðilegar aðstæður, þykir enginn vafi leika á því að setlöggin í sniði 54 eiga upptök í þessum gíg. Með þessa vitneskju að leiðarljósi er mjög spennandi að bera saman sniðin tvö.

Snið 54 einkennist af óeinsleitum og misþykkum setlögum. Mikið sást af móbergsmolum og bergbrotum sem fleyguðust inn í setlöggin, þó mest væri af gjalli. Úr fjarska er yfirborð sniðsins dökkgrátt og setmyndunin flókin. Setlöggin í sniði 53 eru aftur á móti einsleit, en misþykk. Það heyrði til undantekninga ef móbergsmolar og bergbrot sáust í setlöggunum. Af stórum gjóskumolum var gjall algengast.

Ástæða þess að setlagastaflarnir eru svona ólíkir er líklega mismunandi flutningsvegalegd gosefnanna. Nokkuð ljóst þykir að upphleðsla þess hluta Miðness, sem snið 54 er í, á rætur að rekja til hraungígs sem staðsettur er rétt ofan við Nesið. Setlöggin hafa því haft lítið svigrúm til að setja af sér stærstu og þyngstu móbergs- og bergbrotin. Ásýnd setlaganna í sniði 53 bendir sterklega til að flutningsvegalegd gosefnanna hafi verið mun lengri en í sniði 54; meiri regla í upphleðslu styður þetta. Uppruni gosefnanna í sunnanverðu Miðnesi (snið 53) er óviss, en út frá ásýnd setlaganna og jarðfræðilegri afstöðu eru allar líkur til þess að þau séu upprunnin í mið- og suðurhluta fjallsins. Mislægið sem greinir sniðin í sundur bendir til þess að snið 54 hafi myndast á undan 53 (4. mynd).



6. mynd. Snið 54 í Miðnesi. Ljósmyndir A, B, C og D eru á 2. ljósmyndablaði. Sjá texta fyrir lýsingu og túlkun á einstökum lögum. Kornastærðarkvarðinn (x-ás) er afstæður, en þykkir (y-ás) og stærðir stærstu korna eru samkvæmt mælikvarða nema annað sé tekið fram.



(A)

Lag 4 í sniði 54. Athygli er vakin á lagskiptingu IVa og IVb og dreifingu svörtu gjallmolanna. Glæra platan á áttavítanum er um 10 cm að lengd.



(B)

Yfirlitsmynd sem sýnir afstöðu laga 5, 6, 7 og 8. Hér sést vel hvernig dreifingu molanna í lagi 8 er háttað.



(C)

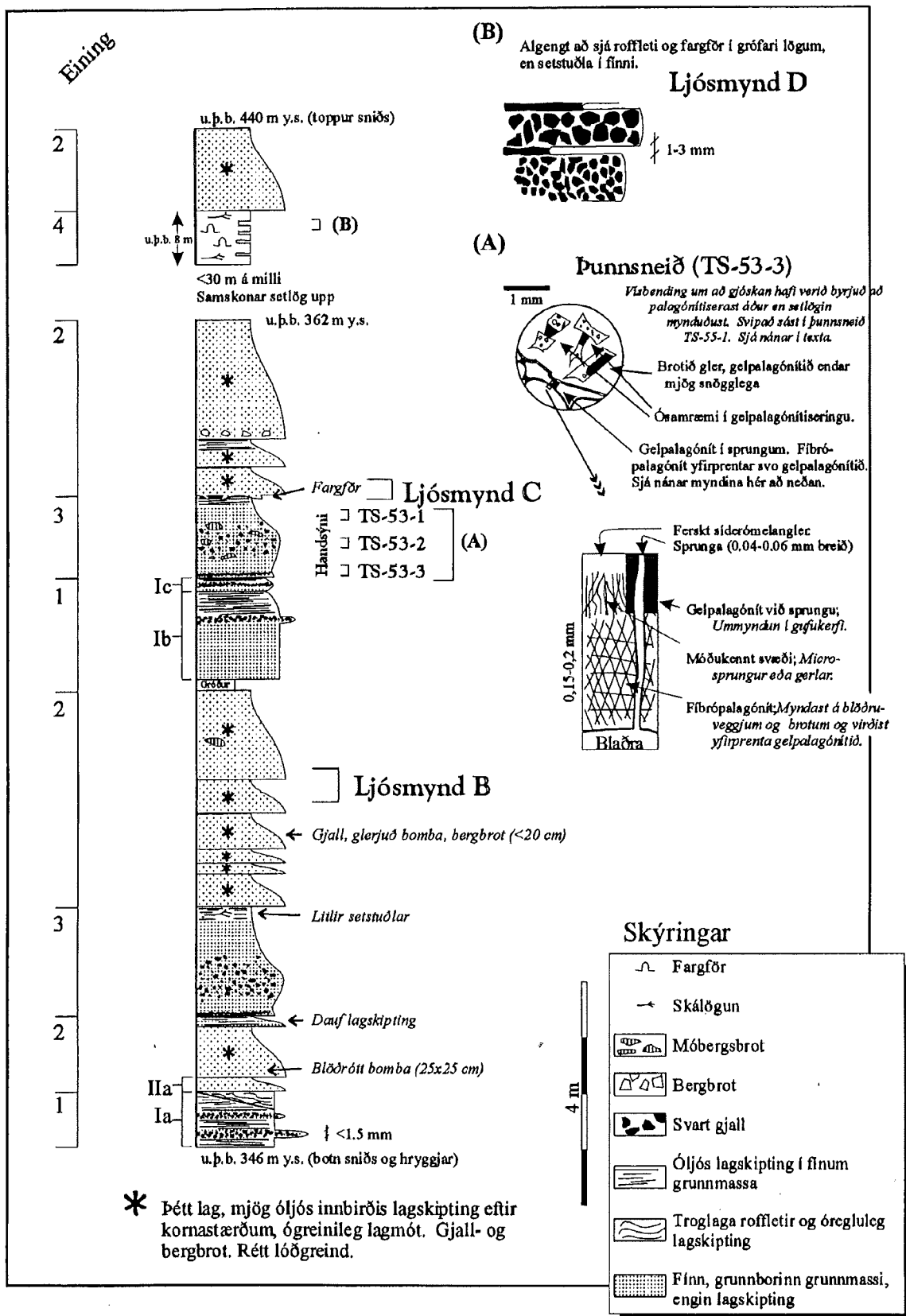
Fargför á milli laga 8 og 9. Lagmótin eru mjög greinileg (vegna kornastærðarmunar) en óregluleg. Hamarshöfuðið er um 10 cm.



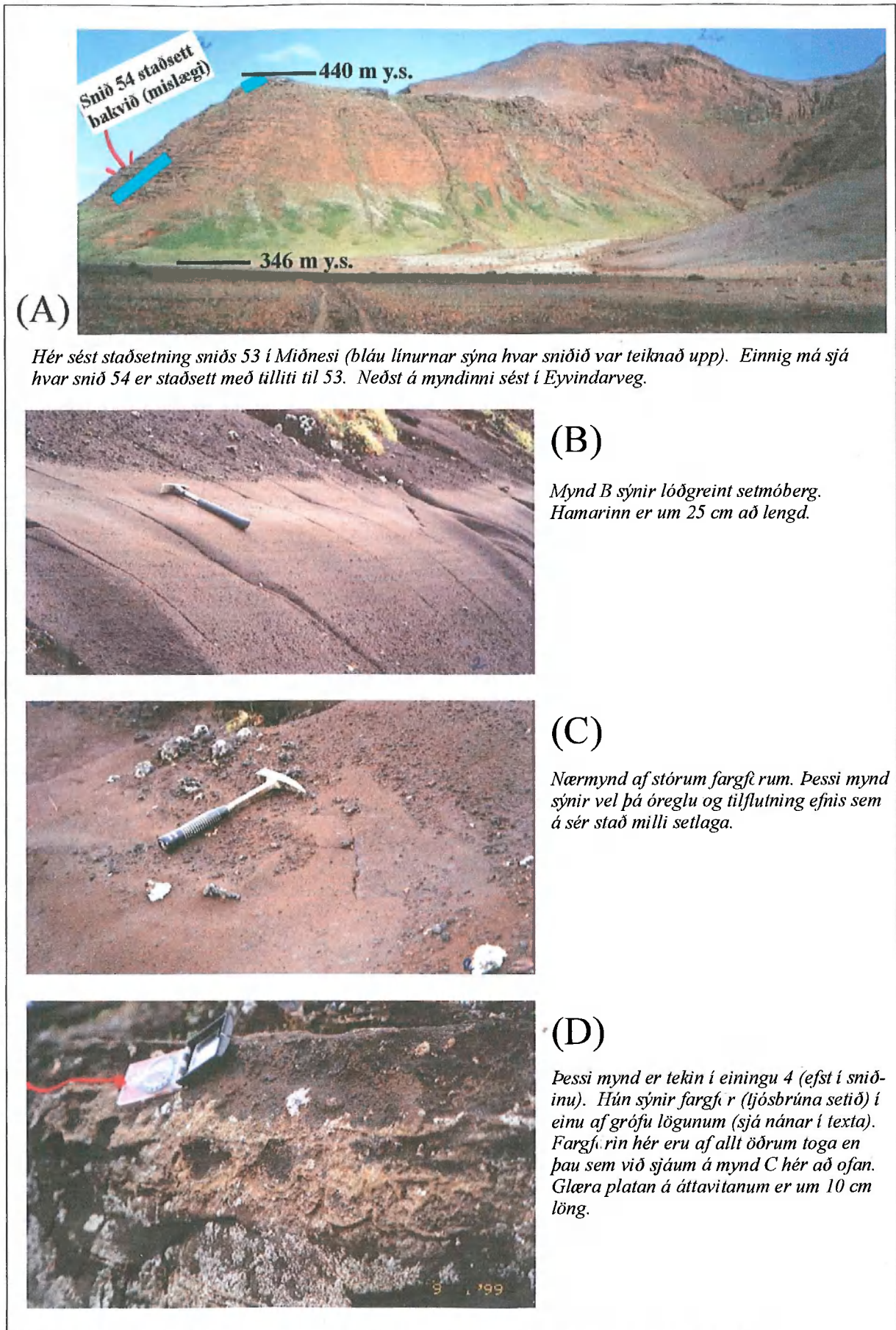
(D)

Hér sést sendið lag efst í lagi 14. Hugsanlegt er að umhverfið hafi einkennst af fljótandi finefnastraumum sem runnið hafa ofan á grófu setlaginu.

2. ljósmyndablað. Valdar ljósmyndir úr sniði 54 í Miðnesi. Raunveruleg staðsetning ljósmyndanna í sniðinu er sýnd á mynd 6.



7. mynd. Snið 53 í Miðnesi. Ljósmyndir B, C og D eru á 3. ljósmyndablaði. Sjá nánari lýsingu í texta á einstökum einingum, auk túlkunar. Kornastærðarkvarðinn (x-ás) er afstæður en þykktir (y-ás) og stærðir stærstu korna eru samkvæmt mælikvarða, nema annað sé tekið fram.



(A)

Hér sést staðsetning sniðs 53 í Miðnesi (bláu línurnar sýna hvar sniðið var teiknað upp). Einnig má sjá hvar snið 54 er staðsett með tilliti til 53. Neðst á myndinni sést í Eyvindarveg.



(B)

Mynd B sýnir lóðgreint setmóberg. Hamarinn er um 25 cm að lengd.



(C)

Nærmynd af stórum fargf. rum. Þessi mynd sýnir vel þá óreglu og tilflutning efnis sem á sér stað milli settlaga.



(D)

Þessi mynd er tekin í einingu 4 (efst í sniðinu). Hún sýnir fargf. r (ljósbrúna setið) í einu af grófu lögunum (sjá nánar í texta). Fargf. rin hér eru af allt öðrum toga en þau sem við sjáum á mynd C hér að ofan. Glæra platan á áttavítanum er um 10 cm löng.

3. ljósmyndablað. Valdar ljósmyndir úr sniði 53 í Miðnesi. Raunveruleg staðsetning ljósmyndanna í sniðinu er sýnd á 7. mynd.

5.3 Snið 55 – Lýsing og túlkun

Snið 55 er umfangsmesta sniðið sem skoðað var. Snið 55 gefur möguleika á að „sjá” hrygginn vaxa og varpar ljósi á aðstæður undir jökli á meðan gosvirkni varir sem og eftir goslok. Sniðið var brotið upp í 7 einingar; hverri einingu verður lýst og hún túlkuð. Á 8. mynd má sjá staðsetningu sniðsins í Tindaskaga og grófa afstöðu eininganna innan þess.

5.3.1 Eining 1

Neðsta einingin í fjallshlíðinni er tæplega 12 m að þykkt. Allar einingarnar eru rétt lóðgreindar og því líklegt að þær hafi myndast úr vatnsríku seti. Neðsti hluti setlaganna inniheldur gjall og annað kristallað basalt (2–5 cm í þvermál) auk móbergsmola (allt að 16 cm; einkonar hnyðlingar). Ofarlega er innbyrðis lárétt lagskipting í lögnum, flæðistrúktúrar (4. ljósmynda-bláð, mynd A) og setstuðlar (Ia). Sams konar setlög eru ofar uns komið er í einingu 2.

Gjallið og kristallaða basaltið benda eindregið til þess að gosfasinn hafi verið „surtseyskur“ eða „strombóliskur“. Móbergshnyðlingarnir benda til þess að upphleðslan hafi verið byrjuð nokkrum misserum áður en einingin myndaðist og að iðusteymi hafi ríkt í flóðinu á einhverjum tímápunkti; iðusteymi veldur rofi á undirliggjandi myndunum. Í þremur af þessum sex lögum eru illa afmörkuð lög af grófara efni (<1 cm) rétt ofan við miðju (Ib). Þetta

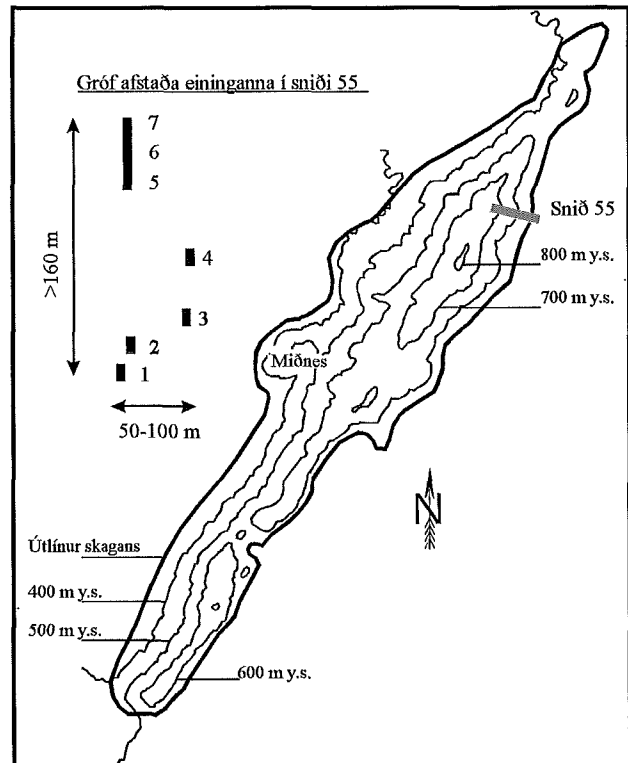
viljum við skýra með skerspennubreytingum sem eiga sér stað í setinu; gróft efni (samanborið við grunnmassann) hefur tilhneigingu til að leita upp í átt að minnstu skerspennu. Skerspennubreytingar í seti geta átt sér stað ef þyngdarhlutfall gjósku eykst á kostnað vatns og fer yfir 80%; iðusteymi hættir og lagskipting tekur við (Reading 1996).

Af ofansögðu er líklegt að hér sé á ferðinni lahar (subaerial hyperconcentrated flow) eða eðlisþyngdarstraumur (subaqueous high density graded-stratified turbidity currents), en þessar tvær straumgerðir hafa mörg sameiginleg einkenni (Reading 1996).

5.3.2 Eining 2

Hér eru lögin orðin mun þynnri (2–20 cm) en í einingu 1 sem bendir til minnkandi framboðs sets (gosefna). Opnan sem mæld var er 0,6 m að þykkt og í henni eru a.m.k. fimm lög. Lögin eru með svipaða ásýnd og lögin í einingu 1 og túlkun því sú sama. Lóðgreining (bæði rétt og ófug) og flæðistrúktúrar sem sáust í sniðinu styðja túlkun okkar að hluta (IIa).

Þunnsneiðaskoðun á sýni TS-55-1 gefur til kynna að palagónítisering í glerinu hafi átt sér stað ofar í fjallinu, í gufukerfi, áður en lausu gosefnin ofar í fjallinu mynduðu setlög (skýringarmynd A á 10. mynd): Ósamræmi í palagónítiseringu og palagónít í sprungum. Engar síðsteindir sjást í



8. mynd. Staðsetning sniðs 55 í Tindaskaga. Mælikvarði myndarinnar er 1:75 000.

þunnisneiðinni, auk þess sem magn takkylíts og bergbrota er hverfandi. Kornastærðagreining leiddi í ljós að ekkert er um silt og leir í einingunni. Þykir þetta benda til þess að einingin hafi myndast á meðan gosvirkni stóð yfir eða stuttu eftir goslok (mánuðir eða ár).

Til umhugsunar: Ástæður þess að efnismagn dregst saman í eldfjallaumhverfi, sbr. einingar 1 og 2.

Með hliðsjón af þeirri setlagabyggingu sem átt hefur sér stað frá einingu 1 upp í einingu 2 er ekki úr vegi að nefna þá þætti sem geta orsakað setlagabyggingu:

- 1) Framleiðni gjósku á svæðinu fer minnkandi, t.d. vegna minnkandi eldvirkni eða tilfærslu gosstöðva.
- 2) Gjóska í hlífum hryggjarins nær jafnvægi.
- 3) Það sem í fyrstu gæti litið út fyrir að vera skortur á gjósku, gæti verið vísbending um breytt flæði setsins.

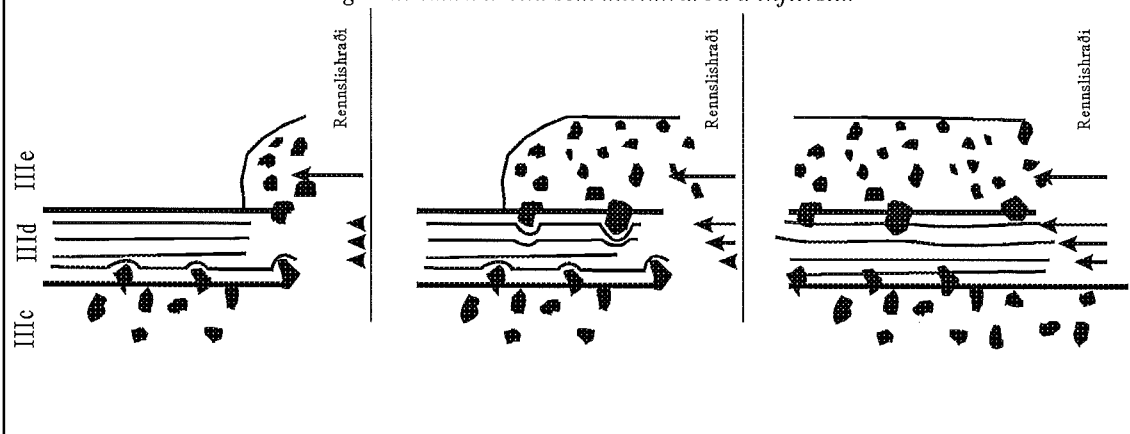
5.3.3 Eining 3

Í þessari einingu eru þrettán lög, 2–200 cm þykk. Opnan er í heild 6 m að þykkt. Allt er hér miklu óreglulegra en í einingunum neðar í fjallinu eins og sést af mismunandi þykkt laganna og kornastærðardreifingu innan þeirra (10. mynd).

Túlkun á myndun einingarinnar er flókin. Um er að ræða tvö ólík ferli: Síendurtekin, tiltölulega efnislítill skriðuföll í vatnsmettuðu umhverfi (IIIb og IIIf; 4. ljósmyndablað, mynd B), og háeðlisþyngdar-eðjustrauma (turbidity currents) eða lahar (IIIa, IIIc og IIIe).

Til umhugsunar: Samspil setlaga meðan á upphleðslu stendur.

Dæmi eru um að setlög afmyndist vegna skúfspennu sem ofanáliggjandi efnisflutningur (hraun, eðjuflóð o.fl.) veldur á setlagið (Selley 1976; Jón Eiríksson 1993; Werner og Schmincke 1999). Eðli og uppbygging setlaga IIIb og IIIe þykir benda til að þetta hafi átt sér stað í Tindaskaga. Það sem dró athygli að þessum setlögum var sú staðreynd að fín innbyrðis lagskipting í IIIb virtist ekki hafa raskast þó gróf gjóska úr IIIe næði niður í IIIb. Reynt var að endurbyggja þessa atburðarás með því að rissa upp þrjár skýringarmyndir sem sýna hvernig lagskiptingin í lagi IIIb breytist vegna yfirrennslis lags IIIe. Hér er gert ráð fyrir að gjóskan í IIIb hafi lagst jafnt yfir IIIc (eins og sést á fyrstu myndinni) og að rennslishraði IIIe hafi verið jafn allan tímann. Örvarnar á myndinni tákna rennslishraða innan setlaganna; litlar örvar tákna lítinn rennslishraða en stórar mikinn. Ekki ber að líta á staðsetningu einstakra korna sem mælikvarða á tilfærslu.



5.3.4 Eining 4

Í þessari einingu má sjá bólstraberg, bergganga og túff. Einingin nær yfir ca. 10 hæðarmetra og markar mjög afgerandi skil í upphleðsluferlinu. Bólstrahrauntungur, bólstratúbur og stakir bólstrar benda til þess að kvikan hafi runnið í mjög vatnsmettuðu umhverfi, en mikið magn túffs umhverfis bólstramyndanirnar bendir hins vegar til þess að vatnsdýpið hafi ekki verið mikið.

Neðst er bólstrahrauntunga, ca. 80 x 850 cm, mjög kubbótt (IVa; 4. ljósmyndablað, mynd C). Blöðrurnar eru kringlóttar, lítið teygðar og jafndreifðar. Grunnmassinn er glerjaður með litlum (á mm-skala) ólivín- og plagíóklasdílum. Utan við þessa hrauntungu eru þunn lög af fínkorna efni með miklum flæðistrúktúrum auk setstuðla (IVb). Þessi þunnu lög víkja fyrir grófu, einsleitu gosmóbergi sem mjög erfitt reyndist að skoða fyrir skriðuhulu (IVc). Í skriðunum er að finna tvennskonar storkuberg: Bólstrabrot (blöðrótt, dökkgrátt, glerjað og kubbótt) og gangberg (þétt, ljósgrátt, vel kristallað og hart).

Nokkru ofan við hrauntunguna er ca. 4 m þykkt lag af bólstrum og bólstratúbum innan í einsleita gosmóberginu. Mesta lengd bólstratúbanna er 1,6 m. Þær eru nokkuð blöðróttar, en blöðrurnar eru hins vegar smáar (1–3 mm í þvermál). Þessar bólstratúbur voru nokkurn veginn samsíða núverandi hlíð og stefna þeirra í átt frá miðju Tindaskaga.

5.3.5 Eining 5

Samkvæmt hæðarmælingum er einingin um 100 m þykk. Í henni skiptast á misþykk „subaerial“ hraunlög (1–7 m þykk) og millilög úr gjalli (þykkt ekki mæld). Hraunlögin eru a.m.k. átta og ekkert bendir til þess að þau hafi komist í snertingu við vatn. Á 4. ljósmyndablaði, mynd E, er lega hraunanna sýnd. Ef vel er að gáð má sjá rautt gjall undir sumum hraununum. Neðstu 20 metrarir eru mjög svipaðir einingu 4, þ.e. einsleitt gosmóberg með jafndreifðri gjósku. Innan í þessu gosmóbergi fundum við aðra hrauntungu, svipaða þeirri sem lýst er í IVa. Hún er u.þ.b. 50 x 0,7 m, blöðrótt með svörtum karga efst. Erfitt er að greina topp og botn.

Við þunnsneiðarskoðun kom í ljós að mest var af grófri gjósku (mjög fín möl eða lapilli) og alla fínu öskuna vantaði í sýnið. Helsta skýringin á þessu er annars vegar sú að hlutfall vatns : kviku hafi verið lágt (Fisher og Schmincke 1984) og hins vegar má ætla að fína askan hafi borist upp í iðustreymishluta gosmakkar og blásið í burtu. Annað sem vakti athygli í þunnsneiðinni var hversu mikið af glerinu var palagónítiserað (80% af glerinu) og mikið magn síðsteinda (þar á meðal kabasít). Sveinn P. Jakobsson og Moore (1986) skoðuðu samband hitastigs og ummyndunar síderómelangers í Surtsey. Ef niðurstöður þeirra eru heimfærðar á ummyndunina í einingu 5 má ætla að hitinn í gjallinu hafi náð allt að 80°C; myndun kabasíts styður þetta.

Næsta eining (6) markar ákveðin kaflaskil í upphleðslu fjallsins. Því verður numið hér staðar og leitast við að finna skýringu á þeim upphleðsluháttum sem raktir hafa verið hér á undan. Farið verður víða, bæði stuðst við beinar athuganir (úr ýmsum áttum) sem og vangaveltur tengdar öðrum atburðum eins og til dæmis gosinu í Gjalp 1996 og Surtseyjargosinu 1963–1967.

Til umhugsunar: Hvaðan kemur gjallið?

Milli hraunanna í einingu 5 er gjall. Þykkt gjalllaganna var ekki mæld sérstaklega en ljóst er að hún er mjög breytileg. Í fyrstu leit út fyrir að þarna væri mjög þéttur berggangasveimur og gjallið þá myndað allt á svipuðum tíma. Nánari athugun á botni og toppi hraunmyndananna leiddi í ljós, svo ekki varð um villst, að þarna væru yfirborðshraun. Vaknaði þá sú spurning hvernig útskýra mætti allt það gjall sem myndaðist milli hraunanna. Eftir nokkrar vangaveltur þóttu þessir möguleikar helst koma til greina:

- 1) Hrun gjósku úr „innri“ gígbörnum.
- 2) Dreifing gjósku í sprengingum; gufusprengingar eða uppsöfnun rokefna í kviku.
- 3) Aðflutt frá öðru gosopi sem var virkt á sama tíma (sbr. Surtsey; Sveinn P. Jakobsson, munnl. upplýsingar)

Eftir að hafa skoðað aðstæður og gögn úr vettvangsferðum er helst hægt að ímynda sér að gjóskan hafi hrunið úr gígbörnum (1. liður). Ástæða þessa er sú að ekkert í tengslum við hraunin bendir til mikillar sprengivirkni (lítið af vatni í kerfinu); basaltkvika inniheldur venjulega lítið af uppleysanlegum rokefnum og sprengivirkni af völdum rokefna því ekki aðalatriði í gjóskumyndun (sbr. Hawaii-gosvirkni). Engin lagskipting eða önnur aðgreining er sjáanleg, sem útilokar 3. lið.

Til umhugsunar: Síderómelanglerkorn með takkylít-kjarna.

Nokkuð var um að síderómelanglerkorn hefðu dökkan takkylít-kjarna. Hugsanleg skýring á þessu gæti verið sú að kornin séu hvorki vatnskæld né loftkæld, heldur hafi verið ríkjandi einhverskonar millibilsástand. Eðlilegast er að skýra þetta með gufukælingu; korn sem þeytast inn í „heitun“ gufumassa (varmármátt (C_p) $1,9 \text{ kJ kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) kólna hvorki eins hratt og í vatni (C_p 4,2) né eins hægt og í andrúmsloftinu ($C_p \approx 1$). Engar beinar vísindalegar sannanir eru fyrir þessu, enda er hér aðeins um hugmynd að ræða.

5.3.6 Samantekt og vangaveltur um einingar 1–5

Aðeins einu sinni hefur vísindamönnum gefist tækifæri á að sjá og rannsaka upphleðslu gjósku undir jökli² (Magnús T. Guðmundsson o.fl. 1997). Rannsóknir í tengslum við það gos einkenndust að mestu af bergfræði-, jarðeðlisfræði- og að litlum hluta setlagfræðirannsóknnum, en sökum aðstæðna á gosstað varð því ekki við komið að skoða landmótunina og upphleðsluna sjálfa. Sú umfjöllun sem hér fer á eftir er því miklu leyti byggð á vangaveltum í tengslum við þau gögn sem söfnuðust í einingum 1–5. Öll gögn sem safnast hafa benda til þess að gosvirknin í Tindaskaga hafi verið í tengslum við jökulbráð eða ferskvatn. Hæstu fjörumörk á Suður- og Vesturlandi ná upp í um 100 m y.s. og því auðvelt að útiloka gos í sjó (Hreggviður Norðdahl 1998).

Efstu þrjár einingarnar benda til þess að lárétt færsla gosefna hafi átt sér stað eftir eða á meðan að gos stóð yfir. Setlöggin eru öll mjög glerjuð og bera sterk einkenni þess að hafa myndast í köldu vatnsumhverfi. Tilfærsla gosefnanna hefur átt sér stað í flóðum eða skriðum og ekkert bendir til þess að tilfærslan hafi verið í tengslum við bræðsluvatn í jökulgöngum, þ.e. straumvatnaset. Slík jökulgöng eru þekkt í tengslum við jökulhlaup í Vatnajökli (Helgi Björnsson 1974 og 1988).

Þunnsneiðaskoðun á eðli palagóníts í einingu 2 leiddi í ljós að hugsanlega hefði ummyndunin átt sér stað áður en setlöggin mynduðust, m.ö.o. gjóskan hefur haft „biðstöðu“ ofar í fjallinu áður en einingin myndaðist. Ekki er hægt að setja jafnaðarmerki milli þess að gjóska sé byrjuð að palagónítiserast og að hún sé orðin samlímd; athuganir í Surtsey hafa sýnt að gjóska með 15–25% palagóníti í gleri er nær ósamlímd (Sveinn P. Jakobsson, munnl. upplýsingar), sama má

² Hér er átt við stórar ísbreiður eins og finnast á og umhverfis heimskautasvæði en ekki hvílfarjökla eða snjóskafila í hlífum eldfjalla.

sennilega segja um Gjálpargjósakuna, en átta mánuðum eftir það gos var enn um 70–80°C hiti í efsta hluta túffsins og túffið ósamlímt. Með þessum upplýsingum má með nokkurri vissu fullyrða að samlíming túffsins eigi sér ekki stað strax eftir að túffið hleðst upp, m.ö.o. óstöðugleiki túffsins í hlíðum eldfjalls varir í mánuði eða ár. Áður en lengra er haldið er rétt að huga aðeins að ummyndunarhitastiginu og þeim umhverfisaðstæðum sem geta haft áhrif á „biðstöðu” gjóskunnar.

Unnt er að nálgast ummyndunarhitastigið með rannsóknum Sveins Jakobssonar og Moors (1986) á ummyndun síderómelanglers í Surtsey. Samkvæmt þeirra gögnum má ætla að ummyndunarhitastigið í einingu 2 hafi verið 40–60°C. Tvennskonar umhverfisaðstæður eru nærtækastar í þessari umræðu um „biðstöðu” gjóskunnar, annars vegar að a) ísveggur hafi haldið að gjóskunni og hinsvegar að b) fjallshlíðin hafi verið íslaus, halli hennar aflíðandi og jafnvel í tengslum við gíg.

Eftir að hafa hugað að uppruna og eðli setlaganna í einingum 1–3 er kominn tími til að fjalla um einingar 4 og 5: Bólstrana, túffið og hraunin. Þessi partur sniðsins er um 150 m þykkur og þekja hraunin efstu 100 metrana. Bólstrarnir fundust nánast eingöngu neðarlega í einingu 4, stakir og í túbum. Þetta þykir sýna að ofan við setlöggin hafi magn bræðsluvatns verið mikið, ekki þarf endilega að vera að mikill vökvaprýstingur hafi orðið til þess að bólstrar mynduðust heldur er frekar um að ræða að kvika renni inn í eða ofan í vökvamassa. Bæði Moore (1975) og Tribble (1991) lýsa því þegar hraun rennur út í sjó og myndar bólstra rétt undir yfirborði, enda væri rökleysa að gera ráð fyrir miklum vökvaprýstingi við einingu 4 þegar allt í kring er túff og aðeins 50 m ofar taka við yfirborðshraun. Mjög erfitt er að segja til um hvort túffið í einingu 4 hafi myndað gíg utan um hraunin eða hlaðist upp að ísvegg sem þannig veitti hraununum aðhald. Þó þykir líklega að ís hafi stutt við gjóskuna ef litið er til magns þess hrauns sem hlóðst upp innan einingar 5. Hraunin sjást báðum megin í hryggnum, þekja um 0,1 km² og hafa líklega flætt eftir hryggnum, a.m.k. er upphleðsla þeirra við snið 55 það regluleg að ólíklegt þykir að gosrásin hafi verið staðsett hér. Hraunin sjást fyrst í um 630 m y.s. en sjálfsagt hefur jökullinn í kring verið eitthvað hærri, skv. Jones (1970) var hæsta vatnsstaða á Kálfstindasvæðinu (austan við Tindaskaga) um 700 m y.s. Þannig gætu athuganir úr Tindaskaga stutt niðurstöður Jones, þó ekki sé vitað hvort fjöllin tvö séu samtímamyndanir. Yfirborð jökulsins hefur því að öllum líkindum ekki staðið lægra en 700–800 m y.s. Út frá þeim upplýsingum sem til eru um dýpt móbergsins í Tindaskaga, hæð yfirborðshrauna á svæðinu og sig íshellu við eldsumbrot, má ætla að þykkt jökulsins við Tindaskaga hafi verið á bilinu 600–700 m þegar fjallið var að hlaðast upp.

Til umhugsunar: Verður mikil ísbráðnun eftir goslok?

Eftir goslok í Gjálp (1996) höfðu um 3 km³ af ís bráðnað í Vatnajökli. Eftir gosið hélt ísinn áfram að bráðna og þremur mánuðum eftir gosið höfðu 0,8 km³ af ís (27% til viðbótar) bráðnað sökum hitaústreymis gjóskunnar (Magnús T. Guðmundsson o.fl. 1997). Yfirborðskortlagning á Gjálp hefur sýnt að fjallið er mjög bratt (30–40°) og að gjóskan sem myndaðist lagðist upp að ísnum (Magnús T. Guðmundsson, munnl. upplýsingar). Samkvæmt ofansögðu má því ætla að holrýmiskning eftir goslok auki á óstöðugleika gjósku í hlíðum eldfjalls sem leiðir af sér myndun setlaga (setmóbergs) innan móbergsmyndunarinnar. Setlög sem myndast milli íss og eldfjalls eru líkleg til þess að mynda óreglulegar og brattar einingar á meðan setlög sem myndast undir minna fallhorni (<30°) eru líklegri til að verða reglulegri og lagskiptar.

5.3.7 Eining 6

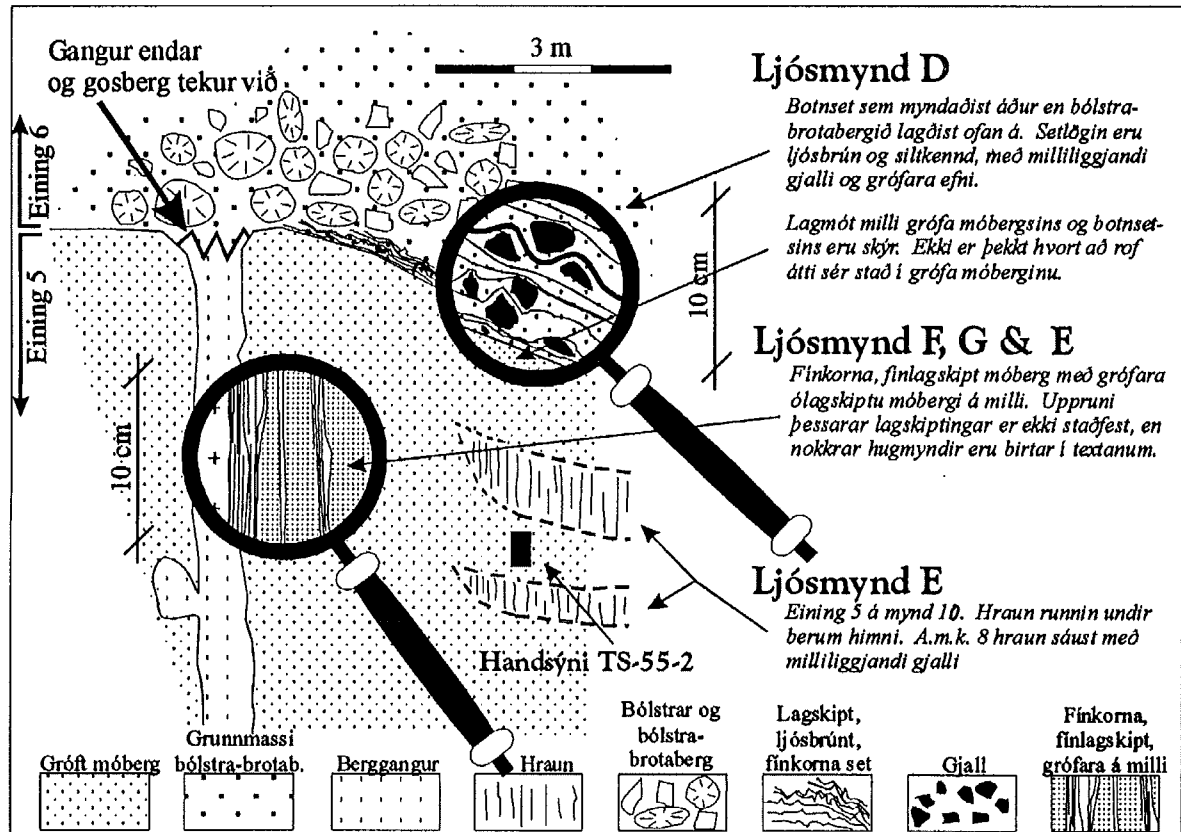
Mikill ásýndar- og eðlismunur er á gosmóberginu í einingum 5 og 6 (4. ljósmyndablað, mynd D). Margt bendir til þess að eining 6 hafi myndast í mjög vatnsmettuðu umhverfi, bólstrar og gosmóberg ráða þar mestu um, meðan eining 5 myndaðist á þurru landi. Hér er komin vísbending um að skipta megi fjallinu í neðri og efri gosmyndun.

Á 9. mynd er teiknað upp eitt merkasta fyrirbærið í Tindaskaga. Hér má sjá berggang breytast í bólstra, bólstrabrotaberg og gjósku. Tvö stækkunargler eru teiknuð inn á myndina og er þeim ætlað að leggja áherslu á smáatriðin. Efra stækkunarglerið sýnir botnsetsmyndun sem verður í kjölfar þess aðaska þyrlast upp umhverfis gosrásina (bergganginn; sjá nánar 4. ljósmyndablað, mynd D) en neðra stækkunarglerið sýnir hvernig gosmóbergið hefur orðið lagskipt samsíða bergganginum (4. ljósmyndablað, myndir F, G og H).

Svo virðist sem berggangarnir séu tveir, þunnir og hafi skotist inn í gosmóbergið í einingu 5. Erfitt var að gera sér grein fyrir aðstæðum á vettvangi en svo leit út sem gangurinn hefði myndast í sömu gjóskunni og fannst milli hraunanna í einingu 5 (sjá nánar mynd 9). Milli bergganganna eru 0,5–1 m. Gosmóbergið virðist hafa verið deigt og eftirgefanlegt því víða má sjá kviku troðast út í það og mynda bólstra og hálf-bólstra. Eftir því sem ofar dregur breiðist gangurinn út uns hann myndar bólstra og túff. Milli bergganganna tveggja er gosmóbergið að hluta til vel lagskipt (eftir kornastærð), samsíða göngunum og ekki er að sjá neinn bökunarflöt, né áberandi ummyndun (4. ljósmyndablað, mynd G). Lagskiptingin, samsíða ganginum, olli miklum heilabrotum og hér koma nokkrar hugmyndir sem skýrt gætu uppruna hennar:

- 1) Lagskiptingin myndast við tektonískar hreyfingar í móberginu.
- 2) Ef setið er blautt og illa samlímt er hugsanlegt að gangurinn valdi það miklum titringi í umhverfi sínu að kornin raði sér upp á nýtt.
- 3) Ef setið er hálf eða vel samlímt er hugsanlegt að núningur kviku við setið valdi því að það brotni upp í flögur, samsíða ganginum.

Í efsta hluta einingar 6 eru linsur af fínefnum með flæðistrúktúrum og einnig er sjálft lagið allt uppvöðlað. Við teljum að hér séu á ferðinni endurtekin eðlisþyngdarflóð, sem færst hafa til (en masse) og orðið fyrir innri afmyndun þannig að upprunaleg lagskipting varð þvæld en hvarf þó ekki.



9. mynd. Aðfærsluæð, berggangur sem breytist í bólstra og brotaberg. Ljósmyndirnar sem vitnað er í má finna á 4. ljósmyndablaði.

Til umhugsunar: Hvaða áhrif getur berggangur haft á aðliggjandi móberg?

Lagskiptingin samsíða bergganginum sem fjallað hefur verið um hér að ofan og sýnd er á 9. mynd hefur valdið okkur miklum heilabrotum. Eðli og ástand aðliggjandi móbergs hefur án efa haft áhrif á myndun þessarar lagskiptingar. Til gamans setjum við upp þrjú líkön sem geta hjálpað okkur að varpa ljósi á hugsanlegan þátt móbergsins. Líkönin eru tímaháð og nýtast því líka í vangaveltum okkar um mögulegt goshlé (sýnt þótti hér að ofan að einingar 5 og 6 tilheyrðu ekki sama gosinu).

Líkönin ná til þess tíma sem líður frá því að móbergið hleðst upp þangað til að berggangurinn myndast: Samtíma myndun (<1 ár), nokkur ár á milli (1–5 ár) og loks >5 ár.

Ef gangurinn og móbergið eru samtíma myndanir væri fróðlegt að vita hversu hratt umhverfið hefur vatnast aftur eftir að hraunin í einingu 5 hættu að renna, hvort sem um er að ræða vatn í fljóttandi eða föstu formi. Eldgosið í Gjálpi (1996) stóð ekki það lengi að hraun nærði að myndast. Engu að síður hlóðst túff upp úr jöklinum. Þessi túffhryggur hvarf undir ís u.þ.b. tveimur árum eftir goslok. Annað sem vert er að vekja athygli á er hinn áberandi lagmótaflötur milli efsta hluta einingar 5 og svo neðsta hluta einingar 6 (4. ljósmyndablað, mynd D). Þessi lagmótaflötur getur alveg eins verið rofflötur (eftir ís?), en erfitt getur verið að greina rof ofan af stafla sem inniheldur engan áberandi innri strúktúr. Ef myndanirnar verða samtíma er ekki við því að búast að efnið sé orðið vel samlímmt, samanber rannsóknir í Surtsey (Sveinn P. Jakobsson 1978). Þá vaknar upp sú spurning hversu mikið samlímmt túffið þarf að vera til að berggangur geti myndast í því. Út frá þeirri reynslu sem fékkst í tengslum við gosið í Gjálpi (1996) og Surtsey (1963–1967), auk þeirra gagna sem söfnuðust á vettvangi er ekki líklegt að móbergið og gangurinn séu mynduð í sömu goshrinu.

Næst skulum við setja upp líkan þar sem 1–5 ár líða frá því að móbergið myndast og þangað til gangurinn treðst upp á yfirborð og myndar bólstra, bólstrabrotaberg og gjósku. Enn og aftur berst málið að samlímingu móbergsins. Samkvæmt rannsóknnum á túffi í Surtsey (Sveinn Jakobsson 1978) er ekki fjarri lagi að 1–1½ ár líði frá myndun hitagjafa og þangað til palagónítisering hefst og jafnvel þó að gjóskan innihaldi 15–25% palagónít er ekki endilega víst að samlímung glersins sé orðin mikil. Samkvæmt þessum rökum er ekki ólíklegt að móbergið í einingu 5 hafi verið illa eða lítið samlímmt í nokkur ár áður en gangurinn braust í gegn. Hér að ofan kom fram að það tók Vatnajökul um 2 ár að fylla lægðina sem myndaðist í Gjálpargosinu 1996. Án þess að geta sagt nákvæmlega hvernig afstaða jökulsins var við Tindaskaga, m.t.t. móbergsins, er ljóst að jökull jafnar alltaf það ójafnvægi sem myndast er hluti af ísbreiðunni er numinn á brott. Með hliðsjón af ofansögðu er ekki ólíklegt að það hafi tekið jökulinn við Tindaskaga nokkur ár að breiða sína fannhvítu arma yfir hrygginn og skapa kjöraðstæður fyrir bólstramyndun.

Ummyndun móbergs sem staðsett er nálægt heitum innskotum í >5 ár er orðin mikil (Sveinn P. Jakobsson 1978). Því meiri ummyndun og samlímung sem verður á móbergi því minni verður lektin. Holrými fyllast af síðsteindum sem gera að verkum að vatn á ekki eins greiða leið í gegnum bergið. Það vakti athygli að móbergið næst ganginum sýndi ekki nein ummerki þess að hafa verið nálægt heitri kviku, t.d. engin kolaður eða rauð-ryðgaður snertiflötur eins og við sáum svo oft í tengslum við bergganga í Tindaskaga. Þess vegna er sú ályktun dregin að móbergið hafi sennilega verið vatnssósa og ólíklegt að >5 ár hafi liðið milli þess sem móbergið og gangurinn mynduðust; vatn leiðir vel hita og er ekki ósennilegt að það hafi leitt hitann í burtu.

Samkvæmt því sem að ofan hefur verið sagt er líklegt að aldursbil milli túffsins og berggangsins hlaupi á árum (hugsanlega 1–5 ár) en ekki mánuðum eða áratugum.

5.3.8 Eining 7

Eining 7 samanstendur af lagskiptu gosmóbergi og berggangi sem gengur upp í gegnum það og nær alla leið upp á topp hryggjarins (rúmlega 760 m y.s.). Gosmóbergið er myndað úr grófum og fínum lögum til skiptis. Fínu lögin eru örþunn, mest 4–5 mm, og eru úr fínni ösku. Þau eru vel aðgreind og engin innbyrðis lagskipting er sjáanleg. Grófu lögin eru ríkjandi enda miklu þykkari, allt frá því að vera nokkrir cm upp í að vera nokkrir tugir cm að þykkt. Kornin eru flest minni en 0,5 cm í þvermál og engin eru stærri en 1 cm. Þessi lög nálgast það að vera kornborin. Við þunnsneiðaskoðun kom í ljós að móbergið hafði ekki palagónítiserast að neinu ráði, hverfandi magn takkylíts var í því og engin bergbrot. Berggangurinn efst er breiður, allt að því 10 m að þykkt. Hann er úr þéttu, gráu basalti og hefur bakað grannbergið vel, snerti-flöturinn er svartur og morkinn og allt að 0,5 m að þykkt.

Af öllum þeim setlögum og handsýnum sem skoðuð hafa verið í sniði 55 er ekkert eins erfitt í túlkun og eining 7. Umhverfið í heild bendir til þess að mikill óstöðugleiki hafi ríkt í kerfinu, skriðuföll og felld lagskipting, þó mest allt umhverfið sýni lárétta lagskiptingu. Án frekari athugana er ekkert hægt að segja um myndun þessarar einingar annað en að í henni eru engin hraun, aðeins gjall sem bendir til sprengivirkni í vatnsumhverfi.

5.3.9 Samantekt á einingum 6 og 7

Bólstrarnir í einingu 6 gefa til kynna að vatn hafi verið til staðar er kvika kom upp á yfirborðið. Nú þegar búið er að varpa þeirri hugmynd fram að ísveggur hafi stutt að gjóskunni í einingum 4 og 5 er nærtækasta skýringin á auknu magni vatns í einingu 6 því sú að jökullinn hafi leitast við að ná fyrra jafnvægi og lagst yfir/uppáð hryggnum og bráðnun byrjað er gosvirkni hófst aftur.

Gögnin virðast benda til að goshléið milli eininga 5 og 6 hafi hugsanlega varað 1–5 ár. Samfelld gosvirkni hélt svo áfram að hlaða upp gjósku í einingu 6 og 7. Engin yfirborðshraun sjást í þessum tveimur einingum og ekkert er hægt að segja til um upptök gjóskunnar að svo stöddu.



(A)

Skálögün í einingu 1. Frekari rannsóknir þurfa að koma til svo að unnt sé að meta rennslisstefnu setlaganna út frá skálögüninni. Skaftið á hamrinum er um 25 cm að lengd.



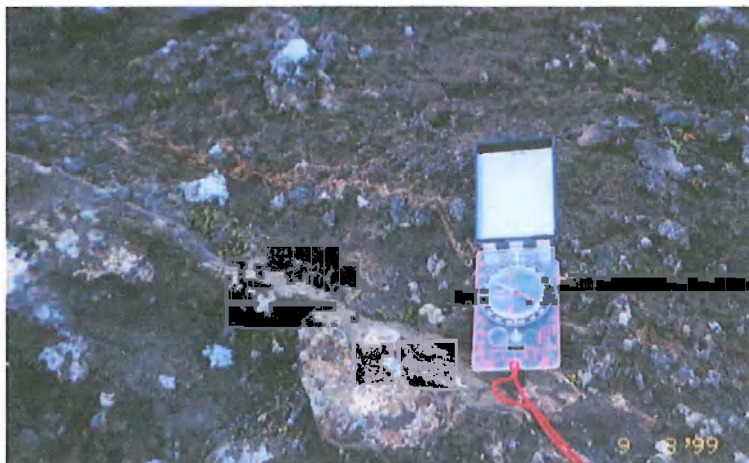
(B)

Illb innan einingar 3. Það sem vakti athygli okkar hér eru þessi þunnu (1-3 mm) lög sem liggja milli grófari setlaga. Skýringarmyndinni hér að neðan er ætlað að sýna setmyndunina.



(C)

Bólstrahrauntunga neðst í einingu 4. Þetta hraun markar þáttaskil í upphleðslu skagans. Nánar er fjallað um þetta í textanum. Ofan á berginu, þar sem grasið er, sáust óregluleg lög af siltlegu seti innan um grófa gjósku. Sjá nánari skýringar á 10. mynd - skýringarmynd D.



(D)

Skil milli móbergsins í einingum 5 og 6. Ljósbrúnu lögin er mjög siltkennnd og eru aflöguð af gjalli. Þessi greinilegu skil („lagmót“) gáfu vísbendingu um að einingar 5 og 6 væru ekki myndaðar í sama gosinu (sjá nánari umfjöllun í texta).

Ljósmynd D er sett í jarðfræðilegt samengi á 10. mynd. Glæra platan á áttavitanum er um 10 cm löng.

4. ljósmyndablað. Valdar ljósmyndir af sniði 55. Raunveruleg staðsetning ljósmyndanna í sniðinu er sýnd á 10. mynd.



(E)

Yfirlitsmynd af einingu 5 og neðsta hluta einingar 6. Fyrir miðri mynd sjást hraunin og ef vel er að gáð má sjá rautt gjall. Myndin sýnir rúmlega 100m af sniðinu.

(F)

Yfirlitsmynd sem sýnir berggangana tvo og milliliggjandi móberg. Athygli er vætan á lagskiptingunni sem myndast hefur meðfram hægri bergganginum (ljósmynd G). Bólstramyndun var greinileg í tengslum við bergganginn (ljósmynd H). Attavitinn á myndinni sýnir stærðarhlutföll.



(G)

Finnskorna, fín lagskipt móberg með grófara ólagskiptu móbergi á milli. Nánar er fjallað um þetta í textanum.



(H)

Hér hefur kvika troðist inn í móbergið og myndað einskonar bólstra eða hálf bólstra. Í samanburði við ljósmynd G er ekki að sjá neina áberandi lagskiptingu í tengslum við bergganginn. Efst á myndinni glittir í efri bergganginn. Hann virðist ekki hafa bakað móbergið.



6 NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA

Í þessum kafla verður dregið fram það markverðasta sem komið hefur fram hér að ofan. Til þess að hægt sé að gefa heildaryfirlit yfir myndun og mótun Tindaskaga verður þó að tína til fleiri gögn en hér hafa verið birt. Gagnaöflun gekk mjög vel á meðan útivinnu stóð og aðeins hluti af þeim gögnum sem safnað var hefur komist til skila í þessari skýrslu.

Niðurstaðan er sú að Tindaskagi sé töluvert flókinn í uppbyggingu. Hryggurinn ber þess merki að vera mikið rofinn; óregluleg innskot sjást nánast um allan hrygginn. Að auki hafa miklar tektónískar hreyfingar valdið því að bergspildur hafa hliðrast um marga metra, en í því sambandi er vert að minnast þess að Tindaskagi er skammt austan við Þingvallasigdældina. Margt bendir til þess að nyrðst á hryggnum hafi verið hraungígur sem gosið hafi ofan vatnsborðs og dreift bombum um svæðið. Þessi gígur er nokkuð rofinn og rétt glittir í gosbarmana. Í þessum nyrsta hluta fjallsins má greina a.m.k. tvær goseiningar: Hraungíginn, sem fyrr var nefndur, og nokkrum metrum sunnar móbergshól sem gosið hefur eftir að hraungígurinn myndaðist (brotabergshula frá þessari goseiningu þekur stóran hluta norðurendans). Þessar goseiningar sjást vel ef rýnt er í hæðarlínukort. Svæðið frá sniði 55 og langleiðina að Miðnesi má draga saman í eitt og fjalla um sem eina myndun. Á þessu svæði er landslagið stórgerðast og uppbyggingin flóknust. Þar sást bólstraberg en vegna þess mikla magns túffs sem fylgt hefur bólstrunum þykir okkur ólíklegt að um sökkulbólstraberg sé að ræða. Þetta bólstraberg sést beggja megin í Tindaskaga.

Margt bendir til þess að svæðið frá sniði 55 og langleiðina að Miðnesi hafi hlaðist upp í a.m.k. tveimur áföngum (neðri og efri myndun). Mikið magn gosmóbergs (ólagskiptir móbergsmassar) og bólstrabergsmýndana þar fyrir ofan bendir til þessa (sjá snið 55). Ofan við Miðnes er lítil hraungígur, enn ofar virðist sem mikil ókyrrð hafi ríkt í upphleðslunni og er ekki ólíklegt að svæðið fyrir ofan Miðnes sé endirinn á gosvirkni í norðurhlutanum.

Ástæða þess að fjallinu er skipt upp í norður- og suðurhluta eru: a) Snögg umskipti (norður til suðurs) frá óreglulegu gosmóbergi með hrauninnlyksum yfir í lagskipt einsleitt setmóberg og b) lega setmóbergsins, þar sem það liggur mismælt undir norðurhlutann. Setmóbergið er allsráðandi þangað til komið er að sniði 17. Þykir margt benda til þess að þegar upphleðsla átti sér stað í suðurhlutanum, hafi mikið magn gjósku myndast og hún flætt burt sem set og myndað þessa miklu setlagabunka milli Miðness og sniðs 17. Umhverfið hefur einkennst af miklum óstöðugleika því á nokkrum stöðum má sjá stór trog (tugir metra á lengd).

Algengt er að gos hefjist sem sprungugos og gjósi þá á mörgum gígum en ljúki svo yfirleitt í einum gíg. Mjög líklegt er að gosvirknin í suðurhluta Tindaskaga hafi byrjað sem sprungugos í jökli, eldurinn brætt geil í ísinn, sem svo fylltist af gjósku (setmóberg) þegar eldvirknin var orðin bundin við einn hraungíg (gíginn við snið 17) og gjóska „flæddi“ frá gígnum til beggja átta. Kann þetta að vera skýringin á því hvers vegna svo miklir og þykkir setmóbergsstaflar myndast í móbergsfjöllum. Ekki er nóg með að setlöggin í fjallinu sjálfu séu falleg, heldur eru mjög fallegar setlagaopnur við rætur fjallsins, vestan við hrygginn milli Miðness og sniðs 17. Í sumum þessara opna má sjá greinileg merki um flutning; setlöggin eru uppvöðluð og stórir móbergsmolar hafa runnið með straumnum niður fjallið og eru greyptir í setlöggin.

Umhverfið í suðurhluta hryggjarins er nokkuð frábrugðið því sem sést í norðurhlutanum. Hryggurinn er mjórri og lægri, auk þess sem upphleðslan er mun jafnari en að norðanverðu. Ekkert í þessum hluta bendir til þess að gosið hafi aftur eftir að jökullinn lagðist á ný yfir

gosstöðina. Að þessu leyti er skiljanlegt að norðurhlutinn skuli vera stór og mikill og flókinn; myndaður í a.m.k. tveimur áföngum, á meðan suðurhlutinn er aðeins myndaður í einum áfanga.

Í tengslum við þá umræðu að hluti Tindaskaga sé myndaður í tveimur áföngum þar sem jökull hefur lagst aftur yfir fjallið milli gosa má benda á að setmóberg sem myndast ofan á yfirborðshraunum þarf ekki endilega að tákna gosmyndun í tveimur áföngum. Í sniði 17 kemur nefnilega í ljós að lahar lagðist yfir nýmynduð yfirborðshraun. Þykkt þessara flóða hleypur á metrum og tengist að öllum líkindum óstöðugleika í gígörmmum eldvarpsins en ekki nýjum áfanga í eldvirkni.

Þó svo að suður- og norðurhluti Tindaskaga séu um margt ólíkir eiga þeir eitt sameiginlegt: Yfirborðshraunin á báðum stöðunum eru í svipaðri hæð yfir sjávarmáli, eða í um 600 m hæð. Þykir þetta benda til þess að hæð jökulsins hafi ekki breyst mikið meðan á upphleðslu stóð. Áætlað er að þykkt jökulsins umhverfis Tindaskaga hafi verið um 600–700 m og byggjast þær tölur á líkani Magnúsar T. Guðmundssonar o.fl. (2000), gögnum frá Jones (1970) um vatnsstöðu í Kálfstindum, gosinu í Gjálpi 1996 og okkar eigin niðurstöðum.

Þunnsneiðaskoðun gaf veigamiklar upplýsingar um uppruna og aðstæður sem ríkt hafa þegar móbergið var að ummyndast. Magn, dreifing og eðli palagóníts og síðsteinda vega þar þyngst. Ummyndun í þunnsneiðunum gaf tilefni til að áætla að gjóskan hafi byrjað að ummyndast ofar í fjallinu, runnið niður hliðina, myndað setlag og haldið áfram að ummyndast (síðsteindir myndast). Sú reynsla sem fékkst í Surtseyjargosinu (1963–1967) hjálpaði okkur mikið við að meta umhverfisaðstæður ummyndunarinnar. Svo virtist sem lítill hluti móbergsins hefði ummyndast í vatni. Ummyndunin er að mestu leyti ójöfn og bundin við sprungur, og bendir það til gufukerfis. Eðli ummyndunarinnar getur því hjálpað vísindamönnum til að meta magn vatns í kerfinu.

Greining okkar á setlögum í Tindaskaga bendir til þess a) að óstöðugleiki umhverfisins sé mikill, sbr. palagónítið, b) að upphleðslan verði að mestu í flóðum og skriðum en ekki með loftbornum ferlum og c) að umhverfið sem fjallið hleðst upp í sé mjög vatnsmettað. Hversu mikið vatn var til staðar er Tindaskagi var að hlaðast upp er erfitt að svara en engar vísbendingar fundust sem bentu eindregið til þess að Tindaskagi hafi hlaðist upp í lóni eða stöðuvatni (ponded water). Daufar vísbendingar hafa fundist um rennandi vatn (efsta lagið í einingu 54). Á undanförunum misserum hafa birst greinar um upphleðslu móbergsfjalla, bæði héðan frá Íslandi (Werner og Schmincke 1999) sem og frá Suðurskautinu (Skilling 1994; Smellie og Skilling 1994) þar sem því er haldið fram að myndun móbergsfjalla eigi sér stað að einhverjum hluta í stöðuvatnaumhverfi og rísi svo upp úr vatninu og myndi hraunbreiður á toppi fjallsins. Ekki sáust nein ummerki um stöðuvötn við myndun Tindaskaga, þótt upphleðslan hafi greinilega farið fram í vatnsmettuðu umhverfi. Þessi myndunarþáttur móbergsfjalla er án efa hvað minnst þekktur. Enn eru varla til nógu góðar og ítarlegar lýsingar á setmóbergi til að hægt sé að fullyrða um þá umhverfisþætti sem hafa áhrif á upphleðslu gjósku undir jökli. Frekari rannsóknir á móbergi þurfa því að miða að því að tengja setmóbergið við þau landform sem eru til staðar í nærliggjandi umhverfi.

Vinnan við þetta verkefni var afar lærdómsrík og verður vonandi kveikja að fleiri rannsóknum af þessum toga, hér á landi sem og erlendis.

7 FREKARI RANNSÓKNIR

Af nógu er að taka fyrir þá sem hyggja á frekari rannsóknir á Tindaskaga og móbergsfjöllum almennt. Enn vantar mikið upp á þekkingu vísindamanna á þeim ferlum sem ríkja við upphleðslu slíkra fjalla, rofi í þeim og þeim áhrifum sem tektóník svæðisins hefur á upphleðsluna og síðari tíma röskun. Bergefnafræði og ummyndunarferli móbergsfjalla eru þeir þættir sem hvað best hafa verið rannsakaðir (sjá inngang) en auðvitað má alltaf bæta við þekkingu með nýjum og vönduðum rannsóknum.

Eftirfarandi umhugsunarefni eru verðug verkefni fyrir þá sem áhuga hafa á móbergsrannsóknum:

- Á hvern hátt breytist ásýnd setmóbergs með fjarlægð frá upptökum?
- Getum við séð mun á setlögum sem myndast í jökullóni, gufumettuðu umhverfi eða í nánast þurru umhverfi?
- Ef við gefum okkur að ísinn haldi áfram að bráðna eftir að eldgosi undir jökli lýkur, hversu miklar breytingar verða á fjallinu á þessum tíma og hvers eðlis eru þær?
- Hversu mikil áhrif hefur landslag jökulsins (fyrir ofan og umhverfis eldstöðina) á útlínur og lögun móbergsfjalla? Er t.d. hægt að sjá hvar bræðsluvatn hefur flætt í burtu eða má búast við að það hafi safnast fyrir og myndað lón?
- Hryggir og stapar: Er einhver munur á upphleðslunni?
- Oft finnast skútar og hellar í móbergsfjöllum (bæði í gjóskunni og í bólstrabergi). Er mögulegt að þessi holrými séu eftir ís og er mögulegt að þau hjálpi okkur við að meta upphleðslu- og umhverfisaðstæður í móbergsfjöllum.

8 ÞAKKARORÐ

„Setfræðileg rannsókn á móbergi“ – fyrir þá sem þekkja til er augljóst að titill þessarar skýrslu lýsir mikilli bjartsýni. Móbergsrannsóknir af þessari gerð hafa lítið verið stundaðar erlendis, hvað þá hérlendis, og við renndum blint í sjóinn með marga hluti. Án aðstoðar okkur vitrari og reyndari karla og kvenna hefði þessi skýrsla aldrei orðið neitt í líkingu við það sem hún er, og skulu öllum sem hlut eiga að máli færðar bestu þakkir. Fyrst og fremst á Sveinn P. Jakobsson, umsjónarmaður verkefnisins, skyldar þakkir fyrir þolinmæði, hjálpsemi og félagsskap við vettvangsvinnu sumarið 1999. Sveinn hvatti okkur líka óspart til að kynna verkefnið á ráðstefnu um eldvirkni undir ís á Jörðu og á Mars í Reykjavík í ágúst 2000, og reyndist sú ráðstefna mjög lærdómsrík og hvetjandi. Án styrks frá Nýsköpunarsjóði námsmanna hefði verkefnið aldrei farið af stað og rausnarlegur fjárstuðningur frá Náttúrufræðistofnun Íslands kom einnig í góðar þarfir. Einnig fengum við aðstöðu til innvinnu og úrvinnslu gagna á Náttúrufræðistofnun og allt starfsliðið þar fær bestu þakkir, sérstaklega Ævar Petersen forstöðumaður sem sýnt hefur mikinn skilning á tögum sem hafa orðið á verklokum. Leifur Á. Símonarson og Jón Eiríksson lánuðu áhöld til útivinnu og Áslaug Geirsdóttir miðlaði okkur af sérfræðiþekkingu sinni í setlagafraeði. Starfsmenn á Rannsóknastofnun byggingariðnaðarins útbjuggu þunnsneiðar og voru mjög liðlegir í alla staði. Síðast en ekki síst fá bílstjórnir okkar þakkir, Óliver Hilmarsson, Otto Schopka og Sigríður H. Sigurbjörnsdóttir.

9 HEIMILDASKRÁ

- Allen, C.C., Jercinovic, M.J. og Allen, J.S.B., 1982: Subglacial volcanism in north-central British Columbia and Iceland. *J. Geol.* **90**, 699–715.
- Áslaug Geirsdóttir og Jón Eiríksson, 1995: *Ásýndir og umhverfi - samantekið efni úr fyrirlestrum í setlagafraði*. Fjölrit.
- Bergh, S. G. og Guðmundur E. Sigvaldason, 1991: Pleistocene mass-flow deposits of basaltic hyaloclastite on a shallow submarine shelf, South Iceland. *Bull. Volcanol.* **53**, 597–611.
- Carey, S. og Sparks, R.S.J., 1986: The dimensions and dynamics of volcanic eruption columns. *Bull. Volcanol.* **48**, 109–125.
- Fisher, R.V. og Schmincke, H.U., 1984: *Pyroclastic rocks*. Springer-Verlag, Berlín, 472 bls.
- Francis, P., 1996: *Volcanoes, a planetary perspective*. Oxford Univ. Press, U.S.A. 443 bls.
- Furnes, H., Ingvar B. Friðleifsson og Atkins, F.B., 1980: Subglacial volcanics - on the formation of acid hyaloclastites. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* **8**, 95–110.
- Guðmundur Kjartansson, 1943: *Árnesingasaga I*. Reykjavík, bls. 1–268.
- Guðmundur Kjartansson, 1959: The Moberg formation II: Sigurður Þórarinnsson (ritstj.), On the geology and geomorphology of Iceland. *Geogr. Ann.* **41**, 139–143.
- Helgi Björnsson, 1974: Explanation of jökulhlaups from Grímsvötn, Vatnajökull, Iceland. *Jökull* **24**, 1–24.
- Helgi Björnsson, 1988: Hydrology of ice caps in volcanic regions. *Vísindafélag Íslendinga*, rit **45**, 139 bls.
- Helgi Pjetursson, 1900: The glacial Palagonite formation of Iceland. *Scottish Geol. Mag* **16**, 265–293.
- Hreggviður Norðdahl, 1990: Late Weichselian and early Holocene deglaciation history of Iceland. *Jökull* **40**, 27–46.
- Hreggviður Norðdahl, 1998: Hagnýt laus jarðlög á Íslandi. Rannsóknastofnun byggingar- iðnaðarins. 67 bls.
- Jones, J.G., 1969: Intraglacial volcanoes of the Laugarvatn region, south-west Iceland I. *Quart. J. Geol. Soc. London* **124**, 197–211.
- Jones, J.G., 1970: Intraglacial volcanoes of the Laugarvatn region, south-west Iceland II. *J. Geol.* **78**, 127–140.
- Jón Eiríksson, 1993: *Inngangur að setlagafraði*. Útgefandi Jón Eiríksson, Reykjavík. 139 bls.
- Kristján Sæmundsson, 1992: Geology of the Thingvallavatn area. *Oikos* **64**, 40–68.
- LaBrecque, J.L., Dennis, K.V. og Cande, S.C., 1977. Revised magnetic polarity time scale for Late Cretaceous and Cenozoic time. *Geology* **5**, 330–335.
- Le Masurier, W.E., 1972: Volcanic record of Cenozoic glacial history of Marie Byrd Land. In: Adie, R.J. (ed.) *Antarctic-geology and geophysics*, Universitetsforlaget, Oslo, bls. 215–223.
- Magnús T. Guðmundsson, Freysteinn Sigmundsson og Helgi Björnsson, 1997: Ice-volcano interaction of the 1996 Gjálp subglacial eruption, Vatnajökull, Iceland. *Nature* **389**, 954–957.
- Magnús T. Guðmundsson, Sveinn P. Jakobsson og Þórdís Högnadóttir, 2000. Glacial/interglacial magma production rates in the Thingvellir-Langjökull area, SW-

- Iceland. *Volcano/Ice Interaction on Earth and Mars* (conference abstracts), Gulick, V.C. og Magnús T. Guðmundsson (eds.). Reykjavík, Iceland.
- Mathews, W.H., 1947: „Tuyas”, flat-topped volcanoes in northern British Columbia. *Amer. J. Sci.* **245**, 560–570.
- Moore, J.G., 1975: Mechanism of formation of pillow lava. *Amer. Sci.* **63**, 269–277.
- Moore, J.G. og Calk, L.C., 1991: Degassing and differentiation in subglacial volcanoes, Iceland. *J. Volcanol. Geotherm. Res.* **46**, 157–180.
- Moore, J.G., Hickson, C.J. og Calk, L.C., 1995: Tholeiitic-alkalic transition at subglacial volcanoes, Tuya region, British Columbia, Canada. *J. Geophys. Res.* **100 (B12)**, 24577–24592.
- Morgenstein, M. og Riley, T.J., 1975: Hydration-rind dating of basaltic glass: A new method for archaeological chronologies. *Asian Perspectives* **XVII(2)**, 145–159.
- Noe-Nygaard, A., 1940: Subglacial volcanic activity in ancient and recent times (Studies in the palagonite-system of Iceland, no. 1). *Folia Geographica Danica I (2)*, 1–67.
- Peacock, M.A., 1925: A contribution to the petrography of Iceland. *Trans. Geol. Soc. Glasgow* **17**, 273–333.
- Reading, H. G. (ed.) 1996. *Sedimentary Environments: Processes, Facies and Stratigraphy*, 3rd edition. Oxford, Blackwell Science. 688 bls.
- Selley, R.C., 1976: *An introduction to sedimentology*. London, Academic press, 408 bls.
- Sigurður Þórarinnsson, 1965. Sitt af hverju um Surtseyjargosið. *Náttúrufræðingurinn* **35**, 153–181.
- Sigurður Þórarinnsson, 1968a. Síðustu þættir Eyjaelda. *Náttúrufræðingurinn* **38**, 113–135.
- Sigurður Þórarinnsson, 1968b. On the rate of lava- and tepra production and the upward migration of magma in four Icelandic eruptions. *Geolog. Rundsch.* **57**, 705–718.
- Skilling, I.P., 1994: Evolution of an englacial volcano: Brown Bluff, Antarctica. *Bull. Volcanol.* **56**, 573–591.
- Smellie, J.L., Pankhurst, R.J., Hole, M.J. og Thomson, J.W., 1988: Age distribution and eruptive conditions of Late Cenozoic alkaline volcanism in the Antarctic peninsula and eastern Ellsworth Land: review. *Brit. Antarct. Surv. Bull.* **80**, 21–49.
- Smellie, J.L., Hole, M.J. og Nell, P.A.R., 1993: Late Miocene valley-confined subglacial volcanism in northern Alexander Island, Antarctic Peninsula. *Bull. Volcanol.* **55**, 273–288.
- Smellie, J.L. og Skilling, I.P., 1994: Products of subglacial volcanic eruptions under different ice thicknesses: two examples from Antarctica. *Sed. Geol.* **91**, 115–129.
- Sveinn P. Jakobsson, 1972. On the consolidation and palagonitization of the tephra of the Surtsey volcanic island, Iceland. *Surtsey Progress Report VI.*, 121–128.
- Sveinn P. Jakobsson, 1978. Environmental factors controlling the palagonitization of the Surtsey tephra, Iceland. *Bull. Geol. Soc. Denmark* **27**, 91–105.
- Sveinn P. Jakobsson og J.G. Moore, 1986: Hydrothermal minerals and alteration rates at Surtsey volcano, Iceland. *Geolog. Soc. Amer. Bull.* **97**, 648–659.
- Thorseth, H., Furnes, H. og Tumyr, O., 1990: A textural and chemical study of Icelandic palagonite of varied composition and its bearing on the mechanism of the glass-palagonite transformation. *Geochim. Cosmochim. Acta* **55**, 731–749.
- Tribble, G.W., 1991: Underwater observations of active lava flows from Kilauea volcano, Hawaii. *Geology* **19**, 633–636.

- Walker, G.P.L. og Blake, D.H., 1966: Formation of a palagonite breccia mass beneath a valley glacier. *Quart. J. Geol. Soc. London* **122**, 45–61.
- Werner, R. og Schmincke, H.-U., 1999: Englacial vs. lacustrine origin of volcanic table mountains: evidence from Iceland. *Bull. Volcanol.* **60**, 335–354.
- Wohletz, K. H. & Sheridan, M. F., 1983: Hydrovolcanic expolsions II. Evolution of basaltic tuff rings and tuff cones. *Amer. J. Sci.* **283(5)**, 385–413.
- Wright, A.C., 1980: Landforms of the McMurdo Volcanic Group, Southern Foothills of the Royal Society Range, Antarctica. *N. Z. J. Geol. Geophys.* **23**, 605–613.
- Wörner, G. og Viereck, L., 1987: Subglacial to emergent volcanism at Shield Nunatak, Mt. Melbourne volcanic field, Antarctica. *Polarforsch.* **57**, 27–41.
- Porleifur Einarsson, 1960: Die Geologie von Hellisheidi (Süd-West-Island). *Sonderveröffentl. Geolog. Inst. Univ. Köln* **5**, 55 bls.