

JARÐFRÆÐAFÉLAG ÍSLANDS

**VORRÁÐSTEFNA 1993**

Dagskrá og ágrip

Haldin í Norræna Húsinu, Reykjavík

20. apríl 1993

## Dagskrá vorráðstefnu 1993:

9:00 – 12:00 Morgunfundur: Auðæfi á hafslotni.

12:00 – 14:00 Hádegisverðarhlé.

14:00 – 18:00 Veggspjaldasýning.

## Erindi á morgunfundí:

Sveinn Jakobsson: Mangangrýti á Reykjaneshrygg.

Kjartan Thors: Hagnýting á möl og sandi af hafslotni við Ísland.

Guðmundur Ómar Friðleifsson: Finnst olía á landgrunninu?

David L. Loftus: Natural resources in the North Atlantic.

## Ágrip:

Águst Guðmundsson og Bo Olof Långbacka:

Áhrif Tjörnesbrotabeltisins á bergmótun (jarðhnik) Tröllaskaga..... 5

Ármann Höskuldsson og Páll Imsland:

Snæfell..... 7

Árni Hjartarson:

Síðkvarteri jarðlagastaflinn á höfuðborgarsvæðinu..... 8

Árný Erla Sveinbjörnsdóttir:

„Djúpur“ ískjarni frá Renlandi á Austur Grænlandi..... 10

Ásgrímur Guðmundsson, Sverrir Þórhallsson, Grímur Björnsson, Sigurður Benediktsson  
og Hjalti Franzson:

Borun og rannsóknir í holu HSH-14 í Svartsengi..... 11

Áslaug Geirdóttir og Jón Eiríksson:

Utbreiðsla jökla í ljósi setmyndunar á plíosen og pleistósen..... 12

Áslaug Geirdóttir og Jón Eiríksson:

Umhverfi setmyndunar í Fossvogi í lok ísaldar..... 13

Bryndís Brandsdóttir, Páll Einarsson og Freysteinn Sigmundsson:

Skjálftahrinan haustið 1992 undir Goðabungu í Mýrdalsjökli:

Atburðarás og hugleiðingar um viðbrögð..... 14

Bryndís Brandsdóttir, Ólafur Guðmundsson, William Menke og Halldór Ólafsson:

Grunnstætt kvíkuhólf undir Kötluóskjunni fundið með bylgjubrotsmælingum..... 16

Elsa Vilmundardóttir og Snorri Páll Snorrason:

Síðkvarter eldstöðvakerfi á miðhálendinu..... 17

Erik Sturkell, Freysteinn Sigmundsson og Páll Einarsson:

Aflögun jarðskorpunnar á Reykjanesskaga 1986-1992 ákvörðuð með GPS-landmælingum. . 18

Gretar Ívarsson:

Torfajökull. Jarðfræði og bergefnafræði..... 19

Guðmundur Ómar Friðleifsson, Jón Eiríksson og Halldór Ármansson:

Finnst olía á landgrunni Íslands? ..... 21

Guðrún Larsen:

Gos á Kötlueldstöðvakerfinu á sögulegum tíma. .... 23

Guðrún Larsen:

Nokkur orð um leiðir Kötluhlaupa á sögulegum tíma. .... 25

Guðrún Sverrisdóttir, Hrefna Kristmannsdóttir, Halldór Ármannsson, Steinunn Hauksdóttir, Sigurður Steinþórsson og Sveinn Jakobsson:	
Manganútfellingar á Reykjaneshrygg, steindasamsetning og myndun.....	27
Gunnar Ólafsson:	
Ísland í ODP.....	29
Gunnar B. Guðmundsson, Páll Halldórsson og Ragnar Stefánsson:	
Skjálftavirkni í Mýrdals- og Eyjafjallajökli.....	30
Haraldur Auðunsson:	
Notkun borsvarfs til að meta seguleiginleika dýpri jarðlaga.....	31
Helgi Torfason, Halldór Ármannsson og Kristján Hrafn Sigurðsson:	
Jarðhitasvæðið á Peistareykjum.....	33
Hreggviður Norðahl:	
Saga sjávarstöðubreytinga og jökulhörfunar á síðjökultíma við Þistilfjörð og Bakkafloá....	35
Ingibjörg Kaldal:	
Fróðleiksmolar um gamla gjósku í Búðarhálsi.....	36
Jens Tómasson:	
Ummyndun sets og túffs.....	38
Leó Kristjánsson:	
Saga hugmynda um aldur Íslands, 1859-1968.....	40
Magnús Sigurgeirsson:	
Gjóskulög í innanverðum Eyjafjarðardal.....	41
Ólafur Flóvenz og Knútur Árnason:	
Áhrif ísaldarrofs á hitastigul.....	43
Ómar Bjarki Smárason og Jörg-Peter Kück:	
Jarðhitaleit í Austur-Skaftafellssýslu á árinu 1992.....	45
Páll Einarsson og Bryndís Brandsdóttir:	
Skjálftavirkni undir Kötluöskjunni og Goðabungu í Mýrdalsjökli.....	47
Páll Imsland:	
Yfirlit um hegðun Kötlugosa, aðdraganda þeirra og eftirkost og ýmis fylgifyrbæri og hættur sem fylgja.....	48
Páll Imsland og Guðrún Larsen:	
Kerlingarfjörður – Hvar og hvernig var hann og hvenær hvarf hann?.....	49
Ragnar Stefánsson og Gunnar B. Guðmundsson:	
Byrjun Heklugossins 1991.....	50
Sigurður Reynir Gíslason, Stefán Arnórsson og Halldór Ármannsson:	
Efnaveðrun basalts.....	51
Sigurður Steinþórsson og Örn Helgason:	
Fe(III)/Fe(II)-hlutfall í basaltbráð.....	53
Stefán Arnórsson, Auður Andrésdóttir og Sigurður R. Gíslason:	
Efnahvörf í uppstreymisrásum jarðhitakerfa.....	54
Steinunn Jakobsdóttir og Ragnar Stefánsson:	
Niðurstöður úr SIL kerfinu.....	56
Porgeir Helgason, Ólafur Hjálmarsson og Sigurjón Páll Ísaksson:	
Hagnýt jarðfræðiráðgjöf hjá Línuhönnun h.f.....	57

## ÁHRIF TJÖRNESBROTABELTISINS Á BERGMÓTUN (JARÐHNIK) TRÖLLASKAGA

Ágúst Guðmundsson og Bo Olof Långbacka  
Norrænu eldfjallastöðinni, Jarðfræðahúsi Háskólans, 101 Reykjavík

### INNGANGUR

Á mónum úthafshryggjar og brotabeltis er oft sérkennilegt sveigt sprungumynstur. Mynstrið samanstendur einkum af siggengjum og togsprungum með þrjár meginstefnur. Eitt sprungufylkið liggur samsíða rekás hryggjарins, annað er samsíða brotabeltinu, og það þriðja myndar  $20\text{--}50^\circ$  horn við ás hryggjарins. Ein af mörgum óleystum gátum varðandi jarðfræði úthafsbotnsins er tilurð þessa sveigða sprungumynsturs.

Rétt norðan við Tröllaskaga mælast Kolbeinseyjarhryggurinn og Tjörnesbrotabeltið. Bergmótun norðurhluta Tröllaskaga gefur því vísbindingar um þrívíða gerð sprungumynsturs á mónum úthafshryggjar og brotabeltis. Breyingar á bergmótun suður eftir skaganum veita auk þess upplýsingar um hversu langt áhrifa af spennusviði móttanna gætir. Til að kanna fornspennusvið á norðanverðum Tröllaskaga mældu höfundar strik og halla á um 70 hraunlögum, 108 misgengjum, 231 smámisgengjum og 141 holufyllingaræðum. Að auki voru strik, halli og þykkt 564 ganga mæld. Mælingarnar voru gerðar í 28 sniðum á svæðinu frá Skíðadal í suðri að Sigrunesi í norðri.

### MÆLINIÐURSTÖÐUR

Á meginhluta Tröllaskaga er halli hraunlaga á bilinu  $6\text{--}14^\circ$  og meðaltalið við sjávarmál í kringum  $10^\circ$  (1. mynd). Hraunlögin halla í ýmsar áttir, en aðallega til vesturs, suðvesturs og suðurs. Á nyrsta hluta Tröllaskaga, norðan við Ólafsfjörð að austan og Miklavatn að vestan, er halli hraunlaga talsvert frábrugðinn þessu. Þar er ráðandi hallastefna til suðvesturs, hallinn á bilinu  $10\text{--}36^\circ$  og um  $22^\circ$  að meðaltali. Hraunlög halla ívið meira nyrst á Flateyjarskaga, þar sem hluti Tjörnesbrotabeltisins kemur á land (1. mynd), en á öðrum tertíum svæðum utan megineldstöðva er jarðlagahalli sjaldan meiri en  $15^\circ$  og viða minni en  $10^\circ$ .

Nokkrir andesítgangar eru á svæðinu en allir aðrir eru basaltgangar, langflestir úr finkorna þóleítti. Margfaldir gangar eru algengir, einkum á nyrsta hluta svæðisins, en margfaldir gangar eru annars fremur fátiðir á Íslandi. Meðalstefna ganga á öllu svæðinu er norð-norðaustur, N $17^\circ$ A/78ASA. Stefnan er svipuð frá Skíðadal norður að Sigrunesi, en hins vegar er áberandi að gangar nyrst á svæðinu, einkum við Siglufjörð, hafa að meðaltali  $10^\circ$  minni halla en gangar sunnar á svæðinu. Meðalþykkt ganga er 5,9 m, sem er meiri meðalþykkt en fundist hefur á nokkru öðru sambærilegu svæði á Íslandi. Meðalþykkt ganga á Flateyjarskaga, 5,2 m, er sú sem kemst næst þessari. Hafa ber í huga að þykktardreifing í öllum gangaþyrpingum fylgir veldisfalli, og því er meðalþykkt ekki góður mælikvarði á algengustu þykkt. Þykasti basaltgangur sem mælst hefur hér á landi er rétt ofan við Dalvík. Hann er þrefaldur og í heild 54 m þykur. Í 4,5 km löngu sniði á ströndinni við fjallið Stráka og þaðan í vestur er gliðnun skorpunnar vegna ganga um 28%. Þetta er mun meiri gliðnun en mælst hefur í öðrum sambærilegum sniðum utan við megineldstöðvar hér á landi. Sú gangaþyrping sem næst kemst þessari er á vesturströnd Flateyjarskaga, norðan Grenivíkur, en þar er gliðnun vegna ganga um 17%. Gangar eru því bæði þykktar og gliðnun vegna þeirra meiri á þessum hluta Norðurlands en í öðrum landshlutum.

Meirihluti þeirra 108 misgengja sem mæld voru eru siggengi með norðlæga stefnu. Lóðrétt færsla þeirra er á bilinu 0,3-9 m, en stefnan er eilitið vestlægari en stefna ganga á sömu svæðum. Algengt er að gangar og siggengi í þyrpingum hér á landi hafi nokkuð mismunandi meðalstefnu. Halli misgengja er á bilinu  $45\text{--}90^\circ$ , en meðalhalli siggengja er  $73^\circ$ . Brotaberg fylgir sumum misgengjum, en þykkt þess er viðast aðeins 0,1-0,3 m enda er misgengisfærslan lítil. Þótt flest misgengi stefni norður, eru mörg siggengi með norðvestlæga stefnu í Siglufirði og Héðinsfirði. Er sú stefna siggengja bundin við svæðið þar sem halli hraunlaga er hvað mestur og finnst ekki sunnar á skaganum.

Á öllu svæðinu voru mældir 231 rákaðir fletir smámisgengja (áætluð færsla er undir einum metra). Um 51% smámisgengja eru sig-eða risgengi (færsluvektor hallar  $60\text{--}90^\circ$ ), 33% eru hliðargengi (færsluvektor hallar  $0\text{--}30^\circ$ ), og um 16% eru skágengi (færsluvektor hallar  $30\text{--}60^\circ$ ). Af sig-og risgengjum eru 82% siggengi, og af hliðargengjum hafa 76% vinstri færslu. Siggengi stefna annars vegar norður eða norð-norðaustur, og eru nokkurn veginn samsíða göngum á svæðinu, hins vegar norðvestur, og eru samsíða stærri norðvestur siggengjum. Nær öll hliðargengi stefna norður eða norð-norðaustur.

Holufyllingaræðar eru eins og gangar yfirleitt myndaðar hornrétt á minnstu þrýstispennu og gefa því vísbindinar um fornspennusvið. Æðarnar voru mældar á fjórum stöðum. Á suðurhluta svæðisins, sunnan við Ólafsfjörð, stefna æðarnar norðaustur, líkt og gangarnir. Saman stefna finnst

reyndar líka norðan við Miklavatn, en þar eru auk þess nokkrar æðar með norðvestlæga stefnu. Í Siglufirði stefna allar æðarnar norðvestur og fylgja þar stefnu siggengja og smámisengja.

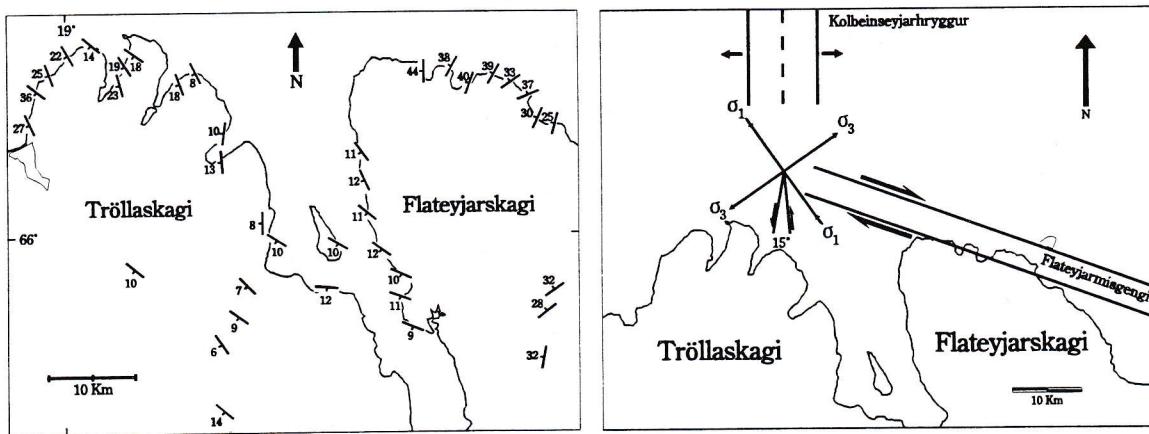
## LÍKAN

Gangar, siggengi, smámisengi og holufyllingaræðar með norðlæga stefnu eru samsíða ás númerandi rekbeltis á Norðurlandi. Telja verður líklegt að þessi fyrirbæri hafi myndast í því spennusviði sem ríkti í rekbelti Norðurlands fyrir 10-12 milljón árum og mörg þeirra orðið til samtímis upphleðslu jarðlagastaflans. Nyrst á skaganum eru mörg siggengi, smámisengi og holufyllingaræðar með norðvestlæga stefnu sem hlýtur að eiga sér orsakir í öðru spennusviði en því sem ríkir innan rekbelts með norðlæga stefnu. Þessi norðvestlæga stefna finnst á því svæði þar sem halli hraunlaga er allt að  $30^{\circ}$  meiri en annars staðar á Tröllaskaga og hvort tveggja tengist líklega spennusviðinu sem fylgir móturnum Tjörnesbrotabelts og Kolbeinseyjarhryggjar.

Til að kanna þessa tilgátu var sett upp reiknlíkan (boundary element líkan) fyrir mótin og spennurnar reiknaðar. Notuð voru staðalgildi fyrir fjaðureiginleika jarðskorpunnar á þessum slóðum og togspennan höfð í samræmi við togstyrk jarðskorpunnar. Meginniðurstöðurnar eru sýndar á 2. mynd. Spennusvið móturna hefur áhrif vel inn á Tröllaskaga og myndar gliðunarsprungur með norðvestlæga stefnu. Athyglisvert er að hliðargengi með norðlæga stefnu myndast einnig í þessu spennusviði, en slík misgengi eru einmitt algeng á norðanverðum Tröllaskaga. Engin merki finnast um meiriháttar hægra hliðargengi í grennd við Dalvík, en smærri norðlæg hliðargengi eru algeng. Við vörpum því fram þeirri tilgátu að Dalvíkursskjálftarnir 1934 hafi orðið á hliðargengjum með norðlæga stefnu, sem er reyndar í samræmi við lýsingar sjónarvotta.

## SAMANTEKT

1. Á norðanverðum Tröllaskaga er algengasta sprungustefnan norðlæg og samsíða númerandi rekbelti Norðurlands. Halli hraunlaga er víða um  $10^{\circ}$ .
2. Nyrst á skaganum er allbreitt svæði þar sem hraunlög halla allt að  $36^{\circ}$ . Þar er jafnframta áberandi norðvestlæg sprungustefna.
3. Engin merki finnast um meiriháttar hægra hliðargengi frá Dalvík að Miklavatni (Dalvíkurmisgengi). Hins vegar eru norðlæg hliðargengi algeng og er sú tilgáta sett fram að Dalvíkursskjálftarnir hafi orðið á slíkum misgengjum.
4. Niðurstöður reiknlíkans benda til þess að spennusviðið sem tengist móturnum Kolbeinseyjarhryggjar og Tjörnesbrotabelts nái inn á Tröllaskaga. Líklegt er að þetta spennusvið orsaki hreyfingar á norðlægum hliðargengjum, jafnframta því sem það skýrir afbrigðilegan hraunahalla og sprungustefnu nyrst á skaganum.



1. mynd. Strik og halli hraunlaga á Tröllaskaga og Flateyjarskaga

2. mynd. Einfaldað spennusvið á og við Tröllaskaga. Mesta og minnsta þrystispenna er táknuð með sigma 1 og sigma 3

## SNÆFELL

Ármanн Höskuldsson, Norrænu eldfjallastöðinni  
Páll Imsland, Raunvísindastofnun Háskólangs

Snaefell hefur verið talið eldfjall í hvíld eða jafnvel útdautt. Það hefur þó ekkiert að ráði verið rannsakað og ofangreind álit byggjast á því sem næst gagnalausri ályktun. Hér segir lauslega frá frumkönnum á jarðfræði Snæfells sem fram fór í ágúst 1992.

Snaefell er 1833 m hátt og um 600-700 metra hátt yfir umhverfi sitt. Niðri við flatlendi er það um 17 x 7 km að grunnfleti. Það er orðið til á ísöld, sumt undir jökli eins og við er að búast en annað á íslausu landi. T.d. er á fjallinu "toppmyndun" sem ýmislegt bendir til að sé orðin til undir berum himni. Í eðli sín er Snæfell ótvírað megineldstöð en hvort það er dæmigerð eldkeila er óvissara.

Snaefell liggar mislægt ofan á Austfjarðastaflanum. Halli jarðlaganna í staflanum er þó orðinn því sem næst enginn þegar inn undir Snæfell er komið. Mislægið er því híatus og þekkist af roffleti ísaldarjöklusins og díamikttlögum ("jökulberg") þeim sem honum fylgja og breytingu á ummyndunarstigi gosbergsns. Þessi híatus gæti verið nokkuð langur. Samkvæmt aldursdreifingu jarðлага í Austfjarðastaflanum ætti berg undir fjallinu að vera um tveggja miljón ára gamalt. Bráðabirgðaniðurstaða af K-Ar greiningu á andesítagi sem er í botninum á stafla Snæfells sjálfs, gefur vísbendingar um að lagið sé af stærðargráðunni 100 þúsund ára (100 þús. pl. mín. 100 þús.). Þetta bendir til þess að fjallið hafi hlaðist mjög hratt upp, þó þar virðist hafa verið mjög hæg og afkastalstil virkni á síðustu árhúsundum.

EKKI ER AÐ SJÁ AÐ NEIN UMTALSVERÐ SPRUNGUVIRKNI Á YFIRBORÐI HAFI ÁTT SÉR STAÐ Í SAMBANDI VIÐ UPPI BYGGINGU SNÆFELLS. Þar eru engar opnar sprungur sjáanlegar og engin nýleg misgengi. Þó móbergsfjöllin, sem umkringja Snæfell, hafi tilhneigingu til þess að vera lengri í NA-læga stefnu en NV-læga og séu komin upp á sprungum, þá eru þau yfirleitt stök fell fremur en langir hryggir og ekki er að sjá að myndun þeirra hafi fylgt sprunguvirkni, sem nær út undan fellunum eða að þau hafi misgengið eftir á. Sama á við Snæfell sjálfst sem heild; þar er engin áberandi höggun.

Þessi skortur á yfirborðs-tekóník er meginástæðan fyrir þeirri vinnukenningu höfunda að Snæfell sé "off-riß" eldstöð, sem ásamt Esjufjöllum og Öræfajökli séu upphafið að myndun verðandi gosbeltis austan við núverandi rekbelti. Þetta skoðist í samhengi við almennar hugmyndir um rek skorpuflekanna á Norður-Atlantshaffssvæðinu í NV-stefnu miðað við möttuluppstreymið undir svæðinu.

EKKI ER NEINA HÁHITAUMMYNDUN AÐ FINNA Í BERGI FJALLSINS OG BENDIR ÞAÐ FREKAR TIL ÞESS AÐ EKKI SÉ GRUNNSTÆTT KVÍKUHÓLF UNDIR SNÆFELLI. Lághitalindir er þó að finna í næsta nágrenni fjallsins, svo þar er ekki alkalt. Hins vegar ber að hafa í huga að berggrunnurinn er hér ósprunginn og því á heitt vatn hér ef til vill ekki eins greiða leið til yfirborðs og það á í megineldstöðvum rekbeltanna. Því er ekki rétt að ganga út frá fjarvist slíks kvíkuhólfs sem staðreynð.

Snaefell er á einu þurrasta svæði landsins, en þó er jökull á kolli þess. Frá honum teygjast nokkrir smáir skriðjöklar niður á við, en mikinn hluta ísforðans virðast þeir fá frá vetrarsnjó sem skefur undir bröttstu hamra toppmyndunarinnar. Þar falla líka ísbjörg fram af og safnast í jökulinn ásamt miklu grjóti úr hömrúnunum, enda einkennast þessir jöklar af mikilli grjóturð sem ekst fram á þeim. Frá þessum jöklum renna smáar jökulár, en annars er tiltölulega lítið um læki. Bergið í fjallinu er opið og tekur vel við vatninu og því eru ekki miklir lækjarfarvegir í fjallinu og gil óveruleg. Vegna þessa er fátt um djúpar opnur.

Það er því heldur ekki er mikla stratigrafíu hægt að rekja í neðri hlíðum fjallsins. Þar eru flestir staðir skriðuhuldir og ekki er viða hægt að komast stafla fjallsins til þess að lesa gerð hans. Ef til vill er ekki mjög mikið um reglulega lagskipta uppbyggingu þar sem fjallið er hlaðið upp á ísöld. Þar má því allt eins vænta "hrúgugarðfræði" eins og lagskiptingar. Í "toppmyndun" fjallins er þó á köflum greinileg lagskipting til staðar en hún er illa læsileg vegna jöklar þeirra sem nú eru á fjallinu og hárra brattra og lausra hamra.

Í nágrenni fjallsins er á nokkrum stöðum hægt að komast í allgóð jarðvegssnið og þar er þó nokkuð af öskulögum að finna. Það gefur vonir um að hægt sé að ganga úr skugga um það hvort einhver gos hafa orðið í fjallinu eftir að ísöld lauk.

Bergfræði fjallsins er að mestu leytí ókönnuð ennþá, en þó liggar ljóst fyrir að það er mikill breytileiki í bergsafnini. Afar mikil andesítlög eru í botni fjallsins og uppi í fjallinu eru a.m.k. 6 líparítmýndanir. Basaltið er fjölbreytilegt. Á meðal þess finnst ódílott berg, plagioklasdílott og ólivínpýroxendílott og auch þess finnast mjög fínkornótt böndótt bergafbrigði, sem virðast vera basalt-andesít og bendir ef til vill til kvíkublöndunar. Nokkur regla virðist vera á dreifingu basaltgerðanna í móbergsfellunum umhverfis sjálfst Snæfell, en of snemmt er að greina frá nánari eiginleikum bergsins og bergdreifingar.

## SÍDKVARTERI JARÐLAGASTAFLINN Á HÖFUÐBORGARSVÆÐINU

Árni Hjartarson, Orkustofnun, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík.

Aldur jarðlaga á höfuðborgarsvæðinu spannar rúmlega 2 milljónir ára eða síðasta hluta tertíer og báða hluta kvarter, pleistósen og hólósen. Eldvirkni rkst á svæðinu eða í grennd við það allan pennan tíma og loftslagið einkenndist af veðurfarssveiflum ísaldar. Jarðlagasyrpurnar sýna hvernig jökulskeið og hlýskeið skiptust á. Frá lokum tertíer og fyrri hluta pleistósen eru 10-15 jökulskeið þekkt og frá seinni hluta pleistósen eru þekkt ummerki eftir 5-6 jökulskeið til viðbótar. Þessar tölur eiga líklega eftir að hækka við nánari rannsóknir.

Á milli jarðlaganna frá fyrri og seinni hluta pleistósen er mislægi. Þarna verður því eyða í jarðsöguna líkt og gloppa í bók þar sem nokkra kafla vantar inn í. Mislægið er mest í Viðey og við Klepp en minnkar til austurs. Í Viðey spannar það 1,7 milljónir ára og þar vantar allan fyrri hluta pleistósen. Við Hafravatn er mislægið 1,2 milljónir ára og inn í Seljadal um milljón ár.

Seinni hluti pleistósen er einkum til umræðu hér. Þetta skeið hófst fyrir rúmum 700.000 árum þegar segulsvið jarðarinnar umsnérist og fór í það horf sem það befur lengst af haldið síðan. Það endaði við lok síðasta jökulskeiðs, fyrir 10.000 árum. Setlagarannsóknir á djúphafskjörnum benda til að 8-9 jökulskeið og jafn mörg hlýskeið hafi gengið yfir á þeim tíma. Á þurru landi eru svo mörg tímabil ekki þekkt.

Ein samfelldasta jarðlagasyrpa þessa tíma sem vitað er um er þó að finna á Höfuðborgarsvæðinu. Elliðavogslögin eru elsti hluti hennar. Þekktasti hluti þeirra er í Háubökkum við Elliðavog. Þar hafa Elliðaárnar með hjálp sjávarins sorfið fram allháa þverhnípta hamra við ströndina. Neðst í þeim er grófur og harður jökulruðningur, þar ofan á sjávarset með skeljum, síðan annað jökulbergslag, surtarbrandur og Reykjavíkurgrártíð efst. Elliðavogslögin eru útbreidd setlög og ná allt ofan frá Brimnesi og suður á Álfanes. Þau eru mjög misþykk frá einum stað til annars. Vestan undir sjávarhömrnum í Brimnesi má finna skeljabrot í setinu og einnig hafa komið upp skeljar í borkjörnum úr holum sem boraðar hafa verið við Skerjafjörð, Kópavog og á Álfanesi. Þau eru mynduð á löngu tímabili sem sjá má af því að þau eru gerð úr jafn ólisku efni og sjávarbotnsetti, jökulurð og mó og í þeim endurspeglast tvö jökulskeið og tvö hlýskeið. Elsta grártíslag sem til sést á yfirborði á Reykjavíkursvæðinu er á Gelgutanga inn á milli laga sem tilheyra Elliðavogssetinu.

Fyrir botni Arnarnesvogs og Kópavogs að sunnan sér í móberg við ströndina. Sama berg finnst í Hafnarfirði og við ströndina á sunnanverðu Álfanesi. Móbergsins verður einnig vart í borholum í Reykjavík og á Seltjarnarnesi. Það markar líklega jökulskeið og gæti verið af svipuðum aldrí og efta jökulbergið í Elliðavogssetinu.

Eftir myndun Elliðavogslaganna runnu mikilk grártíshraun sem þöktu stór landssvæði frá sjó og upp að Hengli, milli Kollafjarðar og Hafnarfjarðar. Hér er um allmorg hraun að ræða misgömul og frá mismundandi eldstöðvum. Langflest þeirra eru dyngjuhraun, komin frá eldfjöllum af sömu gerð og t.d. Skjaldbreiður. En hér og hvar í hraunastaflanum finnast þó sprunguhraun sem runnið eru frá gígaröðum eins og algengar eru á Reykjaneskaga. Á stöku stað má finna millilög, fornan jarðveg, vatnaset, jökulberg og móberg milli þessara hrauna.

Hið eignlega Reykjavíkurgrártíð myndar breggrunninn undir meirihluta Höfuðborgarsvæðisins allt utan frá Engey og Viðey og suður á Álfanes. Upptök þess eru óþekkt. Reykjavíkurgrártíð hefur lengi verið talið frá næst síðasta hlýskeiði ísaldar (Holstein). Gosstöðvar þess eru óþekktar. Ofan á Reykjavíkurgrártínu sjást á nokkrum stöðum hraunlög sem runnið hafa á sama hlýskeiði og það.

Par ofan á verða dálítill skil í jarðlagastaflanum sem rekja má sunnan frá Ásfjalli í Hafnarfirði og norður fyrir Elliðaár. Sums staðar koma þau fram sem rofflötur, annars staðar sem jökulbergslag og enn annars staðar sem móbergsmyndanir. Móbergsfellið Selfjall, sem fleygast inn á milli grártíslaga, virðist vera af sama aldrí. Þótt skil þessi séu ekki áberandi og marka þau sennilega heilt jökulskeið (Sale).

Ofan skilanna taka við umfangsmiklar myndanir frá Eem, síðasta hlýskeið ísaldar. Við Elliðaár er auðþekkjanlegt plagiðklasdílótt hraunlag sem rekja má frá Ártúnshöfða og inn með Elliðaám. Það finnst einnig í borholum við Elliðavatn. Dílahraunið hefur runnið niður með jaðri Reykjavíkurgrártíns og markar útbreiðslu þess til norðurs.

Næst koma miklar grártísmyndanir. Þeim hefur verið skipt í þrjá flokka, Breiðholtsgrártí, grártí í Grafarheiði og Mosfellsheiðargrártí. Breiðholtsgrártí er líklega upp runnið einhversstaðar í Heiðmörk. Það er efst í Ásfjalli og í holtunum vestan við Hafnarfjörð. Árbær og Breiðholtshverfi í Reykjavík eru grundvölluð á þessu bergi. Hraunin hafa vafalítið teygt sig í sjó fram er þau runnu en nú hefur rofið sorfið svo af ströndinni að ekki er vitað til að þau nái neins staðar að sjó.

TÍMATAFLA: Aldursröð jarömyndana.

Loftslag - kalt -	- hlýtt -	Myndun	Tímabil	Aldur, ár
		Efra jökulberg í Fossvogi Sjávarset í Fossvogi Neðra jökulberg í Fossvogi Bláfjöll, Helgafell, Valahnúkar ofl.	Weichsel, y-dryas Weichsel, alleröd Weichsel	10.000 11.000
		Póleit í Heiðmörk og Selási Mosfellsheiðargrágrýti Breiðholtsgrágrýti Plag.dflótt hraunlag í Elliðaárdal	Eem	100.000
		Selfjall Jökulberg og móberg, Ásfjall-Höfðabakkabré	Sale	150.000
		Reykjavíkurgrágrýti Surtarbrandur á Gelgutanga	Holstein	200.000
		Efra jökulberg í Elliðavogi Móberg við Arnarnesvog	Elster	250.000
		Gamalt grágrýti á Gelgutanga Sjávarset í Elliðavogi og víðar	Cromer	300.000
		Neðra jökulberg í Elliðavogi		>300.000
		Mislægi, eyða í jarðlagastaflann		
		Tertiert berg, Kleppur-Viðey		>2.000.000

Reynisvatnsheiði er að miklu leyti úr grágrýti. Hún er talin sjálfstæð goseining en útbreiðsla hennar og uppruni er óviss.

Mosfellsheiði er grágrýtisdyngja, lítið sem ekki hulin yngri gosmyndunum. Gíggur hennar sést vel í landslaginu þótt hann sé bæði sorfinn af jöklum og fullur af lausum jarðefnum. Hann er sunnan og austan við Borgarhóla en sýslumörkin ganga þar um Eiturhól á gígbarminum austanverðum.

Yngsta hlýskieiðshraunið sem vitað er um á Höfuðborgarsvæðinu er þóeiítag sem finnst víða um Heiðmörk. Það hefur verið rakið allt sunnan frá Húsfell og niður í Seláshverfi í Árbæ.

Mestu móbergsfjöll í landi Reykjavíkur eru frá síðasta jökluskeiði (Weichsel). Þetta eru t.d. Bláfjöll, Vífilsfell, Kóngsfell og Rauðuhnjúkar sem mynda samstæðan móbergshrygg. Einnig má nefna Helgafell og Húsfell ofan Hafnarfjarðar.

Síðasti hluti jökluskeiðsins er nefndur síðjökultími (Late Weichselian). Hann hófst fyrir 13.000 árum og lauk fyrir 10.000 áum. Þá er talað um að ísöld ljúki en nútími (hólósen) hefjist. Fossvogslögin í Reykjavík eru frá þessum tíma og því yngstu jarðlög frá seinni hluta pleistósen. Þau teygja sig innan frá botni vogsins og út með ströndinni allt út í Skerjafjörð. Í Nauthólvík og víðar í Fossvogi má sjá grófa jökulbergslinsu neðst í setlögunum eftir jökul þann sem gekk út Fossvog áður en setið myndaðist. Þar ofan á er sjávarset með skeljum frá alleröd tímanum en efst er jökulruðningslag frá síðasta framgamgsstigi ísaldarjöklusins, yngra dryas.

## "DJÚPUR" ÍSKJARNI FRÁ RENLANDI Á AUSTUR GRÆNLANDI

Árný Erla Sveinbjörnsdóttir, Raunvísindastofnun Háskólangs, Dunhaga 3, 107 Reykjavík.

Árið 1988 tókst norrænum leiðangri að bora í gegnum íshelli Renlandsjökuls, sem er lítt einangraður jökkull á s.k. Renlandsskaga við Scoresbysund á Austur Grænlandi. Flatarmál jöklusins er einungis 1200 km<sup>2</sup> og þykkst hans aðeins nokkur hundruð metrar. Hann þekur hásléttu Renlandsskagans, en hún er hæst 2340 m. y. s. Ákoman þar er 0.47 m af ís á ári. Tilgangur með boruninni var að kanna breytingar í ísnum við strönd Grænlands, til samanburðar við eldri kjarna innar úr Grænlandsjökli og ekki síst við hinn nýja GRIP djúpkjarna frá hábungu Grænlands, þar sem jökkullinn er þykkastur. Rannsóknir hafa nú sýnt að þessi tiltölulega stutti kjarni (324.4 m) geymir nákvæmar upplýsingar um fornstrandumhverfi Austur Grænlands í gegnum síðasta jökluskeið og inn í Eem hlýskeiði (125.000 ár B.P.).

Vetnis- og sörefnissamsætur hafa nú verið mældar samfellt úr neðstu 24 m kjarnans, en sá ís spannar byrjun Nútíma, síðasta jökluskeið (Weichsel) og lok síðasta hlýskeiðs (Eem). M.a. vegna nákvæmni mælinga okkar á massagreini Raunvísindastofnunar Háskólangs var ákveðið af samstarfsaðilum að sörefnissamsætur yrðu mældar á massagreini RH og þar sem RH er eini aðilinn á Norðurlöndum sem getur mælt vetnissamsætur voru þær mælingar einnig gerðar hér heima. Nákvæmt sörefnissamsætusnið neðstu 24 m Renlandskjarnans og samsvarandi snið úr Camp Century kjarnanum á NAU Grænlandi og hins nýja GRIP kjarna úr hábungu Grænlands sýna að mjög gott samræmi ríkir milli samsætumælinga þessara kjarna.

Aukning í hitastigi endurspeglast í hækkandi δ-gildum. Heildarhækkun í Camp Century kjarnanum frá kaldasta tíma síðasta jökluskeiðs og í núverandi veðurfar eru 9‰ en u.p.b. 5‰ í Renlandskjarnanum. Þetta samsvarar hitastigshækkun um 13°C í Camp Century kjarnanum og 9°C í Renlandskjarnanum.

Veðurfarssveiflurnar, sem áttu sér stað í lok síðasta jökluskeiðs (Bølling, Allerød og Yngra Dryas) koma mjög vel fram í ískjörnum frá Grænlandi og einnig í vatnasetjkjarna frá Sviss (Lake Gerzen). Ljóst er að veðrasveiflurnar hafa verið þær sömu beggja vegna nyrsta hluta Atlantshafsins og þar sem þessar sveiflur sjást mun veikar í öðrum heimshlutum er líklegt að þær stafi af breytingum í stefnu og/eða styrk Norður Atlanthafsstraumsins. Með hinum nýja GRIP kjarna hafa fengist betri aldursákvæðanir á þessar veðrasveiflur en fyrrí kjarnar gáfu. Samkvæmt þessum nýja tímaskala hófst Bølling tímabilið fyrir 14.500±200 árum BP og Yngra Dryas tímabilið endaði snögglega fyrir 11.550±70 árum BP (Johnsen og fl., 1992).

Tvívetnisauki ( $d=\delta D-8*\delta^{18}\text{O}$ ) er mælikvarði á aðstæður á uppgufunarstað úrkomunnar sem að lokum endaði sem snjór á Grænlandsjökli (Johnsen og fl., 1989). Á Yngra Dryas mælist tvívetnisaukinn á milli 8 og 10‰ í kjörnum frá Grænlandi, sem sýnir að hitastig á uppgufunarstað úrkomunnar hefur verið hár. Þetta afsannar þá kenningu að hin lágu δ-gildi á Yngra Dryas stafi af því að úrkoman hafi verið ættuð úr Norður Atlantshafi, sem á þessum tíma hafi innihaldið mikil af léttu samsætunum <sup>18</sup>O og D vegna jökulbráðar í kjölfar hlýnandi veðurfars (Fairbanks, 1989).

Í stuttu máli má segja að rannsóknir á Renlandskjarnanum hafa sýnt að (1) á Eem hlýskeiðinu hafi veðurfar á Austur Grænlandi verið 5°C heitara og ákoma u.p.b. 20% meiri en í dag (2) á síðasta jökluskeiði náði ákoman lágmarki og varð sennilega einungis 20% af því sem hún er í dag (3) hitastig á s.k. "klímatífska optimum" á nútíma var 2.5°C heitara en í dag (4) breytileikinn gegnum kjarnann er tiltölulega líttill, vegna hreyfinga í átt til flotjafnvægis, sem átt hafa sér stað á þessu svæði.

### Heimildir

- Fairbanks, R. G., 1989. A 17,000-year glacio-eustatic sea level record: influence of glacial melting rates on the Younger Dryas event and deep-ocean circulation. *Nature*, 342, 637-642.  
Johnsen, S. J., Dansgaard, W., Clausen, H. B., Gundestrup, N., Jouzel, J., Stauffer, B. and Steffensen, J. P., 1992. Irregular interstadials recorded in a new Greenland ice core. *Nature*, 359, 311-313.

## BORUN OG RANNSÓKNIR Í HOLU HSH-14 Í SVARTSENGI

Ásgrímur Guðmundsson, Sverrir Þórhallsson, Grímur Björnsson, Sigurður Benediktsson og Hjalti Franzson, Orkustofnun, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík.

Háhitasvæðið í Svartsengi hefur verið nýtt til orkuframleiðslu síðastliðin sautján ár. Jarðhitakerfið er vatnsmettað og hiti þess um 240°C. Ein afleiðing nýtingarinnar er að þrýstingur í jarðhitageyminum hefur lækkað um númer 20 bör frá 1976. Þrýstilækkunin hefur leitt til myndunar gufupúða í norðaustur hluta svæðisins og hækkan á þrýstingi á grunnu dýpi. Þar sem eiginleikar gufunnar eru mjög hagstæðir rekstri Hitaveitu Suðurnesja, og ekki síst í nýtingu jarðhitakerfisins, var ákveðið að bora nýja holu í gufupúðann til viðbótar við holu SG-10. Holan kallast HSH-14 og var boruð af jarðbornum. Ými sem er í eigu Jarðborana hf. Borun hófst þann 12. janúar og lauk þrjátíu dögum seinna. Yfirþrýstingur er í svæðinu þar sem gufupúðinn ríkir og var því nauðsynlegt að gæta ýtratu varfærni og öryggis í borun. Dýpi holunnar varð 612,5m.

Fylgst var mjög náið með borun holu HSH-14, eins og venja er þegar borað er í háhitakerfi, og sérstaklega í þessu tilviki vegna háa þrýstingsins í jarðhitakerfinu. Beitt var ýmsum rannsóknaraðferðum til að hafa á hverjum tíma sem bestar upplýsingar um einkenni jarðhitakerfisins. Helstu rannsóknir sem fram hafa farið í holunni til þessa eru eftirfarandi:

Borhraði er skráður ásamt á lagi á borkrónu, en þær upplýsingar gefa m.a. til kynna hörku berglaganna sem borað er í gegnum. Einnig er fylgst með skoltapi eða skolaukningu sem vísbindingu um vantsæð.

Svarfsýni voru tekin á 2 m fresti, og þau greind til jarðlagategunda og ummyndunar. Það síðarnefnda er sérstaklega þýðingarmikið þegar meta þarf hitaástand jarðhitakerfisins jafnóðum og borað er.

Í lok hvers boráfanga var jarðeðlisfræðilegum mælingum beitt með því að slaka mælitækjum í holuna, til að fá enn fyllri upplýsingar um borholuna, jarðlögin og einkenni jarðhitakerfisins. Má þar nefna að víddarmæling gefur til kynna hvar holan hefur víkkað út vegna útskolunar eða hrunið úr veggjum hennar. Nifteindamæling gefur til kynna poruhluta bergsins, og þar með þann vatnsforða sem í berginu leynist. Mæling á náttúrulegu gamma (magn kalíum thorium og úranium ísótópa) hefur aðallega verið notað til að greina mismunandi efnasamsetningu bergsins. Til dæmis gefur ísúrt og súrt berg mjög áberandi toppa í slíkri mælingu. Hita og þrýstimælingum er beitt til að kanna ástand holunnar, upphitun hennar og staðsetningu vatnsæða.

Rannsókn á gögnum úr HSH-14 stendur enn yfir, enda stutt síðan borun hennar lauk. Þær upplýsingar sem þegar liggja fyrir eru að berglagastaflinn samanstendur af basalt hraunlögum sem eru aðskilin af móbergsmýndunum. Ummyndun bendir til að hitinn sé a.m.k. 180°C á um 90 m dýpi og að bergið við vatnsæðar sé mjög súlfíðrikt. Holan sker alls átta vatnsæðar, þar af eru fimm þeirra í vinnsluhluta hennar. Æðarnar liggja aðallega, að því er best verður séð, á láréttum jarðlagaskilum á milli móbergseininga og hraunlaga. Hitinn í holunni hefur mælst mestur um 230 °C, og þrýstingur bestu æðarinnar á 340-350 m dýpi er næst 30 bör. Pessar tölur gætu enn hækkað. Stutt blástursprófun sýndi að holan gefur hreina gufu líkt og til var ætlast og afl hennar í prófinu hefði nægt til 5 MW rafmagnsframleiðslu.

## **ÚTBREIÐSLA JÖKLA Á ÍSLANDI Í LJÓSI SETMYNDUNAR Á PLÍÓSEN OG PLEISTÓSEN**

Áslaug Geirsdóttir og Jón Eiríksson,  
Jarð- og landfræðiskor Háskóla Íslands og Raunvísindastofnun Háskólans  
Jarðfræðahús Háskólans, 101 Reykjavík

Niðurstöður ásýndarannsókna á jarðögum í lóðréttum og láréttum sniðum viðsvegar á Íslandi sýna að jarðögum hafa að geyma einstakan vitnisburð um loftslagssveiflur á plíósen og pleistósen tíma. Í jarðögum hefur skráðst saga umhverfisbreytinga svo sem um vöxt og hrörnum jökla og um mestu útbreiðslu jökla. Á fyrri hluta plíósen hefur jökulútbreiðsla á landinu verið svipuð og í dag, en þegar nær dregur síðari hluta plíósen og fyrri hluta pleistósen hefur jökulskjöldur tekið að vaxa tímabundið og með hléum, uns hann huldi allt landið.

Tenging sex jarðlagasniða á Norðurlandi, Austurlandi og Vesturlandi bendir til vaxandi jökulskjaldar frá suðaustri til norðurs og vesturs á síðari hluta plíósen og fyrri hluta pleistósen. Tengingar jarðlagasniða byggja á K/Ar aldursgreiningum og segulmælingum sem gerðar hafa verið á hraunlögum og setlögum jarðlagasniðanna. Alls finnast merki um 11 jökulframrásir á Austurlandi (Fljótsdalur og Jökuldalur 6,5-1,8 m.á.). Elstu tvö jökulbergslög eru samkvæmt tengingum við aldursgreiningar og segultímatal um 3,8 milljón ára og 3,4 milljón ára. Þessi jökulbergslög sýna þó litla landfræðilega útbreiðslu og eru því talin endurspeglar minniháttar framrás staðbundinna jökla, sem náð hafa útbreiðslu svipaðri þeirri sem er á landinu í dag. Á Vesturlandi er að finna alls 7 jökulbergslög varðveitt í jarðlagastafla Borgarfjarðar og Hvalfjarðar (7,0 m.á.-1,8 m.á.) og á Norðurlandi, í jarðögum á Tjörnesi og Flatey sem ná aftur til 9 milljón ára er að finna 14 jökulbergslög. Rúmlega 20 jökulbergslög hafa verið greind í jarðlagasniðum á Íslandi yngri en 3,8 milljón ára.

Hringrás jökulframrása og jökulhörfuna sem náð hafa einhverri útbreiðslu á Íslandi og tengja má við meiriháttar loftslagsbreytingar hófst fyrir um 2,6 milljónum ára. Með nákvæmum rannsóknum á setlögum má rekja aukningu í virkni jökla fyrir um 2,4 milljónum ára og á ný fyrir 2,1 til 2,2 milljónum ára. Niðurstöður setlagarannsókna og túlkun þeirra varðandi útbreiðslu jökla á Íslandi á plíósen og pleistósen benda til góðs samræmis við niðurstöður sambærilegra gagna frá úthafsbotninum, hvort sem um er að ræða súrefnис-samsætumælingar á götungum eða sögu setmyndunar úr borgarísjökum á N-Atlantshafinu.

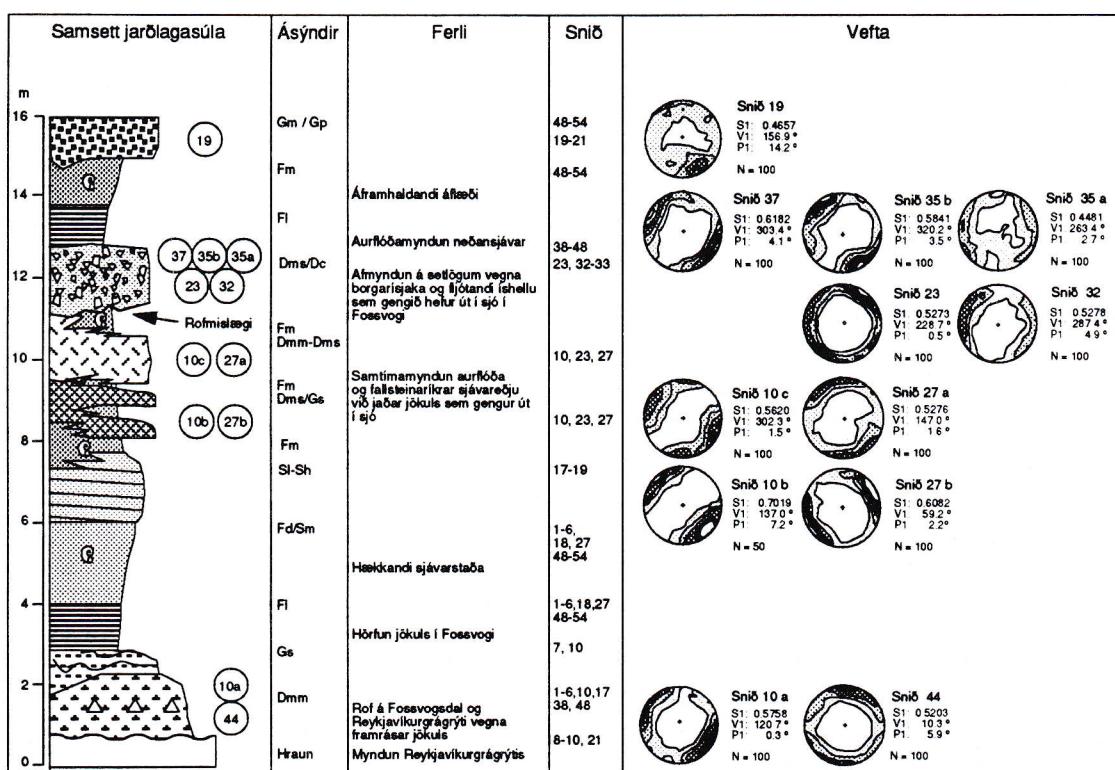
## UMHVERFI SETMYNDUNAR Í FOSSVOGI Í LOK ÍSALDAR

Áslaug Geirdóttir og Jón Eiríksson,

Jarð- og landfræðiskor Háskóla Íslands og Raunvísindastofnun Háskólans

Jarðfræðahús Háskólans, 101 Reykjavík

Setlög í Fossvogi hafa verið rannsokuð með nákvæmri ásýndar- og umhverfisgreiningu og túlkuð í ljósi setmyndunarferla og nýrra  $^{14}\text{C}$  aldursgreininga. Niðurstaða setlagarannsóknanna bendir til myndunar þriggja mismunandi ásýnda af fínkorna sjávarseti auk nokkura grófkorna og illa aðgreindra ásýnda sem flestar hafa myndast neðansjávar. Efstu tvær fínkorna sjávarsetsmyndanirnar eru aðskildar af rofmislægi og er sú neðri afmynduð af borgarísjökum og fljótandi íshellu sem gengið hefur út í sjó í Fossvogi. Aldursgreiningar sem framkvæmdar hafa verið á skeljum úr sjávarsetlögum, bæði undir og ofan rofmislægisins sýna að þær hafa myndast í lok Allerð. Þetta bendir til þess að jökkull hafi skriðið tímabundið fram á Reykjavíkursvæðinu á þeim tíma. Sjávarstaða fyrir framskrið hefur verið að minnsta kosti 20 metrum hærra en nú og enn hærra við og eftir jökulframrás. Setlög í Fossvogi hafa því að miklu leyti hlaðist upp í umhverfi sjávarfallajökuls. Til þess benda mörg grófkorna aurflóðasetlög, sem fingrast að hluta til saman við fallsteinarfka sjávareðju. Ásýnd efstu setlaganna í Fossvogi bendir til tiltölulega rólegs sjávarumhverfis, sennilega áframhaldandi áflæðis og aukinnar fjarlægðar í setframboð á Yngra Dryas.



# SKJÁLFTAHRINAN HAUSTIÐ 1992 UNDIR GOÐABUNGU Í MÝRDALSJÖKLI: ATBURÐARÁS OG HUGLEIÐINGAR UM VIÐBRÖGÐ

Bryndís Brandsdóttir og Páll Einarsson, Raunvísindastofnun Háskólans  
Freysteinn Sigmundsson, Norrænu Eldfjallastöðinni

Það má telja kaldhaðni örlaganna að í sömu viku og ákveðið var á fundi í vísindamannaráði Almannavarna ríkisins síðastliðið haust að yfirfara og endurskoða viðmiðunarmörk sem nota skyldi við hin einstöku stig neyðaráætlunar vegna Kötlu skyldi hefjast skjálftahrina í suðvestanverðum jöklinum.

Það telst ekki til tíðinda hjá jarðvísindamönnum þó að skjálfi svolitið undir Mýrdalsjökli og því óþarfst að kippa sér upp við það þótt jarðskjálftamælar séu eitthvað að krota. Við vitum að virkum eldfjöllum fylgir jarðhiti, og smáskjálftar eru algengir á slíkum svæðum. En hvernig ætlum við þá að þekkja jarðskjálfta sem eru fyrirboðar eldgoss þegar skjálftar verða á hverju ári hvort sem er?

Jarðskjálftamælingar síðustu 40 ára hafa gefið mikilvægar upplýsingar um ýmsa eðliseiginleika skjálftavirkninnar undir Mýrdalsjökli. Þær upplýsingar ásamt öðrum mælingum og reynslu frá öðrum eldfjöllum eru sá grundvöllur sem byggt er á þegar settar eru fram ákveðnar kennningar um viðmiðunarmörk vegna væntanlegra eldsumbrota. En vísindakenningar eru ekki það sama og vissa. Á þeim er ekki hægt að byggja einhlítar viðvaranir, vegna þess að reynslu vantar til þess að sannreyna þær. Og þó ýmislegt hafi verið rannsakað í kringum Kötlu þá höfum við ekki gert nóg og óvissa um aðdraganda næstu eldsumbrota er því mikil.

Almennar rannsóknir á eldfjöllum og öflug eldfjallavöktun eru nauðsynlegar til þess að gera jarðvísindamönnum kleift að meta óvissuástand, eins og það sem skapaðist síðastliðið haust undir Goðabungu. Öflug eldfjallavöktun samanstendur af langtímarannsóknum þar sem viðkomandi eldfjall er vaktað með lágmarkstilkostnaði en síðan eru rannsóknir stórefldar með stuttum fyrirvara, þegar þörf krefur. Fjármagn til öflugrar eldfjallavöktunar liggur þó ekki á lausu.

Neyðaráætlun Almannavarna gerir ráð fyrir þemur stigum: Viðbúnaðarstigi, hættustigi og neyðarstigi. Jarðvísindamenn fengu það hlutverk síðastliðið haust að skilgreina viðmiðunarmörk milli stiga. Við skilgreininguna voru eftirfarandi atriði höfð í huga:

- 1) Katla hefur kvíkuhólf ofarlega í jarðskorpunni.
- 2) Skjálftavirkni er talsverð við "venjulegar" aðstæður, oft tugir skjálfta á ári yfir 2 stig.
- 3) Skjálfahrinur eru algengar, en standa oftast stutt.

Gera má ráð fyrir að auknum þrýstingi í kvíkuhólfinu fylgi þrálat skjálftavirkni sem staðið getur vikum saman. Þegar kvikan síðan brýst út úr hólfinu er líklegt að því fylgi þétt hrina smárra eða stórra skjálfta. Með hliðsjón af þessu voru eftirfarandi mörk sett:

1. Viðbúnaðarstigi skal lýst yfir ef skjálftavirkni hefur verið viðvarandi í þrjár vikur með tugum skjálfta á viku, stærri en 2 stig.
2. Viðbúnaðarstigi má aflýsa ef skjálftavirkni hefur ekki verið teljandi í viku.
3. Hættustigi skal lýst yfir ef meira en 10 skjálftar stærri en 1.5 eða þrír skjálftar stærri en 3 stig mælast á klukkustund.
4. Hættustigi skal aflýsa ef ekki mælast teljandi skjálftar í eina klukkustund.
5. Neyðarstigi skal lýst yfir ef vísbendingar eru um að eldgos sé hafði eða sé um það bil að hefjast undir jöklinum. Vísbendingarnar gætu t.d. verið að ótvíráður gosróri sjáist á skjálftamælum, gosmökkur sjáist á veðursjá á Keflavíkurflugvelli, vatns- eða krapaflóðs verði vart á Mýrdalssandi eða í öðrum ám frá jöklinum, eða að gosmökkur sjáist með berum augum.

Um miðjan október, eða um sex vikum eftir að þessi viðmiðunarmörk voru til umræðu varð ljóst að skjálftavirkni undir Goðabungu uppfyllti fyrsta skilyrðið. Þar höfðu þá orðið 20-30 skjálftar á viku síðustu 4 vikurnar. Í kjölfar þess lýstu Almannavarnir yfir viðbúnaðarstigi. Í ljósi þess óvissuástands sem skapaðist var ráðist í það að setja upp færانlega jarðskjálftamæla tímabundið á jökulinn. Átta stafrænum mælum var raðað umhverfis skjálftasvæðið undir suðvestanverðum jöklinum sem virkast hafði verið. Skjálftamælnir voru settir upp á Mýrdalsjöklí þann 15. október og hafðir þar í eina viku. Megintilgangur mælinganna var að fá geggrí mynd af skjálftavirkninni á þessum slóðum og reyna að varpa ljósi á orsakir hennar. Einkum var lögð áhersla á að ákvárdar brothreyfingar skjálftanna, en með því móti er von til að ákvárdar hvort skjálftarnir tengjast hækkandi eða lækkandi þrýstingi í kvíkuhólf. Er þá gert ráð fyrir að skjálftarnir stafi af misgengishreyfingum í þaki kvíkuhólf. Vaxandi þrýstingur í hólfinu veldur einkum siggengishreyfingum í

þakinu, en lækkandi þrýstingur veldur samgengishreyfingum.

Mælingarnar gáfu margvíslegar niðurstöður. Skjálftarnir sem mældust áttu flestir upptök á þróngu svæði undir vestanverðri Goðabungu. Upptökin voru á litlu dýpi, 0-3 km undir yfirborði. Skjálftabylgjurnar báru þess merki að hafa farið í gegnum kvíkuhólf á leið sinni frá upptökum til mælanna. Ekki reyndist unnt að svara meginþurningunni svo óyggjandi væri, þ.e. hvort þrýstingur færi minnkandi eða vaxandi í hólfinu.

Um miðjan nóvember dró verulega úr skjálftavirkni undir Mýrdalsjökli og 27. nóvember var vakin athygli á því að skilyrði fyrir því að aflýsa viðbúnaðarstigi vegna umbrota á Kötlusvæðinu væri uppfyllt. Almannavarnir aflystu síðan viðbúnaðarstigi í desember.

## **GRUNNSTÆTT KVIKUHÓLF UNDIR KÖTLUÖSKJUNNI FUNDIÐ MEÐ BYLGJUBROTSMÆLINGUM**

Bryndís Brandsdóttir, Raunvísindastofnun Háskólangs, Dunhaga 5, 107 Reykjavík  
Ólafur Guðmundsson, Research School of Earth Sciences, Australian National University, Canberra  
William Menke, Lamont-Doherty Earth Observatory, Columbia University, NY 10964, USA  
Halldór Ólafsson, Norrænu Eldfjallastöðinni, Jarðfræðahúsi H. Í., 101 Reykjavík

Forsendur og uppbygging eldfjallavöktunar byggist að miklu leyti á því hversu djúpt er á kviku innan eldstöðvarinnar. Auðveldara er að fylgjast með þróstingsbreytingum í grunnstæðu kvíkuhólfi en þegar kvikan safnast fyrir djúpt í rótum eldstöðva, t.d. á meira en 10 km dýpi. Staðfesting á tilvist grunnstæðra kvíkuhólfra ásamt kortlagningu þeirra getur því auðveldar eldfjallavöktun bæði hvað varðar eftirlit, mælingar og túlkun á atburðarás í eldsumbrotum.

Sumarið 1991 voru gerðar bylgjubrotsmælingar á 55 km langri mælilínu, frá Vík í Mýrdal til norðnorðvesturs yfir Mýrdalsjökul, um Entu, og yfir að Álfavatni. Sprengt var á fjórum stöðum á mælilínunni, í sjó fyrir sunnan Vík, í Heiðarvatni, Gæsavatni og Álfavatni. Fartímar voru mældir með 500 m millibili á línunni, nema þar sem ófært var, nyrst á Mælifellsjökli og á svæðinu norður frá Gæsavatni og upp á hábungu jökulsins.

Bylgjubrotsmælingarnar leiddu í ljós tilvist grunnstæðs kvíkuhólfus undir suðaustanverðum Mýrdalsjökli. Kvíkuhólfid tekur um 4 km af mælilínunni og liggur miðja þess 5.5 km sunnan við Etnu, skammt norðan við miðju Kötluöskjunnar. Miðað við P-bylgjuhraða 2.7 km/s niður að botni kvíkuhólfssins, er það um 1 km á þykkt, með botn á um  $3 \pm 0.5$  km dýpi,  $1.5 \pm 0.5$  km undir sjávarmáli. Þar sem einungis var mælt eitt snið yfir jökulinn gefa mælingarnar enga mynd af útbreiðslu hólfssins í aðrar áttir. Þó má ætla að skjálftaþyrringin undir suðaustanverðum jöklinum endurspeglí í grófum dráttum útbreiðslu kvíkuhólfssins þar sem hún er bundin við sama svæði.

Ef við gefum okkur að kvíkuhólfid sé um 3 km breitt hornrétt á mælilínuna þá er rúmmál hólfssins  $12-24 \text{ km}^3$ . Það þýðir þó ekki að þarna liggi sama magn af kviku og bíði þess að gjósa. Bylgjubrotsmælingarnar sýna einungis grófar útlínur þess svæðis sem inniheldur kviku og því getum við lítið sem ekkert sagt um kvíkumagn eða hvernig hún dreifist innan hólfssins. Rannsóknir á kvíkuhreyfingum í Kröflueldum sýndu að einungis lítið magn kviku úr hólfinu þar náði til yfirborðs. Kvikan flæddi neðanjarðar í stórum stíl, í svokölluðum kvíkuhlaupum, og myndaði þar innskot af ýmsu tagi. Slíkt kann að hafa gerst undir Mýrdalsjökli og í tengslum við sprungugos í næsta nágrenni.

Áætlað gjóskumagn í Kötlugosinu 1918 er um 700 milljónir rúmmetra sem jafngildir um 0.1-0.2  $\text{km}^3$  af kviku, en það er tæplega 1% af rúmmáli þess kvíkuhólfss sem hér er skilgreint. Þá er ótalið það magn gosefna sem barst með hlaupinu út á Mýrdalssand, en erfitt er að áætla hversu stór hluti þess samanstóð af nýjum gosefnum og því má segja að 0.1-0.2  $\text{km}^3$  af kviku sé lægsta áætlun á framleiðslu gosefna í Kötlugosinu 1918.

Prátt fyrir að magn kviku í hólfinu sé óljóst sýnir útbreiðsla þess að það hefur ekki myndast nýlega heldur verður að líta á það sem langtímafyrirbæri sem gegnt hefur stóru hlutverki í eldvirkni svæðisins.

## SÍÐKVARTER ELDSTÖÐVAKERFI Á MIÐHÁLENDINU

Elsa G. Vilmundardóttir, Orkustofnun, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík.  
Snorri Páll Snorrason, Heilbrigðiseftirliti Suðurnesja, Vesturbraut 10a, 230 Keflavík.

Við kortlagningu á þeim hluta miðhálendisins sunnan jöklar þar sem síðkvarter eldvirkni hefur verið ríkjandi hafa efnagreiningar á bergsýnum reynst mjög gagnlegar við að rekja einstakar goseiningar og einnig hafa þær veitt upplýsingar um eldvirkni og jarðsögulega þróun. Byrjað var á því að vinna með efnagreiningar og kortlagningu á móbergssvæðunum milli Köldukvíslar og Tungnaár og veitti Vísindasjóður styrk til þess verkefnis. Síðan hefur verkefnið verið að þróast í þá átt að nú eru efnagreind sýni úr sem flestum gosmyndunum sem kortlagðar eru í síðkvarter (miðað er við Brunhes Segulskeið < 0,7 milljón ára). Rannsóknarsvæðið er sýnt á meðfylgjandi mynd.

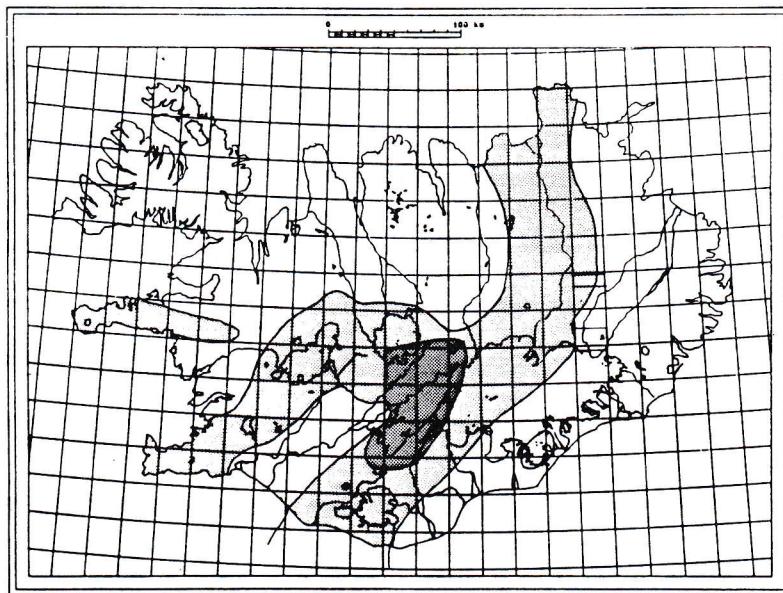
Sýnin eru undirbúin og möluð hér heima, en send síðan til efnafraeðistofu háskólans í Montréal í Kanada. Kostnaður við efnagreiningu hvers sýnis eru rúmar 1100 kr. Nú hafa hátt í 200 sýni verið efnagreind í þessu skyni. Efnagreiningarnar eru flestar af basalti, enda er það ríkjandi bergtegund innan svæðisins.

Við úrvinnslu hefur verið tekið mið af rannsóknum Sveins P. Jakobssonar, sem kortlagði nútíma eldvirkni í eystra gosbeltinu og flokkaði hana í nokkur eldstöðvakerfi. Hliðstað flokkun virðist einnig eiga rétt á sér í síðkvarteru gosbergi. Á svæðinu milli Köldukvíslar og Tungnaár hefur móbergið svipmót Veiðivatnaeldstöðvakerfisins, en í austurjöðrum þess eru móbergshryggir eins og Jökulgrindur og Kattarhryggir sem hugsanlega tilheyra nýju kerfi, kennt við Jökulhelma.

Á vesturhluta rannsóknarsvæðisins, frá Köldukvísl og vestur fyrir Þjórsá greinast tvö þóleitísk kerfi, annað er hér kennt við Hágöngur en hitt við Arnarfell.

Móbergið við SV jaðar Veiðivatnaeldstöðvakerfisins hefur "transitional alkalísk" einkenni í efnasamsetningu líkt og Heklu- og Vatnajallaeldstöðvakerfin.

Á suður- og austurhluta svæðisins, milli Tungnaár og Skaptár eru rannsóknir ekki eins vel á veg komnar, en þó er ljóst að sumar myndanir austan Tungnaár tilheyra Veiðivatna eldstöðvakerfinu. Syðst og austast er móbergið mun alkalískara að samsetningu, en flokkun þess er látin liggja milli hluta enn sem komið er, en líklegt er að áhrifa Kölu- og Grímsvatnaeldstöðvakerfa fari að gæta er austar dregur.



Síðkvarter eldvirkni

● Rannsóknarsvæði

## AFLÖGUN JARÐSKORPUNNAR Á REYKJANESSKAGA 1986-1992 ÁKVÖRÐUÐ MEÐ GPS-LANDMÆLINGUM

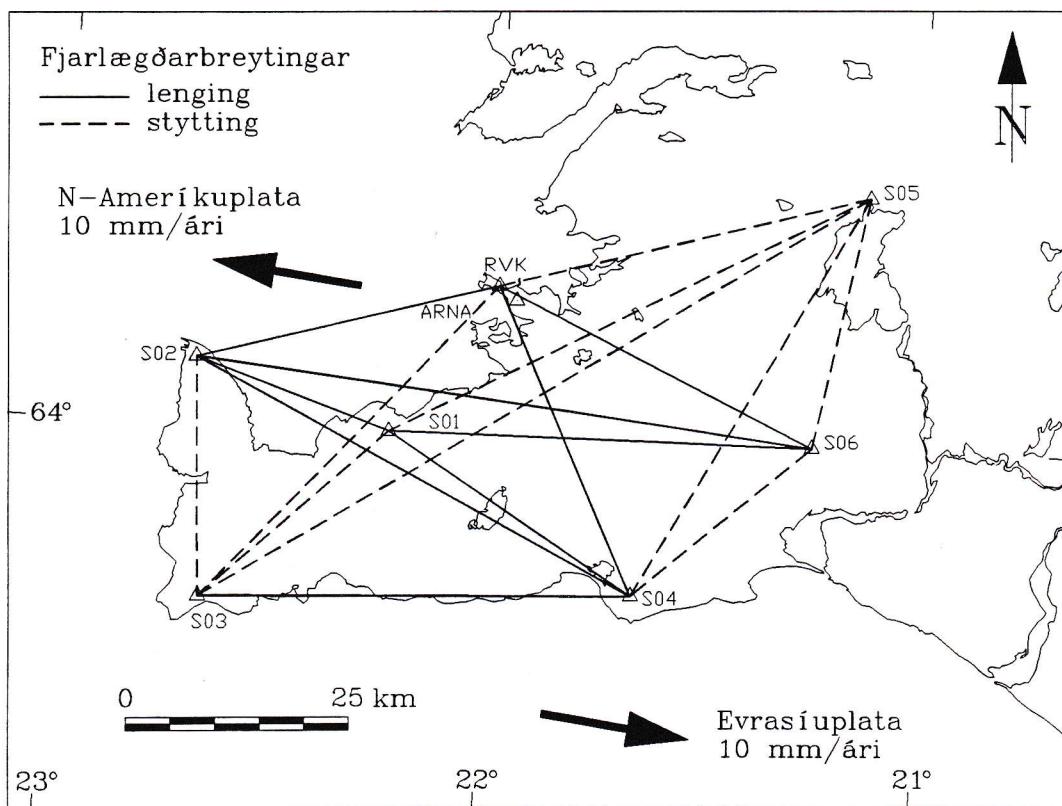
Erik Sturkell og Freysteinn Sigmundsson, Norrænu Eldfjallastöðinni  
Páll Einarsson, Raunvísindastofnun Háskólangs

Plötuskil milli N-Ameríkuplötunnar og Evrasíuplötunnar liggja um sunnanverðan Reykjanesskagann. Þau eru framhald af Reykjanesryggnum og tengjast vestra gosbeltinu og jarðskjálftabelti Suðurlands á Hellisheiði. Á skaganum eru fjögur skástig eldstöðvakerfi sem hvert um sig er um 30 km langt. Sprungur í þeim hafa stefnu  $N39 \pm 9^\circ$ A að meðaltali. Skjálftavirkni er mest á 2-5 km breiðu belti sem hefur stefnu um  $N80^\circ$ A og sker eldstöðvakerfin.

GPS-landmælingar voru fyrst gerðar á Reykjanesskaga 1986. Endurteknar mælingar 1989 og 1992 leiða í ljós kerfisbundnar breytingar á fjarlægðum milli mælpunkta. Línur sem hafa NV-SA stefnu hafa lengst en línum með SV-NA stefnu hafa styst. Fjarlægðarbreytingarnar falla ágætlega að líkani sem gerir ráð fyrir jafnri aflögun yfir allt svæðið. Höfuðás mestrar lengingar hefur stefnu  $N121 \pm 6^\circ$ A og aflögunarhraðinn er  $\dot{\epsilon}_1 = (0.255 \pm 0.055) 10^{-6}/\text{ári}$ . Mest stytting er í stefnu  $N31 \pm 6^\circ$ A og er hraðinn  $\dot{\epsilon}_2 = -(0.190 \pm 0.053) 10^{-6}/\text{ári}$ . Stefna hámarks vinstri skúfunar (left-lateral shear strain) er  $N76 \pm 6^\circ$ A, sú sama og stefna skjálftabeltisins á skaganum. Höfuðás mestrar lengingar er hornréttur á strikstefnu gossprungna, gjáa og siggengja í eldstöðvakerfunum.

Hin jafna, svæðisbundna aflögun, sem við höfum mælt, er í samræmi við það, að lítil höggun hefur orðið á flekaskilunum á þessu tímabili. Stærsti jarðskjálfti á Reykjanesskaga á tímabilinu var við Kleifarvatn í mars 1990, og var hann einungis 4,5 stig ( $M_s$ ). Aflögunin sem nú safnast fyrir og spennan sem henni fylgir mun þó fyrri eða síðar leysast úr læðingi. Það getur gerst við höggun á flekaskilunum, t.d. vinstri sniðgengishreyfingar á misgengjum með austlæga strikstefnu, hægri sniðgengishreyfingar um misgengi með norðlæga strikstefnu, eða gliðnun um sprungusveima eldstöðvakerfanna.

Mesta mælda fjarlægðaraukning milli punkta á gagnstæðu flekum er minni en reikna má með út frá þekktum rekhráða. Það bendir til þess að aflögun taki til breiðara svæðis út frá plötuskilunum en mælingar nái til, þ.e. aflögunarsvæðið nær út fyrir skagann.



## Torfajökull: Jarðfræði og bergefnafræði

Gretar Ívarsson, Hitaveitu Reykjavíkur, Grensásvegi 1, Reykjavík

Megineldstöðin í Torfajökli liggur á mörkum tveggja ólikra gosbelta, jarðfræðilega og bergfræðilega séð. Norðaustan við eldstöðina er sprungusveimur, kenndur við Veiðivötn, en hann er gliðnunarsvæði sem einkennist af löngum gossprungum og myndun á basiskri þóleiítkviku. Sunnan og vestan við eldstöðina er hópur stórra megineldstöðva og stakir sprungusveimar sem framleiða hlutfallslega mikil af þróuðum kvíkugerðum, en basiskar berggerðir eru ýmisst millibasalt eða alkalískt basalt. Torfajökull endurspeglar að ýmsu leyti einkenni beggja svæða og fyrirfinnast þar allar helstu kvíkugerðir sem einkenna hin svæðin. Það er stærsta samfellda líparítsvæði Íslands ( $280 \text{ km}^2$ ) og inniheldur jafnframt stærsta jarðhitasvæðið ( $140 \text{ km}^2$ ). Jarðfræðikortlagning, með mikilli hjálp frá bergefnafræði, hefur leitt til fjórfaldar skiptingar á bergstafla svæðisins (Brandsgil 115.000-130.000 ára; Jökulgil 65.000-115.000 ára; Bláhnákur 10.000-65.000 ára; Nútími  $<10.000$  ára), sem annars er erfitt að kortleggja með hefðbundnum aðferðum. Efnafræðileg einkenni súra bergsins, ásamt því basiska (alkalí basalt, millibasalt og þóleit), eru tekin saman í Töflu 1. Oxið eru gefin í prósentum og snefilefni í ppm. A.I. stendur fyrir "agpaitic index" eða peralkalískan stuðul (mólikúlar  $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}/\text{Al}_2\text{O}_3$ ) og gefur gildi herra en einn til kynna að bergið sé peralkalískt (komendít eða pantellarít). Gildin í töflunni eru meðalgildi innan hópanna. <sup>1</sup>Stendur fyrir millibasalt eldra en 10,000 ára en <sup>2</sup>fyrir millibasalt yngra en 10,000 ára.

Tafla 1	Brandsgil	Jökulgil	Bláhnúkur	Nútími	Alk. Bas.	<sup>1</sup> Millibas.	<sup>2</sup> Millibas.	Þóleit
$\text{SiO}_2$	67,76	72,91	72,32	71,33	46,50	50,84	52,46	49,94
$\text{TiO}_2$	0,55	0,38	0,35	0,28	3,91	3,36	2,38	1,57
$\text{Al}_2\text{O}_3$	13,22	10,70	13,13	13,93	12,60	13,26	14,66	14,31
$\text{FeO}$	5,46	4,30	3,08	2,86	13,86	12,74	10,56	11,11
$\text{MnO}$	0,27	0,21	0,17	0,08	0,28	0,28	0,18	0,21
$\text{MgO}$	0,13	0,03	0,14	0,23	5,14	4,04	4,96	6,92
$\text{CaO}$	1,05	0,47	0,84	0,90	9,61	8,11	8,51	12,28
$\text{Na}_2\text{O}$	5,28	5,60	5,70	5,41	3,96	3,86	3,74	2,12
$\text{K}_2\text{O}$	3,71	4,45	4,01	4,31	0,89	1,21	1,45	0,30
$\text{P}_2\text{O}_5$	0,06	0,03	0,01	0,02	0,65	0,65	0,39	0,20
A.I.	0,96	1,32	1,04	0,98	0,59	0,58	0,53	0,26
Rb	74	98	90	112	6	21	29	5
Y	121	153	117	94	23	39	41	24
Sr	158	13	58	54	401	376	362	145
Zr	1085	1419	900	708	211	305	402	97
Nb	188	220	164	141	32	49	42	10
Zn	208	287	193	156	132	162	103	81

Brandsgil-hópurinn: Finnst aðallega í djúpt rofnum giljum í norður- og austurhluta svæðisins. Almennt útlit bergsins og tilvist þykkra sambræddra túffлага bendir til myndunar á þurru landi. Efnafræðilega myndar súra bergið velafmarkaða þróunarlínu frá peralkalísku líparíti (komendít) til dasíts sem hugsanlega má túlka sem mismunandi skorpuhlutbráð, þ.e. lítill hlutbráð gefur komendít og sifellt meiri hlutbráð gefur basískari bráðir (dasít). Tímabili Brandsgils-hópsins er hér talið ljúka með tilkomu Weichsel-kuldaskeiðsins sem virðist hafa stuðlað að mikilli hlutkristöllun í kvíkuhólfinu og myndunar á há-peralkalískri kviku sem einkennir næsta skeið í sögu eldstöðvarinnar. Berg úr Brandsgils-hópnum er mikil ummyndað og er öllu jafna kristalrikt (10 - 30%). Kristallarnir samanstanda að 4/5 hluta af anortóklas og 1/5 hluta af ferróhedenbergíti, ummynduðu ólivíni og ilmeníti.

Jökulgil-hópurinn: Útbreiddasta berggerðin á Torfajökulssvæðinu og myndar óreglugleg hrúgöld úr gríðarstórum bólstrum sem myndast hafa við troðgos undir jöklum. Gosefnin hafa í mörgum tilfellum hlaðist upp yfir bogadregnum sprungum og sjást ummerki eftir þau í hringlaga fjallgarði sem umlykur svæðið að hluta, og áður hefur verið túlkaður sem brún sigketils. Súru berggerðirnar eru eingöngu há-peralkalískt komendít og pantellarít, en lítillsháttar af millibasalti/alkalísku basalti finnst í staflanum. Myndun há-peralkalísku kvíkunnar má að öllum líkendum rekja til hlutkristöllunar (feldspat) á frum-skorpubræðinni sem myndar súrarí enda Brandsgils-hópsins. Halli jarðlaga út frá miðju eldstöðvarinnar stafar trúlega af svæðisbundinni útþenslu í tengslum við myndun þessarar eðlisléttu peralkalísku kviku í efri hluta hólfins. Endalok þessa tímabils er hér talið vera stórgos sem myndaði hringlaga fjallgarðinn og tæmdi efri hluta kvíkuhólfs, án þess þó að valda öskjusigi. Tímasetning atburðarins byggist á samtengingu við víðáttumikið peralkalískt öskulag sem finnst í setkjörnum í Norður-Atlantshafi og talið

er 65.000 ára gamalt. Berg Jökulgil-hópsins er jafnan kristalsnautt, en anortóklas og sanidín algengast. Til samans er áætlað að Brandsgil- og Jökulgil-hóparnir séu um  $60 \text{ km}^3$ , en það jafngildir meðalframleiðslu upp á  $0.0009 \text{ km}^3$  á ári.

Bláhnúks-hópurinn og Nútími: Mikil basísk virkni (millibasalt) einkennir upphaf þessa tímabils og endurspeglar það tæmingu súru kvíkunnar úr kvíkuholfinu skömmu áður. Súr gosefni mynda norðaustlæga hryggi eða stapa þar sem gosefnin hafa náð að byggjast upp úr jökli. Þessi hópur hefur afmarkaða útbreiðslu, annars vegar við norðausturhluta eldstöðvarinnar og hins vegar við suðvestur- og vesturhluta hennar. Flest gosin hafa orðið á norðaustlægum sprungum og virðist mega tengja myndun þeirra við færslu á rekbelti frá norðaustri inn á Torfajökulssvæðið á þessu tímabili, og eru þetta fyrstu visar að þeim tveimur sprungusveimum sem í dag skerast gegnum svæðið, þ.e. Veiðivötn og Vatnafjöll. Virðist sem að öll eldvirkni á Torfajökulssvæðinu megi eftir þetta tengja við gliðnunarhrinur sem eiga sér stað fyrir norðaustan og ná inn á svæðið. Mikil kvíkulöndun ólikra kvíkugerða (bæði innlyksur og einleit blöndun), sem ekki er óþekkt fyrirbæri frá fyrri tímum, er hér alsráðandi og eykst fram á nútíma. Ólikt fyrri blandgosum sem einkenndust af blöndun líparíts og millibasalts, finnst þóleit í fyrsta sinni í jarðsögu svæðisins. Á síðari hluta þessa tímabils hefur skapast vel stöðluð svæðisbundin skipting á þeim berggerðum sem taka þátt í kvíkulöndun og endurspeglar hún dreifingu þeirra í kvíkuholfinu undir svæðinu, svo og dýpi og myndurstæð basalts efst í möttli. Í suðvestri; millibasalt (og afleiður þess) og líparít, í norðaustri; líparít, þóleit og íslandít. Er þetta túlkad svo að í norðaustri hefur þóleit tekið við hlutverki millibasalts í neðri hluta kvíkuholfsins, sem aftur endurspeglar færslu til suðvesturs á myndun þóleitið undir svæðinu. Rúmmál súrrar kviku á þessu tímabili nemur  $20 \text{ km}^3$  eða  $0.0004 \text{ km}^3$  á ári. Hún er kristalauðug (10 - 30%) og er feldspat (anortóklas og ólígóklas) langalgengast en ólivín, ýmsar gerðir pýroxena og ilmenít eru einnig áberandi. Öll virki á nútíma svipar mjög til fyrra tímabils, þó rúmmál súrra gosefna virðist hafa minnkað og áhrif þóleitið aukist. Rúmmál gosefna nemur  $0.9 \text{ km}^3$  ( $0.8 \text{ km}^3$  líparít og  $0.1 \text{ km}^3$  basalt) eða um  $0.00009 \text{ km}^3$  á ári. Ef bætt er við framleiðslu basalts á Vatnafjallasprungusveimnum, sem gæti numið  $10 \text{ km}^3$  (?), sést að heildarframleiðsla svæðisins er svipuð og áður, aðeins hlutfall líparíts í framleiðslunni hefur minnkað.

Svæðisbundin, svo og tímategd, dreifing mismunandi kvíkugerða á Torfajökulssvæðinu, ásamt gerðum, magni og dreifingu kvíkugerða á gosbeltum Íslands almennt, hefur stuðlað að endurskoðun þeirrar hugmyndar sem lýtur að staðsetningu heita reitsins undir Vatnajökli og að eldvirkni á Suðurlandsgosbeltinu sé afleiðing af ágengri eldvirkni (propagating rift) sem gengið hefur út í óvirka skorpu frá heitum reit. Hefðbundna kenningin er í ósamræmi við staðsetningu fimm stórra megineldstöðva (Torfajökull, Eyjafjallajökull, Tindfjallajökull, Hekla og Katla) á litlu svæði og kvíkuframleiðslu þeirra sem er sambærileg við framleiðslu á gliðnunarbeltunum Samkvæmt endurskoðaðri hugmynd er heiti reiturinn staðsettur undir Suðurlandsgosbeltinu en Vatnajökulssvæðið er þunnur reitur (thin spot). Þetta svipar til hugmyndar sem notuð hefur verið til að útskyrá heita reitinn undir Yellowstone (líparítsvæði - þykk skorpa) og basaltinu á Snake River Plain-svæðinu (basaltsvæði - þunn skorpa), sem liggur út frá reitnum.

Í fáum orðum gerir þessi hugmynd ráð fyrir að heiti reiturinn sé stöðugt staðsettur undir þykki skorpu. Heiti reiturinn bræðir sig gegnum skorpuna og veldur þannig myndun á miklu magni af súrum skorpubráðum sem í einstaka tilfellum ná yfirborði. Svæði með þynnri skorpu berst burtu frá heita reitnum í samræmi við svæðisbundna færslu skorpunnar, sem jafnframt endurnýjar þykka skorpu yfir reitnum og tryggir frekari framleiðslu á súrum skorpubráðum. Basísk möttulbráð, sem ekki kemst óhindruð gegnum þykka skorpu, leitar upp undir svæðum þar sem skorpan hefur þynnst (kjölfar heita reitsins) og veldur þar mikilli basískri eldvirkni.

Mikil skorpubykkt (10 - 30 km) undir Mið-Suðurlandi veldur því að basísk kvika sem myndast efst í möttli nær sjaldnast yfirborði óbreytt, en í þess stað veldur hún myndun á miklu magni af súrum skorpubráðum sem virka sem eðlisþyngdargildur á frekara uppstreymi basískrar kviku. Heiti reiturinn bræðir sig þannig í gegnum skorpuna (þynnir skorpuna), en stöðug færsla hennar og rekbeltsins yfir heita reitinn tryggir að þykk skorpa liggi ávallt yfir reitnum, og að svæði með sífellt þynnri skorpu liggi í átt frá reitnum. Mikil skorpubykkt undir Suðurlandi veldur myndun á alkalísku basalti við litla hlutbráð á möttulefni við háan þrýsting, sem eftir sblöndun við súrar skorpubráðir myndar millibasaltið sem er algengasta basaltgerðin á svæðinu. Bráðnandi möttulefni, sem er eðlisléttara en umhverfið, leitar eðli sínu samkvæmt í átt að lægri þrýstingi og þynnri skorpu (kjölfar heita reitsins) þar sem stærri hlutbráð við lægri þrýsting (5 - 10 km dýpi) á sér stað og mikið magn af þóleit basalti myndast. Samkvæmt þessari hugmynd endurspeglar Suðurlandsgosbeltið ekki ágenga eldvirkni í áður óvirka skorpu, heldur er syðsti hluti þess (100 km í þvermál) heitur reitur sem er að bræða sig í gegnum þykka skorpu og rekbeltið norðan Torfajökulssvæðisins er svæði sem fylgir í kjölfar heita reitsins þar sem skorpan hefur náð lágmarksþykkt og myndun á þóleitið getur átt sér stað.

## FINNST OLÍA Á LANDGRUNNI ÍSLANDS ?

Guðmundur Ó. Friðleifsson<sup>(1)</sup>, Jón Eiríksson<sup>(2)</sup>, og Halldór Ármansson<sup>(1)</sup>, .

(1) Orkustofnun, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík. (2) Raunvísindastofnun Háskólangs, Jarðfræðahúsi, 101 Reykjavík.

Fundur lífræns gass í Öxarfirði er fyrsta vísbending um að olía eða jarðgas kunni að finnast í setlögum á norðausturlandi. Áhugi á útbreiðdu setlagasvæði á landgrunninu úti fyrir norðurlandi er hins vegar ekki nýr af nálinni því þegar hafa verið gerðar nokkrar endurkastsmælingar til að kanna þykkt og útbreiðslu setлага í setlagatrogi sem er allt að 140 km langt, a.m.k. 40 km breitt og allt að 4 km djúpt. Árið 1982 var m.a. boruð 554 m djúp rannsóknarhola í Flatey að tilhlutana nefndar um hagnýtar hafssbotnsrannsóknir á vegum Iðnaðarráuneytisins. Í framhaldi af óvæntum fundi lífræns gass í Öxarfirði, sem fannst í tengslum við fiskeldisrannsóknir á jarðhitavæðinu við Skógalón, var reynt að grafast fyrir um uppruna jarðgassins með kjarnaborun (ÆR-04) niður í setlögin í því skyni að fá mat á hvort um hugsanlega orkulind gæti verið að ræða.

Fram til þessa hefur verið talið að myndun jarðgass og olíu á Íslandi sé ákaflega ósenileg einkum vegna þess hve landið er ungt. Nýlegar erlendar rannsóknir á jarðhita- og olíusvæðum hafa hins vegar sýnt að olía getur myndast á nokkur þúsund árum við tiltölulega hátt hitastig (130-150°C). Hefur það styrkt marga í þeirri trú að olíumyndun við Ísland sé ekki óhugsandi í ljósi hás hitastiguls og mikillar jarðhitavirkni.

Olía myndast úr lífrænum plöntu- og dýraleifum við hitaummyndun. Reyslan hefur sýnt að móðurberg (setlag með lífrænum leifum) þarf að innihalda 1-2 % eða meira af lífrænu kolefni til að umtalsverðar olíu- eða gaslindir nái að myndast. Bestu og heppilegustu skilyrði til varðveislu og fyrstu umbreytinga lífrænna leifa, svo að olía myndist við hitnun, eru í súrefnissnauðu umhverfi á hafssbotni eða í stórum vötnum. Viðast í heiminum, ekki síst í Atlantshafi, háttar svo til að súrefnisinnihald í sjónum er nægjanlega mikið til þess að megnið af því lífræna kolefni sem til fellur rotnar og eyðist jafnharðan. Mestar líkur eru á að svo hátti til við Ísland sem stendur, þó að verulega vanti á hafssbotnsrannsóknir til að staðfesta það. Nýleg athugun á nokkrum botnsýnum við norðausturland í tengslum við mengunarmælingar í sjó við Ísland sýnir þó að heildarstyrkur lífræns kolefnis á botni mælist 1-2 %. Það efni á eftir að eyðast og rotna í súrefnisríku umhverfi samfara fergingu næstu 20 cm, ef að líkum lætur, og umbreytast áfram við gerjun og bakteríuvirkni næstu 80 cm og smáeyðast, nema umtalsverð umhverfisröskun eigi sér stað. Hafa má í huga að núverandi framleiðsla á lífrænu kolefni í hafinu við Ísland er með þeirri mestu sem þekkist í heiminum, eða allt að 500 mg kolefnis/fermetra á dag, svo sem gjöful fiskimið vitna best um.

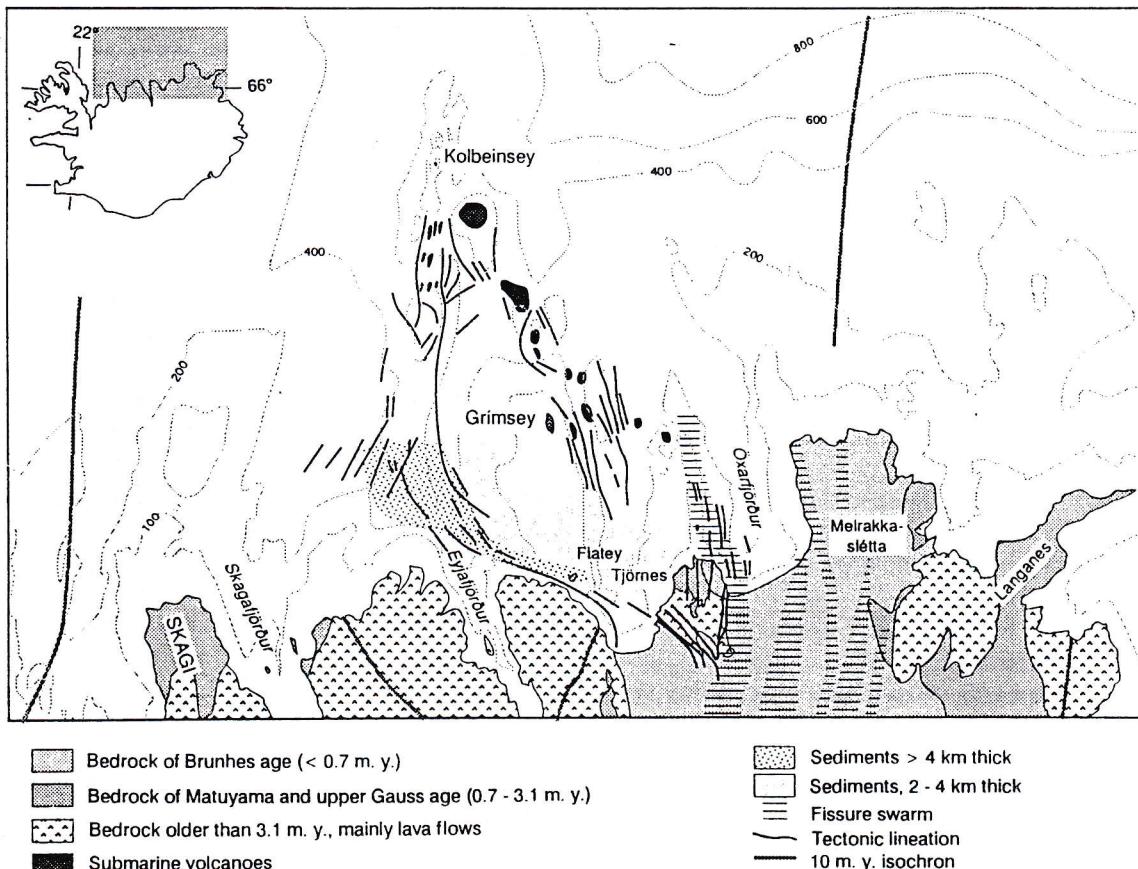
Flestir olíulindir heimsins eru myndaðar á fyrrí jarðsögutímabilum og þá helst á miðlifsold (65-230 m.ár), þó daemi séu um að olía sé mynduð og unnin úr setlögum á aldur við Ísland (< 20 m.ára). Skipting í jarðsögutímabil tengist nær undantekningalaust meiri háttar umhverfisröskun á hnnettinum, og skilyrði til myndunar hráefnis til olíumyndunar í setlögum hafa því ýmist orðið til eða horfið við slíka atburði. Ísland hefur gengið í gegnum einn slíkan atburð er ísold gekk í garð fyrir um 3 m.ára. Telja má öruggt að núverandi hafstraumakerfi hafi verið með öðrum hætti á fimbulvetrum ísaldar, en ísoldin skiptist í mörg kulda- og hlýskeið svo sem kunnugt er. Við lifum á yngsta hlýskeiðinu sem varað hefur í 10.000 ár. Ekki er vitað hvort hagstæð skilyrði til varðveislu hráefnis til olíumyndunar á landgrunninu við Ísland hafa skapast einhvern tímann á síðustu milljónum ára. Jarðfræðilega séð er það þó líklegt þegar höfð er í huga sú óhjákæmilega umhverfisröskun á lífréki landgrunnsins sem stór jökulhláup og mikil öskugos hljóta að valda er milljónir tonna af aur eða ösku setjast til á hafssbotni. Von Íslendinga um að orkulindir í formi olíu eða gass geti leynst á landgrunninu tengist einfaldlega því skilyrði að varðveisla lífrænna leifa í nægjanlegu magni hafi verið hagstæð einhvern tímann á ummrædu tímabili, og að þær hafi síðan náð að ummyndast við tiltölulega háan hita (100-150°C). Þó má geta þess að brot úr meginlandsskorpu frá miðlifsold (60-100 m. ára gamalt) finnst á Jan Mayen hryggnum norður af landinu. Ekki er vitað hvort þar finnst olía, né heldur hvort eða þá hve langt til suðurs inn á landgrunn Íslands þetta brot úr meginlandsskorpu teygir sig. Núverandi þekking á gerð setlagastaflans og sprungu- og eldvirknisögu landgrunnsins úti fyrir norðurlandi útilokar hins vegar ekki að forðaberg fyrir gas eða olíu sé þar að finna. Jafnframt því að valda tilflutningi á gasi eða olíu frá upprunastað í forðageymslu geta tíðir jarðskjálftar og sprunguvirkni á sama hátt hafa leitt til þess að gas eða olía hafi tapast nær

jafnharðan úr jarðlögunum, hafi myndun gass eða olíu nokkurn tímann átt sér stað.

Í ljósi ofangreinds má segja með sanngirni að auðvelt sé að tala bæði með og á móti hugsanlegum orkulindum í formi olíu eða jarðgass við Ísland. Aðalatriðið er hins vegar það að við vitum ekki nóg til að slíkt tal þjóni nokkrum öðrum tilgangi en þeim að auðvelda okkur ákvörðunartöku um framhaldið.

Í erindinu er helstu forsendum til olíu og gasmyndunar lýst. Farið er yfir stöðu rannsókna á Íslandi fram til þessa. Jarðfræði hafssbotnsins norður af landinu er lýst, ásamt helstu niðurstöðum endurkastsmælinga úti fyrir norðurlandi. Niðurstöðum rannsókna á gasinu í Öxarfirði er lýst í öllum aðalatriðum.

Hugmyndir um frekari rannsókir eru ræddar í lok erindisins. Frekari rannsóknum má skipta í rannsóknir á landi og hafrannsóknir. Eðlilegt væri að leita skýringa á lífræna gasinu í Öxarfirði með öllum tiltækum ráðum, þ.e. mælingum ýmiss konar og síðan með frekari borunum. Athugun á Tjörnessetlögunum með tilliti til olíu og gasmyndunar gæti veitt mikilsverðar upplýsingar. Á hafi þyrfti fyrst að sjörga endurkastsmælingum áður en ráðist yrði í boranir á hafssbotni, sem vart eru á færi Íslendinga. Nú stendur til að kanna hvort fyrir hendi sé áhugi erlendra olíufélaga á umræddu hafsvæði, og hefur skýrsla um könnun á gasinu í Öxarfirði m.a. verið þydd í þeim tilgangi. Hvort sem áhugi olíufélaga vaknar eða ekki þá er sjálfsagt og eðlilegt fyrir Íslendinga að nýta sér aðild að fjölbjóðlegum rannsóknarverkefnum svo sem ODP (Ocean Drilling Program) sem stendur t.d. fyrir borunum í landgrunnshlíðarnar austur og norður af Íslandi nú í sumar. Til dæmis gætum við sótt um að boraðar yrðu 1-2 borholur í setlagatrogið norður af landinu í hreinum ví sindalegum tilgangi, og hefðu þær boranir án efa mikilvíðalegt gildi vegna jarðfræðilegrar sérstöðu landins. Undanfari slíkra borana eru nákvæmar endurkastsmælingar á viðkomandi hafsvæði, en rétt er að vekja athygli á að umsókn um boranir til ODP tekur langan tíma og er ærið kostnaðarsöm. Fram til þessa hafa stjórnvöld ekkert sinnt málaleitunum jarðvísendamanna um fjárfamlög til nauðsynlegrar undirbúningsvinnu fyrir umsókn um boranir á vegum ODP. Ljóst er að án rannsókna fæst ekki úr því skorið hvort olía eða gas finnst í setlögunum norður af landinu.



## GOS Á KÖTLELDSTÖÐVAKERFINU Á SÖGULEGUM TÍMA

Guðrún Larsen, Raunvísindastofnun Háskólangs, Dunhaga 3, 107 Reykjavík

Nýlegar rannsóknir benda til að Kötlugos á sögulegum tíma séu um 20 talsins (tafla 1). Er þá miðað við gos sem brutust upp úr jöklínnum og skildu eftir gjóskulag í jarðvegi í nágrenni Mýrdalsjökuls. Hugsanlegt er að gos hafi orðið undir Mýrdalsjökli, sem ekki rufu jökulþekjuna, en um þau finnast engin merki í jarðvegi. Gos árið 1311 fellur af þessari skrá þar sem í ljós hefur komið að gjóskulagið sem því var eignað er úr eldra Kötlugosi. Á öndverðri 10. öld, líklega nálægt árinu 934, varð mikið gos á gossprungu, sem nær frá Kötlusvæðinu til norðausturs um Eldgjá að Stakafelli við Skaftá. Lengd gossprungunnar enda á milli er um 75 km, en hún er ekki samfellt alla þá leið. Í þessu gosi myndaðist mikið gjóskulag og víðáttumikilhraun sem runnu niður í Álfaver, Meðalland og Landbrot. Þegar gjóskulagið var kortlagt í nágrenni Mýrdalsjökuls kom í ljós að gjóskugeirar, sem áður voru talin sérstök Kötlulög sunnan og norðan jöklusins (K-x, talið fallið á 10. öld og K~1000, talið fallið á tímabilinu 950-1050), voru hluti af því, þ.e. höfðu myndast í sama gosi. Alls hafa þá þrjú gos fallið af skrá um Kötlugos, a.m.k. í bili.

Magn gjósku, sem komið hefur upp í Kötlugosum, er mjög breytilegt. Stærsta gjóskulag, sem myndast hefur í Kötlugosi á sögulegum tíma, er talið vera K-1755, og er áætlað magn loftborinnar gjósku um 1500 milljónir rúmmetra, eða 1.5 rúmkílómetri (Sigurður Þórarinsson 1975). Þykkt þess varð um og yfir 30 cm í Skaftártungu, í 20-25 km fjarlægð frá upptökum. Ekki er vitað hve mikið af gjósku barst frá gosstöðvunum með hlaupvatni. Gjóskulagið úr Eldgjárgosinu á 10. öld er meira en tvöfalt stærra en K-1755 og er líklega þríðja stærsta gjóskulag sem myndast hefur á sögulegum tíma. Þykkt þess varð um og yfir 100 cm á Snæbýlisheiði, 15-20 km frá upptökum. Minnstu gjóskulöginn frá Kötu, sem verið er að kortleggja, eru af svipaðir stærð eða minni en gjóskulagið úr Heklugosinu 1991 ( $\leq 20$  milljónir rúmmetra).

Í Kötlugosinu 1918 var magn loftborinnar gjósku talið vera um 700 milljónir rúmmetra. Gerðir hafa verið bráðabirgðaútreikningar á hversu mikið af föstu efni (gjósku, grjóti, leir) barst fram í jökulhlaupinu 1918 vestanvert á Mýrdalssandi. Þeir benda til að rúmmál Kötlutanga, eins og hann er sýndur á sjókorti (Vestrahorn-Portland) frá um 1922, hafi verið um 250 milljónir rúmmetra. Samanburður á hæðartöllum á korti Landmælingadeildar danske herforingjaráðsins (69 Hjörleifshöfði NV) frá 1905 og hæðarlínum á orthokortum Landmælinga Íslands af Mýrdalssandi frá 1978 bendir til að a.m.k. jafnmikið efni hafi bæst á sandinn neðan Hafurseyjar eftir 1904. Vafalaust hefur mest af þessu efni borist fram í hlaupinu 1918, en eitthvað hefur e.t.v. bæst við á næstu árum á eftir, meðan Sandvatnið flæmdist um þetta svæði.

Lengd Kötlugosa hefur verið frá 2 vikum upp í meira en 5 mánuði svo vitað sé (Gísli Steinsson 1919; Skýrslur um Kötlugos, S. t. s. Ísl. IV) en vafalítið hafa orðið gos sem stað hafa lengur og skemur. Gjóskufall er yfirleitt mest fyrstu gosdagana en getur orðið hvenær sem er allan gostímann. Gjóskan berst því víðar en t.d. í Heklugosum, þar sem þeytigosið stendur stutt. Vitað er hvert megingjóskufallið barst í 16 gosum. Langostast, eða í sjö þeirra barst megingjóskufallið til A, NA eða NNA.

Lengd goshléa milli Kötlugosa er allbreytileg. Stysta goshlé, sem enn er þekkt, er tæp 13 ár milli gosanna 1612 og 1625. Lengsta goshlé sem þekkt er með sæmilegri vissu er um 80 ár milli gosanna um 1500 og 1580. Goshlé eftir Eldgjárgos á 10. öld gæti hafa verið um 200 ár. Meðallengd goshléa síðan um 1500 er um 47 ár og mestu frávik í hvora átt eru 33 og 34 ár.

Upphaf goss í öllum Kötlugosum frá og með 1580 er þekkt upp á dag, alls í 9 gosum. Öll þessi gos hófust á tímabilinu maí-nóvember, þar af hófust 3 gos í október. Ef gert er ráð fyrir að hlaupið sem varð 25. júní 1955 hafi verið af völdum goss bætist enn eitt gos við sem hófst á þessu tímabili. Ekki er þó hægt að draga viðtækar ályktanir af þessari tilhneigingu Kötu til að sitja á strák sínum yfir vetrartímann, síst af öllu þær að Kötlugos geti ekki orðið á tímabilinu desember-apríl, því upplýsingarnar ná aðeins fjórar aldir aftur. Þó virðist mega álykta að heldur líklegra sé að Kötlugos hefjist á tímabilinu maí-nóvember en á öðrum árstínum.

### HEIMILDIR

Gísli Steinsson 1919: Kötlugosið 1918 og afleiðingar þess. Stjórnarráð Íslands, Reykjavík. 61 bls.

Guðgeir Jóhannsson 1919: Kötlugosið 1918. Bókaverslun Ársæls Árnasonar, Reykjavík. 72 bls.

Magnús Hákónarson 1860: Katla. Íslendingur, 1. árg., 8. tbl.: 61-62 og 9.tbl.: 67.

Markús Loftsson 1930: Rit um jarðelda á Íslandi. 2. útgáfa, aukin. Ísafoldarprentsmiðja, Reykjavík. 326 bls.

Sigurður Þórarinsson 1975: Katla og annáll Kötlugosa. Árbók Ferðafélags Íslands 1975: 125-149

Skýrslur um Kötlugos. Safn til sögu Íslands IV, bls. 186-294. Hið Íslenska bókmennatafélag, Kaupmannahöfn og Reykjavík 1907-1915.

Tafla 1

## GOS Á KÖTTLUELDSTÖÐVAKERFI Á SÖGULEGUM TÍMA

Gosstöðvar	Gosár/öld	Gosbyrjun	Goslengd	Undanfarandi goshlé
Katla	1918	12. okt.	24 dagar	58 ár
Katla	1860	08. maí	20 dagar	37 ár
Katla	1823	26. júní	28 dagar	68 ár
Katla	1755	17. okt.	~120 dagar	34 ár
Katla	1721	11. maí	>100 dagar	61 ár
Katla	1660	03. nóv.	>60 dagar	35 ár
Katla	1625	02. sept.	13 dagar	13 ár
Katla	1612	12. okt.		32 ár
Katla	1580	11. ágúst		~80 ár
Katla	~1500			
Katla		15. öld (e.t.v. tvö gos)		
Katla	1416			
Katla	~1357			
Katla	1262			
Katla	1245			
Katla	~1179			
Katla		12. öld		
Eldgjá-Katla	~ 934			
Katla	~ 920 (K-R)			
Katla		lok 9. eða byrjun 10. aldar		

Gjóskulög, sem talin eru mynduð í þessum gosum, hafa fundist í jarðvegssniðum í nágrenni Mýrdalsjökuls. Öll nema K-1823, K-1245, K-1179 og K-12. öld hafa verið efnagreind til staðfestingar á uppruna þeirra. Vera má að fleiri Kötlulög frá sögulegum tíma leynist í jarðvegi á þessu svæði.

## NOKKUR ORÐ UM LEIÐIR KÖTLUHLAUPA Á SÖGULEGUM TÍMA

Guðrún Larsen, Raunvísindastofnun Háskólangs, Dunhaga 3, 107 Reykjavík.

Hraun úr Eldgjárgosi á 10. öld gjörbreyttu aðstæðum á því svæði sem nú kallast Mýrdalssandur og Álfaver. Sýna má fram á með rannsóknunum á gjóskulögum í jarðvegi að í þessu gosi runnu hraun niður Álfaversafrétt og niður í Álfaver. Áður en hraunin runnu er líklegt að vatnsföll og jökulhlaup undan Kötlujökli hafi dreifst jafnar um sandinn en nú og átt jafn greiða leið til austurs og til suðurs. Álfavershraun hækkaði landið austan jöklusins og vesturjaðar þess hefur í fyrstu risið miklu hærra yfir sandinn en nú og lokað leiðum afrennslisvatns og jökulhlaupa til austurs. Meðan svo var hljóta hlaup að hafa lagst af meiri þunga á svæðið vestan hraunsins þar sem land var lægra, en jafnframt hækkað sandinn á því svæði og fært ströndina þar fram. Sandurinn er nú jafnhár hrauninu á köflum og hefur kaffað hraunjaðarinn á síðum svæðum. Ekki er fullljóst hvenær hlaupin fóru að leita austur yfir hraunið en með hliðsjón af máldögum og niðurstöðum fornleifarannsókna má telja nokkuð víst að það hafi gerst þegar á 15. öld.

Heimildir um rennslisleiðir hlaupa fram til 1580 eru af skornum skammti. Í Landnámu er nefndur fjörður, Kerlingarfjörður, sem var til á landnámsöld, en á ritunartíma Landnámu er hann horfinn og í stað hans kominn Höfðarsandur. Þar er líka sögn um hlaup sem komið hefur fram Sólheima- og Skógasand á landnámsöld. Í Biskupasögum er sagt frá hlaupi sem kom í Höfðá skömmu fyrir árið 1179, og tók af nokra bæ. Sagnir eru til um Höfðahlaup, sem átti að hafa runnið beggja vegna Hjörleifshöfða, og eru þær tengdar Kötlugosi árið 1416. Einnig eru til sagnir um Sturluhlaup, tengdar gosi árið 1311. Í þessum frásögnum eru vafalítið geymd minni um hlaup sem fóru um vesturhluta Mýrdalssands snemma á sögulegum tíma.

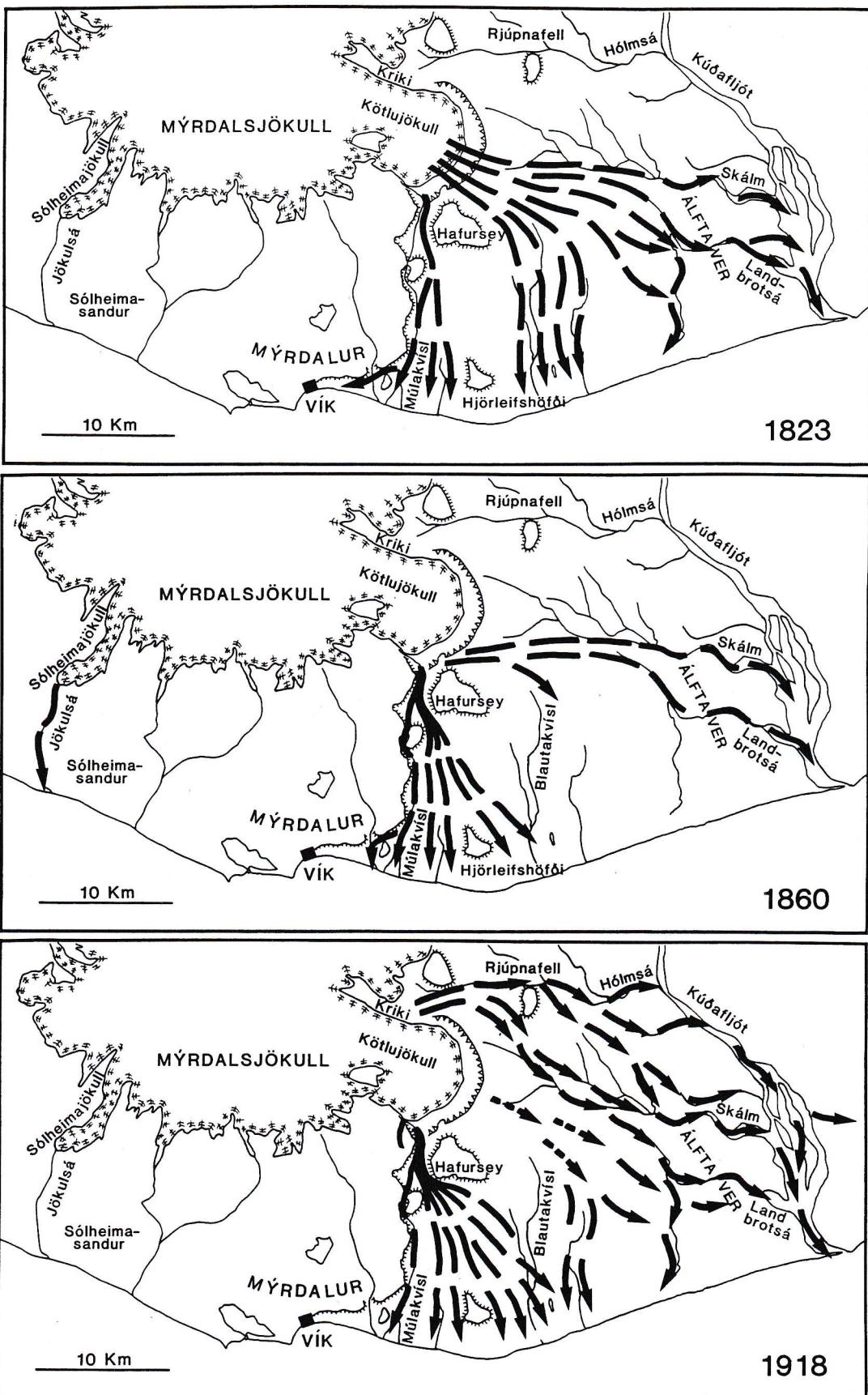
Rennslisleiðum hlaupa í Kötlugosum á síðari öldum og breytingum af þeirra völdum er allvel lýst í heimildum. Á mynd 1 eru helstu leiðir Kötluhlaupanna 1918, 1860 og 1823 sýndar sem dæmi um rennslisleiðir sískra hlaupa og er þeim lýst stuttlega hér á eftir. Í öllum gosum frá og með 1580 hafa hlaup komið undan eða úr Kötlujökli og í einu gosi, 1860, einnig undan Sólheimajökli. Hlaupin koma ýmist fram undan brún skriðjöklusins eða brjótað út úr honum ofar, eins og gerðist 1721 og 1823. Í öllum gosum frá og með 1660 er tiltekið hvernig ströndin færst fram í hlaupunum, nema 1823, en þá er hins vegar til þess tekið hve sandurinn hækkaði þar sem hlaupið fór um.

Kötluhlaupið 1823 var sérstakt að því leyti að meginfarvegir hlaupsins lágu austan við Hafursey (1. mynd), en þar kom hlaupið niður af jöklinum og braut gljúfur upp í hann. Það rann bæði fram miðsandinn í Blautukvíslarfarvegum og niður í Álfaver um Kælira og Landbrotsá. Hlaup sem kom fram sandinn vestan Hafurseyjar var ekki meira en svo að fært var talið austur í Hjörleifshöfða á öðrum gosdegi. Læna úr því rann vestur með Höfðabrekkuþjöllum allt út í Víkurá. Hlaup komu niður í Álfaver allan gostonmann, 28 daga, en algengast er að þau nái þangað aðeins fyrsta gosdaginn (Safn t. s. Ísl. IV, 251-294). Eftir að gosi lauk hélt jökulvatn, kallað Kötlukvísl, áfram að renna austan Hafurseyjar niður í Landbrotsá, og fjórum árum eftir gosið var enn mikið vatn í henni. Hægt er að meta meðalhraða hlaupsins sem fyrst kom niður í Álfaver af lýsingu sjónarvotta. Það sást fossa út úr skriðjöklinum neðarlega skömmu eftir kl. 21 (náttmál) og var komið niður í Álfaver kl. 2 um nóttina. Meðalhraðinn virðist samkvæmt því hafa verið 6-7 kílómetrar á klukkustund.

Kötluhlaupið 1860 kom framundan Kötlujökli vestarlega (1. mynd) án þess að brjóta hann mikið og er til þess tekið hve lítið barst fram af ís í hlaupinu. Það er sérstakt meðal Kötluhlaupa á síðari öldum vegna þess að hlaup kom í Jöklusá á Sólheimasand á fjórða gosdegi og varaði einn dag (Magnús Hákonarson 1860). Annars var þetta fremur lítið hlaup og aðgerðalítið að öðru leyti en því að það skar sundur hálsinn milli Selfjalls og Léreftshöfuðs, þar sem Múlakvísl rennur nú, og fyllti vatn, sem var í Seldal, af sandi (Markús Loftsson 1930).

Kötluhlaupið 1918 kom fram á tveim stöðum, vestan Hafurseyjar og austur úr Krika (Guðgeir Jóhannsson 1919). Farvegir þess hafa varðveist að nokkrum leyti og koma vel fram á elstu loftmyndum af sandinum (síði á svæði sunnan Skálmar, brotnar örvar á mynd 1). Til hlaups sást á vestursandinum upp úr kl. 15 fyrsta gosdaginn, bæði í farvegum Múlakvíslar og Sandvatnsins og fór það síðarnefnda beggja vegna Hjörleifshöfða. Meginhlaupið kom fram í farvegi Sandvatnsins um kl. 17 með miklum jakaburði, en um sama leyti þvarr vatnið í Múlakvísl, ef til vill vegna þess að jakahrönnin stíflaði gljúfrið ofan við Seldal. Ekkert vatn rann vestur með Höfðabrekkuþjöllum og er þetta eina dæmið um slíkt síðan 1660. Svæðið sem hlaupið fór um á vestursandinum er um 140 ferkílómetrar og landaukinn samkvæmt sjókorti frá 1922 um 14 ferkílómetrar. Erfiðara er að mæla svæðið sem hlaup úr Krika fór um en það er mun stærra. Hlauphraða er hægt að meta að vissu marki eftir lýsingum og tímasetningum sjónarvotta. Samkvæmt þeim virðist hraðinn á frambrún meghinhlaupsins, þegar það var að ryðjast fram á vestursandinum milli Hafurseyjar og Hjörleifshöfða, hafa verið um 20 kílómetrar á klukkustund. Ef gert er ráð fyrir að hlaupið, sem kom fram í Krika, hafi lagt af stað frá Kötlusvæðinu í þann mund sem jarðskjálftar fundust fyrst, eða litlu síðar, hefur meðalhraði þess niður að Bæjarhólma í Kúðafljóti verið á bilinu 11-17 kílómetrar á klukkustund.

HEIMILDIR: Sjá skrá í Guðrún Larsen 1993: Gos á Kötlueldstöðvakerfinu á sögulegum tíma (í þessu hefti).



1. mynd. Helstu leiðir Kötluhlaupanna 1823, 1860 og 1918 eru sýndar með örbum. Stuðst er við loftmyndir og ritauðar og munnlegar heimildir um hlaupleiðir 1918, en hlaupleiðir 1860 og 1823 eru dregnar eins og líklegast er að þær hafi legið samkvæmt rituðum heimildum. Breytingar á ströndinni eru ekki sýndar. Grunnteikning eftir Aðalkorti, bl. 6, Miðsuðurland.

## MANGANÚTFELLINGAR Á REYKJANESHRYGG, STEINDASAMSETNING OG MYNDUN.

Guðrún Sverrisdóttir, Hrefna Kristmannsdóttir, Halldór Ármannsson. Orkustofnun Grensásvegi 9, 108 Reykjavík. Steinunn Hauksdóttir, Sigurður Steinþórsson. Raunvísendastofnun Háskóla Íslands, Jarðfræðahúsi, 101 Reykjavík. Sveinn Jakobsson. Náttúrufræðistofnun Íslands, Hlemmi 3, 105 Reykjavík.

Á Reykjaneshrygg, um 110 km undan Reykjanesi á um  $63^{\circ}05'N$ , er jarðhitasvæði á sjávarbotni þar sem manganíkar útfellingar hafa fundist í setlögum á 250-350 m dýpi. Árið 1990 hófust þarna rannsóknir samstarfshóps íslenskra víssindamanna, sem svo lauk með skýrslu til Hafsbotsnefndar Iðnaðarráðuneytisins haustið 1992. Höfundar þessa erindis unnu í þessum hópi að steindagreiningum, og fara hér á eftir helstu niðurstöður þeirra.

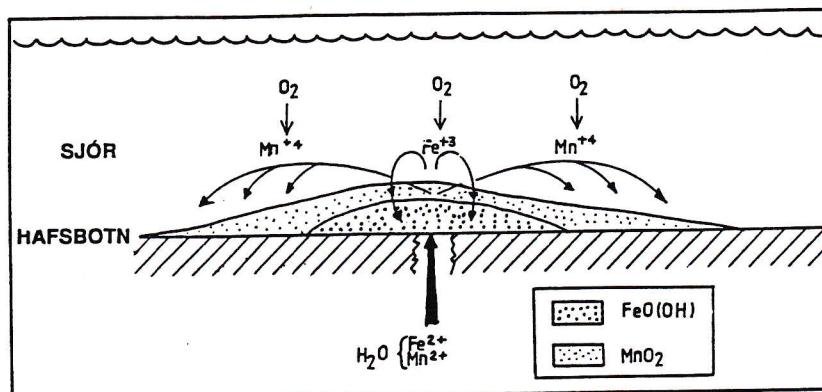
Útfellingarnar koma fyrir í æðum og holrýmum í gosrænu seti og eru oft myndaðar af pyrpungum smákúlna. Við XRD-greiningu kom í ljós að málmkúlurnar eru gerðar af mangansteindunum to dorokít og birnessít. Það eru algengustu steindir sem mynda manganíkar skorpur og hnyðlinga á hafsbottini (Cronan 1980, Rona 1988). Manganhnyðlingar finnast einkum á miklu dýpi viða í Kyrrahafinu, en einnig hafa manganútfellingar fundist áður í tengslum við jarðhita á rekhyggjum (Thompson et al., 1985).

Steindirnar eru mjög fínkristallaðar og samsetning þeirra er nokkuð breytileg en algengar formúlur eru: to dorokít;  $(Ca,K,Na)(Mg,Mn,Zn)Mn_5O_{12} \cdot xH_2O$ , birnessít;  $(Na,Ca,K)(Mg,Mn)Mn_6O_{14} \cdot 5H_2O$ . Todorokít-kristallarnir mynda oft mjóar flangar flögur. Teknar voru myndir í rafeindasmásjá (SEM), af mangankúlum sem eru gerðar af to dorokít nær eingöngu. Birnessít hefur verið nefnt "plötumanganít", en kristalbygging þess er ekki vel þekkt. Yfirleitt voru sýnir samsett af báðum steindunum en í mismiklu magni. Við hitun sýnanna á rannsóknarstofu breyttist allt to dorokít í birnessít sem endurspeglar að birnessít er oxaðri steind. Samkvæmt XRD-greiningum virðist to dorokít algengara en birnessít í mangankúlum af Reykjaneshrygg, en birnessít er þó almennt talið algengari manganútfelling á svo litlu dýpi vegna hagstæðari oxunaraðstæðna en við meira dýpi (Burns og Burns, 1979). Staðgengni katjóna í kristalgrind manganoxiða ásamt ásogi á yfirborð veldur því að oft eru þau mjög auðguð af öðrum málum eins og Cu, Zn, Cr og Ni. Styrkur þeirra er þó yfirleitt minni í útfellingum tengdum jarðhita á rekhyggjum en í djúpsjávarhnyðlingum. Sú er einnig raunin með manganútfellingarnar á Reykjaneshrygg, nema hvað styrkur Cr virðist hærri þar en í Kyrrahafsútfellingum.

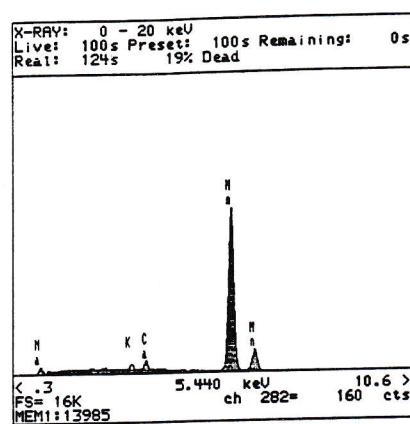
Útfellingarnar hafa myndast við lægra hitastig en  $40-50^{\circ}C$ . Það má ráða af ummyndunarstigi í setberginu. Sjálfst glerið í setinu er mjög ferskt, engar Mg-ríkar leirsteinir sem myndast við um  $60^{\circ}C$  fundust, og ekki heldur anhydrit sem tekur við af gifsi við rúmar  $40^{\circ}C$ . Aðrar útfellingar sem fundust í sýnum voru jámríkt smektít sem gæti samkvæmt XRD verið einhver blanda af nontroníti og glákoníti. Þá var talsvert af lítt eða ekkert kristólluðu jární sem er sennilega límonít. ( $(FeO(OH))$ ). Röð útfellinganna er nokkum veginn; smektít-límonít-todorokít/birnessít. Aðskilnaður járns og mangans er mikill og hafa járnsteindirnar fallið fyrir út vegna þess að járníð oxast fyrir (Mynd 1). Mynd 2. sýnir niðurstöður SEM-efna greiningar af to dorokítkúlu, og mynd 3 sýnir niðurstöður samskonar greiningar á járnriku smektíti.

Sennilegur myndunarferill manganútfellinganna er þessi: Sjór hvarfast við basalt í jarðhitakerfinu, þannig myndast jarðhitavökvi sem leysir málma auðveldlega úr gosbergi sem yfirleitt er gropnara á sjávarbotni en á landi og því verður útskoluð meiri vegna mikils yfirborðsflatarmáls. Ekki er vitað hversu heitt jarðhitakerfið er við uppstreymið, en talið að það sé í suðu. Málmauðaður vökvinn rennur síðan upp í gropin setlögin fyrir ofan og hefur þá kólnað mikið. Þar blandast jarðhitavökvinna súrefnirskum sjó, og járn og manganoxið falla út, fyrst járnóxið og síðan manganoxið.

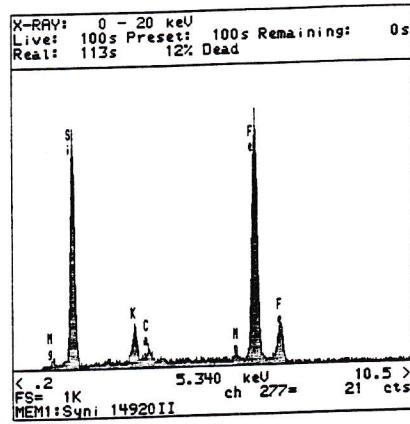
Steindasamsetning bendir til þess að þetta sé líkt ferli og hefur verið rannsakað á svonefndu TAG-lághitasvæði á  $26^{\circ}N$  á Atlantshafshryggnum (Thompson et al., 1985).



Mynd 1. Aðskilnaður mangans og járns á hafsbotni (Bonatti o.fl. 1972).



Mynd 2.



Mynd 3.

#### Heimildir:

- Bonatti E., Kraemer T. and Rydell H. 1972: Classification and genesis of submarine iron-manganese deposits. In: Horn D.R. (ed.). Ferromanganese deposits on the oceanic floor, 149-166.
- Burns R.G. and Burns V.M. 1979: Manganese oxides. In: Burns R.G.(ed.). Marine minerals, Short Course Notes vol.6, Mineralogical Society of America, 1-40.
- Cronan D.S. 1980: Underwater minerals. Academic Press,London, 362 bls.
- Thompson G., Mottl, M.J. and Rona, P.A., 1985: Morphology, mineralogy and chemistry of hydrothermal deposits from the TAG area, 26°N Mid-Atlantic Ridge. In: Y. Kitano (Guest-Editor), Water-Rock Interaction. Chem. Geol., 49: 243-257.
- Rona P.A., 1988: Hydrothermal mineralization at oceanic ridges. Can. Mineral. 26, 431-465.

## ÍSLAND Í ODP

Gunnar Ólafsson, Hafrannsóknastofnun, Skúlagötu 4, 121 Reykjavík.

Djúpsjávarborunarverkefnið ODP (Ocean Drilling Program) er alþjóðlegt; svo nefnt "Big Science - project" innan jarðvísindanna. Aðalmarkmið þessa verkefnis er að rannsaka uppbyggingu og þróun hafssbotnanna. Miðdepill starfseminnar er hið 143 metra langa borskip JOIDES Resolution, þar sem JOIDES stendur fyrir Joint Oceanographic Institutions for Deep Earth Sampling og Resoultion er fengið frá einu af skipum James Cooks. JOIDES Resolution fer í samfellda röð rannsóknarleiðangra þar sem borað er í hafssbotninn og teknir upp set- og bergkjarnar. Á meðan á leiðöngrunum stendur eru jafnframt framkvæmdar borholumælingar þar sem vísindamenn safna miklum jarðeðlisfræði- og jarðefnafræðilegum gögnum.

Vísindalegu markmiði ODP-starfseminnar má skipta í fjóra megin flokka:

- tektonísk þróun dælda (ocean basins) og skila hafs og meginlanda.
- myndun, samsetning og þróun jarðskorpunnar
- setmyndun og jarðefnafræðileg ferli
- saga úthafanna, fornhafræði (paleoceanography) og fornveðurfarsfræði (paleoclimatology)

Vísindamenn hvaðanæva að úr heiminum geta sent tillögur til ODP um rannsóknarverkefni, sem geta verið allt frá borun einnar holu upp í verkefni, sem þarfust margra borleiðangra. Fjallað er um tillögur um rannsóknarverkefni og þeim raðað í forgangsröð af fjórum þema-nefndum (thematic panels) sem svara til hinna fjögurra flokka sem nefndir voru hér að ofan. Sérhver fullgildur meðlimur í ODP hefur fulltrúa í hverri þessara nefnda, fyrir utan Bandaríkin, sem borga helminginn af öllum kostnaði og hafa þar af leiðandi helming sætanna í nefndunum. Ákvörðun um hvaða leiðangra á að fara er að lokum tekin af skipulagsnefnd ODP, PCOM (Planning Commitee), sem ber vísindalega ábyrgð á ODP starfseminni.

Ísland tekur þátt í ODP gegnum samtök 12 Evrópulanda (Belgía, Danmörk, Finnland, Grikkland, Holland, Ísland, Ítalía, Noregur, Spánn, Svíþjóð, og Tyrkland), þar sem ESF (European Science Foundation) er móðursamtökin. Íslenskum vísindamönnum gefst því kostur á að taka þátt í starfi ODP. Vísindaráð Íslands er aðili fyrir Íslands hönd í ESF. Aðrar þátttökuþjóðir í ODP, auk Bandaríkjanna og ESF, eru Frakkland, Japan, Kanada/Ástralía, Bretland og Pýskaland. Auk þessara landa er Rússland óvirkur meðlimur.

Í desemberþyrjun ár hvert heldur PCOM fund til þess m.a. að ákvarða um framhald rannsóknaráætlunarinnar fyrir JOIDES Resolution. Þetta þýðir í raun, að ákvarðanir um boranir árið 1994 voru teknar í desember 1992. Hver borleiðangur tekur u.b.b. tvo mánuði, sem þýðir að það verða farnir 6 leiðangrar á tímabilinu desember 1993 til desember 1994.

Það er hægt að taka þátt í starfi ODP á ýmsan hátt:

- hægt er að sækja um að taka þátt í borleiðongrum (shipboard scientist)
- hægt er að sækja um að fá send gögn/sýni úr tilteknum borleiðangri (shore-based contributor)
- hægt er að starfa með báðum ofantöldum, en þeir hafa einkarétt á sýnum og gögnum ár eftir að leiðangurinn var farinn.

Auk þessa er hægt að panta gögn og sýni úr eldri leiðöngrum.

## SKJÁLFTAVIRKNI Í MÝRDALS- OG EYJAFJALLAJÖKLI

Gunnar B. Guðmundsson, Páll Halldórsson og Ragnar Stefánsson,  
Jarðeðlisfræðideild Veðurstofu Íslands, Bústaðavegi 9, 150 Reykjavík.

Yfirlit er gefið um stærð og tiðni jarðskjálfta í Mýrdalsjökli frá því um 1951. Frá því 1951 hefur mælst 41 skjálfti af stærðinni 4 eða stærri, 4 af stærðinni 4.5 og einn hefur náð stærðinni 5. Til að skjálftar finnist vel í byggð, þ.e.a.s. eins og þeir sem orðið hafa á undan Kötlugosum, þurfa þeir að ná stærðinni 5. Á linuritum er lýst þróun skjálftavirkni frá 1951 í Mýrdalsjökli, þar sem sérstaklega kemur fram mikil virkni 1967 og 1977, en einnig hin merkilega haustvirkni, sem einkum tekur til skjálfta í vestanverðum jöklínnum. Það sem einkum einkennir þessa skjálfta er lág tiðni í bylgjunum og að stærðardreifing skjálftanna er ekki eins og venjulegast er í brotaskjálftum. Gerð er tilraun til að skýra þessa skjálfta sem útlausn á háum innri þrýstingi í toppi kvíkuhólfs, sem leysist út í endurteknu hniki skorpunnar ofan á þegar farg léttist af jöklínnum, þar sem aukinn vatnsþrýstingur á hnifikletina á leysingartínum auðveldar hnikið. Jarðskjálftarnir væru þá leystir úr læðingi annars vegar í lóðrétu hniki í efsta hluta skorpunnar samhliða samhvelli (implosion) í kviku/gasmassa þar fyrir neðan.

Gert er grein fyrir hvernig SIL kerfið hefur greint jarðskjálfta í Eyjafjallajökli í seinni tíð. Því hefur oft verið haldið fram að í Eyjafjallajökli væri lítil eða jafnvel engin skjálftavirkni. Skjálftasaga Eyjafjallajökuls er lítt þekkt og því erfitt að segja til um hversu venjuleg núverandi virkni er, þegar til lengri tíma er litið.

Á Veðurstofunni hefur verið þróað viðvörunarkerfi sem gefur boð t.d. í boðsíma ef jarðskjálftar á þessum svæðum sem og annars staðar á jarðskjálftasvæðum Suðurlands, yfirstíga nánar skilgreind mörk.

## NOTKUN BORSVARFS TIL AÐ META SEGULEIGINLEIKA DÝPRI JARÐLAGA

Haraldur Auðunsson, Raunvísindastofnun Háskólangs, Dunhaga 3, 107 Reykjavík.

Þekking á seguleiginleikum dýpri jarðlagu nýtist til að auka skilning okkar á byggingu skorpunnar undir Íslandi og jarðfræðilegum ferlum er eiga sér þar stað. Þetta er sökum þess að seguleiginleikar bergsins mótað meðal annars af upphaflegri segulmögnun, berggerð, ummyndunarsögu og hitastigi. Með því að skoða samtímis seguleiginleika dýpri jarðlagu og segulfrávik er þau orsaka á yfirborði má ráða í uppbyggingu jarðlaganna, sem og fá grófa mynd af hitadreifingu í skorpanni og af svæðisbundnum ummyndunum. Segulsviðið yfir öllu landinu hefur verið mælt úr lofti og einnig eru til nákvæmari mælingar yfir einstökum svæðum. Tulkun segulsviðsmælinganna verður því traustari því betri sem upplýsingarnar eru sem við höfum um eiginleika bergsins er veldur segulfrávikunum. Til að meta seguleiginleika bergsins má nýta gott safn borsvarfs er hefur fengist við boranir á hitasvæðum.

Markmið þessarar rannsóknar er fyrst og fremst að kenna hvaða seguleiginleika er hægt að meta með því að nota borsvarf. Áður hefur segulhrifsstuðullinn og Curiehitastigið verið mælt fyrir borsvarf, og virðist segulsteindin vera magnetít. Einnig eru könnuð áhrif klórít-epídót ummyndunar á seguleiginleika bergsins og hvort hægseglun sé veruleg í ummynduðu berginu. Háhitasvæðin á Reykjanesskaga eru áhugaverð með tilliti til seguleiginleika bergsins, þar sem yfir hverju háhitasvæði er víðáttumikil segulhæð (ásamt staðbundinni segullægð um miðbik svæðisins), ummyndunarbeltin virðast skýr, og bergið er að hefja ummyndunarsögu sína. Svarf frá klórít-epídót beltinu var tekið á 1000-1200 m dýpi úr holu EG2 (Eldvörpum), og á 800-1450 m dýpi úr holu SG12 (Svartsengi), og er hitastigið á þessu dýpi um 240-280°C.

Það reynist auðvelt að mæla náttúrulega segulmögnun (NRM) og segulhrifsstuðul ( $\chi_0$ ) einstakra korna og afsegulmagna NRM, þrátt fyrir að þvermál kornanna er aðeins 2 til 4 mm. Við mælingar á „anhysteretic“ segulmögnun (ARM) og hægseglun (VRM) voru útbúin sýni er samanstóðu af 10-100 kornum af sömu berggerð og sem þoldu hitun. Styrkur NRM, tulkun á afsegulmögnun NRM og aðrir seguleiginleikar bergsins benda til að NRM svarfsins er sambærileg við segulmögnun heila bergsins fyrir borun (in situ). Af þessum sökum er hægt að meta náttúrulega segulmögnun bergs á nokkru dýpi, og þá fyrir mismunandi berggerðir, t.d. túff, hraun og ganga. Þessi niðurstaða kemur á óvart, þar sem búast má við að segulsvið umhverfis borkrónuna valdi aukasegulmögnun í svarfinu, en á móti kemur að sviðið er líklega missterkt fyrir mismunandi borkrónur, og einnig er bergið misnæmt fyrir áhrifum af þessu tagi.

Í bergi er hefur orðið fyrir klórít-epídót ummyndun reynist segulmögnunin stöðugri og segulkornin því mun minni en í ferskum hraunum á yfirborði. Ennfremur, þá er NRM klórít-epídót ummyndaða bergsins nálægt helmingi minni en ferskra hrauna, eða svipað og NRM hrauna frá síðjökultíma. Enginn marktækur munur er á segulhrifsstuðlinum fyrir þessar berggerðir.

Mælingar á hægseglun (VRM) klórít-epídót ummyndaðs bergs í andrúmslofti við 25°, 160° og 250°C sýna að VRM eykst reglulega með tíma, en hlutur VRM reynist óverulegur í heildarsegulmögnun bergsins við þessi hitastig. Þetta sýnir að „blocking“ hitastigið er hátt, sem og staðfestir að Curiehitastigið er hátt og segulkornin lítil. Með grófum framrekningi fæst að bergið verður að vera við a.m.k. 400°C, ef ekki hærra, svo að VRM fari að skifta máli.

Við upphitun í 250°C í lofti byrjuðu eiginleikar nokkurra sýna að breytast sökum efnabreytinga á segulsteindunum. Svo virðist að berg á nokkru dýpi hafi aðra seguleiginleika en samsvarandi berg sem hefur borist upp á yfirborðið við t. d. rof og þá kólnað rólega og segulsteindirnar aðlagð sig að einhverju leyti breyttu umhverfi. Af þessum sökum er mikilvægt að fá bergsýni beint af miklu dýpi, eins og kjarna eða borsvarf, ef meta á seguleiginleikana þar.

Orkustofnun útvegaði svarf til mælinganna, en meginhluti þeirra fór fram við Oregon State University, Corvallis. Hjalti Franzson aðstoðaði við val á borholum og svarfi og greindi svarfið eftir berggerð. Rannsóknin er styrkt af Vísindasjóði.

Nokkrir seguleiginleikar borsvarfs

	NRM	F <sub>NRM</sub>	ARM	F <sub>ARM</sub>	$\chi_0$	NRM/ARM	S <sub>160</sub>	S <sub>250</sub>
svarf-basalt	2-3	0,69	0,9	0,84	0,5	3	0,018	0,062
ferskt basalt	6	0,68	1,5	0,59	0,5	4	-	-

Svarfið er fín-meðalkorna basalt frá klórít-epídót beltinu í holum EG2 og SG12, og ferska basaltið eru hraun frá nútíma á suð-vesturlandi.

Einingar: NRM, ARM og S:  $10^{-3}$  emu/g;  $\chi_0$ :  $10^{-3}$  emu/Oe·g.

ARM:  $H_{DC} = 0,50$  Oe og  $H_{AC} = 800$  til  $1000$  Oe; F er hlutfall segulmögnum sem verður eftir við afsegulmögnum í 100 Oe sviði. S =  $\partial(VRM)/\partial(\log(t))$  við  $160^\circ$  og  $250^\circ\text{C}$  og í 0,50 Oe.

## JARÐHITASVÆÐIÐ Á ÞEISTAREYKJUM

Helgi Torfason, Halldór Ármansson og Kristján Hrafn Sigurðsson, Orkustofnun JHD, Grensásvegur 9, 108 Reykjavík

Þeistareykir liggja innan gosbeltisins á Norðurlandi, í sprungurein sem er vestan við þá rein sem Krafla liggur í. Þeistareykir eru austantil í gamalli megineldstöð sem nú er að mestu leyti grafin í yngri myndanir. Jarðhiti er þó talsverður á svæðinu og var þar numinn brennisteinn fram á sl. öld. Fært er á svæðið á fjórhjóladrifnum bílum og auðvelt er að fara um það fótgangandi. Árin 1981-83 voru gerðar umfangsmiklar rannsóknir á þessu svæði á vegum Orkustofnunar og niðurstöðum skilað í skýrslu (Gestur Gíslason o.fl. 1984). Rannsóknir voru gerðar á jarðfræði, jarðhita, efnafræði, jarðeðlisfræði og staðsett rannsóknarhola, sem að síðu hefur ekki verið boruð enn.

Í fyrrnefndri skýrslu eru nokkur kort af jarðhita á yfirborði og styrk ýmiska efna í gufuaugum. Til að fylgjast með mögulegum breytingum á svæðinu var farið aftur á Þeistareyki í stuttar ferðir í apríl 1991 og haustið 1992, jarðhiti kannaður og efnasýni tekin af völdum stöðum.

Nokkrar breytingar hafa orðið á dreifingu jarðhita á yfirborði þau 10 ár sem liðu milli rannsókna. Einkum er sláandi að gufuauga nyrst á svæðinu hefur horfið alveg, þó að hiti sé enn í jörðu. Ketilfjall er á austurjaðri svæðisins og hefur jarðhiti ekki breyst þar, en á sléttlendi vestan fjallsins hafa gufuaugu horfið, þar af nokkur sem höfðu verið notuð til sýnatöku 1981-3. Jarðhiti um miðbik svæðisins virðist hafa dvínað dálítið, en það er vart merkjanlegt. Í Tjarnarási hefur jarðhiti á yfirborði dottið mikil niður norðantil en syðst er lítil breyting. Í Bæjarfjalli og á Þeistareykjagrundunum er lítil breyting merkjanleg, né heldur sést mikil breyting syðst á svæðinu. Hitur eru framhald af Tjarnarási og þar hafa kulnað nokkur gufuaugu, m.a. augu sem notuð voru til sýnatöku 1981-3. Í Þeistareykjahrauni (Stórahversmó) er hiti og fannst þar vottur af brennisteini 1981-3 en engin merki um hann fundust haustið 1992.

Breytingar hafa orðið nokkrar á svæðinu á sl. 10 árum, einkum hafa hlutar þess kólnað að því marki að gufu leggur ekki lengur upp og virðist norðurhlutinn einkum hafa dofnað. Við rannsóknir 1992 minntust heimavanar rjúpnaskyttr (sem annars óðu grenjandi um svæðið) á að árið 1959 hefðu orðið talsverðar breytingar á yfirborðshita, en fyrir þann tíma hafi líttill hiti verið milli Bóndhóls og Ketilfjalls, Ketillinn sé gamall og aðrar breytingar töldu þeir óverulegar frá því þeir mundu eftir sér. Þess má geta að jarðskjálftar voru árið 1958 á Húsavík, með upptök á Skjálfanda, stærð allt að M:4.8 (Eystrinn Tryggvason 1979).

Árin 1981-3 voru settir hælar við þau gufuaugu sem sýni voru tekin úr. Slíkar merkingar eru ómetanlegar, raunar nauðsynlegar, þegar fylgjast á með svæðum um lengri tíma. Minni er brigðult, breytingar stundum örar og ekki sjá allir landið sömu augum. Ef fylgjast á með jarðhitasvæðum í framtíðinni er því nauðsynlegt að setja niður merkingar (hæla) við þá staði sem rannsaka skal oftar en einu sinni.

Darling og Ármansson (1989) könnuðu samsætuhlutföll í gufu og yfirborðsvatni og komust að þeirri niðurstöðu að harla ólíklegt væri að jarðhitavökvinna gæti átt uppruna í úrkому í grennd heldur hlyti hann að vera runninn langt sunnan að, e.t.v. frá Vatnajökli. Svipuð niðurstaða fékkst fyrir Námafjallssvæðið. Ennfremur bentu niðurstöður þeirra til þess að gufa á Tjarnarássvæði þéttist við 130 - 200°C á leið sinni og næðu 15 - 25% af því, sem myndaðist, til yfirborðs. Frekari athuganir á gasi og samsætum benda til þess að innrennsli á svæðið sé frá suðaustri.

Athuganir á efnahita sýndu greinilega kólnun í gufuauga á Tjarnarássvæði en nokkra hitnun í augum á Þeistareykjagrundum og í Ketilfjalli frá árinu 1981 - 1991. Athugun á tveimur þessara augna bentu ekki til marktækra breytinga milli 1991 og 1992. Ekki urðu marktækar breytingar á samsætuhlut-

föllum á þessu tímabili.

Lauslegt mat á vinnslugetu svæðisins gefur til kynna, að 100 - 150 kg/s af háþrystigufu megi fá þaðan. Leifsson (1992) hefur fjallað um nýtingarmöguleika þess einkum með tilliti til byggingar jarðgufuknúinnar súralsverksmiðju á Húsavík. Til þess þarf að byggja 32 km langa gufulögn. Komst hann að raun um að flutningur 500 tonna af 180 -190°C heitri gufu á klukkustund um sípu, sem væri 1400 - 1500 mm í þvermál, ylli 7 - 13°C hitafalli og slík gufa myndi kosta 3 - 4 USD komin í hús. Er það mjög hagstætt gufuverð.

Náttúrulegt gufustreymi frá Peistareykjum hefur verið metið með samanburði við gufustreymi í Kröflu og reynst um 6 kg/s. Árin 1981 og 1982 var meðalstyrkur CO<sub>2</sub> í gufu frá gufuauzugum á svæðinu um 6000 mg/kg og H<sub>2</sub>S um 1600 mg/kg. Heildarstreymi þessara gasa frá svæðinu er því um 1200 tonn á ári af CO<sub>2</sub> og 300 tonn á ári af H<sub>2</sub>S. Um leið var gert svipað mat á gufu frá öllum háhitasvæðum landsins og er náttúrulegt gufustreymi frá Peistareykjum um 2% af heildargufustreymini, CO<sub>2</sub> streymi um 1% og H<sub>2</sub>S streymi um 5% af heildarstreymi af landinu samkvæmt þessu mati. Sýnir það að gufa frá Peistareykjum er tiltölulega H<sub>2</sub>S-rík og líkist að því leyti aftur gufu frá Námafjalli.

## HEIMILDIR

Darling, W.G. and Ármannsson, H. 1989: Stable isotopic aspects of fluid flow in the Krafla, Námafjall and Theistareykir geothermal systems of northeast Iceland. Chem. Geol. 76, 197 - 213.

Eysteinn Tryggvason 1979: Jarðskjálftar á Íslandi 1950-1959. Raunvísindastofnun Háskólags, RH-79-06, 90 s.

Gestur Gíslason, Gunnar V. Johnsen, Halldór Ármannsson, Helgi Torfason og Knútur Árnason 1984: Peistareykir. Yfirborðsrannsóknir á háhitasvæðinu. Orkustofnun OS-84089/JHD-16, 134 s (auk korta).

Leifsson, Á. 1992: Industrial use of the high-temperature geothermal field at Theistareykir, north Iceland. Geothermics 21.

## SAGA SJÁVARSTÖÐUBREYTINGA OG JÖKULHÖRFUNAR Á SÍÐJÖKULTÍMA VIÐ ÞISTILFJÖRD OG BAKKAFLÓA

Hreggviður Norðahl, Raunvísindastofnun Háskólangs, Dunhaga 3, 107 Reykjavík

Saga sjávarstöðubreytinga og jökulhörfunar við Þistilfjörð og Bakkaflóa á Norðausturlandi grundvallast á niðurstöðum rannsókna og kortlagningar á fornum fjörumörkum, jökulárseti og jökgulgörðum á strandsvæðum við innanverða firðina. Lega og stefna jökulráka og útbreiðsla jökulruðnings sýna svo ekki verður um villst, að við hámark síðasta jökulskeiðs var allt svæðið hulið jökli, ef undan eru skilin hæstu fjöll næst núverandi strönd, sem líklega stóðu upp úr nær samfelldri jökulbreiðunni. Í kjölfar hlýnandi loftslags á svæðinu umhverfis Norður-Atlantshaf rýmaði íslenski meginjökullinn og á Norðausturlandi hörfuðu jöklar inn yfir núverandi strönd landsins í átt til hinna hálandari svæða, vestan og suðvestan við Þistilfjörð og Bakkaflóa. Á sama tíma fylgdi sjórinn eftir hörfandi brún jöklanna og kaffærði jafnóðum láglendari hluta svæðisins. Efstu varðveittu fjörumörk eru nú í um 65 m h.y.s. við Viðarvík á vesturströnd Þistilfjarðar og í um 50 m h.y.s. á Digranesi á austurströnd Bakkaflóa, en algengust eru fjörumörk í um 30 m h.y.s. Útbreiðsla fornra fjörumarka er talin hafa takmarkast af stærð jöklar, en elstu fjörumörk eru alla jafna varðveitt í mestri hæð og á þeim svæðum sem ætla má að fyrst hafi orðið íslaus í lok síðasta jökulskeiðs. Í jarðsögu síðjökultíma á Norðausturlandi, sem hér er skipt í fimm skeið eða tímabil, ræðst afstæð aldursröðun jarðmyndana og atburða af innbyrðis afstöðu láðs og lagar.

Snemma á síðjökultíma, á svonefndu *Viðarvíkurskeiði*, stækkuðu jöklar á Norðausturlandi og náðu tímabundið út fyrir núverandi strönd landsins í botni Þistilfjarðar og Bakkaflóa, en í Viðarvík er allstórr jökulgarður til marks um stærð jökulsins. Samfara þessari framrás jöklanna breyttist afstaða láðs og lagar og efstu fjörumörk mynduðust í um 65 m h.y.s. rétt utan við jökulgarðinn í Viðarvík. Þessu framrásarskeiði lauk þegar jöklar hörfuðu á ný og sjávarborð lækkaði að öllum líkendum um allt að 20 m. Það er óþekkt hve umfangsmikil hörfun jöklanna varð á Viðarvíkurskeiði, en í byrjun næsta skeiðs, *Vallaskeiðs*, gekk sjór á land á ný og fjörumörk mynduðust í um 50 m h.y.s. á mjög takmörkuðu svæði við Viðarvík og á Digranesi við austanverðan Bakkaflóa. Þetta áflæði sjávar er talið endurspeglar túmabundna framrás jöklar, sem að þessu sinni náðu örskammt út fyrir núverandi strönd. Í upphafi *Miðfjarðarskeiðs* þynntust jöklarnir og sjávarborð fíll jafnt og þétt frá 50 m fjörumörkunum allt niður í 25 m h.y.s. Við enn frekari rýmun jöklanna færðist jökulbrúnin að lokum á þurr land og alllangt inn fyrir núverandi strönd í botni Þistilfjarðar og Bakkaflóa. Í kjölfar endurnýjaðs áflæðis sjávar og framrásar jöklar á *Garðaskeiði* mynduðust fjörumörk í um 30 m h.y.s, en þau má rekja nær samfellt um allt svæðið fyrir botni Þistilfjarðar og Bakkaflóa. Hámark framrásarinnar markast af jökgulgörðum og jökulruðningshólum upp af Þistilfirði og inn af Miðfirði við Bakkaflóa. Á sama tíma gengu jöklar út úr Krossavík við Þistilfjörð og Gunnólfsvík við Bakkaflóa en í þessum víkum mynduðust engin fjörumörk í 30 m h.y.s. Á Garðaskeiði var því nokkurra kílómetra breitt jökulvana svæði á milli jökulbrúnarinnar og þáverandi sjávarmáls. *Gunnólfsvíkurskeið*, lokaskeiðið í sögu sjávarstöðubreytinga og jökulhörfunar við Þistilfjörð og Bakkaflóa, hefur að geyma lokahörfun jöklar, yngsta afflæði sjávar og myndun fjörumarka frá um 25 m h.y.s. og niður undir núverandi sjávarmál. Á sama tíma mynduðust víðáttumiklir malarhjallar þegar ár og lækir grófu farvegi sína í eldri setlagamyndanir.

Við tímasetningu atburða þeirrar jarðsögu sem að ofan greinir, er litið til sambærilegrar atburðarásar og hlutstæðra aldursákværðana á nálægum svæðum. Elstu aldursákvörðuð ummerki jökulhörfunar á síðjökultíma á Norðausturlandi eru um 12.700 ára gamlar fornskeljar á vesturströnd Melrakkasléttu, en lega skeljanna bendir til þess að þá hafi sjávarborð verið í um 60 m h.y.s. Með tilliti til landfræðilegra aðstæðna við Þistilfjörð er talið að Viðarvíkurskeið hafi hafist um svipað leiti eða nokkru síðar. Niðurstöður rannsókna á aldri lausra jarðлага í Vopnafirði benda til þess að yngstu fjörumörk þar hafi myndast fyrir um 9.700 árum, og verulegar líkur eru á að framrás jöklar á Garðaskeiði og myndun fjörumarka í um 30 m h.y.s. við Þistilfjörð og Bakkaflóa hafi einnig orðið fyrir um 9.700 árum. Af þessu má ætla að framrás jöklar á *Vallaskeiði* sé sambærileg við kólnun loftslags á yngra Dryas sem náiði hámarki fyrir um 10.600 árum og lauk fyrir um 10.200 árum þegar sjávarborð stóð í 10–20 m h.y.s. á vesturströnd Melrakkasléttu.

## FRÓÐLEIKSMOLAR UM GAMLA GJÓSKU Í BÚÐARHÁLSI

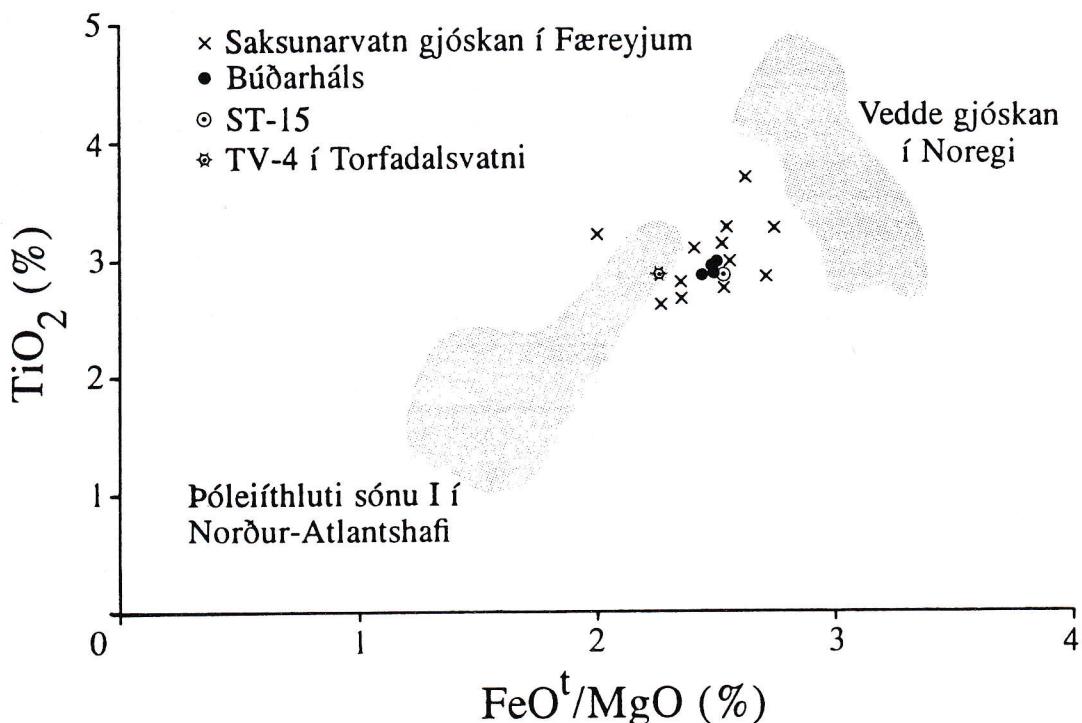
Ingibjörg Kaldal, Orkustofnun, Grensásvegi 9, 109 Reykjavík.

Í sunnanverðum Búðarhálsi, allt frá bökkum Köldukvíslar upp á háhálsinn eru víða hjallar og skaflar af mjög gjóskuríkum svörtum sandi. Sums staðar er gjóskan nær hrein, en annars staðar er hún blönduð bergbrotum af sand og malarstærð. Víða er tölувert af kristöllum í gjóskunni, einkum plagfóklasi og ólivíni.

Í Búðarhálsi gegnt Langöldu vestanverðri er jökulgarður úr stórgryti. Garðinn má rekja um 10 km leið inn eftir hálsinum. Á Hálsamótum eru efnismiklir hjallar, sem ná mest upp í um 580 m hæð y.s. og eru myndaðir í smálóni milli jökuljaðarins og hlíðarinnar á sama tíma og jökullinn lá við hálsinn. Hjallarnir á Hálsamótum eru úr nær hreinum svörtum gjóskusandi. Í suðurhlíð Búðarháls innan við jökulgarðinn og efstu hjalla, eru víða miklir skaflar af gjósku, sem a.m.k. sumir eru jaðarhjallar. Augljóst er að þegar jökullinn lá við garðinn á Búðarhálsi, eða hugsanlega litlu fyrir, hefur orðið myndarlegt eldgos einhvers staðar undir jöklínunum.

Víða á svæðinu milli Þórisvatns og Þjórsár er þessa svörtu gjósku að finna. Ýmist er hún ofan á jökulruðningi eða í linsum í efstu lögum hans, en sjaldnast sjást þess þó merki á yfirborði. Sem dæmi má nefna jökulruðningsmelana í Fossöldu austanverðri. Þar er mikið af grettistökum á yfirborði með jökulnúinni, skammt fluttri bólstramöl á milli. Tækifæri gafst til að grafa með grófu í melana og kom þá í ljós, að rúmlega 1 m þykkt lag er af gjóskunni ofan á eiginlegum jökulruðningi. Annað dæmi eru jökulruðningsmelarnir meðfram Kvíslaveituveginum vestan Sauðafells. Þar eru víða linsur af gjóskunni í og ofan á ruðningnum, sem veldur því að hann er varla nothæfur til vegagerðar og var vegagerðarmönnum til mikillar skapraunar. Víða á sömu slóðum eru þykk lög af gjóskunni þar sem hún hefur skolast til og safnast í lægðir. Dæmi um slíkt er t.d. víða á Launöldum.

Sumarið 1992 voru 4 sýni af gjóskunni efnagreind í Kanada. Þegar sýnin voru undirbúin fyrir mölun, voru eingöngu valin vikurkom, til þess að niðurstöður efnagreininganna gæfu sem öruggasta mynd af efnasamsetningunni. Vonast var til þess að fá svör við nokkrum spurningum, eins og t.d. hvort um sömu gjóskuna væri alls staðar að ræða, frá hvaða goskerfi hún væri og hvort hægt væri að tengja hana einhverjum hinna gömlu gjóskulaga sem nú eru vinsæl rannsókaefni og þar með e.t.v. fá óbeina aldursgreininu á jökulhörfuninni á svæðinu.



Efnagreiningarnar benda eindregið til þess að alls staðar sé um sömu gjósku að ræða. Ber hún greinileg einkenni Grímsvatna goskerfisins. Einig ber hún sömu efnafræðilegu einkenni og gjósan í Saksunarvatni í Færeyjum. Aldur hennar er 9000 -9100 BP og er hún talin vera ættuð frá Íslandi.

Í borholunni ST-15, sem boruð var árið 1978 milli Búðarháls og Fitjaskóga, er dökkt gjóskulag á um 60-70 m dýpi undir Tungnaárhrauninu THi. Sýni úr gjóskunni voru efnagreind á sínum tíma, og það skemmtilega kemur nú í ljós, að allt bendir til að um sömu gjósku sé að ræða og er í Búðarhálsi.

Þar sem íslenskur uppruni Saksunarvatnsgjóskunnar í Færeyjum þykir augljós, hafa íslenskir jarðfræðingar haft augun opin fyrir gömlum dökkum gjóskulögum á undanförnum árum.

Í Torfadalsvatni á Skaga er 22 cm þykkt svart gjóskulag á rúmlega 10 m dýpi í botnsetinu. Aldursgreining ofan á luginu gaf aldurinn 8540+-230 BP en undir því 8860+-250 BP. Af því draga höfundar greinarinnar þá ályktun að lagið sé um 8900 ára.

Víða á Norðurlandi má finna þykkt dökkt gjóskulag neðst í jarðvegssniðum. Ber það glögg einkenni Grímsvatnagoskerfisins. Aldursgreining undir því gaf aldurinn um 8500 ár BP og er það talið samsvara Saksunarvatnsgjóskunni í Færeyjum.

Í Hælavík á Hornströndum hefur líka fundist dökkt gjóskulag sem talið er vera um 9000 ára gamalt.

Vitað er að eldvirkni hefur verið mikil í Grímsvatnakerfinu á nútíma. Því getur verið varhugavert að slá því föstu að öll fyrnefnd dæmi séu frá einu og sama gosinu þó þau beri öll einkenni Grímsvatnakerfisins. Þó ber þess að geta, að meðalþykkt Saksunarvatnsgjóskunnar á landi í Færeyjum er 5-10 mm sem bendir til stórgoss á Íslandi. Hinrar miklu þykktir gjóskunnar á hálendinu, og á fyrnerefndum stöðum á Norðurlandi þar sem gjóskulagið sker sig verulega frá öðrum gjóskulögum frá síðjökultíma, gera það líklega að um sama gosið sé að ræða.

Aldursgreiningar á gjóskulögunum spanna tímann frá 8500 - 9100 ár og eru í raun allt of fáar til að hægt sé að slá nokkru föstu um aldurinn, eins og reynslan ætti að vera farin að kenna okkur. Rannsóknir á gjóskulögum frá síðjökultímanum eru á byrjunartígi og án efa eiga rannsóknir komandi ára eftir að færa okkur nær sannleikanum.

#### HEIMILDIR

Hjort, C., Ingólfsson, Ó. & Norðdal, H. 1985: Late Quaternary geology and glacial history of Hornstrandir, northwest Iceland: a reconnaissance study. Jökull 35, 9-29.

Jakobsson, S.P. 1979: Petrology of recent basalt of the eastern volcanic zone, Iceland. Acta Naturalia Islandica 26, 103.

Larsen, Guðrún: Gjóskutímatal Jökuldals og nágrennis. Í: Eldur er í norðri. Afmælisrit helgað Sigurði Pórarinssyni sjötugum 8. janúar 1982, s. 51-65. Sögufélagið, Reykjavík 1982.

Mangerud, J., Furnes, H. & Jóhansen, J. 1986: A 9000-Year-Old Ash Bed on the Faroe Islands. Quaternary Research 26, 262-265.

Péturson H.G., & Larsen, G. 1992: An Early Holocene basaltic Tephra Bed in North Iceland, a possible equivalent to the Saksunarvatn Ash Bed. In: 20. Nordiska Geologiska Vinternötet, Reykjavík 1992. Abstracts.

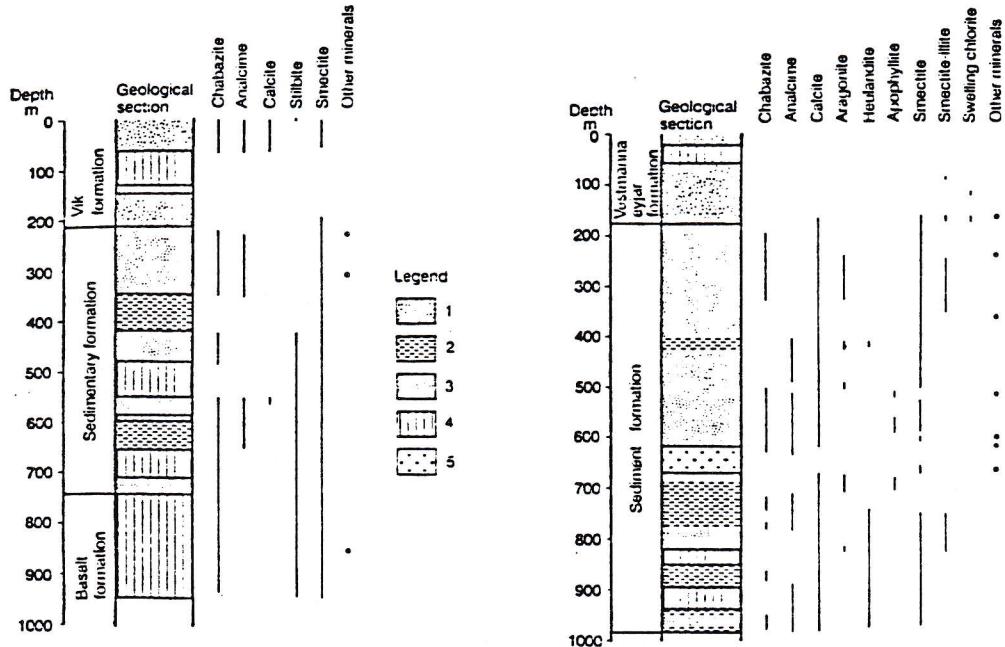
Vilmundardóttir, E., Pálsson S. & Guðmundsson, Á. 1979: Búðarhálsvirjkun. Borhola ST-15: Setgreining. Orkustofnun, Raforkudeild. OS79025/ROD08, Rvk. júní 1979.

## UMMYNDUN SETS OG TUFFS

Jens Tómasson, Orkustofnun, Grensásvegi 9, Reykjavík

Það eru nokkuð hundruð metra þykk set á og út af suðurströnd Íslands. Borað hefur verið í gegnum þessi set á tveimur stöðum. Það er í Vík í Mýrdal og í Vestmannaeyjum (myndir 1 og 2).

Þessum setum má skipta í fernt eftir grófleika og gerð setanna: (1) fínkornað set, kornastæðin <0.07 mm með mismiklu magni af basaltdreifirkornum, 0-10%, grunnborið set. Basaltdreifirkornin eru >1 mm og ávöl; (2) vel sorteraður sandsteinn, kornastæðin 0.05-0.1 mm. Dreifirkornin meira og minna ávöl. Komborið set; (3) Túffrikt set, þar sem dreifirkornastærðin er stærri, en brotkornastærðin, sennilega kornborið set; (4) Konglomerat þar sem basalt dreifirkom eru helmingur eða meira af efni setsins. Bindiefnið er eins og grunnurinn í (1). Stærð basaltdreifirkornanna er frá brot kornastærðinni upp í 10 cm í þvermál í þeim eina kjarna sem er til frá þessu seti. Basalt dreifirkornin í kjarnanum voru ávöl.



Mynd 1. Jarðög og dreifing ummyndunarsteinda í Víkur-holunni.

Skýringar: 1) túff 2) gróf kornaset og/eða túffrikt set 3) fínkornaset 4) basalt 5) inn-skot

Aðrar steindir: aragonit (efst), natrium stilbit (neðst).

Mynd 2. Jarðög og dreifing ummyndunarsteinda í Vestmannaeyjar holunni niður á 1000 metra dýpi. Skýringamar eru þær sömu og á mynd 1, nema aðrar steindir eru fillipsit, thaumasít, kvars, tridymit, apofyllit, stilbit, gyrolit, natrolit, mesolít og mordinít.

Efnið í setunum (1), (2) og (3) er aðallega misjafnlega ummyndað sidromelan og takkylitiskt gler. Í (1) finnst misjafnlega mikið af plagioklas- og pyroxenbrotum frá 0-10%. Í (2) er misjafnlega mikið magn af plagioklasi, pyroxen og basalt dreifikorn <10% samanlagt. Setin í Vík eru land- eða strand set, en setin í Vestmannaeyjum eru að hluta sjávarset, með skeldýrum.

Bindiefnið í setinu er misjafnt og fer eftir gerð setanna. Í (1) er bindiefnið palagónitsering (vötnun) og byrjun á leirmyndun. Í (2) er bindiefnið ópall, zeolítar og kalsít.

Ummundunarsteindum er skipt í þrjú ummyndunarbelti: Kabasít-analsím heulandít-belti (myndir 1 og 2). Þessi beltaskipting er mjög svipuð og finnst á lághitasvæðum á Íslandi, nema alansím beltið er mun skýrar og nær yfir stærra bil í holunum en almennt er á lághitasvæðunum. Ein af skýringum á þessu gæti verið sú að vatnið í setunum er blandið sjó og inniheldur því miklu meira af natrium og klóríði en íslenskt jarðhitavatn.

Meiri breytileiki er í ummyndunarsteindum í Vestmannaeyjar holunni en í Víkur holunni. Það eru tvær líklegar skýringar á þessu, í fyrsta lagi er sethraðin minni og meira af lífrænu efni í Vestmannaeyjum en Vík, t.d. aragonit í Vestmannaeyjum frá skeldýrum. Í öðru lagi eru stöku steindir í Vestmannaeyjaholunni sem eru myndaðar við mun hærri hita en nú mælist í holunum, t.d. kvars og tridymít. Líklegasta skýring á myndun þessara steinda að skammlíf jarðhitavirkni (t.d. sambandi við eldsumbrot) sem hafi náð til lítils hluta bergsins e.t.v. í gegnum sprungur, meðan meginhluti bergsins varð ekki fyrir neinni ummyndun.

Þetta efni hefur verið áður kynnt á WRI-6 ráðstefnu í Englandi (Jens Tómasson, 1989). Einnig hefur verið skrifað um vatnið o.fl. í setunum (Jens Tómasson 1967).

#### Heimildir:

Jens Tómasson, 1967: On the origin of sedimentary water beneath Vestmanna Islands. *Jökull*, vol. 17, 300-311.

Jens Tómasson, 1989: The alteration and diagenesis of tuffs and tuffaceous sediments. Proceedings of the 6th International Symposium on Water-Rock Interaction, Malvern, England. 3.-8.August 1989.

## SAGA HUGMYNDA UM ALDUR ÍSLANDS, 1859-1968

LEÓ KRISTJÁNSSON, Raunvísindastofnun Háskólangs, Dunhaga 5, 107 Reykjavík

Fátt hefur enn verið ritað um það hvernig hugmyndir og skoðanir um jarðfræði Íslands hafi þróast á síðustu öldum. Sum meginatriði varðandi byggingu eða sögu landsins hafa verið mikið rannsókuð og mjög umrædd, á meðan önnur ekki ómerkari hafa legið í láginni. Stundum virðast rangar eða ófullkomnar hugmyndir hafa haldið velli lengur en þær áttu skilið.

Eitt grundvallaratriði varðandi allan skilning á jarðfræði Íslands, er aldur landsins og afstaða hans til aldurs nálægra haf- og landsvæða. Með hugtakinu "aldur Íslands" er þá oftast átt við aldur elstu jarðmyndana sem nú eru ofansjávar. Telja má að fyrsti vísindamaðurinn sem setur fram vel rökstudda skoðun á því máli, sé svissneski klerkurinn Oswald Heer í 3. bindi ritsins Flora Tertiaria Helvetiae, 1859. Byggðist hún á samanburði plöntusteingervinga, einkum frá Vestfjörðum, við steingervinga í Evrópu. Kvað Heer Ísland vera frá míósen tíma. Þetta álit sitt ítrekaði hann í fyrsta bindi hins mikla ritverks síns Flora Fossilis Arctica 1868, sem og við önnur tækifæri.

Svo óheppilega vildi til, að Heer taldi einnig steingervinga frá suður- og norður- Bretlandi, austur- og vestur- Grænlandi, Svalbarða og viðar á heimskautssvæðinu, alla vera frá míósen þótt þeir væru í raun frá eósen eða paleósen tíma. Réttur aldur þessara svæða kom fyrst í ljós upp úr 1880 við merkar rannsóknir J. Starkie Gardner á suðurströnd Englands, og á árunum fram til 1920 sannfærðust menn smátt og smátt um að Heer hafi farið villur vegar um þau öll.

Ísland dróst þarna með og var því talið frá eósentíma með meiri og meiri vissu; var þá einnig bent á hve margt í jarð- og bergfræði landsins líktist bresku og grænlensku blágrýtissvæðunum. Ekki voru þó gerðar frekari rannsóknir á plöntusteingervingum héðan í áratugi, og mönnum gleymdist sú staðreynd að Gardner hafði 1885 að betur athuguðu máli samsinnt skoðun Heers um aldur íslenskra steingervinga. Plöntuleifar hafa þó aldrei verið mjög nákvæm heimild um aldur jarðlaga, og sithvað varð til að rugla umfjöllun um þessi mál, ekki síst samanburður við steingervinga vestan hafs.

Hinar röngu hugmyndir um aldur landsins fengu öflugan stuðning á árunum 1946-60, þar sem voru rannsóknir Jóhannesar Áskelssonar og Þjóðverja á steingerðum frjókornum og gróum frá Vestfjörðum og viðar. Ísland má því segja að hafi verið að þessu leyti í álagaham, þegar umræða um landreksmál tók kipp á árunum 1963-67, og getur hann hafa átt einhvern þátt í að tefja fyrir almennri viðurkenningu á landrekshugmyndum hér sem erlendis.

Frá 1966 má merkja efasemdir jarðvísindamanna um að Ísland væri af eósen aldri. Eftir að niðurstöður K-Ar aldursmælinga á sýnum úr hraunlögum frá Breiðadalsheiði og fleiri stöðum birtust 1968, hefur verið ljóst að hið upphaflega álit Heers um aldur steingervinga héðan var nærrí lagi.

## GJÓSKULÖG I INNANVERÐUM EYJAFJARÐARDAL

Magnús Á. Sigurgeirsson, Sólbraut 14, 170 Seltjarnarnes.

I jarðvegssniði við eyðibýlið Tjarnir í Eyjafjarðardal, um 50 km suður af Akureyri, eru varðveisit allfelst gjóskulög frá sögulegum tíma sem finnast í Eyjafjarðardal. Greint er frá uppruna laganna í ljósi efnagreininga og ályktanir dregnar um gosár. I Eyjafjarðardal má einnig finna snið sem henta vel til athugana á forsögulegum gjóskulögum, s.s. í Leyningshólum og Hólahólum, sem eru fornar framhlaupsurðir. Lausleg athugun á hólunum bendir til að með ýtarlegri gjóskulagarannsókn megi fara nærrí um aldur þeirra og myndunarsögu.

Efsta gjóskulagið i Tjarnarsniðinu er svonefnt "a" lag sem samkvæmt útbreiðslukortum er þykkað gjóskulaga frá sögulegum tíma á norður og norðausturlandi (Sigurður Þórarinsson 1977, Jón Benjaminsson 1982). Sigurður Þórarinsson (1958) hefur heimfært þetta gjóskulag til goss í Kverkfjöllum eða Grímsvötnum árið 1477. Guðrún Larsen (1982) hefur sýnt fram á með efnagreiningum á gjóskulaginu "a" að það hafi einkenni Veiðivatnakerfisins. Efnagreiningar úr Tjarnarsniðinu benda til að gjóskukorn i laginu séu með tvenns konar samsetningu, annars vegar einkenni Veiðivatnakerfis og hins vegar Kverkfjalla/Grímsvatnakerfis, sem gæti þýtt að um sé að ræða tvö gjóskulög mynduð með stuttu millibili eða því sem næst samtimis. Þess má geta að Mörk (1984) hefur bent á að syðst á Veiðivatnakerfinu gæti kvíkulöndunar sem skýrt gæti mismunandi samsetningu gjóska. Ekki verður neitt fullyrt um þetta hér þar sem tiltæk gögn eru mjög takmörkuð.

Næsta lag neðan "a" lagsins hefur Kverkfjalla/Grímsvatnasamsetningu og er orðið til á fyrra hluta 14. aldar samkvæmt útreikningi á aldri með tilliti til jarðvegsþykknunar. Svo er að sjá sem þessu lagi hafi ekki verið lýst á norðurlandi áður. Sunnan jökla hefur fundist dökkt lag með svipaða samsetningu á milli K-1262 og Ö-1362 sem gæti samsvarað þessu lagi (Guðrún Larsen, munnl. uppl.). Aldur lagsins bendir til að um geti verið að ræða gjóskulag sem myndaðist í fyrsta Grímsvatnagosí sem tilgreint er í rituðum heimildum, árið 1332 (Sigurður Þórarinsson 1974). Næstu premur gjóskulögum, K-1262, H-1104 og landnámslaginu (LNL, Vö-900), hefur áður verið lýst á norður- og norðausturlandi (Guðrún Larsen 1982, Sigurður Þórarinsson 1977, Arni Einarsson o.fl. 1988).

I Eyjafjarðardal og nærliggjandi svæðum fylgja landnámslaginu ávallt 3-4 gjóskulög; mynda þessi lög til samans auðþekkjanlega syrpú í jarðvegi, svokallaða landnámssyrpu (LNS). Innbyrðis afstaða laganna bendir til að LNS hefur myndast á tiltölulega skömmum tíma, sennilega tveimur til þremur óldum. Samkvæmt efnagreiningum er LNL og næsta lag neðan þess ættuð af Veiðivatnasvæðinu en andstætt við LNL, sem einkennist af miklu magni plagióklasbrota, inniheldur neðra lagið mjög litið af steindabrotum. Neðan þessara laga er dökkgrátt gjóskulag, þykkað og grófast laga í LNS, sem hefur Kverkfjalla/Grímsvatnasamsetningu. Athygli vekur að i laginu ofanverðu er ljós þunn rönd (1-2 mm) úr surri gjóska, með 72 % kísilsýru ( $\text{SiO}_2$ ). Efnasamsetning dökku gjóskunnar ofan og neðan þeirrar ljósu er sú sama sem bendir sterkelega til að allt lagið hafi myndast í einu gosi. Virðist sem um sé að ræða gos þar sem sur gjóska kom upp í skamma hríð á milli þess sem basisk gjóska myndaðist. Næstneðsta lagið í LNS hefur Kötlusamsetningu en það neðsta, sem er mjög óverulegt, Veiðivatnasamsetningu.

Auk ofangreindra gjóskulaga í Tjarnarsniðinu hefur greinst í Eyjafjarðardal eitt gjóskulag yngra en "a" lagið, sennilega frá 18. öld. Liklega er um að ræða gjóskulag sem myndaðist samfara gosi í Vatnajökli árið 1717, en það hefur verið greint í jarðvegi á norður og norðausturlandi (Sigurður Þórarinsson 1977, Guðrún Larsen 1982, Arni Einarsson o.fl. 1988).

Neðan LNS í Tjarnarsniðinu koma þrjú ljós gjóskulög, efst er hið svokallaða "G" lag um 1800 ára gamalt, næst kemur H3 sem er um 2900 ára gamalt og neðst er H4, með dökkan efri hluta, sem er um 4500 ára gamalt. Gjóskulagið H5, um 7000 ára gamalt, er ekki varðveitt í Tjarnarsniðinu en greinist þó viða á svæðinu.

I jarðvegstorfum ofaná Leyningshólaframhlaupinu eru ljósu Heklulögir þrjú, H3, H4 og H5, öll til staðar ásamt öðrum eldri sem bendir til að aldur framhlaupsins sé hár. Svonefndir Hólahólar, sem almennt eru taldir hluti af Leyningshólaframhlaupinu, liggja yfir Eyjafjarðardal þveran og upp í mótlæga hlið. I dalbotninum þar sem Eyjafjarðará hefur rofið sig í gegnum Hólahólanu er góð opna í jarðveg með gjóskulogum undir hólunum. Gjóskulögir eru í mjög leirkennu seti ofaná jökulurð og er varðveisla þeirra sérlega góð. Jarðvegur í sniðinu verður grófari upp á við og í efri hluta þess kemur inn framhlaupsurð sem samsvarar Hólahólunum. Gjóskulögir undir Hólahólaurðinni finnast öll í sniðum ofaná Leyningshólaaurðinni sem bendir til óliks aldurs þessara framhlaupsurða. Neðsta gjóskulagið í þessum sniðum hefur Grímsvatna/Kverkfjallasamsetningu og samsvarar sennilega um 9000 ára gömlu gjóskulagi sem greinst hefur viða um land undanfarið (Björck o.fl. 1992). Aldur Leyningshólanna gæti verið nokkru hærri en 9000 ár en aldur Hólahólanna um 6-7000 ár. Þess má geta að aldursgreining á birkilurkum neðst úr Hólahólaurðinni, í farvegi Eyjafjarðarár, gefur um 6000 ár (Olafur Jónsson 1976).

## HEIMILDIR

- Arni Einarsson, Hafliði Hafliðason og Hlynur Óskarsson 1988: Mývatn: Saga lífríkis og gjóskutímatal í Syðriflóa. Rannsóknarstöð við Mývatn, skýrsla 4, 96 bls.
- Björck, S., Ingólfsson O., Haflidason H., Hallsdóttir M. & Anderson N.J. 1992: Lake Torfadalsvatn: A high resolution record of the North Atlantic ash zone I and the last glacial-interglacial environmental changes in Iceland. Boreas 21, bls. 15-22.
- Guðrún Larsen 1982: Gjóskulagatímatal Jökuldals og nágrennis. Eldur er í norðri. Sögufélagið, Reykjavík, bls. 51-65.
- Jón Benjaminsson 1982: Gjóskulagið "a". Eldur er í norðri. Sögufélagið, Reykjavík, bls. 181-185.
- Mörk, M.B.E. 1982: Magma mixing in the post-glacial Veidivötn fissure eruption, South-East Iceland. Nordic Volc. Inst. 8205, 53 bls.
- Olafur Jónsson 1976: Berghlaup. Ræktunarfélag Norðurlands, Akureyri, 624 bls.
- Sigurður Þórarinsson 1958: The Öræfajökull eruption of 1362. Acta Nat. Isl. 2, 99 bls.
- Sigurður Þórarinsson 1974: Vötnin strið. Bókaútgáfa Menningarsjóðs, Reykjavík, 254 bls.
- Sigurður Þórarinsson 1977: Gjóskulög og gamlar rüstir. Árbók Hins Íslenska Fornleifafélags, bls. 5-38.

## ÁHRIF ÍSALDARROFS Á HITASTIGUL

Ólafur G. Flóvenz og Knútur Árnason, Orkustofnun, Grensásvegi 9, Reykjavík

Á undanförnum árum hafa mælingar á hitastigli í grunnum borholum verið notaðar til að leita að heitu vatni og meta dýpið á hlutbráðna lagið undir landinu. Í ljós hefur komið að hitastigull breytist kerfisbundið með fjarlægð frá gosbeltunum og hefur það verið túnkað sem breytingar í dýpi niður á hlutbráðna lagið. Frávik frá þessum kerfisbundum hitastigulgildum hafa oftast verið túnkað sem merki um jarðhitakerfi eða sem óreglur í dýpi á yfirborð hlutbráðna lagsins.

Ýmislegt getur haft áhrif á hitastigul og gert það að verkum að varhugavert getur verið að fram lengja hann línulega að  $1200^{\circ}\text{C}$  hita til að finna dýpið á hlutbráðna lagið. Þarna er fyrst og fremst um að ræða hringrás vatns, breytingar í varmaleiðnistuðli með dýpi, varmaframleiðsla í jarðskorpunni við geislavirkni og efnabreytingar og áhrif landslags (Ólafur G. Flóvenz og Kristján Sæmundsson, 1993). Hins vegar hefur lítið verið hugað að áhrifum ísaldarrofs.

Hugsum okkur nú Ísland á tertíer sem eina samfellda hásléttu þar sem hitastigull ræðst af dýpinu á hlutbráðna lagið undir landinu. Þar sem hitastigull er  $60^{\circ}\text{C}/\text{km}$  má vænta  $30^{\circ}\text{C}$  hita á  $500\text{m}$  dýpi. Ef jökkull grefur nú skyndilega  $500\text{ m}$  djúpan dal verður hitastig rétt undir yfirborði á dalbotninum  $30^{\circ}\text{C}$  en ekki  $0^{\circ}\text{C}$  ef það væri meðallofthiti. Á næstu árhúsundum eru jarðlögin að kólna uns nýtt jafnvægi fæst við dýpið að hlutbráðna laginu. Það skiptir miklu máli hve langa tíma það tekur að ná nýju jafnvægi og augljóslega verður hitastigull mjög hár á dalbotninum fyrst eftir rofið, þótt það hafi ekkert með dýpið á hlutbráðnalagið að gera. Svæði þar sem varmajafnvægi hefur ekki náðst eftir ísaldararf gæti því verið mistúnkað sem merki um nærliggjandi jarðhitakerfi eða óvenju lítið dýpi á hlutbráðna lagið.

Til að kanna áhrif af ísaldarrofi á hitastigul var skrifað forrit sem leysir varmaleiðnjófnuna einvitt í tíma og rúmi. Gert er ráð fyrir að rofið eigi sér stað á örskotsstundu og hitastigull og hiti sem fall af dýpi er reiknað út. Reikað er með að varmaleiðnistuðull sé  $2,0 \text{ W/m}^{\circ}\text{K}$ , eðlismassi sé  $3000 \text{ kg}/\$m$  sup  $3\$$  og eðlisvarmi bergsins sé  $880 \text{ J/kg}^{\circ}\text{K}$ .

Hér er sýnt eitt dæmi um áhrif ísaldarrofsins (myndir 1 og 2). Gert er ráð fyrir að jökkullinn hafi skyndilega rofið  $500\text{ m}$  ofan af basaltstaflanum og síðan er hiti og hitastigull reiknaður með dýpi fyrir mismunandi langan tíma frá rofinu. Hér er reiknað með 5 mismunandi tilfellum,  $10.000$  árum (ísaldarlokin),  $50.000$  árum,  $100.000$  árum,  $1$  milljón ára og  $3$  milljónum ára.

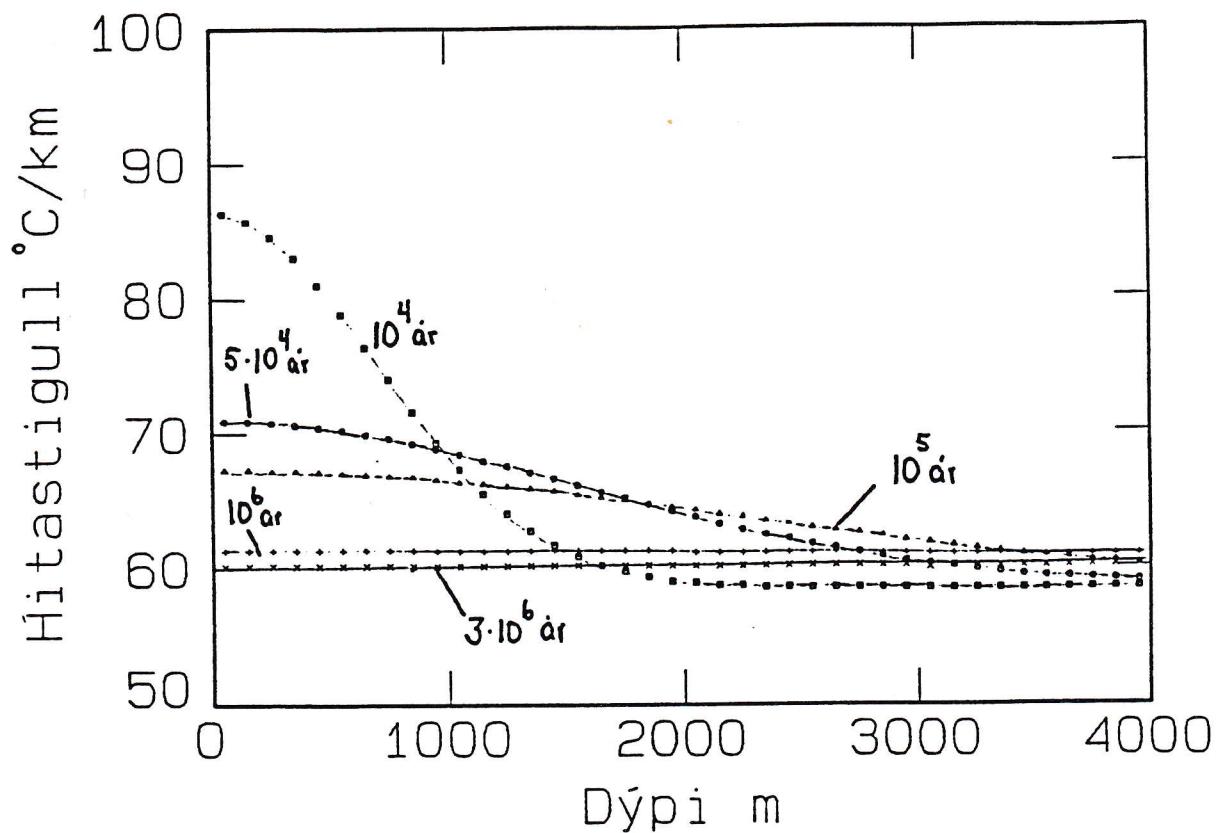
Niðurstöðurnar á mynd 1 sýna að fyrir rof í ísaldarlokin myndi hitastigull í  $100\text{ m}$  djúpri holu mælast um  $87^{\circ}\text{C}/\text{km}$  þótt hann í raun ætti að vera  $60^{\circ}\text{C}/\text{km}$ . Fyrir rof sem átti sér stað fyrir  $50.000$  árum er stigullinn liðlega  $70^{\circ}\text{C}/\text{km}$  eða um  $20\%$  of hár.

Á mynd 2 er sýnt hvernig hiti breytist með dýpi í  $1000\text{ m}$  holu fyrir sömu tíma frá rofi. Þar sést að vægur sveigur er á ferlinum sem svarar til  $10.000$  ára rofs en sveigurinn er orðinn mjög óverulegur ef rofið er  $50.000$  ára eða eldra. Það þýdir að erfitt getur verið að sjá áhrif rofs á hitastigul í  $1000\text{ m}$  djúpri holu þótt stigullinn í henni væri  $20\%$  of hár vegna rofs á ísöld.

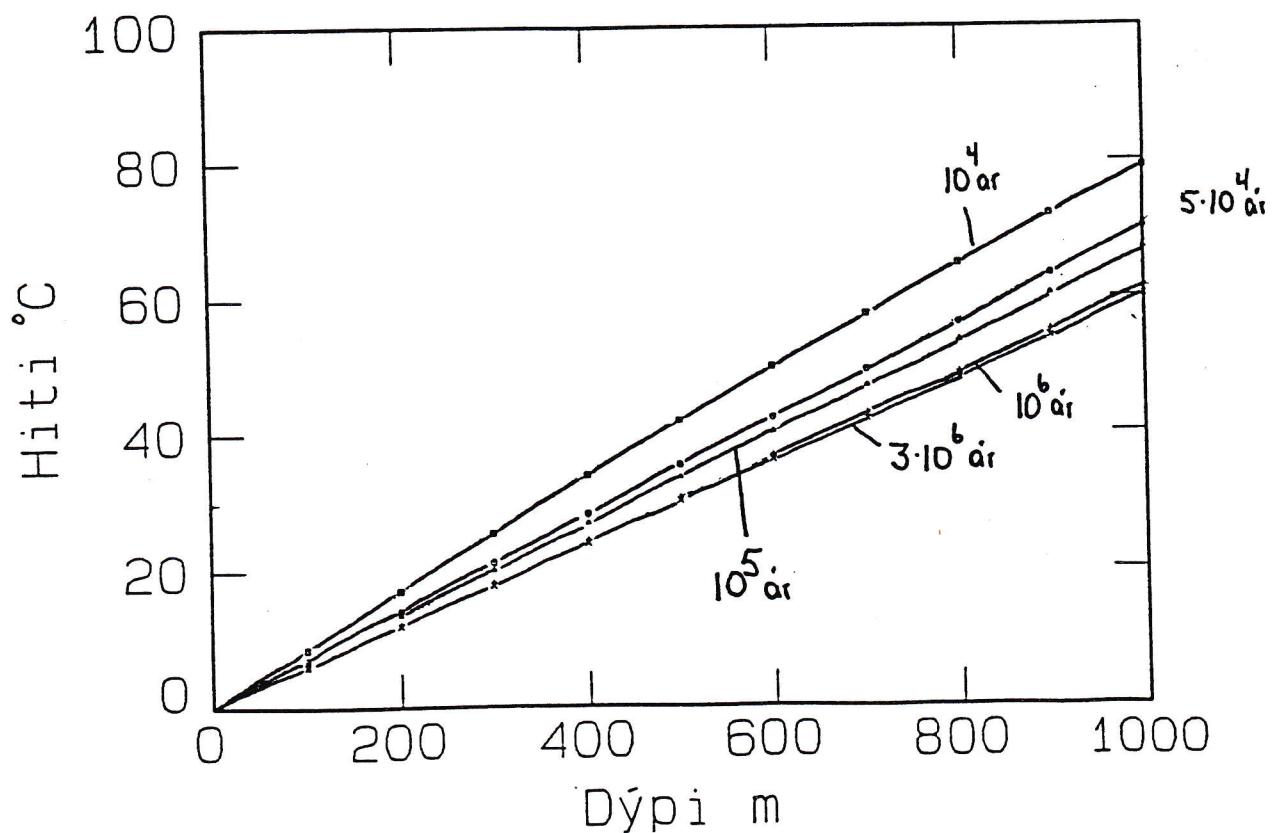
Af þessu má draga þær ályktun að gæta þurfi sérstaklega að áhrifum rofs á hitastigul á svæðum þar sem ætla má að rof hafi verið mikið á og undir lok síðustu ísaldar og taka slík áhrif með í reikninginn við mat á niðurstöðum hitastigulsborana. Hugsanlega má skýra háan hitastigul á hluta Austfjarða, á norðanverðu Snæfellsnesi og viðar með áhrifum rofs ísaldar.

Heimildir:

Ólafur G. Flóvenz og Kristján Sæmundsson, 1993: Heat flow and geothermal processes in Iceland. Tectonophysics, in press.



Mynd 1. Útreiknaður hitastigull sem fall af dýpi jörðunni fyrir mislangan tíma frá rofi. Gert er ráð fyrir að 500 m hafi rofist snögglega burtu



Mynd 2. Útreiknaður hiti sem fall af dýpi jörðunni fyrir mislangan tíma frá rofi. Gert er ráð fyrir að 500 m hafi rofist snögglega burtu

## JARÐHITALEIT Í AUSTUR-SKAFTAFELLSSÝSLU Á ÁRINU 1992

Ómar Bjarki Smárason og Jörg-Peter Kück, Stapi - Jarðfræðistofa, Ármúla 19, 108 Reykjavík.

Á árinu 1992 voru boraðar 50 grunnar rannsóknarholur til könnunar á hitastigli í Austur-Skaftafellssýslu. Þær, eru yfirleitt 40-50 m djúpar, en þjár voru boraðar í 129-167 m dýpi. Flestar holurnar voru boraðar á vegum Sýslunefndar Austur-Skaftafellssýslu, eða 39 talsins, en 11 holur voru kostaðar af landeigendum; ein við Krossbæ í Nesjum (KB-1), sex við Reynivelli í Suðursveit (RV-1 til RV-6), þjár við Hala í Suðursveit (HA-1 til HA-3) og ein i Skaftafelli í Öræfum (ASK-39). Orkusjóður veitti Sýslunefnd Austur-Skaftafellssýslu styrk til þessa verkefnis. Holurnar voru boraðar með bor Ræktunarsambands Flóa og Skeiða.

Jákvæð frávik með yfir 80 °C/km hitastigul fundust við Skaftafell, Svínafell og Kvísker í Öræfum, Reynivelli/Hala, Hrollaugstæði/Borgarhöfn og Skálafell í Suðursveit, Haukafell á Mýrum, og við Miðfell/Hoffell og Krossbæ í Nesjum. Holur sem mældar hafa verið á öðrum svæðum, hafa hitastigul innan við 80°C/km.

Hitastigull (°C/km) er hér fundinn með því að framreikna mældan hitaferil borhola niður á 1 km dýpi. Hann vex með dýpi meðan holan sker ekki virkt vatnskerfi. Hitastigullinn lækkar jafnan þegar komið er í vatnskerfi. Vatnsæðar, sem skornar eru í borun, trufla hitaferil holanna og gera það að verkum að erfiðara verður að túlka mælingarnar. Í þeirri vinnu, sem hér er lýst, hefur yfirleitt verið miðað við 4-5°C yfirborðshita (nærri meðalhita ársins á hverjum stað). Við Miðfell/Hoffell, og á nokkrum öðrum stöðum, kemur í ljós er hitaferlar holanna eru teiknaðir, að hiti við yfirborð er 4,5°C. Hitastigull borholu í °C/km er reiknaður frá yfirborði til botns holu samkvæmt eftirfarandi jöfnu:

$$\frac{T_{botn} - T_{yfirb}}{D} * 1000$$

þar sem:  $T_{botn}$  er mældur hiti í botni holu í °C;  $T_{yfirb}$  er mældur eða áætlaður hiti við yfirborð holu í °C; D er dýpi holu í metrum; og 1000 er breytistuðull í framreiknað dýpi, sem hér er 1 km. Þetta er gert til einföldunar og reynist góð nálgun í flestum tilvikum.

Allar holurnar hafa verið hitamældar a.m.k. einu sinni og sumar oftar. Þær virðast flestar hafa jafnað sig eftir borun og berghiti í botni þeirra virðist nokkuð réttur um hálfum sólarhring eftir að borun er lokið. Nokkrar holur eiga þó eftir að ná jafnvægi, eins og t.d. hola ASK-17 við Geitafell, sem boruð var í þurrt gabbró inniskot. Sett var kalt vatn í holuna eftir að hún var boruð, en hún verður líklega einhverjar vikur eða mánuði að hitna að fullu. Holurnar verða hitamældar aftur síðar í þessum mánuði, þ.e. apríl 1993.

Jákvæð hitafrávik við Miðfell og Krossbæ virðast vera tengd ungum NV-SA sprungum. Slikar sprungur eru áberandi í grennd við Kálfafellsdal, sérstaklega austan hans. Þetta var haft í huga við staðsetningu holanna við Hrollaugstæði, Borgarhöfn, Reynivelli og Hala.

Föstudaginn 15. maí 1992 var dælt úr holum ASK-29 og ASK-33 við Miðfell. Sýni voru tekin af vatninu eftir 1 klst dælingu úr holu ASK-33 (sýni 92-0105) og 2 klst dælingu úr holu ASK-29 (sýni 92-0104). Þann 5. júlí voru tekin tvö sýni úr holu RV-4 við Reynivelli; sýni 92-0148 var tekið við sjálfrennsli og sýni 92-0149 eftir dælingu í 45 minútum (tafla 1). Þetta eru bráðabirgðasýni, en kísill ( $\text{SiO}_2$ ), sýrustig (pH), kolsýra ( $\text{CO}_2$ ), brennsteinsvetni ( $\text{H}_2\text{S}$ ), kalíum (K) og klóríð (Cl) voru mæld i þeim á Orkustofnum. Kísilhiti (kalsedónhiti) var reiknaður á Orkustofnum út frá niðurstöðum einstakra efnagreininga. Niðurstöður greininganna og reiknaður kísilhiti eru sýnd í töflu 1 hér að aftan. Kísilinnihald vatnsins bendir eindregið til að jarðhitavatn sé til staðar við Miðfell (kísilhiti 70-80°C), Reynivelli (kísilhiti 65°C) og Skaftafell (kísilhiti 60°C). Á þessu stigi er ekki unnt að segja til um það með vissu hvort jarðhiti er til staðar við Freysnes.

Jón Jónsson (1981) skoðaði jarðhita í Austur-Skaftafellssýslu og tók vatnssýni til efnagreininga úr heitum lindum við Jökulfell, í Vatnsdal og í Vandræðatungum. Einnig tók hann sýni af kolsýrulauginni við þeit. Reiknaður kísilhiti fyrir jarðhitann í Jökulfelli er hæstur um 90°C, en þar hefur mælst 70-80°C hiti. Reiknaður kísilhiti fyrir jarðhitann í Vatnsdal á Mýrum er um 75°C, en þar hefur mælst 49°C í lindunum. Reiknaður kísilhiti fyrir jarðhitann í Vandræðatungum er um 60°C, eða mjög nálægt þeim hita sem þar hefur mælst, sem er 59,5°C.

Nokkur munur virðist vera á efnafræði vatnsins við Jökulfell og því vatni sem dælt var upp úr holu ASK-2 við Skaftafell, sérstaklega í sýrustigi (pH) og e.t.v. einnig í klór (Cl). Sýrustig vatnsins í Jökulfelli er pH = 7,7-7,9 og klór, Cl = 67-100 ppm, meðan vatnið í holu ASK-2 hefur pH = 9,25 og Cl = 39 ppm. Kolsýruinnihald vatnsins í Jökulfelli virðist einnig hærra en við Skaftafell. Raunar er eitt af þeim sýnum

er Jón Jónsson tók með lægra klórinnihald, líklega vegna meiri blöndunar við kalt yfirborðsvatn. Kísilinnihald vatnsins úr holu ASK-2 bendir hins vegar ekki til mikillar íblöndunar kalds yfirborðsvatns.

Helstu niðurstöður rannsóknanna frá s.l. ári eru dregnar saman hér að neðan:

1) Höfn og Nesjar: Hár hitastigull, allt að 186°C/km í 40-50 m djúpum holum, og hár styrkur kísils í vatni, sem dælt er upp úr 129 m og 137 m djúpum holum við Miðfell í Nesjum bendir til að þar sé að finna allt að 80°C heitt jarðhitakerfi. Útbreiðsla þess til norðurs og austurs er nokkuð vel afmörkuð, en minna er vitað um suður- og vesturmörk þess.

2) Mýrar: Jarðhiti er í Vandræðatungum og Vatnsdal. Efnagreiningar (kísilhiti) á vatni þaðan bendir til að djúpvatn sé um 75°C í Vatnsdal og um 60°C í Vandræðatungum. Hitastigull er lágor á láglendi á austanverðum Mýrum, eða 40-60°C/km. Við Haukafell er hitastigull hins vegar nokkuð hár, eða 89°C/km. Líklegt er að þessi hái stigull tengist jarðhitinanum í Vandræðatungum, en ekki er hægt að útiloka að jarðhiti leynist sunnan eða vestan við Haukafell nema að undangengnum frekari borunum.

3) Suðursveit: Hitastigull í Austur-Skaftafellssýslu er hæstur við Hala, þar sem hann reiknast allt að 212°C/km í 40 m djúpri holu. Jákvætt hitafrávik nær yfir svæðið frá Borgarhöfn og vestur fyrir Reynivelli, þar sem hitastigull er yfir 80°C/km. Vesturmörk þessa hitafráviks eru ekki að fullu þekkt og spurning er hvort þarna eru eitt eða fleiri jarðhitakerfis. Efnagreiningar á vatni úr holu RV-4 við Reynivelli (hitastigull 146 °C/km) bendir til að djúpvatnskerfið sé a.m.k. 65 °C heitt.

4) Öræfi: Hitastigull er hár við Skaftafell eða allt að 170°C/km og 138°C/km við Svínafell. Austan við Kvísker eru tvær holur sem báðar sýna nokkuð háan hitastigul, eða 80 °C/km (ASK-37) og 120 °C/km (ASK-4). Báðar holurnar sýna ótruflaðan hitaferil, en síðarnefnda holan er ekki opin nema niður í 25 m dýpi og mat hitastiguls því e.t.v. ekki eins áreiðanlegt. Efnagreiningar á vatni sem dælt var úr holu ASK-2 við Skaftafell benda til að djúphiti í jarðhitakerfinu þar sé a.m.k. 60°C. Efnagreiningar sem til eru á heitu lindunum í Jökulfelli benda til um 90°C hita á djúpvatni þar.

5) Lón: Hitastigull er um 80°C/km í 130 m djúpri holu við Ytri-Járnhaus, en um 54°C/km við Stafafell og Brekku. Við Eystrahorn eru til gamlar holur sem sýna hitastigul nærrí 50°C/km.

TAFLA 1. Efnasamsetning "jarðhitavatns" frá Miðfelli í Nesjum, Reynivöllum í Suðursveit, og Freysnesi og Skaftafelli í Öræfum.

Staður	Miðfell	Miðfell	Reynivellir	Reynivellir	Freysnes	Skaftafell
Hola	ASK-29	ASK-33	RV-4	RV-4	Vatnsból	ASK-2
Dagsetn.	15.05.92	15.05.92	05.07.92	05.07.92	05.07.92	05.07.92
Sýni nr.	92-0104	92-0105	92-0148	92-0149	92-0150	92-0151
Hiti (°C)	13,8	8,8	9,4	9,2	7,3	7,8
pH/°C	7,87/18	8,98/18	8,28/23	8,29/23	7,53/24	9,25/24
SiO <sub>2</sub>	50,4 mg/l	60,5 mg/l	42,6 mg/l	44 mg/l	17,5 mg/l	46,7 mg/l
CO <sub>2</sub>	-	-	37,5 mg/l	36,6 mg/l	60,1 mg/l	20,7 mg/l
H <sub>2</sub> S	-	-	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l	0 mg/l
K	1,23 mg/l	0,77 mg/l	-	-	-	-
Cl <sup>-</sup>	-	-	230 mg/l	229 mg/l	6 mg/l	39,3 mg/l
Kísilhiti	70 °C	80 °C	60 °C	65 °C	(25 °C)	60 °C

#### HEIMILDIR

Jón Jónsson, 1981: Jarðhiti og ölkeldur í Skaftafellsþingi. Orkustofnun OS81011/JHD07).

STAPI - Jarðfræðistofa, 1993: Jarðhitaleit í Austur-Skaftafellssýslu á árinu 1992. (Unnið fyrir Sýslunesfnd Austur-Skaftafellssýslu).

## SKJÁLFTAVIRKNI UNDIR KÖTCLUÖSKJUNNI OG GOÐABUNGU Í MÝRDALSJÖKLI

Páll Einarsson og Bryndís Brandsdóttir, Raunvísindastofnun Háskólangs, Dunhaga 5, 107 Reykjavík

Mýrdalsjökull er meðal skjálftavirkustu svæða landsins. Á hverju ári mælast þar allmargir skjálftar, flestir smáir, en stöku kippir ná þó stærðinni 4 og jafnvel 5. Fátítt er að þessir skjálftar finnist í byggð. Skjálftavirknin á að mestu leyti rætur að rekja til megineldstöðvarinnar Kötu. Katla er þannig meðal órfárra eldstöðva á Íslandi sem sýna viðvarandi skjálftavirkni, þrátt fyrir að ekki hafi orðið vart eldsumbrota í þeim síðustu áratugina. Hinar eru Bárðarbunga, Hengill og Torfajökull. Þrálát skjálftavirkni þessara eldstöðva er nokkur ráðgáta.

Skjálftavirknin undir Mýrdalsjökli er nokkuð breytileg milli ára. Hún var t. d. áberandi mikil árið 1967 og 1976-77. Þessi ár skera sig úr ef boríð er saman við næstu ár á undan og eftir. Árið 1992 var einnig nokkuð líflegt þó ekki kæmist það nálægt fyrrnefndum árum hvað virkni snertir.

Skjálftasvæðið undir Mýrdalsjökli er tvískipt, þ. e. upptök skjálftanna mynda tvær afmarkaðar þyrringar. Önnur þyrringin er undir suðaustanverðum jöklínnum og fellur hún vel innan Kötluöskjunnar eins og hún hefur verið kortlögð með issjármælingum. Hin þyrringin er undir vesturjaðri jökulsins, undir vestanverðri Goðabungu, og liggur hún alveg utan öskjunnar. Skjálftavirknin í báðum þyrringunum er viðvarandi. Það er nokkrum erfiðleikum bundið að ákvarða dýpi upptaka á þessum svæðum, en flest bendir til þess að þau séu í efri hluta jarðskorunnar, á 0-5 km dýpi.

Eðilegt er að túlka skjálftaþyrringuna innan Kötluöskjunnar á þann veg að hún tengist kvíkuhólfi undir henni. Skjálftarnir verða þá vegna spennubreytinga í þaki hólfins sem stafa af þróstingsbreytingum í kvíkunni. Stærsti skjálfti sem mælst hefur á þessum slóðum varð í júní 1977. Unnt var að finna brotlausn hans og sýnir hún verulegan samgengispátt. Það má túlka þannig að skjálftunn hafi orðið í tengslum við þróstingslækkun í hólfinu.

Skjálftaþyrringin undir Goðabungu bendir til þess að þar sé annað kvíkuhólf, aðskilið frá kvíkuhólfi Kötluöskjunnar. Þetta hólf hefur enn ekki myndað óskju og er því líklega tiltölulega ungt og óþroskað. Það er skilgreiningaratriði hvort líta beri svo á að kvíkuhólfin tvö tilheyri megineldstöðinni Kötu eða hvort eigi að líta á Goðabungu sem sérstaka megineldstöð.

Kvíkuhólfin tvö undir Mýrdalsjökli ásamt megineldstöðinni Eyjafjallajökli liggja á austur-vestur línu. Pessari línu fylgja einnig gossprungur og misgengi á Fimmvörðuhálsi og Seljalandsheiði. Einhver aflfræðileg tengsl virðast vera milli eldstöðvanna á þessari línu. Benda má að eldgosin tvö, sem talin eru hafa orðið í Eyjafjallajökli á sögulegum tíma, urðu nánast samtímis Kötlugosunum 1612 og 1823. Þá er einnig algengt að skjálftahrinum í einni eldstöðvanna fylgi fáeinir kippir í hinum.

Skjálftavirknin undir Goðabungu sýnir ákveðna árstíðasveiflu. Skjálftar eru margfalt algengari þar á haustin en fyrri part árs. Hér hafa veðurfarsþættir ugglaustr áhrif. Á haustin er jökulfargið minnst og grunnvatnsþróstingur í jarðskorunni hæstur. Báðir þessir þættir lækka núningsviðnám á misgengisflötum í skorunni og geta þannig stuðlað að aukinni skjálftavirkni. Sýna má fram að grunnvatnsþróstingurinn hefur líklega meiri áhrif en fargbreytingin.

## YFIRLIT UM HEGÐUN KÖTLUGOSA, AÐDRAGANDA ÞEIRRA OG EFTIRKÖST OG ÝMIS FYLGIFYRIRBÆRI OG HÆTTUR SEM FYLGJA

Páll Imsland  
Raunvísindastofnun Háskólangs, Dunhaga 3, 107 Reykjavík

Aðdragandi Kötlugosa lýsir sér í breytingum á spennuástandi í jarðskorpunni á Kötlusvæðinu sem hefur í för með sér breytt jarðskjálftamynstur og ef til vill aukinn varmastraum til yfirborðs. Skjálftamælar eru á svæðinu sem nema skjálftana en óvissara er hvort hægt er að mæla varmastraumann eða fylgufiska hans eða greina þá á annan hátt sem fyrirboða eldsumbrota. Þó er lögð ábersla á að greina þessa þætti og er einkum hugað að efnasamsetningu árvatns, sem rennur frá jöklum í þessu sambandi. Vatnið gæti flutt skilaboð með efnum, sem losna úr bergkvíkunni, þegar hún "býr sig undir gos", og ná að blandast í árvatnið.

Kötlugos eru fyrst og fremst gjóskugos, þeytigos, en þeim fylgia gríðarmikil jökulhlaup og auk þess eldingar, "leifur", þrumur og "reiðarslög" í mjög miklum mæli. Meginhættan af Kötlugosum stafar því af gjóskufalli, jökulhlaupum og eldingum. Gjóskufalls má vænta allt til fjærstu hluta landsins, ef gos verður ákaft og sterkir vindar rískja en þyngst kemur gjóskufallið niður á nágrannasvæðum Kötlu sjálfar. Í undangengnum gosum hefur 5 cm jafnþykktarlinan náð u.p.b. 20-45 km fjarlægð frá Kötlu og 2 cm línan u.p.b. 40-70 km fjarlægð. Við jörðu eru austanáttir langalengengastar á þessu svæði, en þegar kemur upp fyrir ca. 5 km hæð eru suðvestlægar áttir algengastar. Dreifing gjóskunnar er því mjög háð hæð gosmakkars. Gjóskan getur haft alvarleg áhrif á heilsufar skepna en síður manna. Hún getur spilt gróðri verulega ef hún fellur á gróna jörð í gróandanum. Hún getur einnig spilt neysluvatni. Þá getur gjóskan haft alvarleg áhrif á umferð; teppit hana þar sem hún fellur í miklu magni og drepið á vélum. Einnig getur gjóskufall truflað raforkuflutning.

Jökulhlaupa má vænta undan Kötlujökli og fram úr Krika út á Mýrdalssand, undan Sólheimajökli út á Sólheimá- og Skógasand og undan Entujökli út í farveg Markarfljóts. Mestar líkur eru á hlaupum út á Mýrdalssand en líklega minnstar vestur í Markarfljót. Þetta stafar af landslagsmynstri undir jöklum og hæð þeirra skarða sem hlaupin fara um. Á Mýrdalssandi flæða hlaupin yfirleitt bæði suður í átt til Kötlutanga og koma þá fram úr Rjúpnagili og einnig austur í átt til Álfavars og koma þá einkum fram úr Krika. Minni skvettur eiga einnig til að falla þarna á milli og leita fram á miðjan Mýrdalssand t.d. í farveg Blautukvíslar. Virðist það vatn geta rutt sér leið fram úr Kötlujökli sjálfum í töluverðri hæð yfir sporði hans, en ekki þurfa að þrengja sér undir jaðar hans. Hlaupin virðast fara með 6-20 km hraða á klukkustund; almennum reiðhraða á íslenskum hrossum. Hlaupin eira litlu þar sem þau fara yfir; taká með sér það sem lauslegt er og spilla jörð og mannvirkjum. Jökulhlaupin bera með sér ný gosefni og eldri laus jarðefni alla leið fram í sjó og færa ströndina fram. Einkum hefur það gerst á Mýrdalssandi. Við þetta breytist bæði ströndin og sjávarbotninn undan ströndinni. Einnig berst með hlaupunum mikill ís sem að hluta til fjarar undan á sandinum en að hluta endar frammi í sjó, þar sem hann getur tímabundið valdið hættu fyrir skip og báta. Þessi efnisflutningur til sjávar hefur áhrif á sjávarlíf en þau eru að mestu leyti óþekkt. Einnig virðist þessi efnisflutningur geta leitt til eðjustrauma á hafsvotni sem gætu reynst botnköplum skeinuhættir.

Eldinga og annara raffyrirbæra má vænta allt umhverfis gosstöðvarnar, en einkum er þeirra þó von í þá átt sem gosmökkin leggur, þar sem rafkraftarnir eru bundnir við uppstreymi gjóskunnar og vatnsgufu. Dæmi eru um að fólk hafi hlotið bruna og jafnvel bana af eldingu í allt að 35 km fjarlægð frá gosstöðvunum. Eldingarnar geta einnig haft truflandi áhrif á fjarskipti og orkuflutning og valdið tjóni á búfé, línlögnum og byggingum.

Aðrar hættur sem eiga má von á í sambandi við Kötlugos eru einkum af völdum gasa sem losna úr gjóskunni og úr gosmekkinum. Sum þeirra geta haft eituráhrif á menn og dýr við beina innöndun og í gegn um gróður og vatn.

Litlar líkur eru taldar á því að veruleg hætta skapist vegna sjávarbylgja, jarðskjálfta, hruns, skriðufalla eða hraunrennslis í Kötlugosum.

## **KERLINGARFJÖRÐUR - HVAR OG HVERNIG VAR HANN OG HVENÆR HVARF HANN?**

Páll Imsland og Guðrún Larsen  
Raunvísindastofnun Háskólangs, Dunhaga 3, 107 Reykjavík

Miklar breytingar hafa orðið á landslagi og staðháttum víða á Suðausturlandi síðan á landnámsöld. Víða í formum ritum eru frásagnir sem ekki falla að núverandi landslagi en ástæðulaust er að telja rangar af þeirri ástæðu einni. Könnun á náttúrfarssögu svæðisins sýnir oft að sannleikur leynist á bak við hinarr fornu lýsingar.

Landnáma nefnir fjörð við Hjörleifshöfða. Um hann hafa spunnist allmiklar umræður í tímans rás og menn hafa haft ýmsar skoðanir á staðsetningu hans og hvers eðlis hann hafi verið. Um þetta hafa m.a. fjallað séra Jón Steingrímsson, Sveinn Pálsson, Kristjan Kálund, Markús Loftsson, Þorvaldur Thoroddsen, Einar Ólafur Sveinsson og Kjartan Jóhannesson. Á veggspjaldinu er gerð lausleg grein fyrir þessari umræðu. Þar er einnig sýnt fram á hvernig og hvar umræddur fjörður við Hjörleifshöfða, Kerlingarfjörður, hefði verið á landnámstíð í ljósi þeirra jarðfræðilegu aðstæðna, veðurfarsmynsturs og hafrænu afla sem bar eru og hafa verið ráðandi um þróun lands og landslags.

Framboð á lausu setefni og langtíma öldumynstur við ströndina ráða mestu um það hvernig firðir og lón á suðurströndinni þróast. Efnisframboð á svæðinu við Hjörleifshöfða hefur síðan á landnámsöld verið mun meira en niðurbrotssölin hafa eytt. Ströndin hefur því almennt gengið fram og landið hækkað. Við suðurströndina eru austlægar vindátítr langalgengastar og er hér reiknað með að svo hafi jafnan verið síðan land byggðist. Efnisflutningar meðfram ströndinni ræðst af þessu.

Á þeim köflum strandarinnar, sem snúa austur-vestur eða því sem næst, eru á nokkrum stöðum klettar, klappasker eða fjöll sem skaga fram í sjóinn. Þar háttar alls staðar svo til að vogur myndast austan undir klettunum en sand- eða malarfjara liggar nærrí beint út frá þeim til vesturs. Á bak við sandfjörur á slískum ströndum eru mjög gjarnan lón eða grunnir vaðlar og þangað fram leitar afrennsli nærliggjandi landsvæða. Lón þessi hafa útrennsli um ós þar sem gætir sjávarfalla og hafa ósarnir tilhneigingu til þess að vera vestast í hverju lóni, gjarnan alveg uppi undir eða skammt frá klettum. Á pennan hátt hagar til, með litlum frávikum, alla leið austan úr Álftafirði og vestur í Ölfus. Þegar lón þessi minnka við það að fyllast af framburði hefur vetraraldan tilhneigingu til þess að kasta sandi upp í ósinn og loka honum. Slíkt ástand varir að jafnaði ekki nema á meðan kaldast er. Þegar leysingar skila sér út í lónið yfirfyllist það og vatnið grefur sjálfst nýjan ós. Nú til dags eru ósarnir að jafnaði opnaðir með vélaraflí áður en til þess kemur að náttúran hafi sinn framgang.

Pess eru mörg dæmi að lónin á bak við sandfjörurnar séu nefnd firðir og hefur sá siður komist á strax á landnámsöld. Nægir í því sambandi að minna á Hornafjörð, Papafjörð, Skarðsfjörð, Álftafjörð og Hamarsfjörð.

Hér er gengið út frá því að í nágrenni Hjörleifshöfða hafi aðeins verið einn fjörður á landnámstíð og er hann kallaður Kerlingarfjörður, þar sem það nafn eitt kemur fyrir í Landnámu. Hann hefur í samræmi við þá reglu, sem að ofan er lýst um landslagsfyrirbæri suðurstrandarinnar, legið vestan undir Hjörleifshöfða og verið lón á bak við sandrif sem teygðist frá suðurodda höfðans vestur undir hamrana norðan Skiphellis. Þar ekki fjarri hömrúnun hefur ósinn á lóninu líklegast verið og um hann hefur afrennsli vatna af landinu fyrir ofan verið til sjávar í takt við sjávarföll. Kerlingarfjörður hefur, þegar komið var fram á landnámsöld, líklega verið orðinn frekar lístill og verið langur frá vestri til austurs, samsíða sandrifinu, sem skildi hann frá sjó, og skýrir það hvers vegna Landnáma segir að botn fjarðarins hafi vitað inn mótt Hjörleifshöfða.

Kerlingarfjörður hefur að öllum líkindum verið frekar grunnur á landnámsöld og ekki mjög stór. Hann hefur fyllst af framburði í Kötluhláupum og þegar verið orðinn svo uppfylltur að ekki hefur lengur þótt taka því að ræða um hann sem fjörð í kringum árið 1200, á ritunartíma elstu Landnámugerða.

## BYRJUN HEKLUGOSSINS 1991

Ragnar Stefánsson og Gunnar B. Guðmundsson,  
Jarðeðlisfræðideild Veðurstofu Íslands, Bústaðavegi 9, 150 Reykjavík.

Byrjun Heklugossins, sem hófst 17.janúar 1991, mældist vel á þenslumælakerfi Veðurstofunnar, á SIL kerfinu og hugsanlegur nokkurra daga forboði þess mældist á síritandi þyngdarmæli við Bjarnarlækjabotna nálægt Búrfelli. Um 10-20 mínútna forboði var það skýr bæði á þenslumælum og á SIL kerfinu að nægt hefði til viðvörunnar ef slikt kerfi hefði verið starfrækt þá. Slik viðvörun getur haft mikið gildi t.d. vegna flugs yfir svæðið, enda gosmökkur kominn í meira en 11 km hæð 10 mínútum eftir að gosið hófst.

Út frá þenslumælinum í Bjarnarlækjarbotnum má greina nákvæmlega hvenær gosið hófst, en það var kl 17 01, sem er innan marka þess sem sjónvottar hafa borið vitni um. Gert hefur verið líkan sem fullnægir mælingum þenslumælanna. Lýsir það 0.75 m opnum þvert á 4 km langa sprungu sem liggur 60 gráður austan við norður, eða eins og Hekla sjálf, og þrýstingslækkun í hólfí sem er 3.5 km í þvermál með miðju á 7.5 km dýpi undir fjallinu. Þetta líkan nægir einnig til að skýra GPS mælingar sem gerðar voru á svæðinu nokkru fyrir og nokkru eftir gosið. Lausnin er ekki algerlega einhlít, en þó nágu afmarkandi til að unnt sé að fullyrða að opnunarsprungan er 60 gráður fremur en 40 gráður austur frá norðri sem er venjuleg stefna á gossprungum umhverfis Heklu.

Út frá tíðnibreytingum í sítitringi, sem mældist á SIL kerfinu, má greina samsvörun við mismunandi stig í gosferlinum.

## EFNAVEÐRUN BASALTS

Sigurður Reynir Gíslason, Stefán Arnórsson, Raunvísindastofnun Háskólangs, Dunhaga 3, IS 107 Reykjavík, og Halldór Ármansson, Orkustofnun, Grensásvegi 9, IS 108 Reykjavík.

### Inngangur

Rannsóknir á efnaveðrun basalts hafa einkum beinst að bergfræði og jarðefnafræði frumsteinda og veðrunarsteinda. Títan, járn og ál mynda yfirleitt veðrunarleif, þegar önnur efni í basalti skolast burt við efnarof. Samanburður á efnasamsetningu frumsteinda bergs og veðrunarsteinda veitir upplýsingar um efnarof, en beinar mælingar á efnarofi eru sjaldgæfar (Gíslason o. fl., 1990). Í heitu og röku loftslagi er lokastig veðrunar basalts járnrikt báxít en efnasamsetning þess er  $\text{Al}_2\text{O}_3$  35%,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  45%,  $\text{TiO}_2$  7% og  $\text{SiO}_2$  1 - 2% (Patterson, 1971, Bates 1962). Helstu veðrunarsteindirnar eru gibbsít og götit en minna myndast af halloysiti og hematíti.

Yfir jarðfræðilegan tíma er veðrun kalsíum magnesíum silikata mikilvægasta leiðin til þess að nema koltvísýring úr andrúmsloftinu (Berner, 1992). Kalsíum og magnesíum sem losna við efnarof, skolast með árvatni til sjávar þar sem þau falla út á endanum sem kalksteinn. Kalksteinsmyndunin verður til þess að sjór getur drukkið í sig meira af koltvísýringi andrúmsloftsins. Þess vegna geta breytingar á efnarofshraða valdið breytingum á koltvísýringsmagni í andrúmsloftinu og þar með valdið veðurfarsseiflum. Til dæmis er hugsanlegt að landnám plantna á fornlfisöld hafi valdið auknu efnarofi sem hafi leitt til lækkunar koltvísýrings í andrúmslofti og þannig valdið ísöldinni á mörkum kol og perm (Berner, 1992). Ennfremur er talið að ísaldir minnki efnarof þannig að styrkur koltvísýrings aukist í andrúmslofti og því hlýni smátt og smátt (Walker, 1981). Samkvæmt þessu eru ísaldir sjálfseyðandi.

Tilgangur þessarar rannsóknar er að kanna efnarof og efnaveðrun basalts. Basalt er ríkt af kalsíum magnesíum silikötum og gleri og á Íslandi er jökul- og gróðurþekja hinna ýmsu vatnasviða mismikil. Rannsóknir á veðrun og efnarofi á Íslandi geta því varpað ljósí á mikilvægi ofangreindra þátta. Þau gögn sem lögð eru til grundvallar eru; efnasamsetning úrkому á Íslandi, efnasamsetning og rennsli árvatns af vel skilgreindum vatnasviðum á Suður- og Vesturland, jarðfræði- og gróðurkort af vatnasviðunum, og efnasamsetning bergs á vatnasviði ánna.

### Efnaveðrun basalts á Íslandi

Vegin meðalhraði efnarofs á Suður- og Vesturlandi er um 87 tonn á ferkilómetra á ári, sem er með því mesta á jörðinni. Efnarofshraðinn er veginn miðað við rennsli áa frá og með Norðurá í Borgarfirði vestantil og til og með Þjórsá austantil. Þessi tala er reiknuð út frá mældum heildarstyrk uppleystra steinefna í árvatni. Ef miðað er við samanlagðan mældan styrk einstakra uppleystra aðalefn ("TDS") er þessi tala tölvert hærri, eins og sjá má á 1. mynd (a). Mældur styrkur er ekki alveg rétt mat á raunverulegum styrk steinefna en er þó samkvæmari stærð en sá samanlagði og því betri kostur við mat á efnarofshraða. Efnarofshraðinn er einnig sýndur fyrir aðalefni (tonn/km<sup>2</sup>/ári) og sum snefilefni (kg/km<sup>2</sup>/ári) í árvatni á 1. mynd (a og b). Öll efnin nema kolefni (sýnt á formi bíkarbonats,  $\text{HCO}_3$ ) rekja uppruna sinn til bergs. Kolefnið rekur uppruna sinn líklega að mestu til jarðvegs. Afrennsli af vatnasviðum áa og aldur bergs ráða mestu um efnarofshraðann. Því meira afrennsli því meira efnarof og því yngra sem bergið er því meira efnarof. Efnarofshraðinn fyrir flest efni vex smátt og smátt með minnkandi meðalaldri bergs frá 8 til 1 milljón ára. Hann vex síðan snarlega fyrir yngra berg, eins og sjá má á 2. mynd þar sem efnarofshraðann fyrir natrium er sýndur sem fall af meðalaldri bergs á vatnasviði ánna. Efnarofshraðinn er óháður hitastigi árvatns, en eykst með vaxandi gróðurþekju vatnasviða, þótt gróðurþekjan sé ekki eins mikilvæg breyta og afrennsli og aldur bergs. Efnarofshraðinn fyrir næringarsölt virðist jafnvel óháður gróðurþekju. Hins vegar vex efnarofshraði kalsíums og magnesíums með aukinni gróðurþekju gamals bergs á Suður- og Vesturland (1 - 8 milljón ára). Jöklar hægia á efnarofshraðanum þótt áhrif þeirra séu ekki eins glögg og áhrif afrennslis og aldurs bergs.

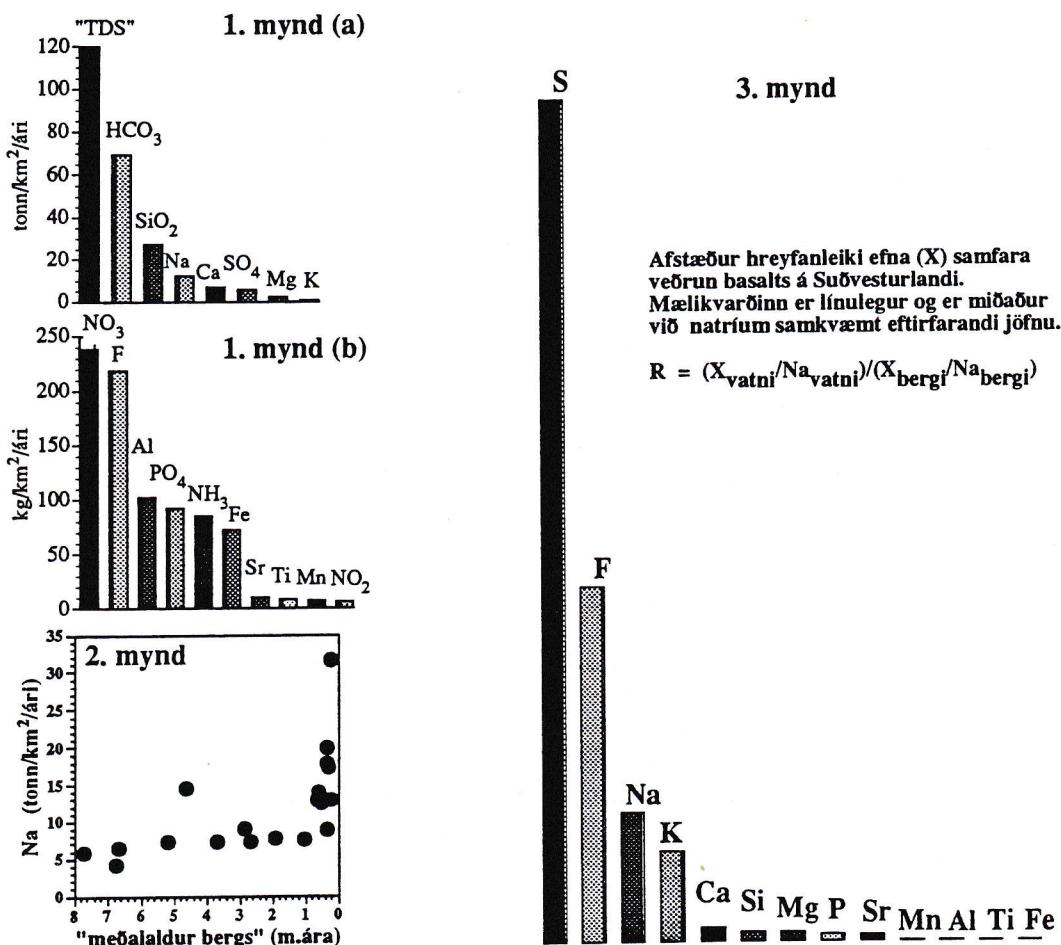
Ef berg leystist algerlega upp við efnaveðrun væru sömu hlutföll efna í bergi og vatni. Hlutföll efna í árvatni og grunnvatni eru ekki þau sömu og í bergi vegna myndunar veðrunarsteinda. Hægt er að leggja mat á afstæðan hreyfanleika efna (relative mobility) samfara veðrun með því að kanna efnahlutföll í fersku bergi og efnahlutföll í því vatni sem rennur frá veðruðu bergi. Hreyfanlegurstu efnin skolast því fljótt úr bergi en geymin efni sitja eftir. Styrkur geyminna efna vex því smátt og smátt í veðruðu bergi á meðan styrkur hreyfanlegu efnanna minkar í veðrunarleifinni. Afstæður hreyfanleiki efna samfara veðrun basalts á Suður- og Vesturland er sýndur á 3. mynd. Hér er um að ræða vegið meðaltal. Brennisteinn, flúor, natrium og kalíum skolast hlutfallslega hratt úr bergi en mangan, ál, titán og járn mjög hægt.

## Niðurlag

Efnarofshraðinn á Suður- og Vesturland er svipaður og í röku fjallendi heittempraðabeltisins og hitabeltissins. Ef efnarof gengi til hlítar á Suður- og Vesturland mætti búast við yfirborðslagi af járnriku báxíti, af svipaðri efnasamsetningu og þeiri sem þekkt er í hitableltinu og getið var um í inngangi. Lofthiti ræður því ekki miklu um efnarofshraða, efnaveðrunarhraða, og efnasamsetningu veðrunarleifar. Hins vegar getur afþrænt rof komið í veg fyrir að efnaveðrun gangi til fullnustu. Aftæður hreyfanleiki kalsíums og magnesíums er mjög háður pH bess vatns sem leikur um bergið. Því lægra sem pH vatnsins er því hreyfanlegri eru kalsíum og magnesíum. Gróðurþekja hefur ekki mikil áhrif á heildar efnarofshraðann á Suður- og Vesturland, en getur aukið efnarofshraða kalsíums og magnesíums. Íslensku gögnin renna því stoðum undir þær hugmyndir sem getið var um í inngangi, að landnám plantna á fornlífsöld hafi getað valdið minnkun koltvísýrings í andrúmslofti, sem síðar hafi leitt til ísaldar.

## Heimildir.

- Bates, T. F., 1962, Halloysite and gibbsite formation in Hawaii: Clays and Clay Minerals 9, 315-328.  
 Berner, R.A., 1992, Weathering, plants, and the long-term carbon cycle: Geochim. Cosmochim. Acta 56, 3225-3231.  
 Gíslason S.R., Arnórsson, S., og Ármannsson, H., 1990. Chemical denudation rates in SW-Iceland: Chemical Geology 84, 64 -67.  
 Nesbitt, H. W., og Wilson, R. E., 1992, Recent chemical weathering of basalts. American Journal of Science, 292, 740-777.  
 Patterson, S. H., 1971, Investigations of ferruginous bauxite and other mineral resources on Kauai and a reconnaissance of ferruginous bauxite deposits on Maui, Hawaii: U. S. Geological Survey Professional Paper 656, 65p.  
 Walker, J.C.G., Hays, P. B., og Kasting, J. F., 1981, A negative feedback mechanism for the long-term stabilization of Earth's surface temperature: Jour. Geop. Res. 86, 9776-9782.



## Fe(III)/Fe(II)-HLUTFALL Í BASALTBRÁÐ

Sigurður Steinþórsson og Örn Helgason, Raunvísindastofnun Háskólangs, Reykjavík

Oxunarstig bergs hefur einkum verið mælt á two vegu, annars vegar með því að efnagreina hlutfallið  $\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{FeO}$  í berginu, hins vegar með greiningu Fe-Ti-steinda (jarðhita/jarðþrýstimærir Buddingtons og Lindsleys). Niðurstöður hafa verið þær, að þrígt járn í fersku basalti sé að jafnaði um 15% af heildarjárinu, og að hlutþrýstingur ildis í basalti ( $\text{pO}_2$ ) sé sem næst ildisþrýstingi í jafnvægi við kvarz-fayalít-magnetít-ildispúfferinn (QFM).

Þrjár megin-atrennur hafa verið gerðar til að tengja ferrí/ferró-hlutfall bráðar við  $\text{pO}_2$ : Fyrstu tilraunina gerði George Kennedy (1948, Am. J. Sci. 246: 529-549), og gekk út frá jöfnunni

$$2\text{Fe}_2\text{O}_3 = 4\text{FeO} + \text{O}_2 \quad K = [\text{FeO}]^4 * \text{pO}_2 / [\text{Fe}_2\text{O}_3]^2$$

Næst komst Fudali (1965, Geochim. Cosmochim. Acta 29: 1063-1975) að því, að jafnan

$$\text{FeO}_{1,5} = \text{FeO} + \frac{1}{4}\text{O}_2 \quad K = \frac{[\text{FeO}]}{[\text{FeO}_{1,5}]} * \text{pO}_2^{1/4}$$

Iýsti ferlinu betur. Jöfnuna má umrita

$$\log \frac{[\text{FeO}]}{[\text{FeO}_{1,5}]} = -\frac{1}{4} \log \text{pO}_2 - \log K$$

þannig að á grafi þar sem log (Fe(II)/Fe(III)) er dregið móti ( - log  $\text{pO}_2$  ) ætti að fást bein lína með hallatölunni 0,25.

Priðju atlöguna gerðu Sack et al. (1980, Contrib. Mineral. Petrol. 75: 369-376). Þeir ganga út frá efnahvörfum Kennedys en taka jafnframt áhrif annarra efnispáttá í bráðinni inn í myndina. Þeirra jafna hefur hlotið viðurkenningu allra mætra manna:

$$\ln \left( \frac{\text{X}_{\text{Fe}_2\text{O}_3}^{\text{liq}}}{\text{X}_{\text{FeO}}^{\text{liq}}} \right) = a \ln \text{f}_{\text{O}_2} + \frac{b}{T} + c + \sum d_i X_i$$

þar sem a, b, c og  $d_i$  eru stuðlar fundnir með tilraunum, en liðurinn  $\sum d_i X_i$  lýsir áhrifum hinna ýmsu efnispáttá í bráðinni annarra en járns. Allar lýsa ofangreindar þrjár jöfnur línulegu sambandi milli oxunarstigs og ildisþrýstings við gefið hitastig, auk þess sem þær ganga út frá einföldum hvörfum milli FeO og  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ( $\text{FeO}_{1,5}$ ).

Á Raunvísindastofnun voru bergsýni sem spenna samsetningu íslenzks basalts látin ná jafnvægi við ákvæðinn hita og  $\text{pO}_2$  og ferrí/ferró-hlutfall glersins síðan mælt með Mössbauer-spektrómetriú. Niðurstöðurnar sýna að hvorug forsenda - eða niðurstaða - fyrri tilrauna er rétt: sambandið milli oxunarstigs og ildisþrýstings er ekki línulegt, og hvörfin eru mun flóknari en ofangreindar jöfnur gefa til kynna. Jafnframt eru áhrif hitastigs (T) og annarra þáttta ( $\sum d_i X_i$ ) á oxunarstig basaltbráðar svo lítil, að innan þeirra marka sem einkenna náttúrlegar bráðir hér á landi eru þau ekki mælanleg.

Sérstakar tilraunir voru að auki gerðar til að mæla hvarfahraða oxunarferlanna: þær sýna, að náttúrlegt gler -- t.d. gjóska, móbergsgler eða glerjaðar brúnir bólstra -- geyma oxunarstig bráðarinnar er hún storknaði.

Mælingar okkar á náttúrlegu gleri með Mössbauer-spektróskópiú sýna, að Fe(III) er 9-16% af heildarjárinu, óháð því hvort um ólivín-þóleítt eða alkalí-ólivínbasalt er að raða. Sú spönn svarar til 1,5 stærðargráða í ildisþrýstingi bráðar, sem jafnframt er sem næst sá hlutþrýstingur sem svarar til QFM-ildispúffersins, svo sem óteljandi mælingar út frá Fe-Ti-oxíðum höfðu áður bent til. Mælingar með Mössbauer-spektróskópiú bera af „míkrókemískum“ efnagreiningum m.a. að því leyti, að Mössbauer-greiningin mælit oxunarhlutfall *glersins* og sér framhjá smásæjum kristöllum, svo sem ólivíni, sem í því kunna að vera og í venjulegri efnagreiningu mundu valda of háum FeO-styrk, og þar af leiðandi lágu Fe(III)/Fe(II)-hlutfalli, en í ritum má finna nokkur dæmi um að slíkar efnagreiningar hafi gefið allt niður í 6% Fe(III) í hryggjabasalti.

## EFNAHVÖRF Í UPPSTREYMRÁSUM JARÐHITAKERFA

Stefán Arnórsson, Auður Andrésdóttir og Sigurður R. Gíslason  
Raunvísindastofnun Háskóla Íslands, Dunhaga 3, 107 Reykjavík.

Efnahitamælar hafa mikið verið notaðir við jarðhitaleit til þess að segja fyrir um hitaástand í jarðhitakerfum út frá efnainnhaldi vatns í hverum og laugum, jafnvel grunnum borholum. Allir efnahitamælar grundvallast á þeiri forsendu, að hitastigsháð efnajafnvægi ríki milli vatns og ummyndunarsteinda í jarðhitakerfunum og að hverfandi efnahvörf verði í uppstreymrásu, þótt kæling á vatninu eigi sér stað. Þannig er styrkur einstakra efna eða hlutfall milli efna í heitum uppsprettum notuð sem mælikvarði á hita aðfærsluæða.

Efnainnhald í heitri uppsprettu getur aðeins gefið vísbindingu um hita í þeirri æð, sem veitir vatni í uppsprettuna. Hiti í jarðhitakerfum er oft breytilegur, bæði í lóðréttu og láréttu stefnu, og hvort sá hiti fæst með borun, sem spá efnahitamæla gefur til kynna, ræðst af því hversu djúpt er borað og hvar holan lendir í vatnsæðum. Auk þess er jafnan óvissa í spánni, þar sem ekki er vitað með vissu í einstökum tilfellum, hvort efnajafnvægi ríki milli vatns og ummyndunarsteinda í jarðhitakerfinu og hvort efnaskipti við grannbergið í uppstreymrásu eða blöndun við kalt vatn hafi valdið umtalsverðum breytingum á efnainnhaldi heita vatnsins.

Á Íslandi eru mörg jarðhitakerfi tengd nær lóðréttum sprungum. Í mörgum þessara kerfa hefur hræring grunnvatns í sprungunum leitt til þess, að hitinn er tiltölulega svipaður á mismunandi dýpi. Reynslan hefur sýnt, að efnahitamælar gefa oft til kynna sambærilegan hita og fæst með borunum í þessi lóðréttu kerfi.

Sýnt hefur verið fram á, að öll uppleyst aðalefni í jarðhitavatni úr borholum á Íslandi, að klóríði undanskyldu, eru nærrí efnajafnvægi við ummyndunarsteindir, a.m.k. ef hiti vatnsins er um og yfir 60°C (Arnórsson o.fl., 1983). Með öðrum orðum jarðhitavatn er nálægt mettu með tilliti til ummyndunarsteinda. Aftur á móti er regnvatn, yfirborðsvatn og kalt grunnvatn yfirleitt undirmettað með tilliti til flestra, ef ekki allra ummyndunarsteinda (Gíslason og Eugster, 1987; Gíslason og Arnórsson, 1990, 1993).

Bæði kalt vatn og heitt er yfirleitt meira eða minna undirmettað af frumsteindum basalts og basaltgleri (Gíslason og Arnórsson, 1990, 1993). Þess vegna hefur þetta vatn tilhneigingu til þess að leysa upp a.m.k. sumar þessara steinda, þegar það kemst í snertingu við þær við streymi um jarðveg og berggrunn og við það vex styrkur uppleystra efna í vatninu. Þær ummyndunarsteindir, sem myndast í basalti, eru torleystari en frumsteindir bergsins og gler. Veldur það því, að vatnið nær að mettast af ummyndunarsteindunum meðan það er enn undirmettað af frumsteindum bergsins og sérstaklega glerinu. Við mettu, eða öllu heldur einhverja yfirmettun, taka ummyndunarsteindir að falla út úr vatninu. Útfellingin kemur í veg fyrir, að vatnið nái mettu við frumsteindir og gler basaltsins. Þannig getur basalt umkristallast fullkomlega í ummyndunarsteindir, sé vatn til staðar og tíminn nægilega langur.

Ummydun má skoða sem myndbreytingu, sem rekin er áfram af H<sup>+</sup> jónum. H<sup>+</sup> jónir ganga inn í bergið og um leið skila aðrar katjónir sér út í vatnið. Út frá sjónarhóli efnafraði má líta á vatnið sem sýru og bergið sem basa. Uppleysing bergsins felur í sér titrun. Hversu pH vatnsins hækkar við ákveðna titrun, þ.e. uppleysingu á ákveðnu magni bergs, ræðst af framboði H<sup>+</sup> jóna. Mikið framboðið leiðir til þess, að hækjun á pH verður tiltölulega lítil fyrir ákveðna uppleysingu. Í vatni, sem er súrt eða geymir mikið af uppleystum sýrum, eins og t.d. kolsýru, sbr. ölkelduvatn, er H<sup>+</sup> framboðið mikið, en það er að sama skapi lítið í basísku vatni og sýrusnauðu.

Framboð H<sup>+</sup> jóna hefur mikil áhrif á hversu auðveldlega vatn nálgast jafnvægi við margar ummyndunarsteindir. Sýruríkt vatn nálgast efnajafnvægi tregar en sýrusnautt. Stafar það af því, að kerfið breytist í átt til efnajafnvægis um leið og pH þess hækkar.

Sýruríkt vatn er hvarfgjarnara en sýrusnautt í þeim skilningi, að það leysis frumsteindir basalts hraðar upp og meira þarf að leysa upp af þessum steindum til þess að nái mettu fyrir margar ummyndunarsteindir heldur en þegar um sýrusnautt vatn er að ræða. Hraðari uppleysing frumsteindanna stafar af því, að sýruríkt vatn er meira undirmettað af þeim samanborið við sýrusnautt vatn. Eigi efnajafnvægi að ríkja milli ummyndunarsteinda og vatnsins útheimtir það, að útfellingarhraði ummyndunarsteinda verður að vera meiri heldur en í sýrusnauðu vatni til þess að vega á móti hraðari uppleysingu frumsteinda bergsins, sem sífellt skilar uppleystum efnum í vatnið. Auðveldasta leiðin til að auka á útfellingarhraða ummyndunarsteinda er að auka á yfirmettun þeirra, en stig yfirmettunar er sað þáttur, sem mestu ræður um útfellingarhraða. Af þessu leiðir, að sýruríkt og hvarfgjart vatn hefur tilhneigingu til þess að haldast meira yfirmettað af ummyndunarsteindum en hvarfategt. Meiri líkur eru til þess, að volgt, sýruríkt jarðhitavatn hafi ekki náð að mettast af ummyndunarsteindum en volgt,

sýrusnauðt vatn. Af ofangreindum ástæðum er notkun efnahitamæla öruggari fyrir sýruríkt vatn en sýrusnauðt, sérstaklega þegar vatnshitinn er lágor.

Á nokkrum stöðum á lághitasvæðum hér á landi sýna efnagreiningar, að marktækur munur er á efnainnihaldi vatns í heitum uppsprettum og nálægum borholum. Þessi munur bendir til efnahvarfa við grannbergið í aðfærsluæðum uppsprettanna og blöndunar við kalt vatn (Magnúsdóttir o. fl., 1992). Örlítil blöndun heita vatnsins í uppstreymisrásum við kalt, tiltölulega kolsýruríkt vatn hefur leitt til verulegrar lækkunar á pH-gildi vatnsins í uppsprettunum. Þessi lækkun hefur aukið á undirmettun frumsteinda bergsins og hert á uppleysingu þeirra. Vegna þess að útfelling ummyndunarsteinda hefur ekki haft við aukinni útskolan hefur útkoman orðið aukning á styrk  $\text{SiO}_2$ , mikil aukning á styrk Mg og Fe og lækkun á Na/K hlutfallinu vegna nokkurrar aukningar á styrk K. Þessar breytingar valda því, að reiknaður kísilhiti verður of hár og sömuleiðis Na-K hitinn. Lækkun pH-gildis og aukning á styrk  $\text{SiO}_2$  valda bæði breytingum til lækkunar á reiknuðum kísilhita. Na og K virðast skolast út úr basalti í sömu hlutföllum og þau koma fyrir í bergeninu (Arnórsson, 1991). Þetta hlutfall svarar yfirleitt til 150-200°C Na-K hita. Þannig leiðir örвуð útskolan til lækkunar á Na-K hita, a.m.k. ef hiti jarðhitavatnsins er undir u.p.b. 150°C. Útfelling ummyndunarsteindanna kalsedóns og Na- og K-feldspata hefur öfug áhrif miðað við útskolan, þ.e. hún breytir kerfinu í átt til jafnvægis við ríkjandi hitastig.

Efnainnihald vatns í sjóðandi hverum, eins og t.d. við Reykjabol og Reykholt í Árnessýslu er mjög svipað og í nálægum borholum, sé gerð leiðréttung á styrk allra efna vegna gufumyndunar við suðu. Vatnið í þessum hverum er basískt, en suðan veldur lækkun á pH. Við lækkun á pH verður vatnið hvarftregt og efnasamsetning þess breytist hverfandi í uppstreymisrásunum af þeim sökum.

Öljóst er hvort volgt, jafnvel heitt ölkelduvatn hér á landi, hafi nokkru sinni nálgast verulega efnajafnvægi við algengar ummyndunarsteindir, vegna þess hversu gjarnt það er að leysa upp frumsteindir basalts og basaltger og hversu mikil uppleysingin þarf að vera til þess að ná mettun fyrir sumar ummyndunarsteindir. Þó er ljóst að kalt ölkelduvatn virðist nálgast efnajafnvægi við myndlausum kísil og kalsít, en ekki aðrar ummyndunarsteindir (Arnórsson, 1982). Svipað gæti gilt um volgt ölkelduvatn, en borholugögn skortir til að vita það fyrir víst. Sé svo gefa bæði kísil og Na-K efnahitamælnir til kynna hærra hitastig en raunverulega er til staðar í aðfærsluæðum þessara ölkeldna.

Lágt pH heits ölkelduvatns þarf ekki að koma í veg fyrir, að vatnið nái mettun við ummyndunarsteindir. Þó sýnist líklegt, að útfelling ummyndunarsteinda hafi ekki undan uppleysingu frumsteinda, sem nauðsynlegt er til að viðhalda efnajafnvægi milli vatnsins og þessara steinda. Þannig verður heitt ölkelduvatn yfirmettað af kalsedón og reiknaður kísilhiti því hærra en raunverulegur hiti vatnsins. Á sama hátt verður Na-K hiti hærra en raunverulegur hiti þar sem Na/K hlutfallið í vatninu liggar væntanlega á milli Na/K hlutfalls bergsins og Na/K hlutfalls miðað við efnajafnvægi við Na- og K-feldspót.

## TILVITNANIR

- Arnórsson, S., 1982: Ölkelduvatn. *Eldur í Norðri*, Sögufélag Vísindafélags Íslendinga, Reykjavík: 401-407.
- Arnórsson, S., 1991: Geochemistry and geothermal resources in Iceland. I: F. D'Amore (ritstj.) *Application of Geochemistry in Geothermal Reservoir Development*, UNITAR/UNDP, Róm: 145-196.
- Arnórsson, S., E. Gunnlaugsson og H. Svavarsson, 1983: The chemistry of geothermal waters in Iceland. II. Mineral equilibria and independent variables controlling water compositions. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 47: 547-566.
- Gíslason, S. R. og H. P. Eugster, 1987: Meteoric water-basalt interactions. II. A field study in N.E. Iceland. *Geochim. Cosmochim. Acta*, 51: 2841-2855.
- Gíslason, S. R. og S. Arnórsson, 1990: Saturation state of natural waters in Iceland relative to primary and secondary minerals in basalt. I: R. J. Spencer og I-Ming Chou (ritstj.) *Fluid-Mineral Interactions: A tribute to H. P. Eugster. The Geochemical Society, Special Publication no. 2*: 373-393.
- Gíslason, S. R. og S. Arnórsson, 1993: Dissolution of primary basaltic minerals in natural waters: Saturation state and kinetics. *Chem. Geol.*, í prentun.
- Magnúsdóttir, G. Th., S. Arnórsson og A. Andrésdóttir, 1992: Chemical reactions in upflow zones of geothermal systems affecting subsurface temperatures estimates by chemical geothermometry. I: Kharaka og Maest (ritstj.) *Water-Rock Interaction*, Balkema, Rotterdam: 1459-1462.

## NIÐURSTÖÐUR ÚR SIL KERFINU

Steinunn Jakobsdóttir og Ragnar Stefánsson,  
Jarðeðlisfræðideild Veðurstofu Ísland, 150 Reykjavík.

SIL kerfið nemur, staðsetur og metur eðli hreyfingar í jarðskjálftum niður að stærðinni 0 á Suðurlandsundirlendi. Á Veðurstofunni er daglega farið yfir þessar mælingar, til leiðréttингar og staðfestingar. Vegna mikils fjölda þessara litlu skjálfta fæst nær samfelld mynd af spennuútlausn á svæðinu.

Á grundvelli mælinga og sjálfvirkar úrvinnslu SIL kerfisins hefur verið þróað viðvörunarkerfi sem gefur boð ef jarðskjálftavirkni eykst yfir skilgreind mörk á skilgreindum svæðum á landinu.

Fyrstu niðurstöður mælinga með SIL kerfinu á Suðurlandi benda til mjög tíðrar útlausnar smáskjálfta á 10 km breiðu A-V beltí á Suðurlandsundirlendi. Þessi smáskjálftavirkni mælist á innan við 5 km dýpi vestan til á svæðinu, en upptakasvæðið dýpkar til austurs og er á meira en 10 km dýpi austan til. Brotlausnir þessara skjálfta endurspegla láréttar skerspennur þar sem mesti þrýstingur er 45 gráður austan við norður en minnstur þrýstingur 45 gráður vestan við norður.

Með útvíkkun SIL kerfisins austur fyrir Mýrdalsjökul og vestur í Krísuvík, ásamt með þróun sjálfvirks viðvörunarkerfis, er SIL miðstöðin á Veðurstofunni nú orðin að sjálfvirku eftirlitskerfi með eldstöðvum frá Mýrdalsjökli og vestur á Reykjanesskaga.

## HAGNÝT JARÐFRÆDIRÁÐGJÖF HJÁ LÍNUHÖNNUN HF.

Þorgeir S. Helgason, Ólafur Hjálmarsson og Sigurjón Páll Ísaksson, Línuhönnun hf., Suðurlandsbraut 4A, 108 Reykjavík.

Línuhönnun hf. er ráðgjafarstofa sem fyrst og fremst fæst við byggingarverkfraðilega ráðgjöf, sem veitt er af verkfræðingum, tæknifræðingum og iðnaðarmönnum. Fyrir liðlega tveimur árum var starfssviðið vikkað út og tekin upp jarðfræðileg og jarðtæknileg ráðgjöf, og ráðinn til þess mannvirkjajarðfræðingur. Á veggspjaldi og í þessu ágripi verður gerð grein fyrir því helsta sem fengist er við á þessu sviði hjá fyrirtækinu og talist getur áhugavert fyrir jarðfræðinga.

**Jarðkönnun með jarðsjá.** Vegna umfangsmikils jarðkönnunarverkefnis sem þurfti að leysa fyrir Landsvirkjun á árinu 1991 réðist Línuhönnun í að kaupa jarðsjá, en jarðsjármæling er tiltölulega ný aðferð til samfelldrar kortlagningar á jarðögum. Jarðsjáin byggir á sömu lögmálum og íssjá Raunvísindastofnunar. Ljóst er að við jarðkönnun og við skoðun innri gerðar setлага og bergs veitir hún nýja sýn, og við fornleifakönnun gæti hún valdið straumhvörfum sbr. það sem segir um það síðar. Langstaðsta verkefnið sem unnið hefur verið með jarðsjánni er áðurnefnd könnun fyrir Landsvirkjun, en hún fólst í mælingu tveggja u.p.b. 25 m langra sniða í um 800 mastursstæðum á hálendinu og víðar. Önnur verkefni hafa verið unnin vegna ávers, sorpurðunar, og húsa- og gatnagerðar. Óll þessi verkefni hafa sýnt að jarðsjármæling er fljóttleg og þægileg aðferð við jarðkönnun. Cobra borun var beitt samhlíða jarðsjármælingu í áðurnefndu hálendislínúverki til að auðvelda túlkun mælinganna. Tekin var upp ný aðferð við úrvinnslu borniðurstaðna. Í stað þess að líta á bortíma fyrir 20 cm færslu er nú litið á heildarbortímann sem fall af bordýpi og greinast þá mismunandi hallatölur fyrir mismundi jarðlagagerðir, sem gefur skyrari afmörkun laga og efnisgerða.

**Jarðefnisfræði.** Á árinu 1991 hófst vinna við endurnýjun gatna og gangstéttu í Kvosinni í Reykjavík sem ráðgert er að ljúka á nokkrum árum. Gatnamálastjórinn í Reykjavík hefur ráðið Línuhönnun til að fást við ýmis vandamál við endurnýjunina, m.a. á sviði jarðefnisfræði. Einn vandinn fólst í því að kanna hvort hægt væri að leggja snjóbræðsluslöngur undir slitlag í óbundin steinefni án þess að rýra burðargetu efnislaganna. Hingað til hafa slöngurnar oftast verið lagðar í núinn, einskorna sand, t.d. foksand, sem veldur ekki skemmdum á rörunum en hefur á hinn bóginn lítið burðarþol og því hefur ekki verið hægt að setja snjóbræðslu í umferðargötur öðru viði en að setja slöngurnar inn í bundið efnislag, svokallað raufabik. Lausnir fólst í því að skilgreina steinefni, svokallaðan hellusand sem hefði hátt burðarþol og ylli ekki skemmdum á slöngunum. Eftir að slikt efni hafði verið skilgreint voru gerðar ítarlegar rannsóknir á áhrifum sandsins á rörin undir sveiflukennu, háu á lagi líkt og umferðarálag getur verið. Það hefur komið í ljós að vegna þess hve þétt pökkuun næst með fjölkorna steinefni og hár styrkur vegna tiltölulega kantaðra og hrjúfra korna þá ná hin hvössu korn í efninu ekki að valda umtalsverðum skemmdum á rörunum. Auk hellusands hefur verið skilgreindur fúgusandur, frostpolið fyllingarefni og burðarlagsefni og skrifðar verklýsingar fyrir hellu- og steinlagnir með og án snjóbræðslu. Þessar lýsingar hafa verið gefnar út og eru hluti af efnis- og verklýsingabanka sem unnið er að fyrir Gatnamálastjórann í Reykjavík. Önnur smærri verkefni eru m.a. vörulýsingar og aðstoð við gæðastýringu hjá efnissölum, og einfaldar smásjárgreiningar á steinsteypu sem gerðar eru á rannsóknastofu Línuhönnunar, sem verið er að byggja upp.

**Jarðtækni.** Vegna áðurnefndra framkvæmda í Kvosinni og þar í grennd hefur Línuhönnun athugað lagskipan og efnisgerð á svæðinu og metið burðarþol og efniseiginleika hreyfðrar og óhreyfðrar moldar og fleiri laga. Sett var niður rör í Veltusundi, með aðstoð Orkustofnunar, til að fylgjast með sveiflum í grunnvatnsborði undir væntanlegu Ingólfstorgi, en þar verður grynnt niður á grunnvatn í Kvosinni. Úrkomusveiflur koma skýrt fram, en áhrifa sjávarfalla gætir ekki. Ákvörðun efnisgerða og lagbykkta í gatnaþversniðum hefur hér lendis einkum byggst á reynsluaðferðum, en Línuhönnun hefur í vaxandi mæli beitt reiknifræðilegum aðferðum við hönnunina, en þær krefjast þess m.a. að upplýsinga sé aflað um fjaðurstuðla íslenskra efna.

**Fornleifakönnun með jarðsjá.** Vaxandi áhugi er fyrir því að beita jarðsjá Línuhönnunar við fornleifarannsóknir, einkum til að afmarka rústir. Gerðar hafa verið jarðsjármælingar í Viðey og Laugarnesi fyrir Árbæjarsafn með athyglisverðum árangri. Á næstunni er fyrirhugað að gera sams konar rannsóknir á Arnarholí, við Aðalstræti og í Reykholti, auk þess sem frekari mælingar verða gerðar í Viðey. Í Viðey fundust rústir sem taldar eru vera lærðomsetur klaustursins, munkahúsins, og í Laugarnesi er talin fundin kirkjurést. Á næsta sumri verður jarðsjármælt og grafið við Aðalstræti og/eða Viðey og fæst þá reynsla af því hvernig jarðsjársniðin samsvara raunveruleikanum.

**Æskilegar jarðfræðilegar og jarðteknilegar rannsóknir.** Þó að oftast séu gefin ráð sem byggja á vel reyndri þekkingu er á Línuhönnun eins og mörgum öðrum verkfræðistofum unnið all nokkurt þróunarstarf, þ.e.a.s. núverandi þekking er aukin og endurbætt og henni beitt á nýjum sviðum. Eiginlegar rannsóknir eru takmarkaðar eins og gefur að skilja, en Línuhönnun leggur þó til fé og starfskrafa í rannsóknarverkefni Steinsteypunefndar svo dæmi sé tekið. Við ráðgjafarstarfið koma í ljós svið eða verkefni sem rannsaka þarf. Hér verða talin upp nokkur verkefni á sviði hagnýtrar jarðfræði, sem a.m.k. myndu gagnast okkur sem störfum á Línuhönnun. Mæla þarf útbreiðsluhraða rafsegulbylgju í íslenskum jarðefnum og jarðögum vegna jarðsjármælinga. Auka þarf mælingar á tengslum berggerða og eiginleika jarðefna svo spá megi fyrir um eiginleikana út frá einföldum berggreiningum, og velja heppilegustu steinefnin hverju sinni. Vegna nýrra hönnunaraðferða, sem m.a. byggja á tölfræðilegum upplýsingum um efniseiginleika, þarf að safna gögnum um dreifingu eiginleika í íslenskum jarðefnum, s.s. dreifingu rúmþyngdar og viðnámshorns. Í því samhengi væri æskilegt að sameinast um flokkunarkerfi jarðefna með aðilum sem starfa á þessu sviði. Mæla þarf fjaðurstuðla í fyllingum og burðarlögum vegna þversniðshönnunar gatna Töluverður efniviður liggur fyrir hjá Línuhönnun um þessi verkefni, og er áhugi á því að stuðla að og taka þátt í rannsóknum af þessu tagi.