

Jarðfræðafélag Íslands

# KÖTLUSTEFNA

Dagskrá og ágrip erinda

Reykjavík, 26. febrúar 1994

**Kötlustefna**  
**ráðstefna Jarðfræðafélags Íslands að Borgartúni 6**  
**26. febrúar 1994**

**Dagskrá**

Fundarstjóri: Freyr Þórarinsson

- 12:45** Skráning
- 13:00** Setning: Freyr Þórarinsson, fomaður JFÍ
- 13:05** *Helgi Björnsson og Finnur Pálsson, Raunvísindastofnun Háskólans:*  
Mýrdalsjökull: yfirborð, botn og rennslisleiðir jökulhlaupa við gos undir jöklinum
- Guðrún Larsen, Raunvísindastofnun Háskólans:*  
Súr og basísk gjóskulög frá Kölu - er gossaga síðustu 1000 ára dæmigerð fyrir eldstöðina?
- 13:50** *Páll Imsland, Raunvísindastofnun Háskólans:*  
Aðdragandi Kötlugosa og hættur samfara þeim
- Haukur Tómasson, Orkustofnun:*  
Kötlufarvegir og rennsli hlaupsins 1918
- 14:35** *Þorbjörn Karlsson, Háskóla Íslands:*  
Kötluhlaup 1918. Nokkrar hugleiðingar um eðli hlaupsins og rennslismagn
- Páll Einarsson og Bryndís Brandsdóttir, Raunvísindastofnun Háskólans:*  
Upptök jarðskjálfta og hugleiðingar um kvíkuhólf
- 15:20** Kaffihlé
- 16:00** *Páll Halldórsson og Gunnar B. Guðmundsson, Veðurstofu Íslands:*  
Spennuúlausn jarðskjálfta í Mýrdalsjöklum 1951-1993
- Bryndís Brandsdóttir, Raunvísindastofnun Háskólans, Ólafur Guðmundsson, Australian National University, Bill Menke, Columbia University, og Guðmundur E. Sigvaldason, Norrænu Eldfjallastöðinni:*  
Kvíkuhólf undir Köluöskjunni
- 16:45** *Magnús T. Guðmundsson, Raunvísindastofnun Háskólans:*  
Bygging Kölueldstöðvarinnar samkvæmt þyngdarmælingum
- Freysteinn Sigmundsson og Eysteinn Tryggvason, Norrænu Eldfjallastöðinni:*  
Mælingar á jarðskorpuhreyfingum við Kölu 1967-1993
- 17:40** Sveinbjörn Björnsson háskólarektor dregur saman efni ráðstefnunnar og stýrir almennum umræðum
- 18:30** Ráðstefnulok

## MÝRDALSJÖKULL: YFIRBORÐ, BOTN OG RENNSLISLEIÐIR JÖKULHLAUPA VIÐ GOS UNDIR JÖKLINUM.

Helgi Björnsson og Finnur Pálsson, Raunvísindastofnunar Háskólangs.

Vorið 1991 var gerður leiðangur á Mýrdalsjökul í þeim tilgangi að fá fram kort af yfirborði og botni hans svo að fram kæmi landslag undir honum og rennslisleiðir íss og vatns niður að jökulsporði og jökulám. Mikilvægur þáttur í þessu verki var könnun á eldstöðvum undir jöklinum og mat á því hvert jökulhlaup geta fallið við gos.

Hæð yfirborðs jöklusins var mæld með nákvæmum lofthæðarmælingum og þykkt hans með íssjá. Niðurstöður hafa verið settar fram í kortum og fjarvíddarmyndum af yfirborði og botni. Undir Mýrdalsjöklum er firnamikil askja, sem afmarkast af Goðabungu að vestan, Háubungu að sunnan, vestari Kötlukolli að austan og Austmannsbunga rís upp úr norðurbarminum. Innan þessara barma er flatarmál öskjunnar  $110 \text{ km}^2$ . Dýpst nær botn öskjunnar um 650 m y. s. í norðvesturhluta hennar, rétt innan við öskjubarmana upp af miðjum Entujökli, en hæstir eru barmarnir í Háubungu og Goðabungu, 1380 m y. s.; askjan er því rúmlega 700 m djúp.

Í suðurhluta öskjunnar hafa hlaðist upp allmög stök fjöll, væntanlega eldvörp, sem rísa upp í 1100 m hæð á milli dælda sem nái niður í 750 m; mest ber á hrygg austur úr Goðabungu, sem stefnir þvert yfir öskjuna í átt að Kötlukolli og stöku 1100 m háu fjalli um 2 km norður frá öskjubörmum við Háubungu. Á milli þessara eldvarpa, upp af Sólheimajökli, er kvos sem nær niður í 750 m. Norðurhluti öskjunnar er mun sléttari og dýpri en suðurhlutinn; um  $25 \text{ km}^2$  svæði er neðan við 800 m y.s. Upp af Höfðabrekkjökli er áberandi kollaröð í stefnu NNV, um 2.5 km innan við öskjubarmana, og rísa kollarnir hæst um 850-900 m, en á milli þeirra nái kvosir niður í 700-750 m. Fjarlægð milli kollanna er um 2 km. Um 1.5 km austan við nyrsta kollinn eru gosstöðvarnar frá 1918 í um 900 m hæð undir 400 m þykum jöklum; nánar sagt í 50 m djúpri og 500 m breiðri dæld milli tveggja barma, sem rísa 100-150 m yfir landið umhverfis.

Nokkrir miklir hryggir geisla út frá öskjunni. Einn þeirra tengist Eyjafjallajökli og eru Kötlukollar í framhaldi af honum austan öskjunnar, tveir stefna norðvestur og afmarka Entugjána, tveir ganga undir Sléttujökul um 5 km norður úr brún öskjunnar og fer sað eystri beint frá Austmannsbungu en hinn er um 2 km vestar. Milli síðastnefndu hryggjanna er þróngt skarð í öskjubarmana, sem nær niður í 1000 m y.s. Práðbeint í norðaustur frá Austmannsbungu er áberandi geil eða gjá, 150-200 m djúp og um 1.5 km breið, sem nær langleiðina að jökuljaðri vestan við Öldufell. Á botni Sléttujökuls eru allmargir stakir kollar.

Þrír skriðjöklar hafa rofið skorð í öskjubarmana; Höfðabrekkjökull (Kötlujökull) niður í um 900-1000 m y. s., Sólheimajökull í 950-1050 m og Entujökull í um 1000-1100 m. Enn á estir að mæla nákvæmlega lægstu hæð í þessum skorðum. Hyrsi jöklinninn gæti  $50 \text{ km}^2$  stöðuvatn legið í öskjubotninum þegar rynni yfir lægsta skarðið; og rúmmál þess verið nærrí  $8 \text{ km}^3$ . Um þessi þrjú skorð hafa flest jökulhlaup fallið við gos í jöklinum. Hins vegar gætu jökulhlaup hafa grafið tvö þróng gljúfur norður frá Austmannsbungu; annað stefnir beint í norður og hitt norðaustur. Nú eru aðstæður þannig í Mýrdalsjöklum að ekki safnast fyrir vatn í öskjunni (nema undir nokkrum litlum sigkötum). Jöklinninn þýstir vatninu við botn út úr öskjunni svo að af  $70 \text{ km}^2$  svæði innan hennar fellur það niður á Mýrdalssand, af  $20 \text{ km}^2$  svæði niður að Markarfljóti og af  $20 \text{ km}^2$  svæði niður á Sólheima- og Skógasand. Við gos innan öskjubarmana er líklegt að rennslisleiðir jökulhlaupa yrðu á svipuðum svæðum. Sé litið á allan jöklinninn fellur vatn af um  $310 \text{ km}^2$  svæði til Mýrdalsjöklus,  $110 \text{ km}^2$  svæði til Sólheima- og Skógasands og  $170 \text{ km}^2$  að Markarfljóti. Bendi jarðhræringar til þess að gos sé að brjótast upp undir jöklinum og unnt er að staðsetja líklegar gosstöðvar má með þessum gögnum meta hvert jökulhlaup muni falla.

Af 20 hlaupum frá landnámsöld hafa 18 fallið niður á Mýrdalssand og tvö til Sólheima- og Skógasands. Fyrir um 1600 árum fíll mikil hlaup niður Markarfljótsaura. Talið er að síðatliðin 4000 ár hafi 8 stórhlaup fallið niður á Sólheima- og Skógasand.

Heildarrúmmál íss í Mýrdalsjöklum er um  $130 \text{ km}^3$ , flatarmál um  $580 \text{ km}^2$  og því er meðalþykkt hans um 225 m. Mesta ísþykkt er 750 m.

# SÚR OG BASÍSK GJÓSKULÖG FRÁ KÖTLUELDSTÖÐVAKERFINU: HVERSU DÆMIGERÐ ER GOSSAGA SÍÐUSTU 1000 ÁRA?

Guðrún Larsen, Raunvísindastofnun Háskólangs, Dunhaga 3, 107 Reykjavík

Gos á Kötlueldstöðvakerfinu á nútíma virðast hafa verið af þrennu tagi:

1) Basísk þeytigos á gossprungum sem opnast undir jökli, líklega oftast innan öskjunnar í Mýrdalsjökli, og á síðustu óldum austantil í henni. Mikil jökulhlaup hafa fylgt þessum gosum, a.m.k. á sögulegum tíma, oftast undan Kötlujökli. Þetta eru hin dæmigerðu Kötlugos og jafnframt algengustu gosin bæði á sögulegum og forsögulegum tíma.

2) Súr þeytigos á gossprungum sem opnast undir jökli, að því er virðist eingöngu innan öskjunnar og - eftir því sem nú er best vitað - mun vestar en i Kötlugosum á síðustu óldum. Vitað er með sámeilegri vissu um 11 slík gos og þau gætu verið fleiri. Þau eru næstalgengustu gosin á Kötlukerfinu á forsögulegum tíma.

3) Basísk flæðigos á gossprungum á sprungureininni norðaustan Mýrdalsjökuls og í jöðrum megineldstöðvarinnar. Stærstu gosin á Kötlukerfinu eru af þessu tagi. Vera má að mörg þeirra séu í raun blönduð gos, þ.e. bæði þeyti- og flæðigos, vegna þess að hluti gossprungnanna opnast undir jökli.

Kötlugos á sögulegum tíma eru um 20 talsins og 17 eða 18 síðustu 1000 árin. Þá er miðað við gos sem brutust upp úr jöklínnum og skildu eftir sig gjóskulag í jarðvegi í nágrenni Mýrdalsjökuls. Þau hafa staðið frá 2 vikum upp í meira en 5 mánuði. Gjóskufall er yfirleitt mest fyrstu gosdagana en getur orðið hvenær sem er allan gostímann. 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 1.5 km<sup>3</sup> (nýfallin gjóaska). Magn gjósku í smæstu gjóskulögunum er tveim stærðargrádum minna. Meðallengd goshléa síðan um 1500 er 47 ár og mestu frávik í hvora átt 33 og 34 ár.

Stór flæðigos eru sjaldgæfir viðburðir á Kötlukerfinu. Vitað er um two slíka "elda" á sprungureininni norðaustan Mýrdalsjökuls á nútíma. Þeir fyrrir, sem ef til vill mætti nefna Hólmsárelدا, eru rúmlega 6600 kolefnisára gamlir. Í þeim runnu hraun niður Álfaversafrétt frá gossprungum norðaustan Mýrdalsjökuls. Ekki er vitað hversu lagt þau hraun ná til suðurs því þau eru hulin yngri hraunum að hluta og magn gosefna er því ekki þekkt. Á 10. öld varð stórgos á gossprungu sem nær frá Kötlusvæðinu til norðausturs um Eldgjá að Stakafelli, alls um 75 km leið. Í því gosi runnu hraun niður Álfaversafrétt í sjó fram í Álfaveri og niður í Landbrot og Meðalland og er rúmmál þeirra svipað og hrauna í Skaftárelendum. Stærsta gjóskulag sem myndast hefur á Kötlukerfinu og varðveitt er í jarðvegi er úr þessu gosi. Magn gjósku á landi er um 2.7 km<sup>3</sup> (þjóppuð) og áætlað magn á landi og sjó um 4 km<sup>3</sup>. Heildarmagn gosefna gæti verið um 14 km<sup>3</sup> reiknað sem fast berg.

Allmög súr gjóskulög eru ættuð frá Kötlukerfinu. Ákvörðun á uppruna gjóskulaganna er byggð á einu eða fleiri eftirsarandi atriða: þykktardreifingu, útlitseinkennum eða efnasamsetningu. Yngsta lagið er frá því alllöngu fyrir landnám og þau finnast í jarðvegi eins langt aftur og hann nær á þessu svæði. Þau eru að minnsta kosti 11 talsins. Flest eru þau í jarðvegi norðaustan eða austan Mýrdalsjökuls.

Upptök þessara gjóskulaga eru í öskjuni í Mýrdalsjökli. Kornagerðin bendir til að utanaðkomandi vatn eigi þátt í tætingu kvíkunnar en þrátt fyrir það virðast gosin ekki hafa verið eins öflug og búast mætti við af phreatoplínfan gosi. Útbreiðsla og lögun gjóskugeiranna bendir til að súru þeytigosin hafi í flestum tilfellum staðið fremur stutt. Þykktarásar þeirra benda til að upptökin séu mun vestar en upptök Kötlugosa á síðustu óldum.

Magn gjósku sem upp kom í þessum gosum er yfirleitt fremur lítið. Gjóskufallssvæði stærsta lagsins á landi er rúmir 15000 km<sup>2</sup> innan 0.2 cm jafnþykktarlinu og rúmmál gjóskunnar eins og hún er í jarðvegi (þjóppuð) er um 0.16 km<sup>3</sup>. Það samsvarar um 0.27 km<sup>3</sup> af nýfallinni gjósku ef reiknað er með að gjóskan sé nú um 60% af upphaflegu rúmmáli, líkt og gert hefur verið við gjóskulög á sögulegum tíma. Þetta er svipað gjóskumagn og fell á landi í fyrsta þætti Heklugossins 1766. Smæstu gjóskulögin eru minni en gjóskulagið úr Heklugosinu 1991 (0.02 km<sup>3</sup>). Hugsanlegt er að gosin hafi orðið undir svo þykkum ís að jökulþekjan hafi ekki rofnað fyrir en mesti krafurinn var úr kvikuuppstreyminu og megnið af gosefnunum hafi hrúgast upp undir ísnum. Líklegt er að jökulhlaup hafi fylgt þessum gosum en engin merki um þau hafa enn fundist.

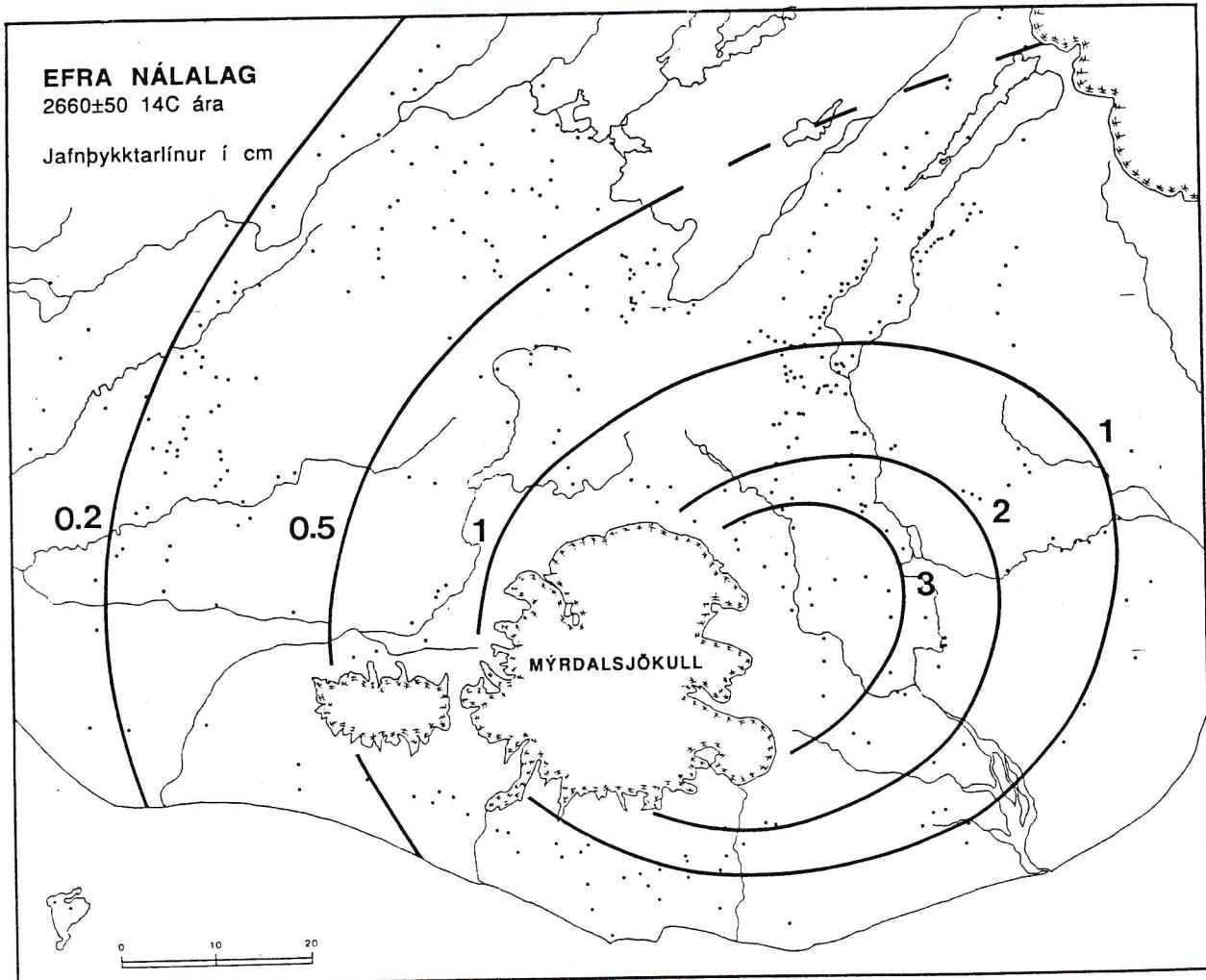
Aldur tveggja yngstu gjóskulaganna er þekktur af geislakolsgreiningum á lífrænum leifum í beinum tengslum við gjóskuna, og er um 1700 og um 2700 kolefnisár. Fara má nærri um aldur fjögurra annarra vegna nálægðar þeirra við tímasett gjóskulög, og er aldur þess elsta af þeim um 6400 kolefnisár. Það er þó ekki elsta súra gjóskulagið frá Mýrdalsjökli.

Súru gosin dreifðust ekki jafnt á ofangreint tímabil. Lengsta goshléð virðist hafa verið um 1000 kolefnisár en þau stytta stærðargráðu minni. Gosin voru síðust á tveim tímabilum, fimm gos urðu á tímabilinu fyrir 2700 - 3600 kolefnisárum, og þrjú gos á tímabilinu fyrir 6100 - 6400 kolefnisárum.

Efnasamsetning glersins í þeim sex gjóskulögum sem búið er að gera efnagreiningar á er áþekk í öllum tilfellum, SiO<sub>2</sub> innihald er 65-67%. Þau eru mynduð á tímabili sem spannar um 4000 kolefnisár. Gjóskað er gráleit með grænum eða gulleitum blæ. Í sumum gjóskulögunum, einkum tveim þeim stærstu, eru kornin mestmegin langar glertrefjar eða nálar. Þau mynda auðþekkt leiðarlög á Suðurlandi og draga nafn af kornagerðinni, ebra nálalag (EN, aldur um 2700 kolefnisár) og neðra nálalag (NN, áætlaður aldur um 3200 kolefnisár).

Súru gjóskulögum eru sjálfstæð vísbending um að grunnstætt kvíkuhólf með súrri kviku hafi verið undir öskjunni í Mýrdalsjökli. Það virðist hafa verið á svipuðum stað og kvíkuhólf sem merki fundust um með bylgjubrotsmælingum sumarið 1991. Ekkert súrt gjóskulag frá Mýrdalsjökli, þ.e. gjóskulag þar sem súrt gler er meginefnið, er þekkt með vissu á sögulegum tíma. Yfirstandandi "goshlé" (um 1700 kolefnisár frá því að síðasta súra gjóskulagið myndaðist) er það lengsta sem vitað er um. Þessi þáttur í eldvirkni Kötlukerfisins hefur því breyst, að minnsta kosti hvað tíðnina varðar.

Sú spurning vaknar hvort Eldgjárgosið á 10. öld eigi hér einhvern hlut að máli. Megnið af þeim 4 km<sup>3</sup> af gjósku sem mynduðust í Eldgjárgosinu kom upp á þeim hluta gossprungunnar sem liggur undir jökli og í gjóskunni sem á upptök í öskjunni er töluvert af súru gleri innan um basaltglerið. Vel má vera að þetta gos hafi valdið svo miklum breytingum á aðstæðum undir öskjunni að súru gosin hafi lagst af um tíma - eða fyrir fullt og allt.



1. mynd. Bráðabirgðakort af þykktardreifingu efra nálalags, stærsta súra gjóskulagsins sem enn er þekkt frá Kötlukerfinu, 2660±50 14C ára (SRR 2805). Það er auðþekkt af nálalaga kornum og er gott leiðarlög á Suðurlandi. Þykktarás þessa lags er svo óljós að erfitt er að finna upptökunum ákveðninni stað undir jöklínunum. Það kemur hins vegar að mestum notum sem leiðarlög og þess vegna er kort af því birt hér fremur en af smærri lögum með skýrari þykktarás.

## AÐDRAGANDI KÖTLUGOSA OG HÆTTUR SAMFARA PEIM

Páll Imsland  
Raunvísindastofnun Háskólangs,  
Dunhaga 3, 107 Reykjavík

Aðdragandi Kötlugosa lýsir sér einkum í breytingum á spennuástandi í jarðskorpunni á Kötlusvæðinu. Afleiðingar af slíkum breytingum, sem gætu þjónað sem merki um aðsteðjandi eldsumbrot, ættu einkum að vera tvenns konar. Í fyrsta lagi er um að ræða breytt jarðskjálftamynstur og í öðru lagi aukinn varmastraum til yfirborðs. Jarðskjálftamælar eru á svæðinu sem nema skjálftana og verða upplýsingar frá þeim líklega gleggsu nothæfu merkin um aðsteðjandi gos. Líklega verður einnig bætt við mælum á svæðinu ef til einhverra þeirra atburða dregur, sem líkur eru á að boði eldsumbrot. Óvissara er hvort hægt er að mæla varmastrauminn eða fylgifiska hans eða greina þá á annan hátt sem fyrirboða eldsumbrota. Lögð er áhersla á að reyna að greina þessa þætti.

Í því sambandi er einkum hugað að efnasamsetningu árvatns, sem rennur frá jöklinum. Árvatnið gæti flutt skilaboð með efnum, sem losna úr bergkvíkunni, þegar hún "býr sig undir gos"; við afgösun. Gós sem þannig losna er kvika nálgast yfirborð geta borist til yfirborðs mun fyrr en sjálf kvikan. Á Kötlusvæðinu má búast við því að þau berast fyrst og fremst upp í jarðhitakerfin og þar hljóta þau að blandast í árvatnið. Efnabreytingar á árvatninu gætu þannig verið læsilegur fyrirboði gosa. Einnig gæti aukinn varmastraumur til yfirborðs samfara skjálftavirkni á aðdragandatímanum leitt til aukinnar bræðslu íss og aukins afrennslis frá jarðhitasvæðunum. Þannig gæti tiltölulega snögg auking á afrennslu undan skriðjöklum Mýrdalsjökuls verið forboði gosa. Hér er ekki vísad til Kötluhlaupanna heldur mun minni en samt umtalsverðrar aukningar sem á sér stað áður en kvikan sjálf hefur borist upp undir ísinn.

Kötlugosin eru fyrst og fremst gjóskugos, þeytigos, en þeim fylgja gríðarmikil jökulhlaup og auk þess eldingar ("leiftur") og þrumur ("reiðarslög") í mjög miklum mæli. Einnig getur sjávarbylgja myndast við ströndina er hlaupin ná til sjávar. Hættan af Kötlugosum stafar því einkum af fjórum fyrirbærum: gjóskufalli, jökul-hlaupum, eldingum og flóðum. Hætta þessi steðjar að allri náttúrunni og allri nýt-ingu hennar, en einkum að mönnum, skepnum, gróðri, byggingum, samgöngum og fjarskiptum.

1) Gjóskufall: Gjóskufalls má vænta allt til fjærstu hluta landsins, ef gos verður ákaft og sterkir vindar ríkja en þyngst kemur gjóskufallið niður á nágrennsvæðum Kölu sjálfrar. Í undangengnum gosum hefur 5 cm jafnþykktarlinan legið í u.p.b. 20-45 km fjarlægð frá Kölu og 2 cm línan í u.p.b. 40-70 km fjarlægð. Við jörðu eru austlægar áttir lang-algengastar á þessu svæði, en þegar kemur upp fyrir ca. 5 km hæð eru suðvestlægar áttir algengastar. Dreifing gjóskunnar er því mjög háð hæð gosmakkarins og gjóskufalls getur gætt á mismunandi vegu, eftir því hvort hún fellur úr neðri- eða efri hluta gjósku-makkar. Þannig gæti gjóskufalls gætt bæði austan og vestan Mýrdalsjökuls samtímis.

Ólíklegt er að gjóska muni valda umtalsverðum beinum skaða á skepnum, nema þá í næsta nágrenni gosstöðvanna, svo sem á Mælifellssandi, ef mikil gjóska nær að berast þangað þegar fé er þar á beið. Gjóskan getur hins vegar haft alvarleg áhrif á heilsufar skepna en síður manna, þar sem þeir næraust ekki á jarðargróðri og afrennslisvatni á jafn beinan hátt og húsdýrin. Gjóskan getur spilt gróðri verulega ef hún fellur á gróna jörð í gróandanum. Að þessu leyti eru Kötlugos að vori eða sumri lang alvarlegust. Gjóskan getur einnig spilt neyslувatni. 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 og jafnvel raforkuframleiðslu á vatnsvæði Tungnár og Þjórsár. Gjóska í lofti getur haft alvarleg áhrif á flugsamgöngur og á það bæði við um innanlands- og millilandaflug. Ekki eru miklar líkur til þess að gjóskufall muni koma alvarlega niður á byggingum á svæðinu. Þær eru flestar í þeirri fjarlægð að nægilega þykk gjóska til að valda tjóni með þyngslum, er ólíkleg til að hlaðast upp nema á löngum tíma. Gjóskufok getur hins vegar haft mjög alvarlegar afleiðingar bæði fyrir byggingar, einkum gler, og svo alla umferð.

2) Jökulhlaup: Jökulhlaupa má vænta undan Kötlujökli og fram úr Krika út á Mýrdalssand, undan Sólheimajökli út á Sólheima- 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 landslagsmynstrinu undir Mýrdalsjökli og hæð þeirra skarða sem hlaupvatnið fer um. Á Mýrdalssandi flæða hlaupin yfirleitt bæði suður í átt til Kötlutunga og koma þá fram úr Rjúpnagili og einnig austur í átt til Álfstavers 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 þursa að þrengja sér alla leið fram undir sjálfum jöklinum. Hlaupin virðast fara með 6-20 km hráða á klukkustund; almennum reiðhraða á íslenskum hrossum.

Hlaupin eira litlu þar sem þau fara yfir; taka með sér það sem lauslegt er, menn, skepnur og byggingar og spilla jörð og mannvirkjum, einkum í meginálum. Á sandinum austan Mýdalsjökuls eru vegir og brýr í hættu og að einhverju leyti einnig lagnir. Jökulhlaupin bera með sér í gríðarlegu magni ný gosefni og eldri laus jarðefni og færa þau alla leið fram í sjó og mjaka við það ströndinni fram. Einkum hefur þetta gerst á Mýrdals-sandi. Við þetta breytist bæði ströndin og sjávarbotninn undan ströndinni. Einnig berst með hlaupunum mikill ís sem að hluta til fjarar undan á sandinum og veldur hann því að sandurinn er illfær lengi á eftir og mjög varasamur fyrir menn og skepnur. Að hluta til endar þessi ísflutningur frammi í sjó, þar sem hann getur tímabundið valdið hættu fyrir skip og báta. Þessi gríðarlegi efnisflutningar til sjávar hefur áhrif á sjávarlíf en þau eru að mestu leyti óþekkt. Einnig virðist þessi efnisflutningar geta leitt til eðjustrauma á hafssbotni sem gætu reynst botnköplum skeinuhættir. Líkur eru til að slíkir eðjustraumar geti borist hundruð kílómetra suður eftir hafssbotninum.

3) Eldingar: Eldinga og annarra raffyrirbæra má vænta allt umhverfis gos-stöðvunar, en einkum er þeirra þó von í þá átt sem gosmökkinn leggur, þar sem raf-kraftarnir 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.

4) Flóðbylgjur: Flóðbylgjur eru taldar líklegar til að myndast þegar efnismikill hlaupjaðar skellur á ströndinni. Slíkar bylgjur eru þekktar úr sögunni og hefur áhrifa þeirra gætt meðfram ströndinni, allt til Grindavíkur. Mestar líkur eru þó á skaða í Vík og við Vestmannaeyjar. Að undanförnu hefur gætt mikils landbrots á ströndinni framan við þorpið í Vík og er nú orðið til muna styttra frá fremstu og lægstu byggingum til sjávar en var fyrir nokkrum árum og auk þess hefur lögun og umfang sjávarkambnsins breyst þannig að varnareðli hans í þessu samhengi hefur minnkað til muna. Þetta eykur stórlæga líkur á að flóðbylgja af umræddum toga ná að hafa skaðsamleg áhrif í Vík.

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 yfirleitt taldar á því að veruleg hættu skapist vegna jarðskjálfta, hruns, skriðufalla eða hraunrennslis í Kötlugosum. Þó skjálftavirkni sé í þessu tilviki mikil, þá eru skjálftar að mest leyti of smáir til þess að valda umtalsverðu tjóni. Þeir gætu þó hleypt af stað ofansöllum, en þau eru líklegust til þess að falla utan við þau svæði þar sem þau gætu valdið umtalsverðum skaða. Það útilokar hins vegar ekki einstöku skaða, þar sem byggð er þétt undir hömrum eða brekkum. Í flestum Kötlugosum hefur hraunrennslis lítt gætt. Þó hafa komið hraun fram úr Krika og svo gæti ennþá gerst.

## KÖTLUFARVEGIR OG RENNSLI HLAUPSINS 1918

Haukur Tómasson, Orkustofnun

Lýsingar á hlaupinu og byrjun gossins eru með þeim annmarka að tímasetningar eru ónákvæmar enda ekki úr á hvers manns armi á þeim tínum. En allt skeður mjög hratt á þessum upphafsstundum gossins þannig að röð atburða getur hæglega raskast. Minn skilningur á atburðaröðinni 12. okt. 1918 er eftirfarandi: Skjálfti kl. 13-13.30 (Vík, Heiði). Niður í rennandi vatni kl. 13.30 (Álfaver). Gos uppi kl. 14 (Heiði). Kl. 15.30 er hlaupið á móts við Hjörleifshöfða (Hjörlh. Vík) Magnast mjög kl. 17 og lokast fyrir Múlakvísl. Fullur gangur kl. 19 er dimmri að nóttu. Flóðið sjatnað er birti að morgni. Hlaupið austur er heldur seinna á ferðinni. Það kemur fyrst í Skálum, þá Austari-Kæli og síðast í Kúðafjót. Þetta gerðist milli kl. 16 og 18. (Álfaver Meðalland). Hlaupið tók að sjatna kl. 22 um kvöldið (Meðalland) og var að mestu sjatnað um morguninn 13. okt. Í sviga segir hvaðan upplýsing um atriðið er kominn.

Eins og meðfylgjandi mynd sýnir er hlaupið í 2 megin álum. Annar kemur undan jökli norðan við Hafursey, klofnar í 2 ála við Selfjall. Annar állinn fer í Múlakvíslarfaveg vestan Selfjalls, en hinn í Sandvatnið vestan Hafurseyjar og er það aðal rennslisleið hlaupsins. Múlakvísl flutti mikil vatn í fyrstu en stíflaðist af jökum þegar hlaupið nálgæðist hámark. Austurvatnið kom annarsvegar undan jökulsþorðinum austan við Hafursey og hinsvegar úr Krika. Pessir straumar runnu saman á Álfaverið og í Kúðafjót.

Til þess að reikna rennslu hlaupsins verður að byggja á lýsingum og athugunum á flóðarfavegum. Þetta tvennt gefur fyrst og fremst útbreiðslu, en óljósar upplýsingar um dýpi þess. Þó er hægt að draga vissar ályktanir á þeim stöðum þar sem flóðið rennur á nokkuð föstum botni. Innan við Hafursey og Selfjall eru hjallar, sem sennilega eru myndaðir nálægt hæðstu stöðu hlaupsins á þessum stað. Þetta má nota sem viðmið í reikninga. Upplýsingar um landslagið fyrir hlaup fást á korti sem gert var af þessu svæði 1904. Út frá því má draga ályktanir um halla landsins.

Sú jafna sem almennt er notuð til að reikna straumhraða rennandi vatns, er Manning jafnan. Hún er á forminu:

$$V = R^{0.666} i^{0.5} / n$$

Par sem  $V$  er straumhraði,  $R$  er dýpi,  $i$  er halli og  $n$  viðnámsstuðull líka kölluð Manning tala. Hallinn er lesinn af kortum. Dýpið er metið frá lýsingum og ummerkjum eftir því sem við á. Viðnámsstuðullinn er ágiskaður. Hann getur hæðstur orðið 0.022 í djúpum og mjög sléttum farvegi. Í venjulegum skurðareikningum er hann 0.03 en hér er reiknað með 0.065, því að auðséð er af lýsingum að viðnám er mikil. Sú spurning hlýtur að vakna, hvort Manning jafnan gildi fyrir svona vökva, sem er næstum mettaður af aur og með mjög mikil af ísjökum. Eftir lýsingum að dæma hagaði þetta sér eins og rennandi vatn og því ekki ástæða til að ætla annað en að Manning jafna geti lýst þessu rennslu ef Manning talan er rétt.

Reikningar á rennslu fóru þannig fram að reiknað er rennslid fyrir mörg þversnið með ágiskuðu dýpi. Þau þversnið, sem best eru þekkt hvað mögulegt eða líklegt dýpi varðar, eru síðan valin. Þá eru önnur snið endurreiknuð og athugað hvort eitthvað komi út sem ekki getur staðist. Á þennan hátt er fylgst með rennslinu frá jökli til sjávar. Niðurstaðan um hámarksrennslu er í eftirfarandi töflu.

Farvegur	Rennslu $m^3/s$	Meðalrennslistími mínútur
Í Sandvatnsfarvegi	150 000	60
Múlakvísl	20 000	60
Norðan Hafurseyjar	5000	180
Úr Krika	15 000	240

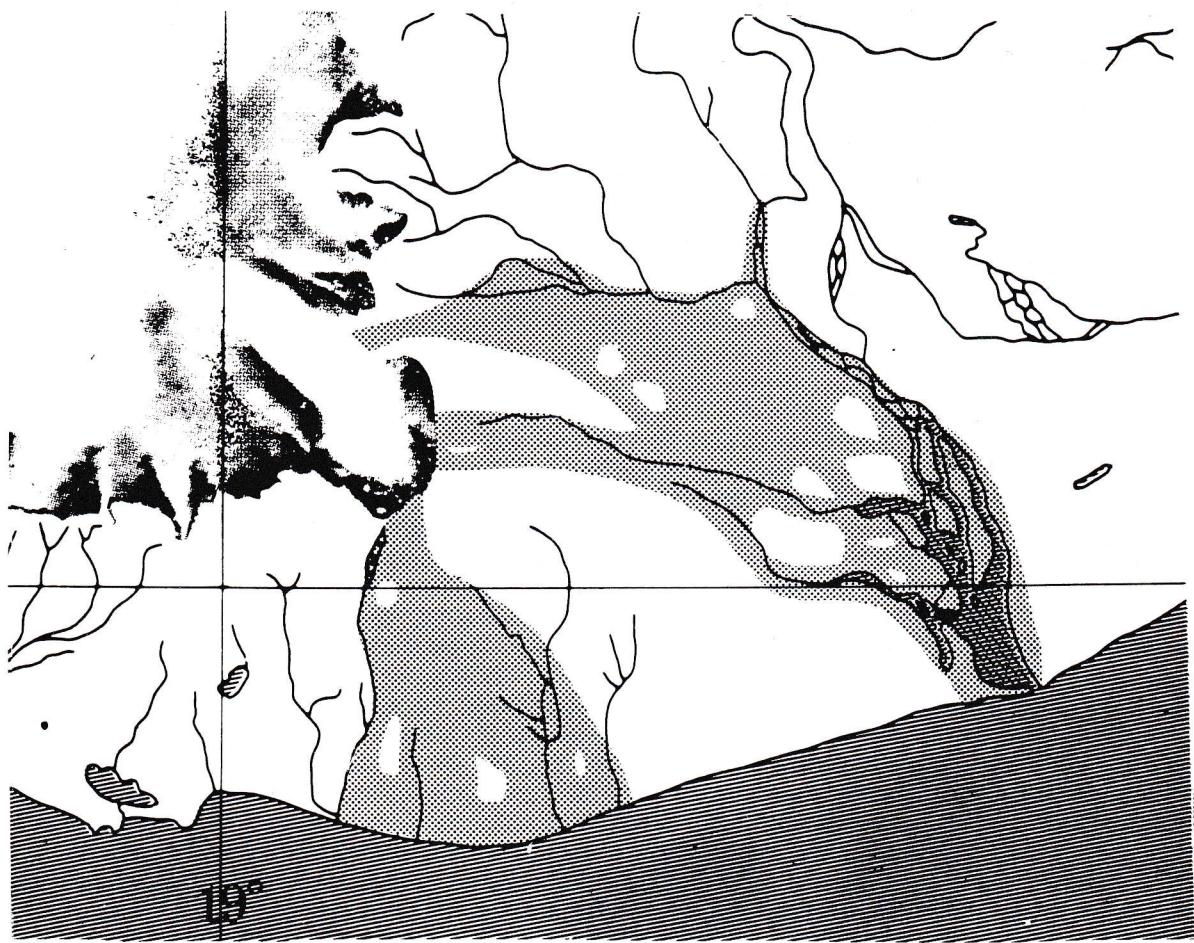
Samanlagt er þetta um 200 000  $m^3/s$ . Múlakvísl ætti í raun ekki að vera með í þessari samtölu því að hún stíflaðist að verulegu leyti áður en hlaupið náði hámarki. Rennslu 150 til 200 þúsund  $m^3/s$  er sennilegt hámarksrennslu hlaupsins. Rennslistíminn gefur hugmynd um hraða hlaupsins, þótt líklegt sé að það hafi farið eitthvað hægar en sem nemur meðal rennlistímanum.

Eins og áður hefur verið sagt var Mýrdalsandur kortlagður 1904 af landmælingadeild herforingjaráðsins danska. Næst var sandurinn kortlagður af samsvarandi stofnun hjá ameríkska hernum árið 1946. Ameríski herinn notaði mælingar Dana til skölunnar á flugmyndum og er því sama hæðarkerfi í báðum kortum. Utan flóðfarvegs Sandvatns og Múlakvíslar eru hæðarlínur á þessum kortum sambærilegar, en í flóðfarveginum eru allar hæðalínur yngra kortsins mun sunnar en á gamla kordinu. Skýring á þessum mun er askan sem hlaupið bar fram og setti á sandin og byggði út Kötltunga með. Rúmmál þessa efnis hef ég reiknað og þá gert ráð fyrir að sandströndin út í sjónum hafi haft sama halla og suðurströndin almennt hefur. Þetta rúmmál er  $1,5 \text{ km}^3$ . Þurrúmþyngd er tæplega 1 samkvæmt mælingum gosefnaneftndar. Um 90% af þessu efni er aska. Ef öll askan væri komin úr hraunkviku sem komið hefur upp í gosinu væri það 1250 miljónir tonna, sem brætt gæti  $4.5 \text{ km}^3$  af jökulís.

Helstu eiginleikar hlaupsins eru eftirfarandi samkvæmt þeim niðurstöðum, sem hér hefur verið tæpt á, og er þá fyrst og fremst átt við þann hluta, sem fór niður á milli Hafurseyjar og Selfjalls:

Gosefni á sandi	$1.5 \text{ km}^3$	1250 Mtonn
Bráðið vatn	$3.5 * 1250 \text{ Mtonn}$	$4.5 \text{ km}^3$
Ís	100-200 Gl	2-4 %
Hraunkvika	$.45 \text{ km}^3$	10 % af vatni
Eðlisþyngd flóðs	1.18	

Austurhlaupið virðist ekki hafa borið fram nærrí eins mikla ösku og aðalhlaupið. Aftur á móti var ísburður þess mjög mikill og truflandi á rennslið. Þetta var því venjulegt jökulhlaup. Svo var einnig um hlaup úr Kötlu, sem seinna komu í gosinu og eftir að því lauk. Þessi hlaup voru með hámarksrennsli, sem sennilega voru upp á tug eða örfáa tugi þúsunda  $\text{m}^3/\text{s}$ .



Kötlufarvegir 1918

0 10 20 km

# KÖTLUHLAUP 1918 - VANGAVELTUR UM EÐLI HLAUPSINS OG HÁMARKSRENNSLI

Porbjörn Karlsson, Háskóli Íslands, Verkfræðideild, Hjarðarhaga 6, 107 Reykjavík

## Inngangur

Mikið hefur verið rætt ogritað á undanförnum áratugum um Kötluhlaup og afleiðingar þeirra. Þetta er ekki óeðlilegt, þar sem Kötlugos og hin miklu hlaup, sem þeim fylgja, verða að teljast meðal mestu náttúruhamfara, sem verða hér á landi. Lengd goshléa milli Kötlugosa hefur verið allbreytileg síðan sögur hófust, og telst jarðvísindamönnum svo til, að frá siðbót hafi skemmtstur tími milli gosa orðið 13 ár og lengstur 68 ár, en meðalárafjöldi milli gosa um 46 ár. Má því segja, að Katla sé í dag orðin allnokkuð á eftir áætlun, og ekki að ófyrirsynju, að mönnum hefur orðið tíðlitið til hennar á síðari árum og mörgum brugðið, þegar skjálftavirkni í fjallinu verður umfram venju.

Fyrir um það bil 20 árum fékk höfundur þessara lína það verkefni að meta hættu á sjávarflóði í Vík í Mýrdal af völdum Kötluhlaups. Þegar heimildir um Kötlugos voru kannaðar, kom í ljós, að bæði Skipulag ríkisins og Almannavarnir ríkisins höfðu nokkrum sinnum leitað álits sérfræðinga á flóðoldhætu í Víkurkauptíni vegna Kötluhlaupa. Í álitsgerðum þessara vísindamanna er að finna allbreytilegar tölur um hámarksrennsli í Kötluhlaupinu 1918 eða  $3 - 400.000 \text{ m}^3/\text{s}$  (jökulleir og jakar meðtaldir, Pálmi Hannesson 1950),  $200.000 \text{ m}^3/\text{s}$  (Jón Jónsson 1969, 1974) og ekki undir  $100.000 \text{ m}^3/\text{s}$  (að ísnum frá-dregnum, Sigurður Þórarinsson 1957). Ekki er því lýst, hvernig þessar niðurstöður eru fengnar, en Sigurður Þórarinsson getur þess, að allar hámarksrennslistörlur hærrí en  $100.000 \text{ m}^3/\text{s}$  séu hreinar ágiskanir.

Í þessu erindi er þess freistað að meta hámarksrennsli Kötluhlaupsins 1918. Er stuðst við lýsingar sjónarvotta, sem prentaðar hafa verið, og er það von höfundar, að með henni verði hugmyndir okkar um hámarksrennsli Kötluhlaupa eitthvað öruggari en "hreinar ágiskanir".

## Lýsingar sjónarvotta

Agætar lýsingar á Kötlugosinu 1918 og hlaupinu, sem því fylgdi, er að finna í frásögnum sjónarvotta, sem skráðar hafa verið og birtar í ýmsum ritum. Í erindinu eru þessar heimildir notaðar óspart í því skyni að öðlast sem fyllsta vitneskju um hlaupið og framgang þess. Aðallega hefur verið stuðst við tvö rit, (Gísli Sveinsson 1919 og Guðgeir Jóhannsson 1919), en ritgerð Páls Sveinssonar (1919) hefur einnig varpað ljósi á ýmis atriði, sem ekki var fjallað um annars staðar. Hér á eftir verður vísað til þessara rita með upphafsstöfum höfunda (GS, GJ, PS) ásamt blaðsíðutolum, þar sem við á. Blaðsíðutöl í grein PS eiga við endurprentun greinarinnar í JÖKL.

Greinargóðar lýsingar á eðli hlaupsins í gosbyrjun er að finna í frásögn Kjartans L. Markússonar í Hjörleifshöfða (GJ, s. 25). Hann varð gossins var um kl. 15:00 og tæpum hálftíma síðar heyrði hann til hlaupsins *austan* við höfðann. Gekk hann þangað upp, og lýsir þannig því, sem fyrir augu bar: "Ógurlegt vatnsflóð hafði þá brotist fram á milli Hafurseyjar og Selfjalls og ruddist áfram yfir alla hina gömlu farvegi Sandvatnsins. Var breidd þess frá Hjörleifshöfða að vestan alla leið austur að Blautukvísl. Sást enginn burr blettur á öllu þessu svæði. . . . Flóðið var mjög úfíð að sjá, og svo var ísinn mikill, að ekki sást í vatnið sjálft, nema þar sem stórrstraumar náðu framrás. Flóðið braust þegar vestur fyrir Hjörleifshöfða, svo að hann var umkringdur eftir líttinum tíma. Einnig hafði flóðið hlaupið fram farveg Múlakvíslar, og var jafnsnemma að það náiði þar til sjávar og hér austur frá."

Samtímis því að ofangreind flóðalda braust fram í suðurátt milli Hafurseyjar og Selfjalls kom önnur niður í austurátt í Krika á milli Kötlujökuls og Sandfells og segir GS (s.11), að hún "flæddi austur af jöklinum, í beina stefnu á Rjúpnafell og klofnaði þar. Féll önnur kvíslin í Leirá og Hólmsá og síðan í Kúðafljót, en hin dreifði sér um Álfstaver." Engin vitni voru að þessu eystra hlaupi, en mergjaðar lýsingar er að finna á því, er það geystist yfir sveitirnar austur af, Skaftártungu, Álfstaver og Meðalland. Páll Sveinsson, þáverandi menntaskólkennari, lýsir þessum hluta hlaupsins eins og hann sá það fyrir sér þá staddir á háum sandölduhrygg í Krika (PS, s. 90 - 91): "Vorum við þarna fram undan jöklinum, þar sem jökulhlaupið eystra (austan Hafurseyjar) spýttist fram. Hefur þetta Eystrahlaup greinst í tvennt við þennan ölduhrygg, og önnur kvíslin oltið fram Leiráfarveg í Hólmsá og meðfram henni, að mestu leyti framan við Atlaey, en skollid á norðurenda Rjúpnafells og meginhluti hennar farið austan við það (í Hólmsá), en nokkuð til útsuðurs og sameinast hinni kvíslinni, er fór hinum megin ölduhryggjarins. . . . Hefur hlaupið greinilega soðið á öldubarminum og gengið langt upp í brekkur Sandfells."

Eystra hlaupið stóð aðeins um tvær stundir, en skildi eftir sig geysimikla eyðileggingu og ísjaka dreifða allt austur í Meðalland, austan Kúðafljóts. Gísli Magnússon í Norðurhjáleigu í Álfstaveri lýsir últli jöklusins þannig að gosinu loknu (GJ s. 43): "Sést nú gerla héðan, að mikil breyting er orðin á honum. Skerast í hann tvö gljúfur og bæði mikil. Annað er upp undan Sandfelli, en hitt fyrir vestan Hafursey." Nyrðra gljúfrið var myndað af hinu mikla en skammvinna eystra hlaupi.

Kjartan L. Markússon í Hjörleifshöfða, lýsir miklli breytingu á vestari kvísl hlaupsins, þegar leið að kvöldi fyrsta gosdaginn (GJ s. 26): "Kl. 17:00 óx flóðið geysimikið. Kom þá fram á milli Hafurseyjar og Selfjalls svo mikið íshrúgald, að líkast var sem þar brunuðu fram heiðar heiðar snævi þaktar." Þessi

breyting verður sem sé um tveim stundum eftir að hlaupsins varð fyrst vart, en það er einmitt jafnlangur tími og eystra hlaupið stóð, og bendir allt til þess, að það sé engin tilviljun.

Á níunda gosdegi, 20. október 1918, var aðeins smávætl frá jöklínnum (GJ s. 63), en þann dag fór 6 manna hópur (GJ þar á meðal) frá Vík upp að jökli til að kanna aðstæður og upptök flóðoldunnar, sem fór hjá Hafursey. Segir svo frá þessari ferð (GJ s. 64): "Par sem við komum á auða jörð norðan megin hrannarinnar (jökulhrönn, sem leiðangursmenn gengu yfir í norður frá Lérefitshöfða), gengur svonefnt Remundargil inn í fjöllin. Vestan megin við gil þetta er fjall, sem heitir Vestureggjar og er 347 m á hæð yfir sjávarmáli. Sandurinn fyrir framan gilsmynnið er 143 m. . . Nú virtist okkur, að hlaupið hefði kastast svo hátt upp í fjallið, að nema mundi 1/3 af hæð þess frá sandinum. Hefur þá dýpt hlaupsins á þessu svæði verið 60 - 70 m." Ekkert vatn rann um gilið þennan dag, en þeir sáu sem sé merki þess, að fyrr í gosinu hefði hlaupið runnið um það. Gengu leiðangursmenn síðan á Vatnsrásarhöfðu, 486 m hátt fjall sunnan við Kötlujökul, og, með þeirra orðum (GJ s. 65) "blasti þá beint fyrir fótum okkar gljúfurðalur mikill, sem hlaupið hafði gert milli fjalla þessara og jöklusins. En áður var hér jökull fast vestur að fjallinu og hátt upp í hlíðarnar. Mun gljúfurðalur þessi vera allt að 2 km á lengd og 1/2 km á breidd. Lykja um hann snarbrattir jökulhamrar að austan og eins fyrir botni að norðan. Kemur þar undan jöklurótum allt það vatnsmegin, sem síðan flæðir yfir Mýrdalssand vestanverðan." Þeir félagar héldu áfram norður með gljúfurbarminum og komu (GJ s. 66) "þar, sem fjallið verður lægst, móts við gljúfurðalinn norðanverðan. Þar hefur hlaupið steypst yfir fjallið og ofan í gilið hins vegar, sem er nyrðri hluti Remundargils. Hefur það síðan fyllt gilið að kalla og síðan brunað fram úr því, svo sem við sáum merki til áður. . . Hefur það þá komið alla leið ofan af jökli með ógurlegu vatnsmegni, áður en sá hluti jöklusins sprak fram, þar sem nú er gljúfurðalurinn." Þessi gljúfurðalur er syðra gljúfrið, sem Gísli Magnússon í Norðurhjáleigu í Álfstaveri lýsir sem einni aðalbreytingu á jöklínnum eftir gosið (GJ s. 43).

Ljóst er af þessu, að Kötluhlaupinu 1918 má skipta í two aðskilda þætti. Fyrri þátturinn hefst í upp-hafi gossins, þegar vestara hlaupið kemur niður Remundargil og rennur þaðan vestan Hafurseyjar niður á sandinn og til sjávar beggja vegna Hjörleifshöfða, en eystra hlaupið fellur til austurs og suðausturs. Þessar tvær flóðoldur streymdu frá gosstöðvunum upp á yfirborð jöklusins og yfir jökulhjarnið, annars vegar til suðausturs niður á svokallað Sker og hins vegar til austurs niður í Krika. Þessi þáttur varir í aðeins 1,5 - 2 stundir, og hefst þá sá síðari. Þá hefur gosið lokið við að bræða og brjóta sér leið til suðausturs undir og í gegnum jökuljaðarinn, þar sem það kemur fram við Vatnsrásarhöfðu. Þá verður sú breyting á rennslinu, sem Kjartan L. Markússon í Hjörleifshöfða sá kl. 17:00 fyrsta gosdaginn. Fyrri hlaupleiðirnar eru þar með úr sögunni, og eftir það rann ekkert vatn austur í Álfstaver eða Skaftártungu.

Hlaupið sjatnaði um nóttina eftir fyrsta gosdaginn, en hófst síðan á ný næsta dag. Gosið og hlaup, sem því fylgdu, gengu síðan í hrinum en lágu niðri á milli. Lítið virðist hafa verið um hlaup eftir 14. október, en gosinu lauk 4. nóvember. Lýsingar, sem nota má til að meta rennslismagn í hlaupinu eru þær einar, báðar úr fyrri kafla hlaupsins, sem hér að framan hafa verið nefndar, þ. e. rennslishæð í Remundargili og frásögn PS af flóðhæð á sandölduhryggnum í Krika.

#### Eðli hlaupsins 1918 og mat á rennsli

Eðli vatnsrennslis í opnum náttúrlegum farvegum er oft skipt í þrjá flokka eftir vaxandi hlutfalli fram-burðarefna: (1) vatnsrennsli (water flow), (2) yfirmedtað rennsli (hyperconcentrated flow) og (3) malar-rennsli (debris flow), og miðast mörkin á milli þessara flokka við 20% annars vegar og 47% hins vegar af rúmmáli framburðarefna. Rennsli jökulhlaupa eru yfirleitt talin vera vatnsrennsli, en á síðari árum hafa komið fram tilgátur um að Kötluhlaupið 1918 hafi að miklu leyti verið í flokki malarrennslis. Þær lýsingar, sem vitnað er í að framan, benda þó eindregið til þess, að rennslið hafi verið iðustreymi á háu stigi [t.d. flóðið var mjög úfjöldi að sjá (GJ s. 25), vatnið fleygðist fram með feikna hraða og dryldi á því geysilega (GJ s. 27)]. Þó er hugsanlegt að um hafi verið að ræða yfirmedtað rennsli eða malarrennsli, þegar gljúfrið opnaðist við Vatnsrásarhöfðu og "líkast var sem þar brunuðu fram heiðar heiðar snævi þaktar" (GJ s. 26), sem bendir til öllu rólegra rennslis. Mörkin á milli þessara tveggja flokka eru oft óljós og ekkert unnt að segja um eðli rennslis nema með rannsóknum á gerð setlaga á hlaupleiðinni.

Í fyrsta hluta hlaupsins er því um að ræða rennsli Newton vökv, þar sem hin þekkta Manning jafna gildir. Jafnan hefur verið notuð til að áætla rennslið í Remundargili samkvæmt framangreindum lýsingum og reynist rennslið þar hafa verið um  $134.000 \text{ m}^3/\text{s}$  fyrir íslaust rennsli, en um  $123.000 \text{ m}^3/\text{s}$ , ef reiknað er með ís í rennslinu eins og var í Kötluhlaupinu. Landslag á slóðum eystri hlauprásarinnar gerir ákvörðun farvega þar allmiklu flóknari en í Remundargili, og hefur af óviðráðanlegum ástæðum ekki enn unnist tími til að meta rennslið þar. Bráðabirgðaniðurstöður benda þó til þess, að heildarrennslí í fyrsta hluta hlaupsins sé ekki fjarri efri mörkum þeirra gilda, sem getið er í *Inngangi*. Hvort það sé hámarksrennslið í hlaupinu má vera álitamál, en væntanlega er það ekki fjarri lagi.

*Heimildir*

Gísli Sveinsson 1919. *Kötlugosið 1918 og afleiðingar þess.* Gefið út að tilhlutun Stjórnarráðs Íslands. Prentsmiðjan Gutenberg, Reykjavík. 60 s.

Guðgeir Jóhannsson (safnaði og samdi) 1919. *Kötlugosið 1918.* Bókaverslun Ársæls Ármasonar, Reykjavík. 71 s.

Páll Sveinsson 1919. Kötluför, 2. september 1919. Ritgerð birt í Morgunblaðinu 24. og 25. október 1919. Prentuð í bókinni *Vestur-Skaftafellssýsla og íbúar hennar*, bls. 67 - 73. Björn O. Björnsson bjó undir prentun og gaf út. Ísafoldarprents miðja hf., Reykjavík 1930. Endurprentuð í *Jökli* 42:89 - 93.

## UPPTÖK JARÐSKJÁLFTA UNDIR MÝRDALSJÖKLI OG HUGLEIÐINGAR UM KVIKUHÓLF

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

Þrálát skjálftavirkni einkennir nokkrar megineldstöðvar á Íslandi, s.s. Kölu, Bárðarbungu, Hengil og Torfajökul. Skjálftavirkni þessara eldstöðva tengist ekki beinum eldsumbrotum og er nokkur ráðgáta. Upptök skjálftanna mynda yfirleitt þéttar þyrringar nálægt miðju eldstöðvanna. Leiða má rök að því að hluti virkninnar tengist jarðhitavirkni og varmanámi í rótum eldstöðvanna. Þetta á við um Hengil og e.t.v. fleiri eldstöðvar, en skýrir ekki alla skjálftavirknina. Það er t.d. ekkert greinilegt samband á milli virkninnar og afsl jarðhitakerfanna. Í sumum eldstöðvanna, s.s. Bárðarbungu og Kölu, eru skjálftaþyrringarnar tengdar öskjum. Þar liggur beinast við að túlka skjálftana sem afleiðingu af spennubreytingum í þaki grunnstæðra kvíkuhólfuna. Vaxandi kvíkuþrýstingur í hólfri veldur siggengishreyfingum, og minnkandi þrýstingur samgengishreyfingum í þaki hólfins.

Skjálftasvæðið undir Mýrdalsjökli er tvískipt, þ. e. upptök skjálftanna mynda tvær afmarkaðar þyrringar. Önnur þyrringin er undir suðaustanverðum jöklinum og fellur hún vel innan Köluöskjunnar eins og hún hefur verið kortlögð með íssjármælingum. Hin þyrringin er undir vesturjaðri jöklusins, 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 jarðskorpunnar, á 0-5 km dýpi.

Túlka má skjálftaþyrringuna innan Köluöskjunnar á þann veg að hún tengist kvíkuhólfum undir henni. Skjálftarnir verða þá vegna spennubreytinga í þaki hólfins sem stafa af þrýstingsbreytingum í kvíkunni. Stærsti skjálfti sem mælst hefur á þessum slóðum varð í júní 1977. Unnt var að finna brotlausn hans og sýnir hún verulegan samgengisþátt. Það má túlka þannig að skjálftinn hafi orðið í tengslum við þrýstingslækkun í hólfinu.

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

Kvíkuhólfin tvö undir Mýrdalsjökli ásamt megineldstöðinni Eyjafjallajökli liggja á austur-vestur línu. Þessari 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 er háð árstíðum. Skjálftar eru margfalt algengari þar á haustin en fyrri part árs. Hér hafa veðurfarsþættir ugglaut áhrif. Á haustin er jöklarfargið minnst og grunnvatnsþrýstingur í jarðskorpunni hæstur. Báðir þessir þættir lækka núningsviðnám á misgengisflötum í skorpanni og geta þannig stuðlað að aukinni skjálftavirkni. Sýna má fram að grunnvatnsþrýstingurinn hefur líklega meiri áhrif en fargbreytingin. Eins metra lakkun á ísnum getur valdið margra metra hækjun á grunnvatni. Hlutfallið fer þó eftir því hversu vel bræðsluvatnið skilar sér niður í grunnvatnið, poruhluta bergsins og fleiri atriðum. Poruþrýstingur í bergeninum vex því að lískindum mun meira heldur en sem nemur lakkun normalspennu á misgengisflötum, en báðir þættir eru jafngildir til lakkunar á núningi.

# SPENNUÚTLAUSN JARÐSKJÁLFTA Í MÝRDALSJÖKLI 1951-1993

Páll Halldórsson og Gunnar B. Guðmundsson, Veðurstofu Íslands.

Síðustu áratugi hefur verið viðvarandi skjálftavirkni í Mýrdalsjökli. Göður mælikvarði á skjálftavirkni er spennuúlausn (strain release). Hér á eftir er hún reiknuð samkvæmt formúlunni:

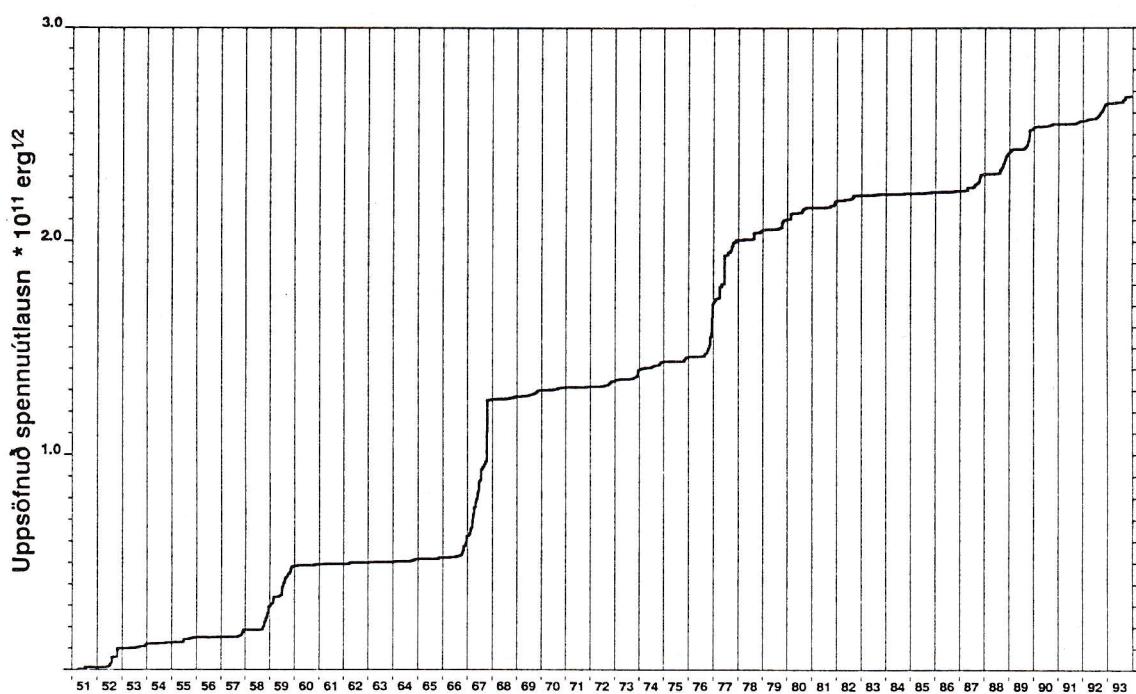
$$S = E^{\frac{1}{2}} = 10^{(M+5)} \text{ erg}^{\frac{1}{2}}$$

þar sem S er spennuúlausn, E er orka og M er stærð skjálftans.

Á mynd 1 er sýnd uppsöfnuð spennuúlausn áranna 1951 - 1993. Þar sést að virknin er mismikil milli ára og og einstakra lengri tímabila. Mesta skjálftavirknin á þessu tímabili var á árunum 1958-1959, 1966-1967 og 1976-1977. Langmesta skjálftavirknin var 1966-1967. Allnokkur virkni var einnig á árunum 1952, 1987-1989 og 1992. Frá 1951 hefur mælst 41 skjálfti af stærðinni 4 eða meira, þar af 4 af stærðinni 4,5 eða meira. Einn skjálfti á umræddu tímabili var stærri en 5 en hann varð 2. júní 1977 og mældist stærð hans 5,1.

Á mynd 1 má greina að skjálftavirknin er að jafnaði mest á síðari helmingi hvers árs. Flestir verða skjálftarnir í október á hverju ári og einnig í mánuðunum á undan og eftir, en það eru einkum skjálftar sem verða í vestanverðum jöklínnum (Goðabungu).

## MÝRDALSJÖKULL 1951 - 1993

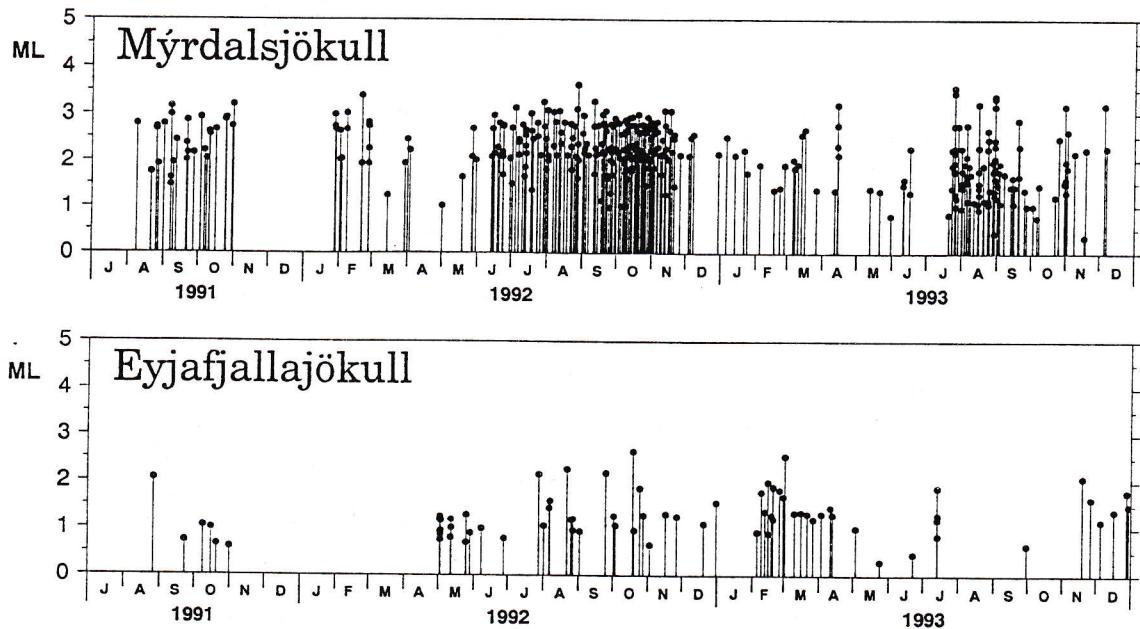


Mynd 1.

Einkenni haustskjálftanna er einkum lág bylgjutíðni og að stærðardreifing þeirra er ekki eins og venjulegast er þegar um brotaskjálfta er að ræða.

Megintilgangur jarðskjálftamælinga og rannsókna sem fara fram á Veðurstofu Íslands er að geta varað við hættu og dregið þannig úr tjóni af völdum jarðskjálfta og eldgosa. Í því sambandi er mikilvægt að greina hvað er venjuleg og hvað er óvenjuleg virkni og hvort samband sé á milli skjálftavirkni og eldgosa. Á undan öllum Kötlugosum á síðari tímum, sem sæmilegar heimildir eru til um, hafa fundist jarðskjálftar í byggð. Reynsla seinni tíma sýnir að til þess að skjálftar af Kötlusvæðinu finnist þurfa þeir að nálgast stærðina 5. Þetta bendir til þess að skjálftar af stærðinni 5 og þar yfir séu undanfarar Kötlugosa.

Bent hefur verið á að tengsl kunni að vera milli eldstöðva í Mýrdalsjökli og í Eyjafjallajökli. Þau tvö eldgos sem vitað er um í Eyjafjallajökli á sögulegum tíma urðu nánast samtímis Kötlugosum. Einnig hafa mælst fáeinir skjálftar í Eyjafjallajökli samtímis hrinum í Mýrdalsjökli. Með tilkomu SIL mælanetsins og útvíkkun þess í kringum Mýrdalsjökul er unnt að greina og staðsetja minni skjálfta í Eyjafjallajökli en áður. Í ljós hefur komið að skjálftavirknin í Eyjafjallajökli er meiri en menn hafa gert ráð fyrir. Flestir skjálftanna í Eyjafjallajökli eru minni en 2 að stærð og upptökin eru aðallega undir norðanverðum jöklínnum (við Steinsholt) og einnig undir hábungu hans. Á mynd 2 eru sýndar stærdir skjálfta í Mýrdalsjökli og Eyjafjallajökli frá miðju ári 1991 til loka árs 1993.



Mynd 2.

## KVIKUHÓLF UNDIR KÖTLUÖSKJUNNI

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

Bylgjubrotsmælingar frá Vík í Mýrdal og NNV yfir Mýrdalsjökul, sumarið 1991, leiddu í ljós tilvist grunnstæðs kvíkuhólfs undir suðaustanverðum Mýrdalsjökli. Kvíkuhólfíð tekur yfir 4-5 km langt svæði eftir mælilínunni og liggur miðja þess 5.5 km sunnan við Entu, skammt norðan við miðju Kötluöskjunnar. Kvíkuhólfíð er um 1 km á þykkt, með botn á um  $3 \pm 0.5$  km dýpi,  $1.5 \pm 0.5$  km undir sjávarmáli. Yfirborð hólfins kemur verr fram vegna fárra mælinga á bylgjuhraða í efstu jarðlögunum.

Frávik í P-bylgjuhraða eru umtalsverð eftir mælilínunni. Lághraðalag og S-bylgjuskuggi afmarka kvíkuhólfíð sem situr í skárlaga háhraðalagi, eins og súpa í skál. Barmar háhraðalagsins teygja sig upp undir nyrðri öskjubarminn og kolla í sunnanverðri öskjunni, norðan Háubungu. Háhraðalagið gæti m.a. verið myndað við botnfall úr kvíkuhólfinu.

Þar sem einungis var mælt eitt snið yfir jökulinn gefa mælingarnar enga mynd af útbreiðslu hólfins í aðrar áttir. Þó má ætla að skjálftaþyrringin undir suðaustanverðum jöklinum endurspeglar í grófum dráttum útbreiðslu kvíkuhólfins þar sem hún er bundin við sama svæði.

Ef við gefum okkur að kvíkuhólfíð sé um 3 km breitt hornrétt á mælilínuna þá er rúmmál hólfins um  $12 \text{ km}^3$ . Það þýdir 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 gefa því engar upplýsingar um magn kviku eða hvernig hún dreifist innan hólfins.

Telja verður að einungis lítill hluti kvíkunnar í hólfinu komi upp í eldsumbrotum hverju sinni. Áætlað gjóskumagn í Kötlugosinu 1918 er um 700 milljónir rúmmetra sem jafngildir tæplega  $0.2 \text{ km}^3$  af kviku með eðlisþyngd  $2.6\text{-}2.7 \text{ g/cm}^3$ , eða 1-2 % 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  $0.2 \text{ km}^3$  af kviku sé lægsta áætlun á framleiðslu gosefna í Kötlugosinu 1918.

Kvíkuhólfíð undir Kötluöskjunni er nálægt því að vera í eðlisþyngdarjafnvægi við umhverfi sitt. Þrátt fyrir að magn kviku í hólfinu sé óljóst sýnir staðsetning og útbreiðsla þess að það hefur ekki myndast nýlega. heldur verður að líta á það sem langtímafyrirbæri sem gegnt hefur stóru hlutverki í eldvirkni svæðisins.

## BYGGING KÖTLELDSTÖÐVARINNAR SAMKVÆMT PYNGDAR-MÆLINGUM

Magnús T. Guðmundsson, Raunvísindastofnun Háskólangs

Vorið 1991 voru gerðar þyngdarmælingar á Mýrdalsjökli, samhliða íssjármælingum. Mælt var þyngdarsvið í um 240 punktum á jöklinum og í næsta nágrenni hans. Inni á jöklinum var fjarlægð milli mælipunkta 1-2 km. Hæð flestra þyngdarstöðvanna var mæld með nákvæmnisloftvogum. Auk þess var hæð um 20 viðmiðunarpunkta á 40 km langri línu yfir jökulinn (frá norðri til suðurs) landmæld með hornakíki og fjarlægðarmæli. Nákvæmni hæðar í loftþyngdarmælingunum var 2-4 metrar víðast hvar. Við gerð Bouguer þyngdarkorts var í öllum þyngdarpunktum leiðrétt fyrir áhrifum massa ofan sjávarmáls innan 50 km fjarlægðar. Var það gert með tegrun þyngdarsviðs vegna massa ofan sjávarmáls og notað til þess stafræn kort af botni og yfirborði jöklusins, byggð á íssjármælingunum. Utan jöklus var notað stafrænt kort af landhæð byggt á kortum Orkustofnunar og Landmælinga Íslands. Þyngdarmælipunktar Orkustofnunar voru notaðir til að ákvæða sviðið utan jöklusins. Í reikningunum var notaður eðlismassi  $900 \text{ kg m}^{-3}$  fyrir ísinn en  $2300 \text{ kg m}^{-3}$  fyrir berg ofan sjávarmáls. Óvissa í þyngdargildum inni á jöklinum er talin vera 1-2 mGal og stafar hún af óvissu í hæð stöðva og óvissu í ísþykkt.

Á Bouguer þyngdarkortinu kemur fram mikil þyngdarhæð yfir sunnanverðum Mýrdalsjökli. Syðst í Kötluöskjunni rís sviðið hæst, í tæplega 80 mGal. Meðalgildi sviðsins við sunnanverðan Mýrdalsjökul er um 40 mGal þ.a. þyngdarhæðin yfir jöklinum hefur 40 mGal útslag. Frá toppi þyngdarhæðarinnar teygja sig hæðir með jöðrum öskjunnar að austan og vestan og myndast þannig skeifulaga þyngdarhæð umhverfis mið- og norðurhluta öskjunnar. Lægðin, sem til verður innan skeifunnar, virðist falla vel að legu kvíkuhólfs undir norðanverðri öskjunni eins og hún var ákvörðuð með bylgjubrotsmælingum sumarið 1991 (sjá ágrip Bryndísar Brandsdóttur og fl.).

Gerð hafa verið líkön af lindum þyngdarhæðarinnar. Með hliðsjón af bylgjubrotsmælingunum var gert ráð fyrir grunnstæðu kvíkuhólfi á 1.5-2.5 km dýpi undir norðanverðri Kötluöskjunni. Þá var gert ráð fyrir að með jöðrum þess að sunnan og norðan væru eðlisþungir skrokkar. Í ljós kemur að auðvelt er að fella þessa mynd að þyngdarmælingunum sé gert ráð fyrir að kvíkuhólfið sé í eðlisþungajafnvægi við skorpuna. Helstu niðurstöður líkanreikninganna eru eftirfarandi:

- 1) Skeifulaga þyngdarhæðin stafar af klasa grunnra innskota með jöðrum öskjunnar. Þessi grunnu innskot eru talin ná frá yfirborði niður á um 2.5 km dýpi. Eðlismassi innskotaklasanna gæti legið á bilinu  $2700-2900 \text{ kg m}^{-3}$ .
- 2) Sé gert ráð fyrir að grunnu innskotin afmarki kvíkuhólfið innan öskjunnar, er það nærri því að vera hrинглага og þvermál þess um 6 km.
- 3) Í skorpunni, neðan 2.5 km dýpis, er eðlisþungur hleifur. Hann nær niður á a.m.k. 7 km dýpi, sé gert ráð fyrir að eðlismassi hans sé  $250 \text{ kg m}^{-3}$  hærri en grannbergsins. Eðlismassi þess liggur líklega á bilinu  $2700-2800 \text{ kg m}^{-3}$  þ.a. hleifurinn hefur eðlismassa um  $3000 \text{ kg m}^{-3}$ . Þetta bendir til þess að hleifurinn sé gerður úr gabbrói. Þvermál hans er 16-18 km og rúmtak nálægt  $1000 \text{ km}^3$ .

Þó svo að sírt og eðlislétt berg sé í flestum jökluskerjum sem afmarka Kötluöskjuna, þá eru áhrif þess á þyngdarsviðið greinilega hverfandi samanborið við basísk innskot í rótum eldstöðvarinnar. Það bendir til þess að heildarmagn súrra jarðmyndanna sé lítið. Súra bergið virðist því aðeins vera í nokkrum hryggjanna sem afmarka öskjunna og e.t.v. sem þunn skán sumstaðar á botni hennar. Lítill súr innskot gætu einnig verið í skorpunni ofan kvíkuhólfsins.

Hinn  $1000 \text{ km}^3$  gabbróhleifur gæti hafa orðið til við kristöllun og botnfall í kvíkuhólfinu. Hið mikla rúmmál hleifsins krefst þess að hólfid hafi haldist á svipuðum stað um tugþúsundir ára.

## MÆLINGAR Á JARÐSKORPUHREYFINGUM VIÐ KÖTLU 1967-1993

Freysteinn Sigmundsson og Eysteinn Tryggvason, Norrænu Eldfjallastöðinni.

Nákvæmar hallamælingar á yfirborði jarðar í nágrenni Mýrdalsjökuls hafa verið gerðar síðan 1967. Fylgst hefur verið með hallabreytingum á 3 stöðum sem eru í um 10-15 km fjarlægð frá Kötluedstöðinni. Á hverjum stað er net af 10-15 mælipunktum með um 50 metra millibili. Endurteknar hæðarmælingar á milli mælipunktanna gefa hallabreytingar yfirborðs jarðar með um 0.5 µrad nákvæmni. Helstu niðurstöður mælinganna eru þessar:

(i) Hallabreytingar milli ára eru iðulega 1-3 µrad. Breytingarnar eru marktækar, þær eru mun meiri en óvissa mælinganna.

(ii) Halli breytist óreglulega milli ára, er ýmist í átt að Mýrdalsjökli, eða frá Mýrdalsjökli. Á þeim 26 árum sem mælingarnar spenna hafa ekki orðið merkjanlegar langtímaþreytingar.

(iii) Fylgni er milli hallabreytinga og árstíma sem mælingarnar eru framkvæmdar á. Landi hallar meira í átt að jöklínnum á vorin heldur en á haustin.

Mælingarnar gefa þannig vísbendingu um árstíðabundna breytingu í landhæð við Mýrdalsjökul en þess fyrir utan eru breytingar ekki marktækar.

Fylgni landhæðar og árstíðar virðist mega skýra að miklu leyti sem svörun jarðar við árstíðabundnum breytingum í fargi jöklusins. Árstíðabundin breyting í fargi er áætluð samsvara um 2-3 m breytingu í ísþykkt á jöklínum. Mældar hallabreytingar falla að reiknuðum breytingum ef gert er ráð fyrir að fjaðrandi (elastísk) jarðskorpa undir Mýrdalsjökli sé 6-9 km þykk en að þar fyrir neðan sé viðáttumikil kvikuþró.

Hallamælistöðvarnar sem eru í um 10-15 km fjarlægð frá Kötlu eru of langt frá jöklínum til að vera næmar fyrir þrýstingsþreytingum í kvíkuhólfí sem kann að ligga grynnra en 3 km. Ef slíkt hólf er til staðar og þrýstingur í því breytist munu hallabreytingar verða mestar í minna en 3 km fjarlægð, en í 10-15 km fjarlægð munu breytingarnar verða óverulegar. Það að engar langtímaþreytinar hafa hingað til mælst á hallamælistöðvunum sýnir hins vegar ótvíráett að litlar þrýstingsþreytingar hafa orðið á meira en 6 km dýpi undir Kötluedstöðinni síðan árið 1967.

Til að fá betri mynd af jarðskorpuhreyfingum við Mýrdalsjökul hefur verið komið upp neti af GPS-landmælingapunktum við jökulinn. Netið var fyrst mælt árin 1992 og 1993. Alls eru 17 punktar í mælinetinu, þar af eru tveir á jökluskerjum (á Austmanssbungu og Entu). Búið er að vinna úr 1992 mælingunum og er afstaða mælipunktanna þekkt með um 5-10 mm nákvæmni. Ætlunin er að endurmæla netið reglulega í framtíðinni. GPS-mælingarnar eru gerðar í samvinnu við Raunvísindastofnun Háskólags.