

Raunvísindastofnun Háskólangs  
Dunhaga 3  
107 Reykjavík

RH-3-93

# KÖTLUSTEFNA

27. - 29. mars 1993

Rannsóknir á eldvirkni undir Mýrdalsjökli  
Veggspjaldasýning í Vík í Mýrdal

Ágrip og efnisyfirlit

Ritstjóri  
Guðrún Larsen

Reykjavík  
Mars 1993

## MÝRDALSJÖKULL: YFIRBORÐ, BOTN OG RENNSLISLEIÐIR JÖKULHLAUPA.

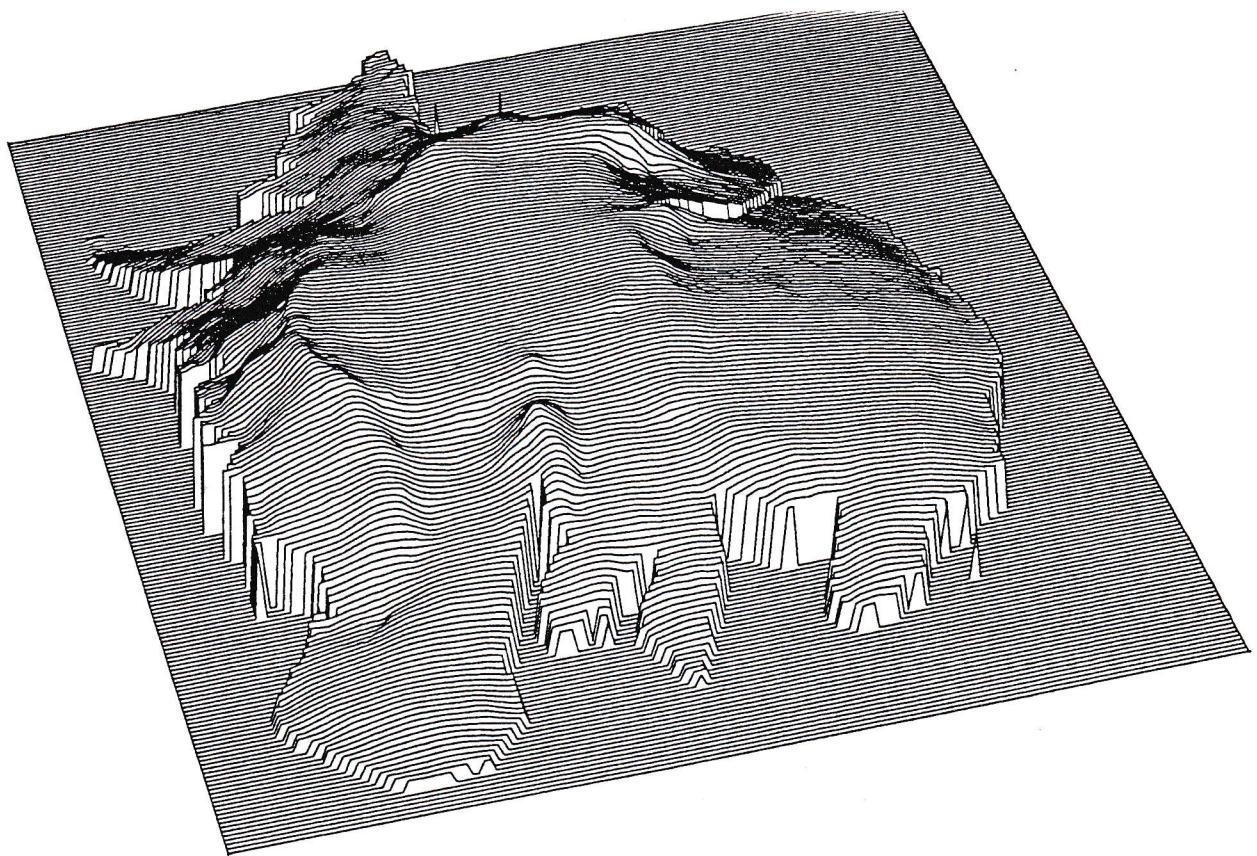
Helgi Björnsson, Finnur Pálsson og Magnús Tumi Guðmundsson.  
Jarðeðlisfræðistofu Raunvísindastofnunar Háskólangs.

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 jöklínnum og mat á því hvert jökulhlaup geta fallið við gos.

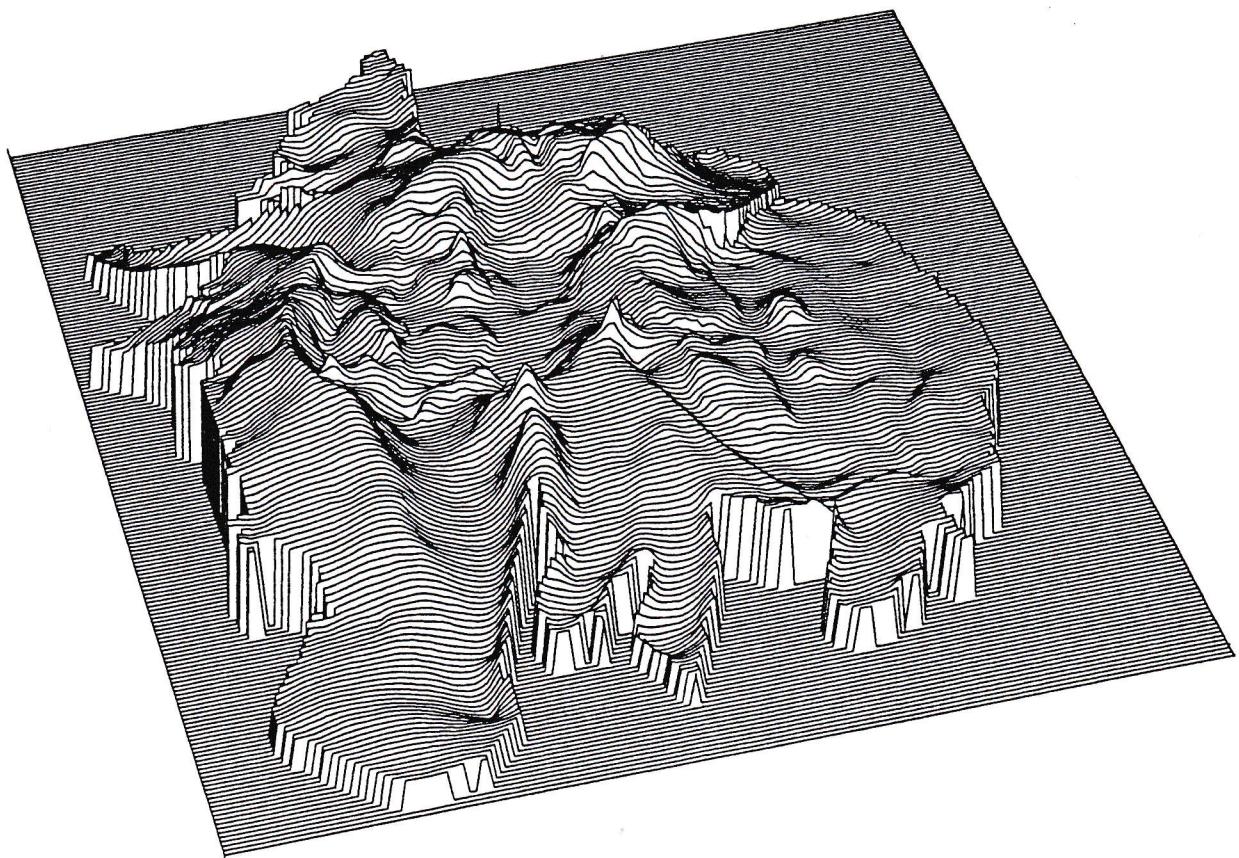
Hæð yfirborðs jöklusins var mæld með nákvænum lofhæðarmælingum og þykkt hans með íssjá. Niðurstöður eru hér settar fram í fjarvíddarmyndum af yfirborði og botni (1. og 2. mynd). Undir Mýrdalsjöklí er firnamikil askja, sem afmarkast að sunnan af Háubungu, Goðabungu að vestan og Austmannsbunga rís upp úr norðurbarmínunum. Innan þessara barma er flatarmál öskjunnar  $110 \text{ km}^2$  (ferkílómetrar). Dýpst nær botn hennar um 680 m y. s., en hæstir eru barmarnir í 1380 m y. s.; askjan er því 700 m djúp. Upp úr botni öskjunnar (annars vegar austan við Goðabungu og hins vegar norðan við Háubungu) rísa nokkur stök fjöll, sem hlaðist hafa upp við gos. Þrír skriðjöklar hafa rofið skörð í öskjubarmana; Höfðabrekkujökull (Kötlujökull) niður í um 900 m y. s., Sólheimajökull í 950 m og Entujökull í um 1100 m. Hyrfi jökkullinn gæti  $50 \text{ km}^2$  stöðuvatn legið í öskjubotninum þegar rynni yfir lægsta skarðið; og rúmmál þess verið nærrí  $7 \text{ km}^3$  (rúmkílómetrar). Um þessi þrjú skörð hafa flest jökulhlaup fallið við gos í jöklínnum. Hins vegar gætu jökulhlaup hafa grafið tvö þróng gljúfur norður frá Austmannsbungu; annað stefnir beint í norður og hitt norðaustur. Yfir gosstöðvunum frá 1918, sem eru í um 900 m y. s., er nú 400 m þykkur jökkull.

Nú eru aðstæður þannig í Mýrdalsjöklí að ekki safnast fyrir vatn í öskjunni (nema undir nokkrum litlum sigkötum). Jökkullinn þrýstir 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 (3. mynd). Við gos innan öskjubarmana er líklegt að rennslisleiðir jökulhlaupa yrðu á svipuðum svæðum. Sé litið á allan jökkullinn fellur vatn af um  $310 \text{ km}^2$  svæði til Mýrdalsjökuls,  $110 \text{ km}^2$  svæði til Sólheima- og Skógasands og  $170 \text{ km}^2$  að Markarfljóti. Bendi jarðhræringar til þess að gos sé að brjótast upp undir jöklínnum og unnt er að staðsetja líklegar gosstöðvar má með þessum gögnum meta hvert jökulhlaup muni falla.

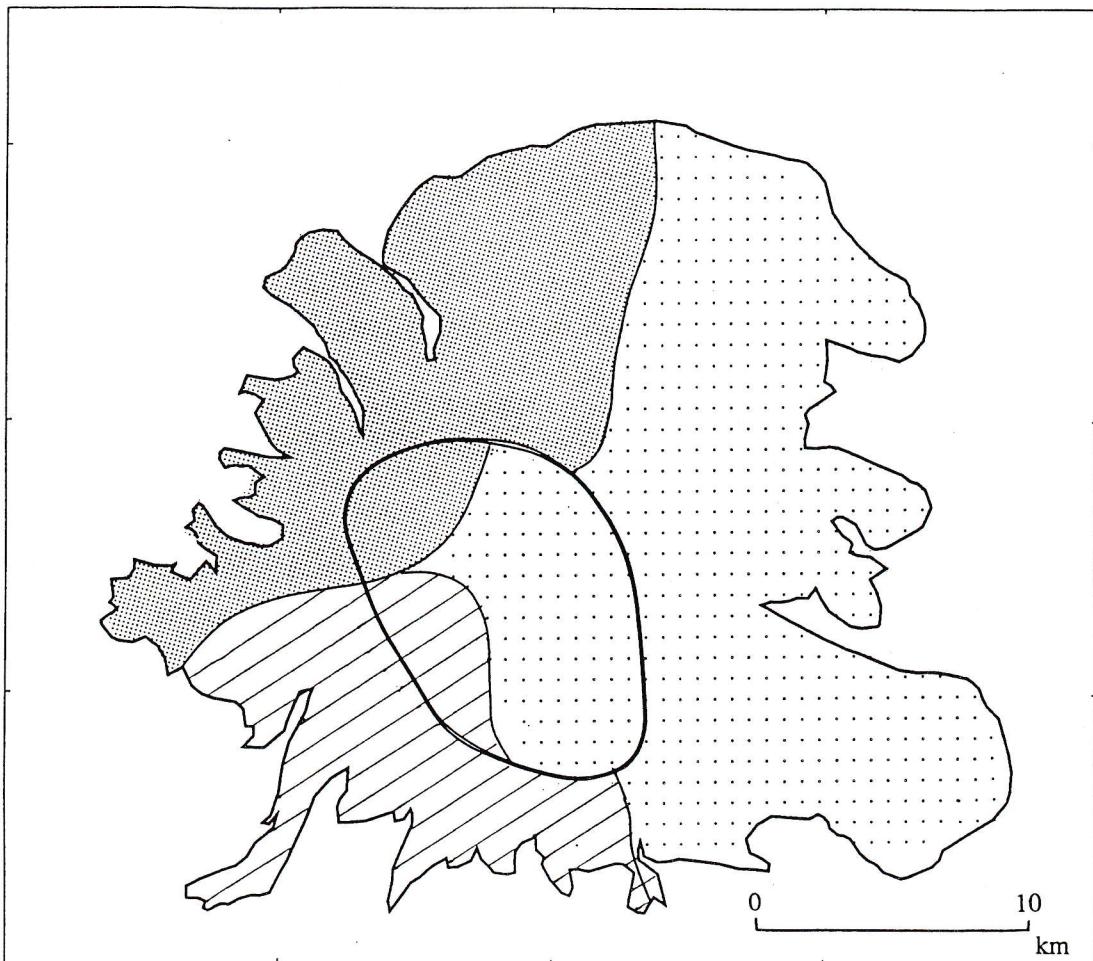
Af 17 hlaupum frá landnámsöld hafa 15 fallið niður á Mýrdalssand og tvö til Sólheima- og Skógasands. Fyrir um 1600 árum fíll mikið hlaup niður Markarfljótsaura. Talið er að síðatliðin 4000 ár hafi 8 stórhlaup fallið niður á Sólheima- og Skógasand.



Mynd 1. Fjarvíddarmynd af yfirborði. Horft til vesturs.  
Neðst til vinstri fellur Höfðabrekkujökull um út úr öskjunni um skarð milli Kötluokolla og Háubungu.



Mynd 2. Fjarvíddarmynd af botni. Horft til vesturs.



Mynd 3. Skipting vatnsvæða undir Mýrdalsjökli.

— Öskjubarmur    veitir vatni til Mýrdalssands  
 veitir vatni til Sólheima- og Skógasands    veitir vatni til Markarfljóts.

Heildarrúmmál íss í Mýrdalsjökli er um  $130 \text{ km}^3$ ; meðalþykkt um 220 m.  
 Rúmmál íss innan öskjunnar er um  $55 \text{ km}^3$ ; meðalþykkt um 450 m.

## LANDBROT VIÐ HÖFÐABREKKUJÖKUL

Hreinn Haraldsson, Vegagerð ríkisins, Borgartúni 7, 105 Reykjavík.

Höfðabrekkujökull er talinn hafa myndast í Kötlugosum á fyrri hluta átjándu aldar. Þetta er mikil malardyngja, sem staðið hefur af sér Kötluhlaup og ágang Múlakvíslar í meira en tvær aldir. En úr því að Kötluhlaup gat myndað jökulinn er ekki óhugsandi að annað hlaup geti grindað honum og eytt þar með öflugustu vörn Víkur gegn jökulhlaupum.

Þegar Múlakvísl leggst að Höfðabrekkujökli brýtur hún lítilsháttar úr austurbrún hans. Einkum var þetta áberandi 1983 og 1984. Vegagerðin hefur fylgst nokkuð náið með þessu landbroti með það í huga, að skyndileg aukning komi mönnum ekki að óvörum. Bornar hafa verið saman loftmyndir frá mismunandi tínum, allt frá 1945, og frá 1983 hefur austurbakkinn verið mældur inn öðru hvoru, út frá fastmerkjum á jöklinum.

Rúmmál malardyngjunnar er um 5 millj. rúmmetrar. Frá 1945 til 1979 var ekkert landbrot við jökulinn, en 1979 og 1980 lá Múlakvísl að honum og tók nokkra tugi rúmmetra. Árin 1981 til 1984 var síðan töluverður ágangur og landbrotið alls um 50 þús. rúmmetrar, langmest 1983. Árin 1985 og enn frekar 1986 gróf áfram töluvert úr bökkunum og þá einkum efst og neðst úr austurhlíð jöklusins. Var þá ákveðið að grípa til varnaraðgerða. Heildarrofið frá upphafi athugana fram til 1986 var þó ekki nema um 2-3% af rúmmáli malardyngjunnar.

Til að reyna að minnka eða stöðva landbrotið var 1986 gerður varnargarður eða straumbeinir á móts við miðjan jökulinn að austanverðu. Annar eins garður var gerður nokkru sunnar litlu síðar. Þessar aðgerðir hafa dugað til að halda Múlakvísl frá bökkunum að mestu og koma þannig í veg fyrir landbrot. Áfram verður þó fylgst með ástandinu, og brúnin mæld öðru hverju.

Suður af Höfðabrekkujökli sameinast Múlakvísl og Kerlingardalsá. Stundum hafa árnar verið aðskildar langleiðina niður undir ós, en á öðrum tínum hefur Múlakvísl brotist gegnum sandtunguna og sameinast Kerlingardalsá mun ofar, og allt upp undir Höfðabrekkujökli.

Niðurstaða athugana sem gerðar hafa verið á landbroti við Höfðabrekkujökul eru þær, að þótt Múlakvísl hafi öðru hvoru lagst upp að jöklinum, hefur rofið verið tiltölulega lítið. Gerð varnargarða (straumbeina) hefur minnkað það enn frekar. Mikilvægasta aðgerðin í framtíðinni er að fylgjast með ágangi árinnar og sjá til þess að þessi mikilvæga, náttúrulega vörn Víkur gegn Kötluhlaupum verði ekki fyrir neinum verulegum skakkaföllum.

## EFTIRLIT OG MÆLINGAR Á KÖTLUSVÆÐINU

Páll Einarsson, Raunvísindastofnun Háskólangs, Dunhaga 5, 107 Reykjavík

Hreyfingum kviku í rótum eldstöðvar fylgja ýmsar breytingar sem hægt er að mæla. Þegar kvika streymir inn í kvíkuhólf í jarðskorpanni vex þrýstingur í því og skorpan færst út frá miðju þess. Landið rís í nánasta umhverfi eldstöðvarinnar, mest yfir miðju hólfins. Lögun og umfang rissvæðisins segir til um dýpi niður á hólfíð. Sama svæði sígur ef kvíkuþrýstingur minnkar. Landslagsbreytingarnar má mæla með endurteknum nákvæmum landmælingum svo sem GPS-landmælingum og hallamælingum og fá þannig hugmynd um ástand eldstöðvarinnar.

Þrýstingsbreytingum fylgja líka spennubreytingar í bergeninu umhverfis hólfíð. Ef breytingarnar eru miklar getur spenna farið yfir brotmörk bergsins. Það brotnar og misgengur, og því fylgja jarðskjálftar. Með skjálftamælum má staðsetja upptök jarðskjálfta, meta stærð þeirra og ákvarða brothreyfingarnar sem ollu þeim. Þannig gefa skjálftamælingar upplýsingar um atburðarás í jarðskorpanni, bæði stund, stað og eðli atburða. Skjálftar sem tengjast kvíkuhreyfingum verða sjaldan stórir.

Þegar kvika nálgast yfirborð jarðar, lækkar í henni þrýstingurinn og leysni ýmissa gastegunda í henni minnkar. Gasið losnar þá úr henni og smýgur um jarðskorpuna til yfirborðs, hraðar en kvikan sjálf. Við heppilegar aðstæður má mæla breytingar á gasútstreymi og ráða þannig í ferðir kvikunnar.

### SKJÁLFTAMÆLINGAR

Tvenns konar skjálftamælar eru í notkun umhverfis Kötlu:

#### Skjálftasártar

Mælarnir skrá lóðréttan þátt í hreyfingu jarðarinnar samfellt á pappír. Síritinn er venjulega nálægt mælistatíðnum, en mælar í óbyggðum senda merki til nálægs bæjar eða Reykjavíkur þar sem það er skráð. Með þessum mælum má staðsetja upptök skjálfta og ákvarða stærð þeirra, og þeir gefa gott yfirlit yfir virknina á hverjum tíma. Umsjón með þessum mælingum hefur Páll Einarsson á Raunvísindastofnun.

#### Tölvumælar

Á Suðurlandi er rekið mjög fullkomíð kerfi skjálftamæla sem senda gögn sín á stafrænu formi til miðstöðvar í Reykjavík. Mælarnir eru tölvustýrðir og mæla alla þrjá hreyfingarþætti jarðarinnar. Í miðstöð kerfisins eru upptök skjálftanna fundin sjálfvirkt, stærð þeirra reiknuð og ráðið í brotahreyfingarnar sem komu þeim af stað. Boð eru send um sjálfvirkt boðkerfi til skjálftafræðinga ef óvenjulegir atburðir mælast. Umsjón með kerfinu hefur Ragnar Stefánsson á Veðurstofu Íslands.

## **GPS-LANDMÆLINGAR**

Á síðustu árum hefur verið þróuð ný aðferð til að mæla afstöðu landmælingapunkta með aðstoð merkja frá gervitungum GPS-leiðsögukerfisins. Með endurteknum mælingum má ákvæða jarðskorpuhreyfingar með mikilli nákvæmni, t. d. fá úr því skorið hvort eldstöð er að þenjast út eða hjaðna. Allmargir mælipunktar á Íslandi hafa verið staðsettir með þessari aðferð, og haustið 1992 var bætt við nokkrum punktum sunnan Mýrdalsjökuls. Umsjón með mælingunum hefur Freysteinn Sigmundsson á Norrænu Eldfjallastöðinni.

## **HALLAMÆLINGAR**

Hallabreytingar á yfirborði jarðar má mæla með góðri nákvæmni með hefðbundnum aðferðum, hallakíki og mælistöngum. Þétt net hæðarmælingapunkta er sett upp á litlu svæði og afstæðar hæðarbreytingar punktanna mældar. Reikna má út bæði stærð og stefnu hallabreytingarinnar. Hallamælingar hafa verið gerðar á Kötlusvæðinu í meira en aldarfjórðung. Umsjón með þeim hefur Eysteinn Tryggvason á Norrænu Eldfjallastöðinni.

## **EFNAMÆLINGAR**

Mælingar á uppleystum efnum í ám sem renna frá Mýrdalsjökli hafa verið gerðar með óreglulegu millibili undanfarna áratugi. Sýni hafa verið tekin úr Múlakvísl, Skálm og Jökulsá á Sólheimasandi og efni greind sem ætla má að eigi uppruna í kvíkugasi. Ýmsir vísindamenn á Raunvísindastofnun, Norrænu Eldfjallastöðinni og Orkustofnun hafa staðið fyrir þessum mælingum.

## JARÐSKJÁLFTAVIRKNI UNDIR MÝRDALSJÖKLI

Páll Einarsson og Bryndís Brandsdóttir, Raunvísindastofnun Háskólangs.

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 Kötlu. Katla er þannig meðal örfárra eldstöðva á Íslandi sem sýna viðvarandi skjálftavirkni, þrátt fyrir að ekki hafi orðið vart eldsumbrota í þeim síðustu áratugina. Hinarr eru Bárðarbunga, Hengill og Torfajökull. Prálát skjálftavirkni þessara eldstöðva er nokkur ráðgáta.

Skjálftavirknin 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 fyrmefndum árum hvað virkni snertir.

Skjálftasvæðið undir Mýrdalsjökli er tvískipt, þ. e. upptök skjálftanna mynda tvær afmarkaðar þyrringar. Önnur þyrringin er undir suðaustanverðum jöklinum og fellur hún vel innan Kötluöskjunnar eins og hún hefur verið kortlögð með íssjármælingum. Hin þyrringin er undir vesturjaðri jöklulsins, 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.

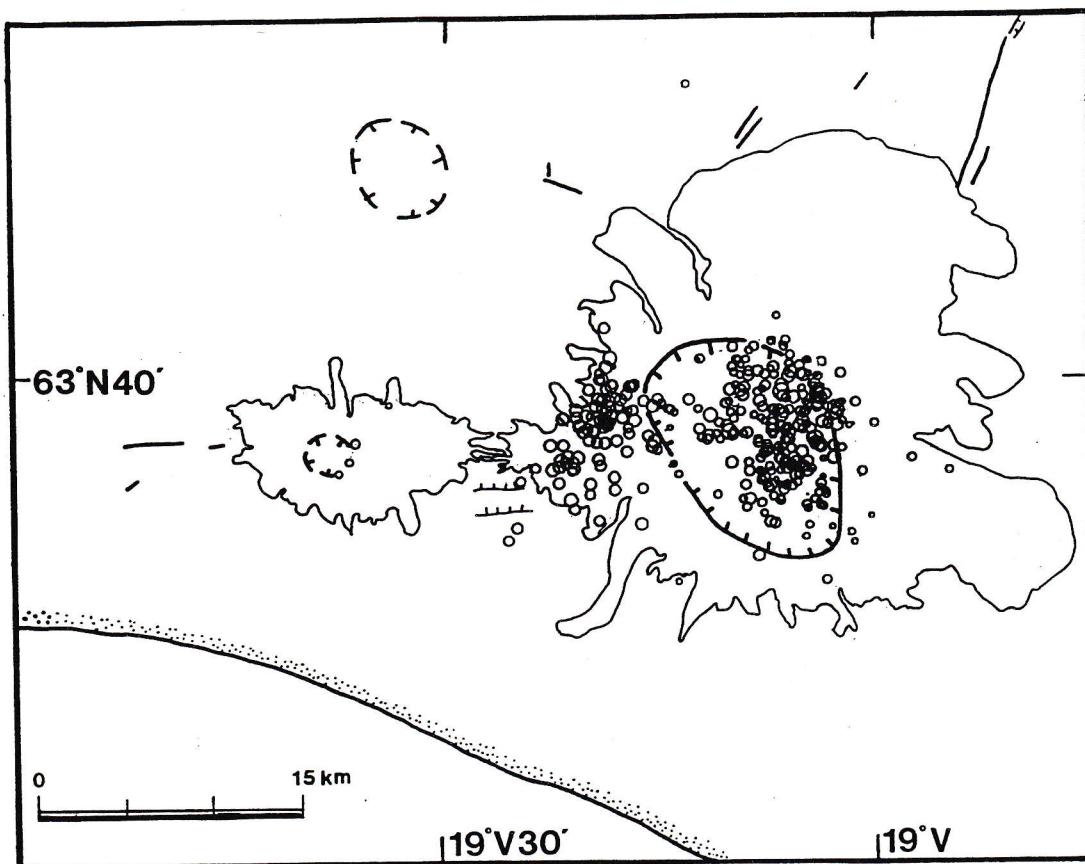
Öskjur eru taldar myndast þegar þrýstingur í kvíkuhólfi eldstöðvar fellur. Pak hólfssins hrynnur þegar kvikan streymir úr því, annað hvort í eldgosi eða neðanjarðar. Eðlilegt er að túlka skjálftaþyrringuna innan Kötluöskjunnar á þann veg að hún tengist kvíkuhólfinu sem undir henni er. Skjálftarnir verða þá vegna spennubreytinga í þaki hólfssins sem stafa af þrýstingsbreytingum í kvíkunni. Stærsti skjálfti sem mælst hefur á þessum slóðum varð í júní 1977. Rannsóknir á hreyfingum í honum benda til þess að hann hafi orðið í tengslum við þrýstingslækkun í hólfinu.

Skjálftaþyrringin undir Goðabungu á sér líklega svipaðar orsakir. Hún bendir til þess að undir Goðabungu sé annað kvíkuhólf, aðskilið frá kvíkuhólfi Kötluöskjunnar. 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 Kötlu 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 á Fimmvörðuhálsi og Seljalandsheiði. Einhver aflfræðileg tengsl virðast vera milli eldstöðvanna á þessari línu. Benda má á 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 veðurfarþættir ugglaustr áhrif. Á haustin er jöklarfargið minnst og grunnvatnsþrýstingur í jarðskorpunni hæstur. Báðir þessir þættir lækka núningsviðnám á misgengisflötum í skorpunni og geta þannig stuðlað að aukinni skjálftavirkni. Sýna má fram á að grunnvatnsþrýstingurinn hefur líklega meiri áhrif en fargbreytingin.



## KÖTLUGOS - YFIRLIT UM HEGDUN KÖTLUGOSA, FYLGIFYRIRBÆRI PEIRRA OG HÆTTUR PEIM SAMFARA

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 munu nema skjálftana en óvissara er hvort hægt er að mæla varmastrauminn eða fylgifiska hans eða greina þá á annan hátt sem fyrirboða eldsumbrota. Þó er lögð áhersla á að greina þessa þætti og eru einkum bundnar vonir við að efnasamsetning árvatns, sem rennur frá jöklinum, breytist vegna efna, sem losna úr bergvikunni, þegar hún "býr sig undir gos", og blandast í árvatnið.

Kötlugos eru fyrst og fremst gjóskugos en þeim fylgja gríðarmikil jökulhlaup og miklar eldingar. 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 ríkja, en þyngst kemur gjóskufallið niður á nágrannasvæðum Kötu sjálfrar. 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 hún haft alvarleg áhrif á umferð; teppit hana þar sem hún fellur í miklu magni og drepið á vélum. Einig getur gjóskufall truflað raforkuflutning.

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. Á Mýrdalssandi flæða hlaupin yfirleitt bæði suður í átt til Kötlutanga og einnig austur í átt til Álfavers og minni skvettur eiga einnig til að falla þar á milli. Hlaupin eira litlu þar sem þau fara yfir; taku 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. Einig berst með hlaupunum mikill ís sem að hluta til strandar á sandinum en að hluta endar frammri í sjó, þar sem hann getur tímabundið valdið hættu fyrir skip og báta. Áhrif þessa efnisflutnings til sjávar hefur áhrif á sjávarlíf, en þau eru að mestu leytti óþekkt.

Eldinga og annara raffyrirbæra má vænta allt umhverfis gosstöðvarnar, en einkum er þeirra þó von í þá átt sem gosmökkinn leggur. 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 línulögnum 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 og hraunrennslis.

## KERLINGARFJÖRÐUR - HVAR VAR HANN, HVERNIG VAR HANN OG HVER URÐU ÖRLÖG HANS?

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 fornnum ritum eru frásagnir sem ekki falla að núverandi landslagi, en ástæðulaust er að telja rangar af þeirri ástæðu einni. Könnun á náttúrufarssögu svæðisins sýnir oft að sannleikur leynist á bak við hinarr fornu lýsingar.

Landnáma nefnir fjörð við Hjörleifshöfða. Um hann hafa spunnist allmiklar umræður í gegnum árin og menn hafa haft ýmsar skoðanir á legu hans og eðli. Um þetta hafa m.a. fjallað Sveinn Pálsson, Kristian Kålund, 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 þar eru og hafa verið ráðandi um þróun lands og landslags.

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

Á þeim köflum strandarinnar, sem snúa austur-vestur eða því sem næst, standa á nokkrum stöðum klettar eða annað fast berg upp úr sandi og skaga fram í sjóinn. Þar háttar alls staðar svo til að vogur myndast austan undir klettonum en sand- eða malarfjara liggur nærrí beint út frá þeim til vesturs. Á bak við sandfjörur á svona 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 allt upp undir klettum. Á þennan hátt hagar til, með litlum frávikum alla leið austan úr Álfafirði og vestur í Ölfus.

Þess eru mörg dæmi að lónin á bak við sandfjörurnar séu nefnd firðir og hefur sá síður komist á strax á landnámsöld. Nægir í því sambandi að minna á Hornafjörð og Álftafjörð.

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 hömrúnunum hefur ósinn á lóninu líklegast verið og um hann hefur afrennsli vatna af landinu fyrir ofan runnið til sjávar í takt við sjávarföll. Kerlingarfjörður hefur, þegar komið var fram á landnámsöld, lísklega verið orðinn frekar lítil 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 að Hjörleifshöfða.

Kerlingarfjörður hefur að öllum líkendum verið frekar grunnur á landnámsöld og ekki mjög stór. Hann hefur fyllst af framburði í Kötluhlauðum 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.

## FORMÁLI

Síðan snemma hausts 1992 hefur hópur sérfræðinga á Jarð- og Jarðeðlisfræðistofu Raunvísindastofnunar Háskólangs komið saman til skrafs og ráðagerða um rannsóknir á eldvirkni undir Mýrdalsjökli og fyrirbærum sem tengjast gosum á því svæði. Nokkrir jarðfræðingar og jarðeðlisfræðingar utan stofnunarinnar hafa einnig tekið þátt í þessum fundum.

Flestir í "Kötluhópnum" hafa stundað rannsóknir á einhverjum þáttum sem tengjast eldvirkninni, oft með þátttöku og aðstoð heimamanna í byggðalögum þar eystra. Þegar þeirri hugmynd skaut upp að hópurinn kynnti verkefnin þótti eðlilegast að gera það sem næst vettvangi, í Vík í Mýrdal. Kveikjan var kynnisferð um svæði sem jökulhlaup af völdum eldgosa undir Mýrdalsjökli hafa farið um, farin að undirlagi Friðjóns Guðröðarsonar, sýslumanns í Rangárvallasýslu, en þrír úr Kötluhópnum tóku þátt í henni með almannavarnanefndum í Rangárvallasýslu, V-Skaftafelssýslu og Árnessýslu.

Til Kötlustefnu var efnt af þessum sérfræðingahópi í samvinnu við Almannavarnanefndir í Vestur-Skaftafelssýslu. Sýslumaðurinn í V-Skaftafelssýslu, Sigurður Gunnarsson, og sveitarstjórinn í Vík, Hafsteinn Jóhannesson, skipulögðu Kötlustefnuna heima fyrir. Einnig tóku Almannavarnir ríkisins, Vegagerð ríkisins og Byggðasafnið að Skógum þátt í stefnunni.

Kötlustefna var haldin í Leikskálum, Vík í Mýrdal, dagana 27.-29. mars 1993 og var hún öllum opin. Rannsóknir og niðurstöður þeirra voru kynntar á veggspjöldum en höfundar voru viðstaddir og ræddu viðfangsefni spjaldanna við gesti og almannavarnamenn. Það varð að ráði að gera útdráetti úr efni veggspjaldanna og eru þeir birtir í þessu riti ásamt nöfnum og heimilisföngum höfunda.

## **EFNISYFIRLIT**

Ármanн Höskuldsson og Áslaug Geirsdóttir: Söfnun á aurframburði í Kötluhlaupum .....	1
Bryndís Brandsdóttir, Ólafur Guðmundsson, William Menke og Halldór Ólafsson: Kvikuhólfíð undir Kötluöskjunni .....	2
Bryndís Brandsdóttir, Páll Einarsson og Freysteinn Sigmundsson: Skjálftahrinan haustið 1992 undir Goðabungu í Mýrdalsjökli: Atburðarás og hugleiðingar um viðbrögð .....	4
Guðrún Larsen: Nokkur orð um Kötlugos og Kötlugjóska .....	6
Guðrún Larsen: Um leiðir Kötluhlaupa og þróun Mýrdalssands .....	8
Helgi Björnsson: Ýmis sjónarmið um eðli Kötluhlaupa .....	11
Helgi Björnsson, Finnur Pálsson og Magnús Tumi Guðmundsson: Mýrdalsjökull: yfirborð, botn og rennslisleiðir jökulhlaupa .....	14
Hreinn Haraldsson: Landbrot við Höfðabrekkujökul .....	17
Páll Einarsson: Eftirlit og mælingar á Kötlusvæðinu .....	18
Páll Einarsson og Bryndís Brandsdóttir: Jarðskjálftavirkni undir Mýrdalsjökli .....	20
Páll Imsland: Kötlugos - yfirlit um hegðun Kötlugosa, fylgifyrribæri þeirra og hættur þeim samfara .....	22
Páll Imsland og Guðrún Larsen: Kerlingarfjörður - hvar var hann, hvernig var hann og hver urðu örlög hans? ..	23

## SÖFNUN Á AURFRAMBURÐI Í KÖTLUHLAUPUM

Ármann Höskuldsson, University of Bristol, Wills Memorial Building, Queens Road, Bristol, UK.  
Áslaug Geirsdóttir, Jarð- og landfræðiskor H.Í., Jarðfræðahús, IS-101 Reykjavík.

Söfnun og mælingar á framburði jökulhlaupa og flóða eins og þeim er fylgt hafa gosum í Kölu og Mýrdalsjökli geta gefið mikilsverðar upplýsingar um eðlisfræðilega eiginleika hlaupvatnsins. Upplýsingar um rofmátt flóða, auk beinna athugana á kornastærð og samsetningu aurs í flóðum koma að góðum notum við að skýra nánar eðli og gang sjálfs eldgossins. Það hefur hins vegar verið nær ógjörningur að ná sýnum úr flóðum eða jökulhlaupum sambærilegum þeim sem verða samfara Kötlugosum vegna skorts á góðum sýnasöfnurum eða setgildrum.

Um alllangt skeið hafa verið uppi hugmyndir um hönnun á setgildrum sem staðsetja mætti á Mýrdalssandi í farvegum Köluhlaupa, í þeim tilgangi að ná sýnum af fyrsta hlaupvatninu. Til þess að öruggt sé að sýni náist af fyrsta hlaupvatninu þarf að setja upp nokkurn fjölda slíkra setgildra á Skógasandi og Mýrdalssandi. Setgildurnar eru hugsaðar sem sjálfstæðar einingar, búnar þeim eiginleikum að geta lokast sjálfkrafa um leið og þær fara á kaf í vatn. Að auki þurfa þær að vera algjörlega vatnsþéttar og ónæmar fyrir umhverfisaðstæðum eftir að þær lokast. Hugmyndin er að útbúa setgildurnar þannig að þær losni frá upphaflegum sýnatökustað um leið og þær hafa tekið við fyrsta hlaupvatninu, og fljóti síðan niður með straumvatni útbúnar auðkennanlegum flotbelg. Slíkur flotbelgur auðveldar síðari söfnun á setgildrunum.

Sótt hefur verið um styrk til Rannsóknaráðs ríkisins til þess að hanna setgildrur eins og þeim sem lýst er hér að ofan. Ef styrkur fæst verður strax hafist handa við að útbúa gildurnar og koma þeim fyrir á nákvæmlega staðsettum mælipunktum á Mýrdalssandi í aðalfarvegum Köluhlaupa og á Skógasandi í farvegi Jökulsár. Gildurnar yrðu settar upp með jöfnu millibili frá sporði Kötlujökuls/Sólheimajökuls og niður í átt til sjávar. Slík sýnasöfnun er veigamikil í þeim tilgangi að afla upplýsinga um þróun hlaupvatnsins frá upptökum og til sjávar. Gildurnar munu verðar settar upp á stengur, sem verða stagaðar niður og eiga að losna sjálfkrafa af þegar hlaupvatnið skellur á þeim.

## KVIKUHÓLFIÐ UNDIR KÖTLUÖSKJUNNI

Bryndís Brandsdóttir, Raunvísindastofnun Háskólangs, Dunhaga 5, 107 Reykjavík

Ólafur Guðmundsson, Jarðvísindastofnun Ástralíuháskóla, Canberra, Ástralíu

William Menke, Jarðvísindastofnun Columbíuháskóla, New York, Bandarískjunum

Halldór Ólafsson, Norrænu Eldfjallastöðinni, 101 Reykjavík

Þó að eldfjöll séu eins margbreyleg og þau eru mörg þá eiga þau það sammerkt að úr þeim flæðir kvika upp á yfirborð jarðar. Kvikan ferðast eftir ýmsum leiðum innan eldstöðvarinnar og getur því verið komin mislangt að, áður en hún nær yfirborði í eldgosi. Ýmislegt er enn á huldu um uppruna bergkviku en hún getur bæði komið beint úr iðrum jarðar eins og gerðist í Heimaeyjargosinu 1973 eða safnast fyrst fyrir í grunnstæðum kvíkuhólfum eins og gerðist í Kröflueldum.

Forsendur og uppbygging eldfjallavöktunar byggist að miklu leyti á því hversu djúpt er á kvíkuna innan eldstöðvarinnar. Grunnstætt kvíkuhólf er safnsvæði kviku, sem getur tafist þar í lengri eða skemmri tíma á leið sinni til yfirborðs. Mun auðveldara er að fylgjast með þrýstingsbreytingum í grunnstæðu kvíkuhólfir en þegar kvikan safnast fyrir djúpt í rótum eldstöðvarinnar, t.d. á meira en 10 km dýpi. Staðfesting á tilvist grunnstæðra kvíkuhólfra ásamt kortlagningu þeirra getur því auðveldað eldfjallavöktun bæði hvað varðar eftirlit, mælingar og túlkun á atburðarás í eldsumbrotum.

Bylgjubrotsmælingar er sú tegund skjálftamælinga þar sem mældur er fartími og útbreiðsla bylgna frá nákvæmlega tímasettum dínamítsprengingum. Í stað jarðskjálfta þar sem bylgjurnar berast til yfirborðs frá upptökum neðanjarðar er með bylgjubrotsmælingum unnið úr tilbúnum skjálftum þar sem bylgjurnar berast frá sprengingum í stöðuvötnum eða í sjó, niður í jörðina og aftur upp í þétt net mælipunkta á yfirborði. Út frá fartíma bylgjanna má kortleggja bylgjuhraða í viðkomandi jarðlöögum, en slík kortlagning er nauðsynleg undirstaða þess að geta staðsett með nákvæmni jarðskjálfta innan viðkomandi svæðis. Þéttar bylgjubrotsmælingar má m.a. nota til þess að 'gegnumlýsa' eldstöðvar og fá þannig upplýsingar um tilvist og staðsetningu grunnstæðra kvíkuhólfra.

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 jöklusins.

Bylgjubrotsmælingarnar leiddu í ljós tilvist grunnstæðs kvíkuhólfs undir suðaustanverðum Mýrdalsjökli. Kvíkuhólfíð tekur yfir 4 km langt svæði innan öskjunnar sem er undir jöklínnum og liggja norðurmörk þess við Entu, þ.e. við norðurbarm öskjunnar. Kvíkuhólfíð er 1-2 km á þykkt og er botn þess á um 3 km dýpi, 1.5 km undir sjávarmáli. Þar sem einungis var mælt eitt snið yfir jökulinn gefa mælingarnar enga mynd af útbreiðslu hólfsins í aðrar áttir. Þó má ætla að skjálftaþyrpingin undir suðaustanverðum jöklínnum endurspegli í grófum dráttum útbreiðslu kvíkuhólfsins þar sem hún er bundin við sama svæði.

Ef við gefum okkur að kvíkuhólfíð sé um 3 km í stefnu hornrétt á mælilínuna þá er rúmmál hólfsins  $12-24 \text{ km}^3$ . Það þýðir þó ekki að þarna liggi  $12-24 \text{ km}^3$  af kviku og bíði þess að gjósa. Bylgjubrotsmælingarnar sýna einungis útlínur þess svæðis sem inniheldur kviku og því getum við lítið sem ekkert sagt um magn kviku innan þess eða hvernig hún dreifist. 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 tenglum við sprungugos í næsta nágrenni.

Í Kötlugosinu 1918, er áætlað að um  $0.1-0.2 \text{ km}^3$  af kviku hafi komið upp í formi gjósku, en það er tæplega 1% af rúmmáli þess kvíkuhólfs 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.

Þrátt 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 miklu hlutverki í eldvirkni svæðisins.

# **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 kaldhæðni örlaganna að í sömu viku og ákveðið var á fundi í vísindamannaráði Almannavarna ríkisins síðastliðið haust að yfirlara 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 svolítið undir Mýrdalsjökli og því óþarf að kippa sér upp við það þótt jarðskjálftamaelar séu eitthvað að kröta. 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 kenningar 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 þremur 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) Skjáftahrinur eru algengar, en standa oftast stutt.

Gera má ráð fyrir að auknum þrýstingi í kvíkuhólfinu fylgi þrálát 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 hafið eða sé um það bil að hefjast undir jöklinum. Vísbendingarnar gætu t.d. verið að ótvíræður gosórói 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. Skjálftamælarnir voru settir upp á Mýrdalsjökli þann 15. október og hafðir þar í eina viku. Megintilgangur mælinganna var að fá gleggri mynd af skjálftavirkninni á þessum slóðum og reyna að varpa ljósi á orsakir hennar. Einkum var lögð áhersla á að ákværða brothreyfingar skjálftanna, en með því móti er von til að ákværða hvort skjálftarnir tengjast hækkandi eða lækkandi þrýstingi í kvíkuhólf. Er þá gert ráð fyrir að skjálftarnir stafi af misgengishreyfingum í þaki kvíkuhólfs. 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 aflýstu síðan viðbúnaðarstigi í desember.

## NOKKUR ORÐ UM KÖTLUGOS OG KÖTLUGJÓSKU

Guðrún Larsen, Raunvísindastofnun Háskólangs, Dunhaga 3, 107 Reykjavík

Eldstöðvakerfið, sem kennt er við Kölu, er um 80 km langt og um 30 km breitt að suðvestan, en mjókkar til norðausturs og er aðeins fáeinir km á breidd norðaustast. Megineldstöð þess er fjallendið undir Mýrdalsjökli, með allstórrri öskju og jarðhitasvæðum. Eldgjárgossprungan, sem liggur til norðausturs frá Mýrdalsjökli, tilheyrir einnig þessu eldstöðvakerfi.

Kötlugos eru öflug þeytigos og þeim getur fylgt mikið gjóskufall, eldingar og raffyrirbæri í gosmekki og gífurleg jökulhlaup. Kvikan er basaltkvika, sem myndi koma upp sem hraun ef ekki væri jökkull yfir gosstöðvunum. Snerting kviku og bræðsluvatns/íss veldur því að kvikan tætist í öflugum sprengingum og myndar gjósku. Pregar jökulþekjan yfir eldvarpinu rofnar berst gjóskan upp með gosmekki úr vatnsgufu og kvikugösum. Hæð gosmakkar í Kötlugosinu 1918 var mæld frá Reykjavík á fyrsta degi gossins og varð hæð hans mest um 14 km yfir sjávarmál samkvæmt þeim mælingum.

Nýlegar rannsóknir benda til að Kötlugos á sögulegum tíma séu um 20 talsins (tafla 1). Er þá miðað við gos sem brutust upp úr jöklinum 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. 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 stórt gjóskulag og mikil hraun sem runnu m.a. niður í Álfaver. Þrjú gos, sem áður voru talin eiginleg Kötlugos, K~1000, K-x, og K-1311, falla af skrá þar eð í ljós hefur komið að gjóskulöggin sem þeim voru eignuð eru úr öðrum gosum. Tvö þau fyrstnefndu reyndust vera hluti af gjóskulaginu frá Eldgjárgosinu á 10. öld.

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. Pykkt 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 þriðja stærsta gjóskulag sem myndast hefur á sögulegum tíma. Minnstu gjóskulöggin frá Kölu, 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 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 hæðartölum á korti Landmælingadeildar Herforingjaráðsins (69 Hjörleifshöfði NV) frá 1905 og hæðarlínnum á orthokortum Landmælinga Íslands af Mýrdalssandi frá 1978 bendir til að a.m.k. jafnmikið efni hafi bæst á sandinn neðan Hafurseyjar. Vafalaust hefur mest af því efni borist fram í hlaupinu 1918.

Lengd Kötlugosa hefur verið frá 2 vikum upp í meira en 5 mánuði svo vitað sé, 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 þvíðar en t.d. í Heklugosum, þar sem þeytigosið stendur stutt. Vitað er hvert megin-gjóskufallið barst í 16 gosum. Langoftast, 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 hófst á tímabilinu maí-nóvember, þar af hófst 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 víðtækar ályktanir af þessari tilhneigingu Kötlu 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 árstímum.

### Tafla 1

#### GOS Á KÖTLUEDSTÖÐVAKERFI 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			
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.

## UM LEIÐIR KÖTLUHLAUPA OG PRÓUN MÝRDALSSANDS

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

Með Eldgjárgosi á 10. öld hófst þróun sem leitt hefur til myndunar Mýrdalssands eins og við þekkjum hann nú. Sýna má fram á með rannsóknunum á gjóskulögum í jarðvegi að í þessu gosi runnu hraun niður Álftaversafrétt og niður í Alftaver. Þau gjörbreyttu aðstæðum á því svæði sem nú kallast Mýrdalssandur og Álftaver, bæði landkostum og möguleikum til landnýtingar og farvegum vatnsfalla og jökulhlaupa undan Kötlujökli. Áður en hraunin runnu er líklegt að vatnsföll og jökulhlaup hafi dreifst jafnar um sandinn en nú og átt jafn greiða leið til austurs og til suðurs. Raunar er líklegt að jöklar hafi verið minni á þeim tíma en síðar og því gætu hlaup vegna gosa undir jöklinum einnig hafa verið minni.

Pegar Álftavershraun rann hækkaði landið austan jöklusins. Með Álftavershrauni er hér átt við hraun á svæðinu frá Rjúpnafell niður að Alviðruhömrum. Vesturjaðar hraunsins 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 kaffaert hraunjaðarinn á stórum svæðum. Ekki er fullljóst hvenær hlaupin fóru að leita austur yfir hraunið en með hliðsjón af málögum 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 þar var á landnámsöld, en á ritunartíma Landnámu er hann horfinn og í stað hans kominn Höfðársandur. Þar er líka sögn um hlaup sem komið hefur fram Sólheima- og Skógasand. Í Biskupasögum er sagt frá hlaupi sem kom í Höfðá skömmu fyrir árið 1179, og tók af nokkra bæi. 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 oldum er allvel lýst í heimildum, og einnig því hvar þau koma fram. Á mynd 1 eru helstu leiðir Kötluhlaupanna 1918, 1860 og 1823 sýndar sem dæmi um rennslisleiðir slíkra hlaupa. 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 brjótast út úr honum ofar. Um hlaupið 1721 var sagt: "Það var underlegt og ósiðvanlegt um þetta hlaup, að það brauzt ekki út úr fremstu brún jöklusins, sem önnur hlaup gjöra, .... heldur spýttist þetta úr miðjum jöklinum" (Safn til sögu Íslands IV, bls. 229-230). Sama gerðist 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 hafi hækkað þar sem hlaupið fór um.

Kötluhlaupið 1660 hefur líklega komið fram undan jöklinum á einum stað en rann fram beggja vegna Hafurseyjar. Sá hlutinn sem fór fyrir austan eyna rann bæði fram miðsandinn og austur í Álftaver þar sem hlaupið olli mestu tjóni fyrsta gosdaginn. Mesta tjónið í Mýrdal varð á 6. og 7. gosdegi, þegar hlaup eyðilögðu bæinn og kirkjuna að Höfðabrekku. Útræði úr Skipelli tók af í þessu gosi og að hluta einnig við Víkurklett. Fyrir hlaupið gekk sjór með miklu aðdýpi upp undir Skorbeinsflúðir, en eftir hlaupið var þurr fjörusandur þar sem áður var 20 faðma dýpi.

Kötluhlaupið 1721 kom niður af jöklinum beggja vegna Hafurseyjar og einnig í Krika. Það er sérstakt fyrir þá miklu jakahrönn sem barst fram með hlaupinu vestan Hafurseyjar, og tjónið sem hlaupið olli á gróðurlendi. Það eyðilagði haglendi í

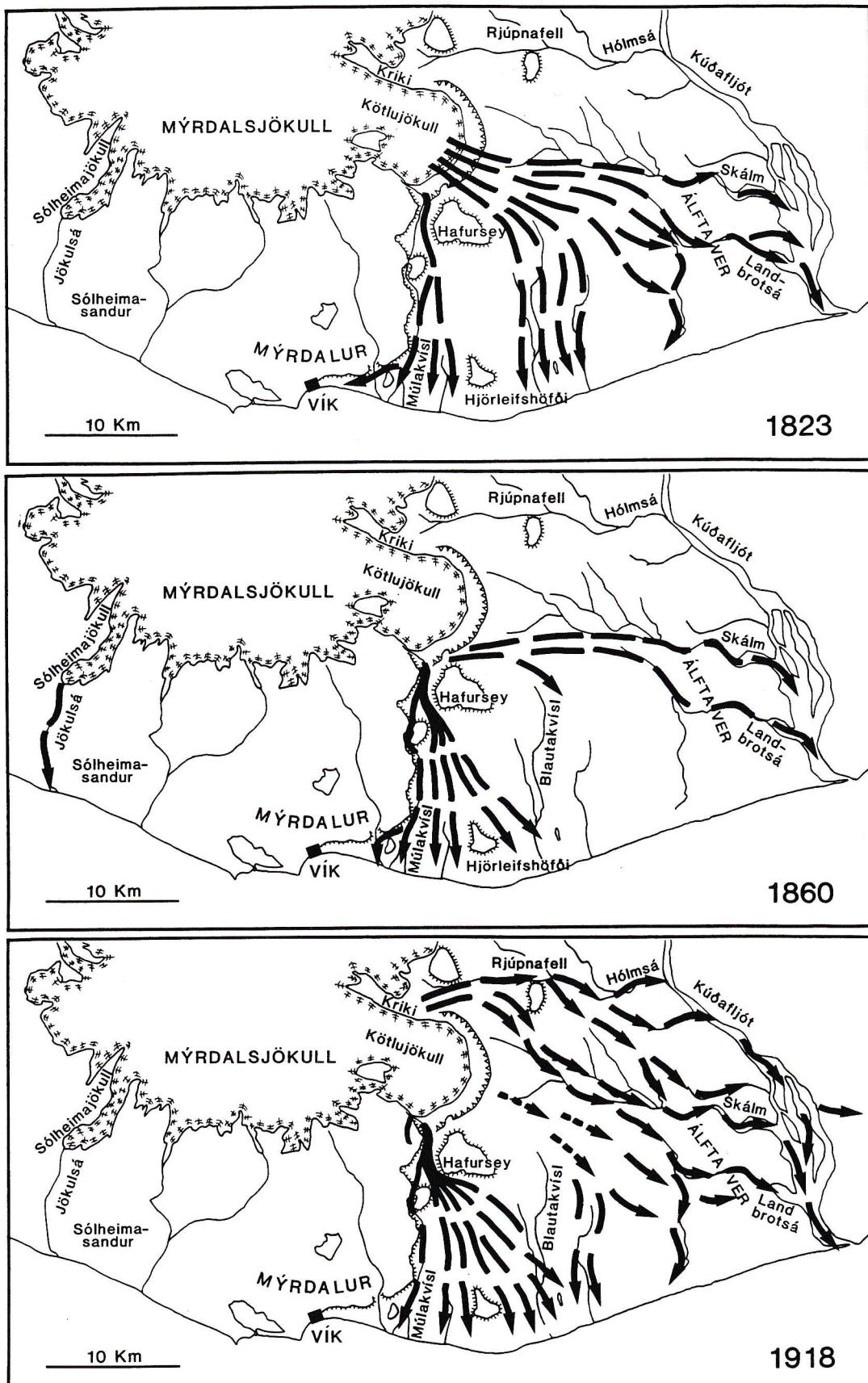
Selfjalli, Glámshvömmum og Nyrðrisundum, spillti Seldal, og tók af mestallt grasland upp undir hamra þar fyrir sunnan. Skiphellir tilluktist í hlaupinu og Kerlingardalsá stíflaðist af jakahrönn. Þetta hlaup hefur að öllum líkindum ekið fram því efni sem myndar Höfðabrekkujökulinn. Flóðbylga, sem myndaðist þegar hlaupið rann í sjó fram, olli tjóni í Vestmannaeyjum. Hraða hlaupsins er lýst svo: ".. kom hlaupið sjálft með viðlíkt hraðri ferð sem kaupskip með hægum byr.." (bls. 223). Að sögn sérfróðra manna getur ganghraði minni seglskipa verið um 7-8 hnútar (13-15 km/klst) í góðum vindi en um helmingi minni í hægum vindi (6.5-7.5 km/klst).

*Kötluhlaupið 1755* gæti hafa flæmst um jafnstórt eða stærra svæði en hlaupið 1918. Það kom fram á sömu stöðum, ofan Hafurseyjar og í Krika, og virðist hafa farið svipaðar leiðir nema hvað vestari hlutinn klofnaði um Hafursey. Hlaupið sem fór vestan Hafurseyjar rann í sjó fram beggja vegna Hjörleifshöfða þar sem jakar strönduðu á 40 faðma dýpi, og til vesturs framan Skiphellis "..um mestallan þann gamla jökul, hvorum hlaupið umsneri" (bls. 239) og allt að Víkurkletti. Það stíflaði einnig Kerlingardalsá. Hlaupið sem rann fram austan við Hafursey fór í Skálum og/eða Kælira, og út á miðsandinn með stefnu á Bólhraun. Álfتaver slapp betur en á horfðist frá hlaupinu "..sem hljóp þá sveit alla um kring, en yfirfell engan bæ." ( bls. 241).

*Kötluhlaupið 1823* er sérstakt að því leyti að meginfarvegir hlaupsins lágu austan við Hafursey, en þar kom hlaupið niður af jöklinum (1. mynd) og braut gljúfur upp í hann. Það rann bæði fram miðsandinn í Blautukvíslarfarvegum og niður í Álfтaver um Kælira og Landbrotsá. Hlaup kom einnig fram á sandinn vestan Hafurseyjar en var ekki meira en svo að fært var talið austur í Hjörleifshöfða á 2. gosdegi. Læna úr því rann vestur með Höfðabrekkujöllum allt út í Víkurá. Hlaup komu niður í Álfтaver allan gostímann, 28 daga, en algengast er að þau nái þangað aðeins fyrsta gosdaginn. 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 Álfтaver af lýsingu sjónarvotta. Það sást fossa út úr skriðjöklinum neðarlega skömmu eftir kl. 21 (náttmál) og var komið niður í Álfтaver kl. 2 um nóttnina. Meðalhraðinn virðist samkvæmt því hafa verið 6-7 kílómetrar á klukkustund.

*Kötluhlaupið 1860* virðist hafa verið fremur lítið hlaup. Vatnið kom framundan jöklinum um skarð án þess að brjóta hann mikið og er til þess tekið hve lítið barst fram af ís. Það er sérstakt meðal Kötluhlaupa á síðari öldum vegna þess að hlaup kom í Jökulssá á Sólheimasand á 4. gosdegi og varaði einn dag (1. mynd). Þetta hlaup skar sundur hálsinn milli Selfjalls og Léreftshöfuðs, þar sem Múlakvísl rennur nú, og fyllti vatn, sem var í Seldal, af sandi.

*Kötluhlaupið 1918* kom fram á tveim stöðum, vestan Hafurseyjar og austur úr Krika. Farvegir þess hafa varðveis að nokkru leyti og koma vel fram á elstu loftmyndum af sandinum (síst 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 Höfðabrekkujöllum 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 meginhlaupsins, þegar það var að ryðjast fram á vestursandinum, 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.



1. mynd. Helstu leiðir Kötluhlaupanna 1823, 1860 og 1918 eru sýndar með örvmum. Stuðst er við loftmyndir og ritaðar 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. Grunntekning eftir Aðalkorti, bl. 6, Miðsuðurland.

# ÝMIS SJÓNARMIÐ UM EÐLI KÖTLUHLAUPA

Helgi Björnsson, Jarðeðlisfræðistofu Raunvísindastofnunar Háskólags

## Nokkur almenn atriði um eðli jökulhlaupa

Í jökulhlaupum fer það eftir magni aurs hvort hlaupin teljast vatnsflóð, aurflóð eða grjótfloð. Vatnsflóð byltast fram með miklum iðuköstum, vatnið ber fram og þyrlar upp aurnum, hann skoppar og veltur fram eftir botni farvegarins. Í þeim er aur innan við 20% af rúmmáli flaumsins (40% af massa) og eðlismassi hans er á bilinu  $1.01-1.33 \text{ g/cm}^3$  (grömm á rúmsentimetra). Verði aurinn í hlaupinu enn meiri, 20-47% af rúmmáli flaumsins (40-70% af massa og eðlismassi flaumsins á bilinu  $1.33-1.80 \text{ g/cm}^3$ ), er ekki unnt að lýsa eðli flóðanna eins og um vatnsstraum væri að ræða og þá teljast þau aurflóð (eðjustraumar eða yfirmettuð af svifaur). Sandkornin í straumnum rekast þá stöðugt hvert á annað og þau svífa lengi um flauminn, sem streymir fram án snörpustu iðukastanna sem einkenna vatnsflóð. Þegar dregur úr hraða slíkra eðjustrauma sest aurinn, vatn skilst frá og áfram fellur vatnsflóð. Vaxi hlutur fastra efna enn og verði meiri en helmingur af rúmmáli flaumsins (47-77% af rúmmáli, 70-90% af massa og eðlismassi  $1.80-2.30 \text{ g/cm}^3$ ), berast allir hlutar hans fram með sama hraða, sem eitt efni og vatn skilst ekki lengur frá þegar hægir á straumnum. Öll hreyfingin þessara flóða fer fram í þunnu lagi við botn þeirra. Pau kallast grjótfloð (debris-flow).

## Eðli Kötluhlaupa

Öll jökulhlaup frá jaðarlónum og flest þau sem falla frá jarðhitasvæðunum í Grímsvötnum og Skaftárkötlum teljast vatnsflóð. Hins vegar verður að telja að Kötluhlaup hefjist sem vatnsflóð, breytist mjög fljótt í aurflóð en eftir að rennslið hefur náð hámarki og framburður fer að setjast til botns verði þau að vatnsflóðum á ný. Pessa ályktun má draga af rannsóknum á gerð setлага á Mýrdalssandi og Sólheima- og Skógasandi og frásögnum af svo gífurlegum framburði, að land hækkar, gamlir farvegir fyllast, suðurströnd landsins flyst fram og eftir hlaupin fylgir "drepandi sandfok og móðuryk". Kötluhlaupum verður hins vegar ekki almennt lýst sem grjótfloðum, þótt á stöku stað gætu hafa fallið fram slík flóð við Kötlugos.

Kötluhlaup greinast frá öðrum jökulhlaupum að því leyti að hraði þeirra er mikill og vatnsmagnið vex gífurlega hratt. Setlagarannsóknir á Sólheimasandi benda til þess að hraði hafi verið á bilinu  $4-13 \text{ m/s}$ , en hámark orðið allt að  $17 \text{ m/s}$  ( $60 \text{ km/klst.}$ ). Á nokkrum klukkustundum ná þau hámarki sem hefur verið talið  $100-300 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$  (100 til 300 þúsund teningsmetrar á sekúndu, 100-300 sinnum hámarksrennli Þjórsár). Í hámarki eru flóðin enn aurflóð og vatn sem þá er á ferð gæti verið  $150-200 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$ .

## Ísbráðnun við Kötlugos

Heildarvatnsmagn sem rennur fram í Kötluhlaupum gæti verið nærrí 1 km<sup>3</sup> (einn rúmkílómetri). Ekki er ljóst hve stór hluti þessa vatns verður til við bráðnun í gosinu og hvort hluti þess myndast við aukinn jarðhita áður en gos hefst. Nú eru aðstæður þannig í Mýrdalsjökli að ekki safnast fyrir vatn í öskjunni. Til þess að svo verði þarf dæld að myndast í yfirborði hans svo að ísfarg umhverfis hana sé meira en undir henni og vatn lokist því inni. Slíkar aðstæður gætu skapast undir jöklignum við aukinn jarðhita í eldstöðinni, t.d. á nokkrum vikum eða mánuðum. Lækkun á yfirborði jökulsins innan öskjubarma væri fyrirborði þess. Við gos myndi stífla bresta.

Við Kötlugos gæti hins vegar heildarorkan verið nægileg til þess að bræða allan þann ís sem til þarf í 1 km<sup>3</sup> af vatni en óvissara er hvort varminn getur borist nægilega hratt úr gosvikunni til þess að vatnsrennsli nái á nokkrum klukkustundum 150-200 x 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/s. Við fullkomin varmaskipti, þannig að allur varmi í kviku fari til bræðslu, þyrfti 0.1 x 10<sup>9</sup> m<sup>3</sup> af kviku til þess að fá 1 km<sup>3</sup> af vatni. Ef það gerðist á hálfum sólarhring, 50 x 10<sup>3</sup> s, bærust að meðaltali upp 2 x 10<sup>3</sup> m<sup>3</sup>/s af gosefnum. Væri hraði gosefnanna 10 m/s nægði 200 m<sup>2</sup> gosop. Svo öflug gos eru ekki óalgeng. Því hefur hins vegar ekki verið lýst hvernig slík fullkomin varmaskipti gætu farið fram. Helst mætti búast við því að þau gætu orðið þar sem gýs upp í vatn undir jöklum (t.d. í Grímsvötnum) því að þar splundrast gosefnin í smáagnir sem kólna snögglega; hins vegar er ekki ljóst hve hratt heitt vatnið getur brætt ís, eða hve snögg sú blöndun getur orðið. Þá ályktun má þó draga að auðveldast væri að skýra tilkomu vatnsins í Kötluhlaupum ef gysi upp í lón sem myndast hefði við aukinn jarðhita; - vatnið væri að hluta brætt af jarðhita og síðan væri bráðnun mjög hröð vegna goss í vatni. Þessar vangaveltur má þó ekki skilja svo að búast megi við því að jarðhiti aukist fyrir gos, vatn safnist í lón og síðan gjósi upp í vatnið. Ekki má útiloka að allt vatn geti bráðnað í gosinu (þó að það ferli hafi ekki verið skýrt fræðilega) og fyrirvari Kötluhlaups yrði skammur. Þótt varmaskipti séu ekki fullkomin uppi við gosstöðvarnar tæki hlaupið með sér heit gosefnin sem bræða ís á leið niður jökulinn. Frekari rannsókna á því ferli er þörf og væntanlega má margt læra af reynslu manna af gosum undir jöklum erlendis.

## Eðjuhlaup í Suður-Ameríku sem svipar til Kötlugosa

Kötluhlaup gætu verið svipaðs eðlis og hlaup sem félle við gos fjallinu Nevado del Ruiz í Kólumbíu í Suður-Ameríku árið 1985. Á Nevado del Ruiz (5390 m y.s.) er 25 km<sup>2</sup> (ferkílómetrar) íshetta og gos kom upp á 10 km<sup>2</sup> svæði undir henni. Innan 4 klst. fíll eðjustraumur niður 5100 m, 104 km leið (halli efst 0.3, 0.01 neðst). Heit gosefni blönduðust við snjó og ís og 20 x 10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> (20 milljónir rúmmetrar) runnu af stað, en vatn blandaðist seti sem varð að eðju (m.a. við titring frá jarðskjálftum). Allt þetta efni rann af stað og reif með sér frekara set og snjó á leiðinni. Niðri á flatlendi var rúmmál flóðsins

orðið fjórfalt meira en rúmmál vatnsins sem í upphafi fór af stað, þ.e.a.s.  $90 \times 10^6 \text{ m}^3$ . Hraði flóðsins mældist allt að 17 m/s og hámarksrennsli  $48 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{s}$  (48 þúsund teningsmetrar á sekúndu) í 10-20 km fjarlægð frá gígnum.

Af rannsóknum á þessu gosi mátti draga eftirtaldar niðurstöður:

- 1) eðjustraumar geta myndast á snævíþöktum eldfjöllum, jafnvel þótt gos séu lítil
- 2) snjór og heit gosefni blandast hratt saman svo að varmaskipti eru hröð
- 3) stærð snertiflata milli kviku og íss ræður meiru um hve hröð varmaskipti eru heldur en rúmmál íssins
- 4) rúmmál hlaupsins vex niður hlíðar fjallsins (flóðið tekur upp snjó og set)
- 5) niðri á láglendi skilst vatn frá eðjunni, sem sest til, en vatnsflóð fellur áfram.