

I. YFIRLIT UM HÆTTU VEGNA ELDGOSA OG HLAUPA FRÁ VESTURHLUTA MÝRDALSJÖKULS OG EYJAFJALLAJÖKLI

Magnús Tumi Guðmundsson¹, Jónas Elíasson², Guðrún Larsen¹, Ágúst Gunnar Gylfason³, Páll Einarsson¹, Tómas Jóhannesson⁴, Kristín Marthá Hákonardóttir⁴ og Helgi Torfason⁵

- 1: Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík
- 2: Verkfræðistofnun Háskólans, Hjarðarhaga 4-6, 107 Reykjavík
- 3: Almannavarnadeild Ríkislögreglustjóra, Skúlagötu 21, 101 Reykjavík
- 4: Veðurstofu Íslands, við Bústaðaveg, 150 Reykjavík
- 5: Náttúrufræðistofnun Íslands, Hlemmi 3, 105 Reykjavík

1. Inngangur

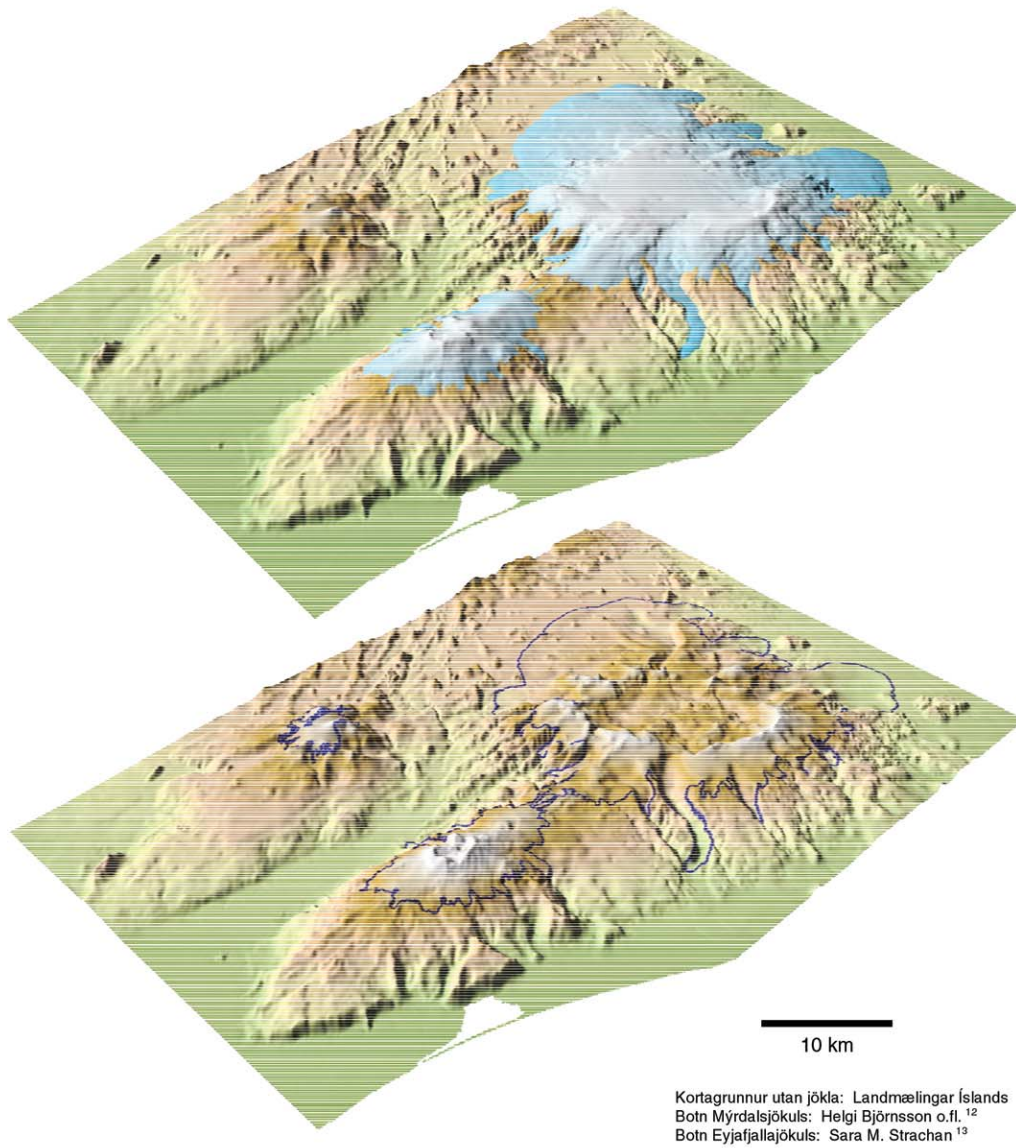
Eftirfarandi kafli er samantekt yfir niðurstöður hættumats og rannsókna á eldvirkni og afleiðingum hennar í vesturhluta Mýrdalsjökuls og Eyjafjallajökli. Hér verður stuttlega gerð grein fyrir aðferðafræði hættumatsins, dregnar eru saman helstu niðurstöður jarðvísindalegra rannsókna og hættusvæði skilgreind á grundvelli þeirra. Nánari umfjöllun ásamt ítarlegri heimildalistum er í köflum II-XII¹⁻¹¹ sem hver um sig fjallar um afmarkaða þætti þeirra rannsókna sem liggja til grundvallar hættumatinu.

Eitt af jarðfræðilegum einkennum Íslands eru eldgos undir jöklum. Ísbráðnun í slíkum gosum veldur jökulhlaupum og hafa sum þeirra verið með stórkostlegustu flóðum sem verða á jörðinni. Kötluhlaup fram Mýrdalssand eru vel þekkt en þau hafa að jafnaði orðið tvisvar á öld, a.m.k. síðustu 500 ár. Grímsvatnahlaup eru mun tíðari enda eru fæst þeirra beint tengd eldgosum. Jökulhlaup hafa farið það oft um Skeiðarársand og Mýrdalssand að fólk hefur ekki reist bústaði sína á helstu hlaupleiðunum. Öðru máli

gildir um staði þar sem jökulhlaup hafa ekki farið um í aldir eins og t.d. vestan við Mýrdalsjökul og undir Eyjafjöllum. Þar eru aðstæður þannig að jöklar krýna stórvaxin eldfjöll með bröttum hlíðum (myndir 1-8). Eldgos undir jöklunum geta orsakað mjög snögg jökulhlaup sem ná niður á láglendi á skömmum tíma eftir að gos hefst.

Á síðustu áratugum hafa rannsóknir á ýmsum sviðum jarðvísinda aukist verulega jafnframt því að stórstígar framfarir hafa orðið í mælitækni. Með aukinni þekkingu og tækni hafa komið fram vísbendingar um vá sem áður var óþekkt. Rannsóknir hafa leitt í ljós að á forsögulegum tíma fóru mörg stór jökulhlaup niður Markarfljót og flæddu yfir Landeyjar^{15,16}. Flest þessara hlaupa áttu upptök í Entujökli og orsökuðust af eldgosum í norðvesturhluta Kötluöskjunnar. Bæði Katla og Eyjafjallajökull hafa sýnt merki um ókyrrð á síðustu árum:

- Skjálftavirkni og landris bendir til þess að tvisvar hafi kvikuinnskot orðið undir Eyjafjallajökli á síðasta áratug, þ.e. árin 1994 og 1999^{17,18}.
- Hægt en stöðugt landris hefur orðið í Kötluöskjunni frá árinu 1999, sam-



Mynd 1. Fjarvídarmynd af Eyjafjallajökli og Mýrdalsjökli. Efri myndin sýnir jöklana en sú neðri landslag undir þeim samkvæmt íssjármælingum^{12,13}.

fara aukinni jarðskjálfta- og jarðhita-virkni^{19,20}. Allt eru þetta vísbendingar um að kvika sé að safnast fyrir undir Kötlu og dæmigerðir langtímaforboðar eldgoss.

- Viðvarandi jarðskjálftavirkni undir Goðabungu vestast í Mýrdalsjökli hefur færst mjög í aukana síðustu árin^{20,21}. Þar er einnig staðbundið landris. Leiddar hafa verið að því líkur að þarna sé bergkvika á hægri leið upp til yfirborðs.

Í ljósi þessara upplýsinga lét Almannavarnaráð vinna áætlun um hættumat og áhættugreiningu vegna eldgosa og jökulhlaupa til norðurs, vesturs og suðurs frá Eyjafjallajökli og vesturhluta Mýrdalsjökuls vorið 2003²². Í júlí 2003 ákvað ríkisstjórnin að tillögu Almannavarnaráðs, að hrinda verkefninu í framkvæmd. Jarðfræðirannsóknir á svæðinu voru unnar haustið 2003 og sumarið 2004. Aðrir þættir verkefnisins voru unnir samhliða. Í síðari köflum þessa rits eru niðurstöður hættumatsins settar fram.

2. Skilgreining verkefnis

Hættumat vegna náttúruhamfara af völdum eldvirkni felur í sér eftirfarandi:

- Að gera skipulega grein fyrir vá sem stafað getur af eldgosum og afleiðingum þeirra.
- Að meta stærð og líkindi atburða.
- Að meta líkindin á að skilgreind svæði verði fyrir tiltekinni vá.

Í áætlun um verkið var gert ráð fyrir að könnuð yrðu áhrif og hætta af eldgosum og jökulhlaupum frá þeim svæðum þar sem sennilegur endurkomutími hleypur á tugum, hundruðum eða þúsundum ára. Af því leiðir að áhrif atburða sem verða á

10-100 þúsund ára fresti eða sjaldnar, eins og stærstu sprengigos, e.t.v. samfara öskjusigi, voru ekki metin sérstaklega nú. Ennfremur var ákveðið að einskorða hættumatið við þá sérstöku vá sem tengist gosi undir jöklunum. Eðli málsins samkvæmt snýst umfjöllunin mjög um jökulhlaup og stærðir þeirra. Til að auðvelda þá umfjöllun er hér notuð stærðarflokkun sem byggist á hámarksrennsli hlaupa (tafla 1).

Tafla 1:

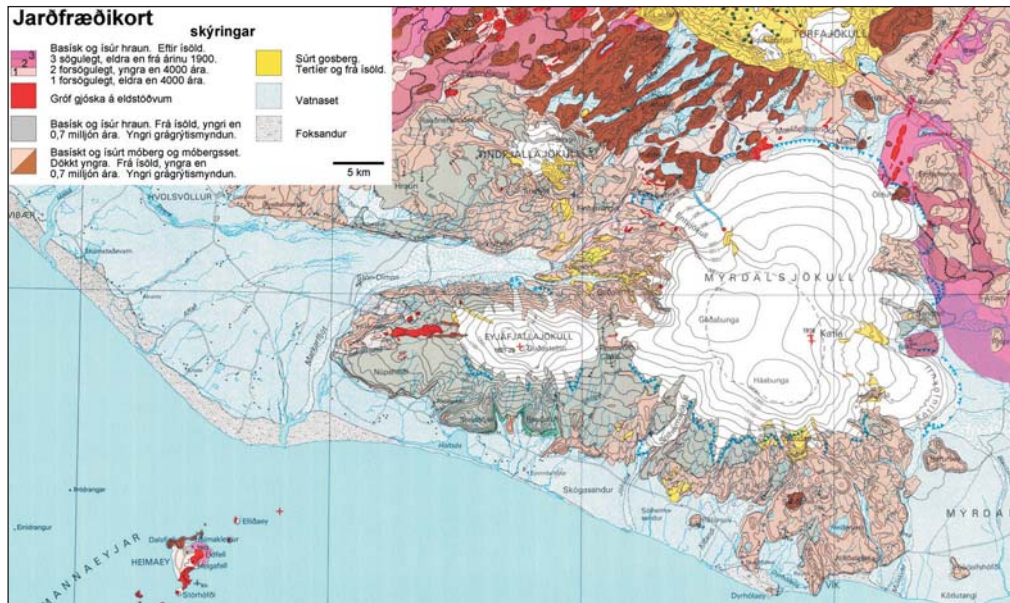
Flokkun jökulhlaupa eftir stærð

Stærðarflokkur	Hámarksrennsli m ³ /s
1	<3.000
2	3.000-10.000
3	10.000-30.000
4: stórhlaup	30.000-100.000
5: hamfarahlaup	>100.000

Áhrif gjóskufalls vegna eldgosa á svæðinu voru ekki könnuð, enda ekki teljandi munur á gjóskufalli eftir því hvar í Kötluöskjunni eldgos kemur upp. Af sömu ástæðu voru áhrif hugsanlegs hraunrennslis ekki skoðuð, enda eru flest gos á rannsóknarsvæðinu sprengigos án hraunrennslis. Þá sýnir reynslan að hraunrennsli veldur sjaldan beinum mannskaða því fólki gefst svo til alltaf frestur til að forða sér, þótt ekki megi gleyma mögulegum eituráhrifum gastegunda s.s. brennisteins og kolsýrings (CO).

Í ljósi þessa voru eftirtaldir verkþættir skilgreindir:

1. Könnun á ummerkjum um eldri hlaup til vesturs frá Mýrdalsjökli.
2. Mat á jarðfræðilegum aðstæðum við vestanverða Goðabungu efst í Þórs-mörk.



Mynd 2. Jarðfræðikort af svæðinu kringum Mýrdals- og Eyjafjallajökul¹⁴. Í kafla II er nýtt og endurskoðað jarðfræðikort af svæðinu frá Fimmvörðubálsi norður að Entu.

- Mat á stærð og útbreiðslu hlaupa til vesturs frá Mýrdalsjökli sem orðið gætu vegna eldgoss við núverandi aðstæður.
- Mat á stærð og útbreiðslu hlaupa til norðurs, vesturs og suðurs frá Eyjafjallajökli sem orðið gætu vegna eldgoss við núverandi aðstæður.
- Mat á líkindum einstakra atburða í ljósi eldgosasögu og annarra jarðfræðilegra gagna.

3. Jarðfræðilegur rammi og gossaga

3.1. Jarðfræði svæðisins

Eystra gosbeltið teygir sig til suðvesturs frá miðju landsins um Suðurjökla: Tindfjallajökul, Eyjafjallajökul og Mýrdalsjökul, til sjávar undan suðurströndinni (1. og 2. mynd) og er eldstöðvakerfi Vestmannaeyja syðsta eining þess. Syðsti

hluti eystra gosbeltisins er talið vera framsækið rekbelti. Í því felst að gliðnun hefur færst til suðurs með tíma á síðustu 2 milljónum ára og gosefnin hafa hlaðist mislægt ofan á mun eldra berg. Ummerki gliðnunar eru merkjanleg norðan Mýrdalsjökuls en eru engin orðin sunnan Eyjafjalla- og Mýrdalsjökuls. Suðurhluti eystra gosbeltisins einkennist af stórum megineldstöðvum (Hekla, Torfajökull, Tindfjallajökull, Katla, Eyjafjallajökull). Sprungureinar eru minna áberandi á þessu svæði en víðast annarstaðar í gosbeltum Íslands. Af ofangreindum megineldstöðvum er aðeins Katla tengd stórrí sprungurein; eldstöðvakerfi Kötlu með Eldgjá nær norður undir Vatnajökul.

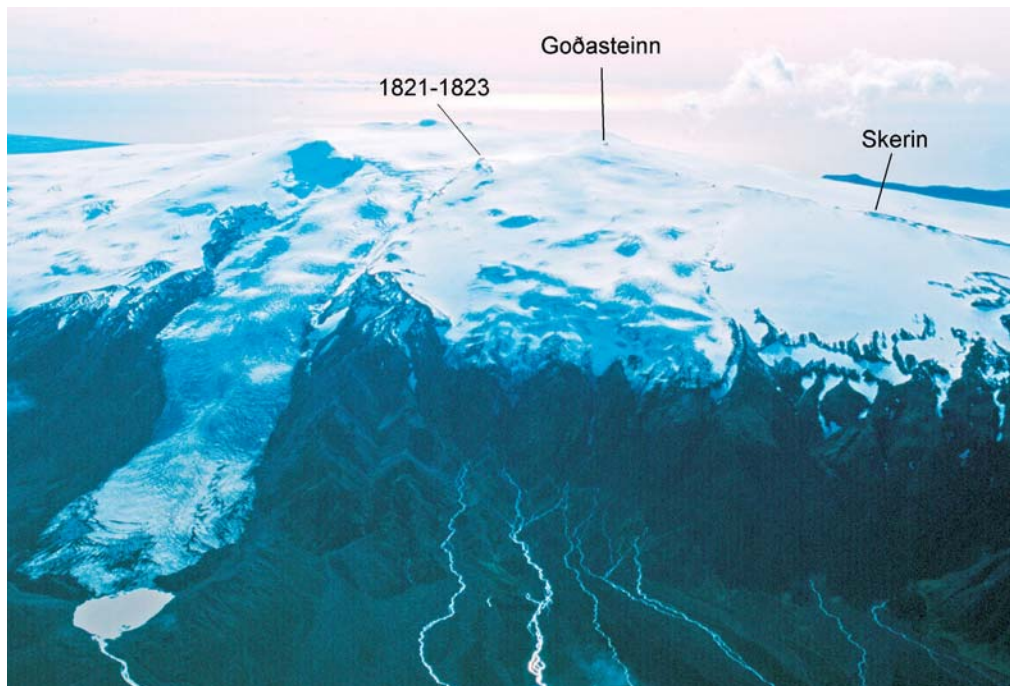
Landslag á svæðinu er mjög mótað af jöklum (myndir 3-8). Móberg myndað við gos undir jöklum ísaldar þekur stór svæði, mismikið rofið af jöklum og vatni. Þá er láglendi vestan, sunnan og austan Mýrdalsjökuls víða sandar sem



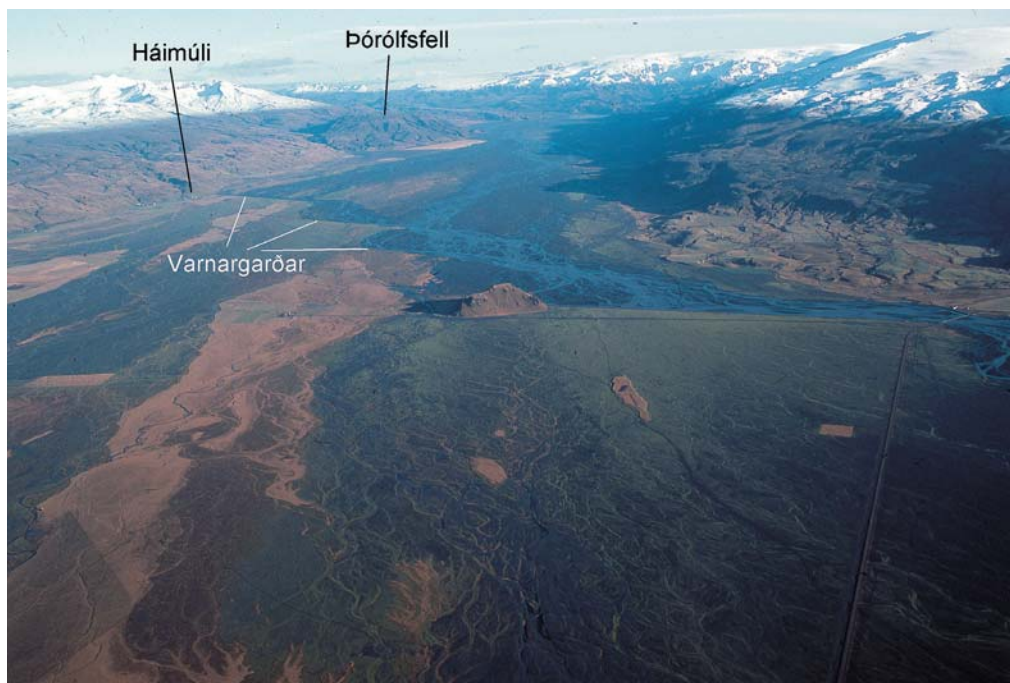
Mynd 3. Horft úr austri yfir Kötlúöskjuna. Eyjafjallajökull fjær. (ljósm. Magnús T. Guðmundson)



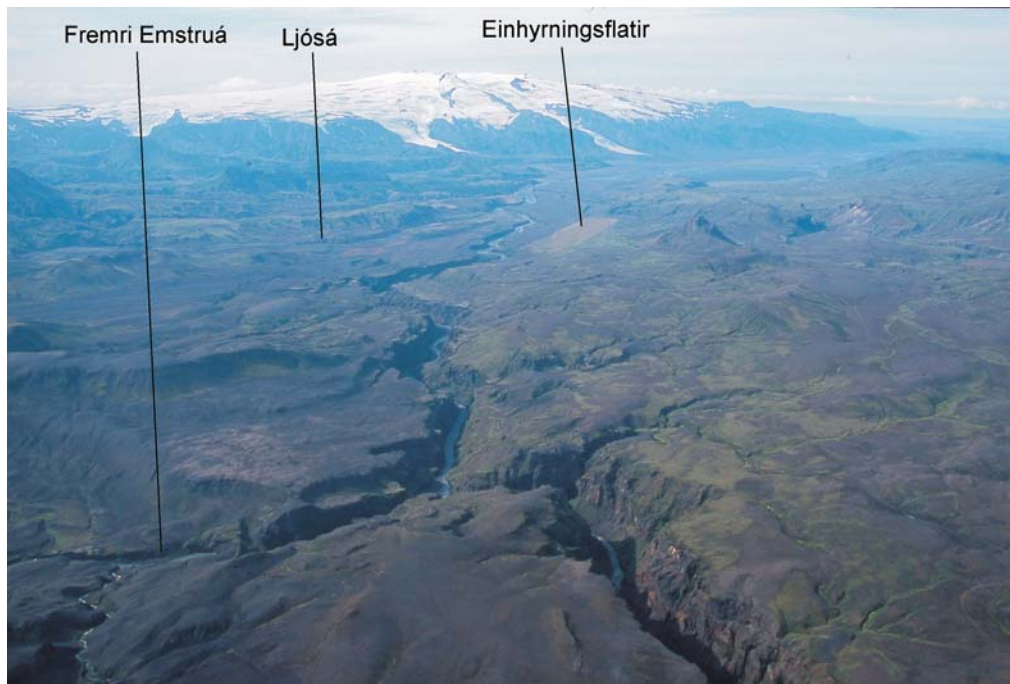
Mynd 4. Vesturbluti Mýrdalsjökuls með Goðabungu. Horft úr suðri. (ljósm. Magnús T. Guðmundsson)



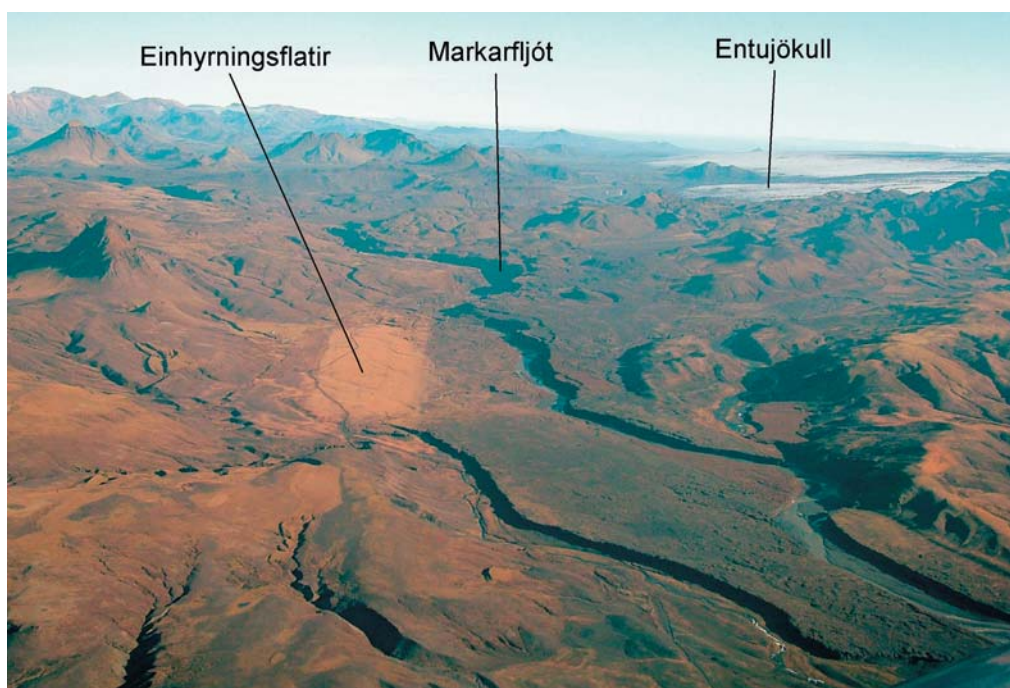
Mynd 5. Eyjafjallajökull, horft úr norðvestri. Gígjökull hefur hopað töluvert síðan myndin var tekin. (ljósm. Oddur Sigurðsson)



Mynd 6. Markarfljótsaurar, horft úr suðvestri (ljósm. Oddur Sigurðsson)

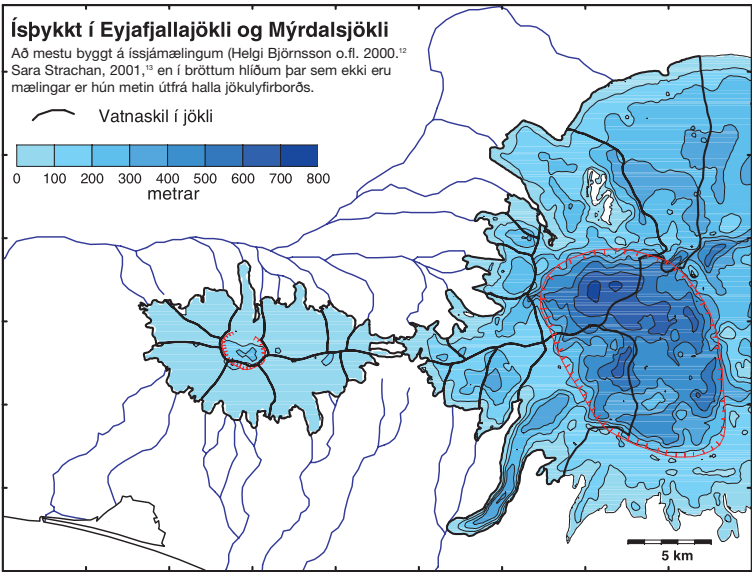


Mynd 7. Horft niður Markarfljótsgljúfur úr norðaustri. (ljósm. Oddur Sigurðsson)



Mynd 8. Horft upp eftir Markarfljótsgljúfur úr suðvestri. Tröllagjá myndaðist í forsögulegum bamfarablaupum. (ljósm. Magnús T. Guðmundsson).

Mynd 9. Ísþykkt í Eyjafjallajökli og Mýrdalsjökli og skipting í vatnasvæði (þykkar svartar línur).



Tafla 2:
Eldgos í Mýrdalsjökli frá og með 8. öld^{23,24}. Staðfestar og líklegar leiðir hlaupa.

Gosstaður	Gosár	Upphaf goss	Hlaup (dagar)	Líkleg leið	Stærð goss	Stærð hlaups
(Katla – S)	(1999)	~17. júlí	–	Sólheimasandur	Mjög lítið	1
(Katla – K)	(1955)	25. júní	<1	Mýrdalssandur	Mjög lítið	1
Katla-K	1918	12. okt.	24	Mýrdalssandur	Stórt	5
Katla-K (S)	1860	8. maí	20	Mýrdalss./Sólheimas.	Lítið	4/1?
Katla-K	1823	26. júní	28	Mýrdalssandur	Lítið	4
Katla-K	1755	17. okt.	~120	Mýrdalssandur	Stórt	5
Katla-K	1721	11. maí	>100	Mýrdalssandur	Meðal	5
Katla-K	1660	3. nóv.	>60	Mýrdalssandur	Meðal	5
Katla-K	1625	2. sept	13	Mýrdalssandur	Stórt	5?
Katla-K	1612	12. okt.		Mýrdalssandur	Lítið	4?
Katla-K	1580	11. ág.		Mýrdalssandur	Lítið	4?
Katla-K	1500			Mýrdalssandur	Stórt	5?
Katla-K	15. öld			Mýrdalssandur	Lítið	?
Katla-K	1440			Mýrdalssandur	Lítið	?
Katla-K	1416			Mýrdalssandur	Meðal	?
Katla-K	1357			Mýrdalssandur	Meðal	?
Katla-K	1262			Mýrdalssandur	Stórt	?
Katla-K	1245			Mýrdalssandur	Lítið	?
Katla-K	1179			Mýrdalssandur	Lítið	?
Katla-K	12. öld			Mýrdalssandur	Lítið	?
Katla-K, S	934			Mýrdalss./Sólheimas.	Stórt	5?
Katla-K	920			Mýrdalssandur?	Meðal	?
Katla-K	9. öld			Mýrdalssandur?	Lítið	?
Katla-S	9. öld			Sólheimasandur	Lítið	?
Katla-S	8. öld			Sólheimasandur	Meðal	?

Katla-K: Gos á vatnasvæði Kötlujökuls Katla-S: Gos á vatnasvæði Sólheimajökuls Katla-E: Gos á vatnasvæði Entujökuls.
Ekki er staðfest að gos hafi orðið 1955 og 1999.
Stærðir gosa byggjast á stærð og dreifingu gjöskulaga: (lítið: <0,1 km³, meðal: 0,1–0,5 km³, stórt: >0,5 km³)

Tafla 3:
Aldur og stærðir forsögulegra
jökulhlaupa í Markarfljóti²

Aldur miðað við árið 2000		
Örugg	Óviss	Stærð
	~1100	3
~1200		4
~1600		4
~2000		4-5
~3500		5
	~3900	?
~4400		5
~5100		?
~6100		4
	~6300	?
~6600		4
	~7300	?
~7500		4
~7900		
>9000		

orðið hafa til í jökulhlaupum (Mýrdals-sandur, Sólheimasandur, Skógasandur, Markarfljótsaurar og Landeyjar). Há eldfjöll og mikil úrkoma við suðurströndina skapa skilyrði fyrir jöklana, Mýrdalsjökul (um 600 km²), Eyjafjallajökul (um 80 km²) og Tindfjallajökul (um 11 km²).

Kötlueldstöðin er ein stærsta megineldstöð landsins. Hún er um 30 km í þvermál og hæstu kollar rísa í yfir 1400 m hæð yfir sjó. Í miðju eldstöðvarinnar er Kötlusaskjan, um 100 km² að stærð og allt að 700 m djúp¹². Í henni er víðast hvar 400-700 m þykkur ís (mynd 9) og skiptist askjan í þrjú vatnasvæði: Vatnasvæði Kötlujökuls, Sólheimajökuls og Entujökuls. Á nútíma (síðustu 10.000 ár) hafa þrjár gerðir eldgosa orðið í eldstöðvakerfi Kötlus²³:

- basísk sprengigos á sprungum undir jökli, flest innan öskjunnar. Þessi gerð

Tafla 4:
Eldgos í Eyjafjallajökli síðustu
1400 ár^{25,26}

Ár	Staður
1821-1823	Toppgígur
1612	Toppgígur
Um 920	Skerin
Um 500	Toppgígur

gosa er algengust og öll söguleg gos tilheyra þessum flokki..

- Súr sprengigos sem hafa sennilega öll byrjað undir jökli. Ekkert gos af þessu tagi hefur orðið eftir landnám en a.m.k. 20 eru þekkt fyrir þann tíma.
- Basísk flæðigos á sprungum utan Kötlus. Sum þessara gosa eru stærstu gos sem verða á Kötlukerfinu. Eldgjárgosið um 934 var af þessari gerð, en um 19 km³ af gosefnum komu upp í því gosi, en fleiri hraun hafa komið frá eldstöðvum við jaðar Mýrdalsjökuls, sum nokkuð stór.

Langflest gos Kötlus á sögulegum tíma voru á vatnasvæði Kötlujökuls með hlaupi fram á Mýrdalssand (tafla 2). Eins og fram hefur komið verður sagan flóknari þegar skoðaður er sá tími sem liðinn er frá ísaldarlokum. Að lágmarki hafa 10 gos orðið á vatnasvæði Entujökuls á síðustu 8000 árum (tafla 3) og er endurkomutími gosa þar talinn nærri 700 árum⁷. Fjöldi gosa á vatnasvæði Sólheimajökuls er óviss en endurtekin gos og hlaup urðu kringum landnám og er endurkomutími e.t.v. nærri 600 árum⁷. Vísbendingar eru um að tregða sé í færslu gosstöðva innan Kötlusöskjunnar frá einu svæði til annars. Þetta þýðir að þar sem síðasta gos (1918) varð á svæði Kötlujökuls eru langmestar líkur á að næsta gos verði þar einnig. Ef hinsvegar

næsta gos yrði annarstaðar, væru töluvert auknar líkur á að næsta gos þar á eftir yrði á svipuðum stað.

Berggrunnur undir vesturhluta Mýrdalsjökuls og á Þórsmerkursvæðinu er að langmestu leyti úr móbergi sem er yngra en 55.000 ára. Það hefur því orðið til í gosum undir jökli eða vatni á seinni hluta síðasta jökulskeiðs (kafla II)¹.

Eyjafjallajökull er fremur reglulega löguð eldkeila með stóran toppgíg eða öskju í kollinum. Eldfjallið hefur verið virkt í um 800 þúsund ár. Jökullinn þekur fjallið víðast hvar ofan 1000 m hæðar en fjöldi skerja stendur upp úr honum, einkum í brúnum toppgígsins. Ísinn er víðast þunnur, um eða undir 100 m nema í gígnum þar sem þykktin nær 250 m. Gos virðast algengust í toppnum en nokkrir hryggir, sem orðið hafa til við gos í jöklinum, teygja sig niður hlíðarnar með stefnu frá toppgígnum. Vitað er um fjögur gos í Eyjafjallajökli á síðustu 1400 árum (tafla 4). Gosefni hafa verið súr og ísúr (dasít og andesít). Auk þess að vera mun fátíðari hafa gos í Eyjafjallajökli verið lítil miðað við Kötlugos. Virkni í eldfjöllunum virðist tengd, því gos Eyjafjallajökuls hafa komið á svipuðum tíma og Kötlugos (bæði eldfjöllin gusu um 920, 1612 og Katla gaus 1823, skömmu eftir að gosinu 1821-23 lauk í Eyjafjallajökli).

Tindfjallajökull er ekki til sérstakrar umfjöllunar hér en hann er mikilvægur hluti af jarðfræðilegri umgjörð rannsóknarsvæðisins. Hann ber nafn af tindum sem flestir standa á brúnum öskju sem er um 7 km í þvermál. Askjan varð a.m.k. að stórum hluta til í miklu sprengigosi fyrir um 55.000 árum þegar gjóskuflóð fór til suðausturs yfir það

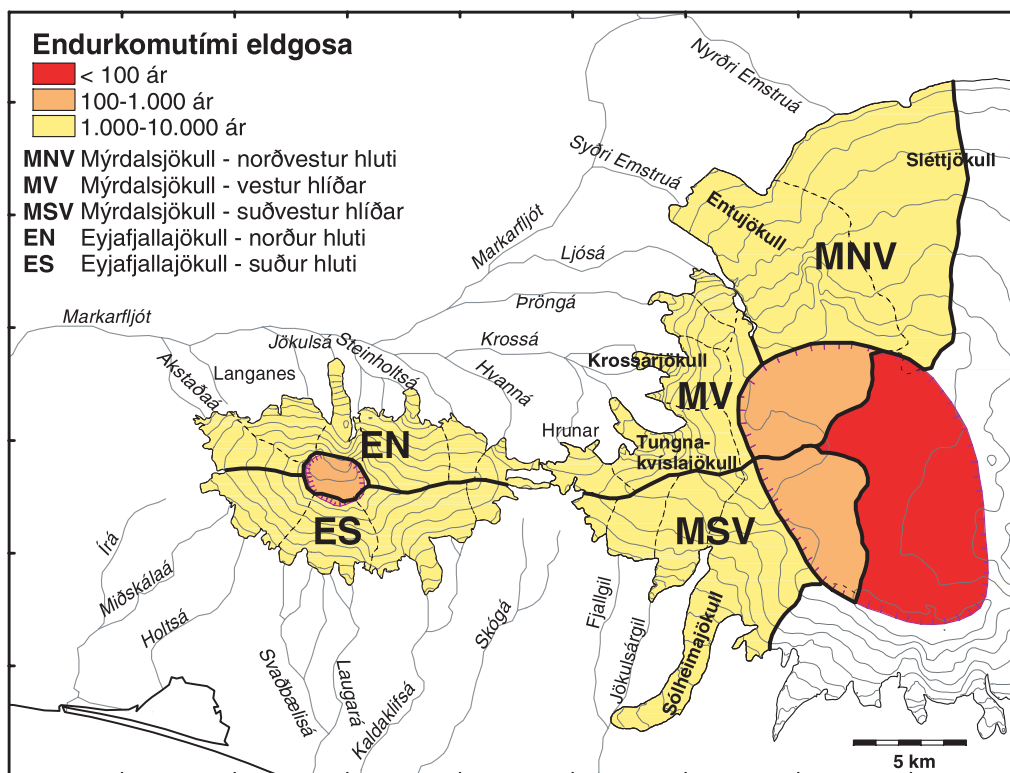
svæði þar sem Þórsmörk er nú²⁷. Flikruberagslagið sem gjóskuflóðið skildi eftir sig sést víða í Þórsmörk og er þar leiðarlag. Tindfjallajökull hefur lítið látið á sér kræla frá því að ísöld lauk en nokkur lítil hraun hafa runnið niður eftir hlíðum Tindfjallajökuls skömmu eftir hvarf ísaldarjökulsins.

Tíðni eldgosa er mismunandi eftir því hvar er í Eyjafjallajökli og Mýrdalsjökli (mynd 10). Tíðust eru gosin innan Kötlüöskjunnar, þá í toppöskju Eyjafjallajökuls en minnst í hlíðum eldfjallanna. Hermun gossögunnar bendir til þess að endurkomutími eldgosa sé 58 ár á vatnasvæði Kötlujökuls og eins og áður sagði nærri 600 árum á vatnasvæði Sólheimajökuls og um 700 ár á vatnasvæði Entujökuls (kafla VIII)⁷ en óvissa í endurkomutímanum fyrir tvö síðarnefndu svæðin er veruleg. Á Fimmvörðuhálsi hafa orðið nokkur eldgos á síðustu 10.000 árum og sama á við um Mýrdalsjökul vestan Kötlüöskjunnar. Eldgos hafa einnig orðið utan jökuls norðan Þórsmerkur (kafla II)¹.

3.2. Ummerki um eldri hlaup og stærð þeirra

Við jarðfræðirannsóknir í Landeyjum og Fljótshlíð fundust fyrir aldarfjórðungi ummerki um að stórt hlaup hefði farið yfir svæðið fyrir um 1600 árum¹⁶. Jarðfræðingar höfðu einnig séð að hamfarahlaup (sjá töflu 1: um stærðarflokkun hlaupa) höfðu grafið gljúfur Markarfljóts ofan Þórsmerkur²⁸. Á síðustu árum hafa ummerki um hlaup á þessum slóðum verið könnuð (kafla III)². Svæðin þar sem þessi ummerki finnast eru merkt inn á mynd 11. Ummerkin eru einkum:

- Jökulhlaupaset sem lagst hefur yfir



Mynd 10. Endurkomutími eldgosa á svæðum undir jökli. Eyjafjallajökli er skipt í þrjú svæði og vesturhluta Mýrdalsjöklul í fimm svæði. Litur hvers svæðis segir til um hve langur tími líði milli þess að gos verði einhverstaðar innan svæðisins. Endurkomutími er stytstur í austurhluta Kötluöskjunnar (hlaup þaðan fara niður á Mýrdalssand) en lengstur í hlíðum eldfjallanna.

landið. Það er að finna í farvegi Markarfljóts og við hann, allt frá Landeyjum og inn undir Entujökul.

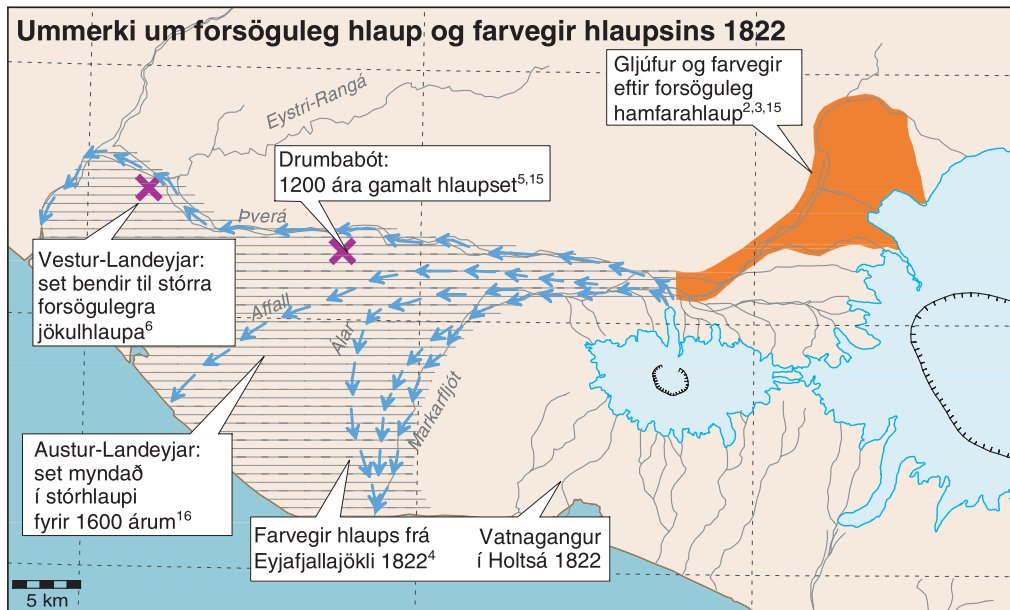
- Gljúfur og farvegir sem eru miklu stærri en svo að venjuleg leysinga- eða úrkomuflóð geti skýrt stærð þeirra.

Set úr hlaupi fyrir 1600 árum er víða að finna undir jarðvegi í Landeyjum og upp með Markarfljóti. Um fjögur hundruð árum seinna fór jökulhlaup yfir vöxtuglegan skóg, klippti trén í sundur og kaffærði stúfana þar sem nú heitir Drumbabót í Fljótshlíð (sjá kafla VI)⁵. Í

Vestur-Landeyjum virðast stór flóð hafa farið hvað eftir annað yfir landið og lagt af sér skýrt afmörkuð lög af fingerðum sandi (sjá kafla VII)⁶. Neðan Einhyrningsflata eru greinilegir hjallar myndaðir í hlaupum og set er líka að finna við Ljósá og ofan Björgils (mynd 8). Þá hafa hlaupin grafið gljúfur Markarfljóts (myndir 7 og 8)

Rannsóknir hafa sýnt að hlaup sem farið hafa niður Markarfljót eiga sér eftirtaldar orsakir:

1. Tæming jökullóna á Emstrum snemma á nútíma²⁹.



Mynd 11. Svæði með ummerkjum forsögulegra hlaupa sem farið hafa niður Markarfljót eru sýnd í raðum lit. Helstu farvegir sem talið er að hlaup úr Eyjafjallajökli hafi farið um árið 1822 eru táknaðir með örvum.^{2-6,15,16}

2. Eldgos á Torfajökulssvæði, farvegur Markarfljóts stíflaðist tímabundið og ræstist síðan fram í flóði²⁹.
3. Eldgos í Mýrdalsjökli, í flestum tilfellum innan Kötluöskjunnar.
4. Eldgos í Eyjafjallajökli, síðast kom hlaup þaðan 1822.

Fundist hafa merki um a.m.k. 10 hlaup sem rakin eru til gosa í Mýrdalsjökli og fóru til vesturs (tafla 3, sjá nánar í kafla III)². Flest hafa þessi hlaup komið undan Entujökli. Þrjú þau stærstu komu fyrir 2000, 3500 og 4400 árum. Samkvæmt mælingum á þversniði og halla farvega neðan Einhyrningsflata (sjá kafla IV)³ var hlaupið fyrir 4400 árum stærst með hámarksrennsli um 250.000 m³/s. Hámark í hlaupinu fyrir 3500 árum var litlu minna, um 200.000 m³/s. Bæði eru því í 5. stærðarflokki (tafla 3).

Auk hlaupa sem komið hafa undan Entujökli hefur hlaup farið fram af brúnunum Mýrdalsjökuls norðan Krossárjökuls. Ekki er vitað um aldur þessa hlaups annað en að það er a.m.k. nokkurra þúsund ára gamalt. Lítið er hægt að segja um stærð þess. Við Tungnakvísl og framan við Hrunajökul ofan Þórsmerkur fundust merki um fremur lítil hlaup (stærðarflokkur 1). Ekki er vitað um aldur þeirra en ummerkin eru unglæg.

Í gosinu í Eyjafjallajökli 1821-23 kom töluvert hlaup niður Gígjökul, líklega sumarið 1822. Flóðför þess eru ekki þekkt en um það eru ritaðar heimildir²⁵. Hlaupið fyllti alla þekkta farvegi Markarfljóts en olli ekki verulegum skemmdum. Hámarksrennsli þessa hlaups hefur verið metið á bilinu 10-30 þúsund m³/s (stærðarflokkur 3 – sjá kafla V)⁴.

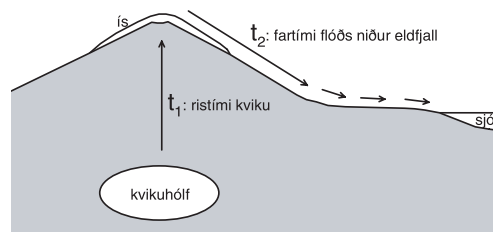
4. Stærð hlaupa vegna eldgosa, hraði atburðarásar, viðbragðstími

Saga jökulhlaupa og eldgosa í Mýrdals- og Eyjafjallajökli segir til um langtímalíkindi þessara atburða. Hér á eftir er gerð grein fyrir kjarna hættumatsins sjálfs, en það má flokka sem:

- Mat á stærð hlaupa sem orsakast af eldgosum og orðið geta við núverandi aðstæður. Miðað er við atburði sem hafa endurkomutíma sem er styttri en 10.000 ár.
- Mat á hraða atburðarásar þegar gos verður á svæðinu.
- Skilgreiningu áhrifasvæða.

Í 4.1. er fjallað um aðdraganda eldgosa og hversu langur viðvörunartími gæfist frá því forboðar benda til þess að gos sé yfirvofandi þar til kvika nær til yfirborðs. Í 4.2. er fjallað um bráðnun-arhraða íss í eldgosum undir jökli og hversu stórum hlaupum gos á hinum ýmsu svæðum gætu valdið. Hermun jökulhlaupa við mismunandi aðstæður er til umfjöllunar í 4.3. og 4.4

Skipta má í tvennt þeim tíma sem líður frá því forboðar benda til að kvika sé farin að brjótast til yfirborðs og þar til jökulhlaup nær niður á láglendi (mynd 12). Í fyrsta lagi er það tíminn sem það tekur kvikuna að rísa frá kvikuhólfi til yfirborðs eða jökulbotns (t_1 : ristími kviku). Í öðru lagi er sá tími sem það tekur bræðsluvatn að renna frá gosstað niður á láglendi (t_2 : framrásartími hlaups). Tími sem gefst til viðvörunar og aðgerða eru í mesta lagi þessir tveir tímar samanlagðir ($t_1 + t_2$). Að því gefnu að vöktun sé í góðu horfi yrði viðvörunartíminn í minnsta lagi t_2 . Í kafla 4.5 er þessi viðvörunartími skilgreindur fyrir stór hlaup frá Entujökli og fyrir



Mynd 12. Ristími kviku til yfirborðs og fartími flóðs niður eldfjall með jökul á kolli.

smærri jökulhlaup vegna eldgosa í hlífum jöklanna.

4.1. Aðdragandi eldgosa

Í svo til öllum eldfjöllum verða breytingar samfara kvikusöfnun í rótum þeirra. Skipta má merkjum um að eldgos geti verið í aðsigi í langtíma- og skammtímaforboða. Langtímaforboðar stafa yfirleitt af útþenslu kvikuhólfs undir eldfjalli. Þessir forboðar eru landris og aflögun jarðskorpunnar yfir kvikuhólfinu, aukin jarðskjálftavirkni, sumstaðar aukin jarðhitavirkni og aukið útstreymi kvikugasa, t.d. koltvísýrings (CO_2). Langtímaforboðar geta varað árum saman eins og raunin hefur verið með Kötluöskjuna undanfarin ár.

Skammtímaforboðar koma oftast fram fáum klukkustundum fyrir eldgos. Þeir eru yfirleitt áköf jarðskjálftahrina og stundum hratt landsig. Þessi merki tákna að kvika sé farin að brjóta sér leið upp til yfirborðs. Sú mynd sem hér er dregin upp lýsir vel undanfara þeirra basísku og ísúru eldgosa sem reynsla er af frá 20. öld hér á landi. Fyrir súr gos og eldfjöll þar sem kvika liggur alla jafna í gosrásinni nærri yfirborði geta forboðar verið flóknari (þetta á við um sumar eldkeilur erlendis). Það á einnig

Tafla 5: Skammtímaforboðar eldgosa á Íslandi frá 1971.

Ár	Eldstöð	Dagsetning	A	B	C	D
1970	Hekla	5. maí			x	25 mín
1973	Heimaey	23. janúar			x	30 klst
1975	Krafla	20. desember		x		~15 mín
1977	Krafla	27. apríl	x			(1 klst)
1977	Krafla	8. september	x			2¼ klst
1980	Krafla	16. mars	x			65 mín
1980	Krafla	10. júlí	x			5 klst
1980	Hekla	17. ágúst			x	23 mín
1980	Krafla	18. október	x			82 mín
1981	Krafla	30. janúar	x			7 klst
1981	Hekla	9. apríl			x	(4 klst)
1981	Krafla	18. nóvember	x			76 mín
1983	Grímsvötn	28. maí		x		~9 klst
1984	Krafla	4. september	x			3 klst 24 mín
1991	Hekla	17. janúar		x		30 mín
1996	Gjálp	30. september	x			~34 klst
1998	Grímsvötn	18. desember		x		~6 klst
2000	Hekla	26. febrúar	x			89 mín
2004	Grímsvötn	1. nóvember	x			2½ – 15 klst

A Viðvörðun gefin um yfirvofandi gos.
B Viðvörðun gefin út frá mældum forboða, en eftir að gos hófst.
C Forboði mældist en sást ekki fyrir en mælar voru athugaðir eftir að gos var hafið.
D Tími frá því skammtíma-forboði mældist og þar til gos hefst.

við um gos þar sem súr kvika ryður sér leið til yfirborðs.

Greinargóðar ritaðar lýsingar eru til af Kötlugosum allt aftur til 1625. Í öllum Kötlugosum, sem náð hafa upp úr jöklinum (síðast 1918), varð vart við jarðskjálfta í nálægum sveitum 2-9 klukkustundum áður en hlaup kom fram á Mýrdalssand. Gera verður ráð fyrir að skjálftamælingar muni gefa viðvörðun um yfirvofandi gos næst þegar gýs á svæðinu.

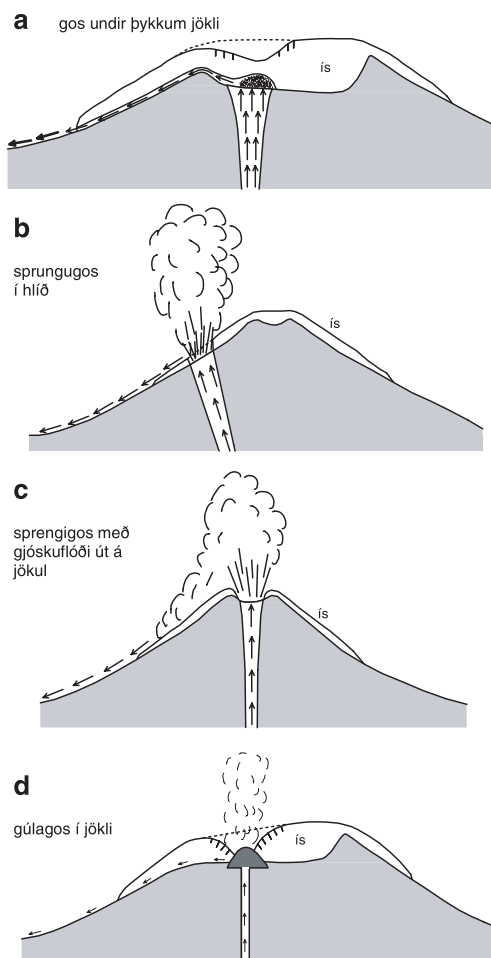
Í töflu 5 er tekinn saman sá tími sem leið frá því jarðskjálftar komu fram á mælum þar til gos hófst í eldgosum á Íslandi eftir 1970 (þ.e. tíminn t_1). Næmir jarðskjálftamælar komu til sögunnar 1973 og á því 30 ára tímabili hafa orðið 17 gos. Athyglisvert er að innan við 2 klukkustundir liðu frá fyrstu skammtímaforboðum þar til gos hófst í 9 til-

fellum af 17 (feititletrað í töflu 5). Einungis í 3 tilfellum var tíminn lengri en 8 klukkustundir.

Í ljósi þess sem sagt var hér að framan um jarðskjálfta fyrir Kötlugos verður að telja líklegt að ekki líði nema 1-2 tímar frá því kvika brýst af stað til yfirborðs þar til gos hefst innan öskjunnar. Engin hliðstæð reynsla er til fyrir gos utan Kötluoðskjunnar eða í Eyjafjallajökli. Sennilegt er að ristími kvikunnar sé lengri á slíkum stöðum en um það er þó ekkert hægt að fullyrða.

4.2. Upphaf eldgosa, bráðnunarhraði íss og upptök jökulhlaupa

Bráðnun í eldgosum í jöklum er háð mörgum þáttum, en mikilvægastir eru



Mynd 13. Gerðir eldgosa og bráðnun. Í a) ræðst braði bráðnunar af kvikustreymi og mikill ís getur bráðnað á skömmum tíma; í b) fer gosið bratt í gegnum ísinn og bráðnun verður minni en í a); í c) bráðnar ís á yfirborði þegar heitur gosmökkur fellur og flæðir yfir jökulinn; d) sýnir aðstæður við myndun súrra eða ísúrra gúla, bráðnun yrði líklega ekki bröð vegna hægs kvikustreymis. (Myndirnar eru mjög einfaldaðar og ekki réttum blutföllum, t.d. er vídd gosrásar ýkt töluvert).

þykkt íssins og kvikustreymi í gosinu auk þess sem gerð gosefna (basísk, ísúr, súr) skiptir líka máli. Á grundvelli

ísþykktar og aðstæðna í Mýrdalsjökli og Eyjafjallajökli má skipta gosum þar í eftirtalda flokka:

1. Gos undir þykkum jökli innan Kötluöskjunnar (mynd 13a). Þessi gos hafa langflest verið basísk og öll Kötlugos síðustu 1000 ár falla í þennan flokk. Þau hafa bæði verið stór og lítil. Bráðnun íss fyrstu klukkustundirnar ræðst fyrst og fremst af ákafa gossins. Þessi gos valda stærstu jökulhlaupum.
2. Gos sem hefjast undir jökli í hlíðum Eyjafjallajökuls og í vestur- og suðvesturhlíðum Mýrdalsjökuls (mynd 13b). Ís á þessum svæðum er fremur þunnur (100-200 m). Ísbráðnun er mun minni en í gosum undir þykkum jökli og ræðst mest af ísþykkt og lengd gossprungu. Síðasta gosið af þess tagi sem vitað er um varð um 920 þegar Skerin í norðvestanverðum Eyjafjallajökli urðu til. Jökulhlaup eru mjög snögg en oftast mun minni en þegar gýs innan Kötluöskjunnar.
3. Ísúr eða súr gos í toppöskju Eyjafjallajökuls. Þessi gos hafa ekki verið stór og hlaupleiðin virðist hafa afmarkast af fari Gígjökuls. Í slíkum gosum hafa oft komið gjóskuflóð, sem bræða ís þar sem þau fara yfir jökul (mynd 13c) og erlendis hafa þau t.d. verið helsta ástæða jökulhlaupa úr bröttum jökulkrýndum eldkeilum. Þessi möguleiki er tekinn með í reikninginn hér.
4. Súr gos nærri jöðrum eða innan Kötluöskjunnar sem myndað hafa gúla (mynd 13d).

Eyjafjallajökli og vesturhluta Mýrdalsjökuls hefur verið skipt í vatnasvæði (myndir 9 og 14). Þau eru 10 í Eyjafjallajökli en 11 í vestanverðum Mýrdalsjökli. Einföldum reynslulíkönunum af ísbráðnun í eldgosum er síðan beitt til

að meta bráðnunarhraða íss á hverju vatnasvæði ef gos kæmi upp innan þess (sjá kafla X)⁹.

Þegar gos hefst undir jökli byrjar bræðsluvatnið yfirleitt strax að leita frá gosstaðnum að jaðri jökulsins. Ferðatími vatnsins undir jökli er mismunandi eftir aðstæðum. Fyrir gos innan Kötluöskjunnar virðist þessi tími aðeins vera um 1 klukkustund. Þegar gýs í bröttum og þunnum jökli eins og víða er í hlíðunum, má búast við að bræðsluvatnið flæði að mestu ofan á ísnum að jaðrinum. Ferðatími flóðsins niður hlíðarnar verður við þessar aðstæður mjög stuttur eins og fram kemur í hermun flóða niður hlíðar Eyjafjallajökuls (sjá kafla XI)¹⁰.

4.2.1. Stór jökulhlaup niður Markarfljót

Fyrir Kötluöskjuna er stuðst við reynsluna af fyrri Kötlugosum. Ísþykkt á vatnasvæðum Kötlujökuls, Sólheimajökuls og Entujökuls er svipuð og gos innan hvers þeirra getur orsakað hamfarahlaup (stærðarfl. 5) sem ná hámarksrennsli 100.000–300.000 m³/s og jafnvel meira í stærstu gosum. Norðan Kötluöskjunnar er ís nokkur hundruð metrar á þykkt og sprungugos á því svæði gæti valdið stórhlaupi (stærðarflokkur 4: 30.000 – 100.000 m³/s) niður Markarfljót. Þessi hlaup hegða sér með þeim hætti sem hermunin í 4.4 gefur til kynna (sjá einnig kafla XII)¹¹.

4.2.2. Minni jökulhlaup úr vesturhluta Mýrdalsjökuls og Eyjafjallajökli

Bráðnunarlíkön⁹ benda til þess að sprungugos vestan Kötluöskjunnar gætu valdið hlaupum í stærðarflokki 2 (3.000–10.000 m³/s: Ljósá, Þröngá, Hruná, Fjallgil) og stærðarflokki 3 (10.000–

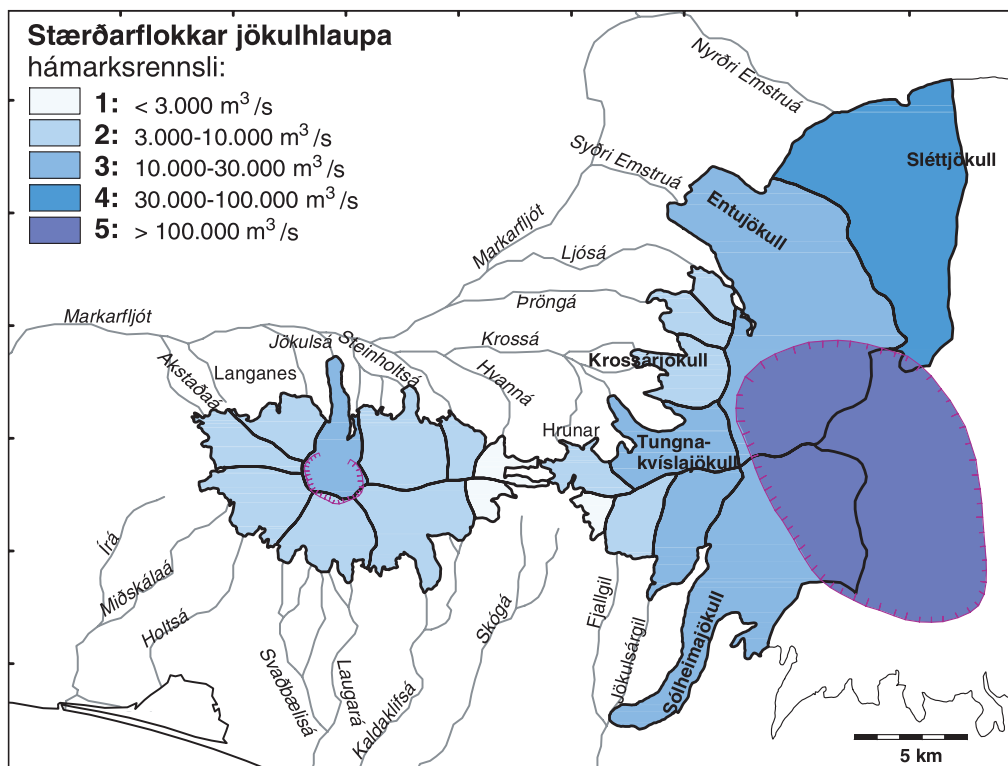
30.000 m³/s: Fremri-Emstruá vegna gosa í Entujökli utan öskju, Tungnakvísl – Krossá).

Vegna takmarkaðrar ísþykktar valda gos í Eyjafjallajökli ekki stórhlaupum eða hamfarahlaupum. Gos í toppöskjunni geta valdið hlaupum í 3. stærðarflokki en sprungugos í hlíðum valda varla meiri hlaupum en af stærðarflokki 2. Austustu vatnasvæðin (Hvanná, Skógá) eru það lítil og ísinn það þunnur að hlaup næðu varla 3.000 m³/s (stærðarflokkur 1).

Sprungugos utan við Kötluöskjuna í Sólheimajökli og í suðurhlíðum Mýrdalsjökuls að Fimmvörðuhálsi geta valdið hlaupum undan Sólheimajökli, niður gil-in vestan Sólheimajökuls eða í Skógá. Hlaup gætu verið í stærðarflokki 3 (10.000–30.000 m³/s: Sólheimajökull sunnan öskjunnar, Jökulsárgil), stærðarflokkur 2 (3.000–10.000 m³/s: Fjallgil) og loks gætu gos undir dálitlum skika Mýrdalsjökuls við Fimmvörðuháls valdið nokkru hlaupi niður Skógá (stærðarfl. 1: <3.000 m³/s).

4.3. Líkanreikningar á jökulhlaupum niður suðurhlíðar Eyjafjallajökuls

Jökulhlaup niður suðurhlíðar Eyjafjallajökuls voru hermd með SAMOS reiknilíkaninu³⁰ (sjá nánar í kafla XI)¹⁰. Líkanið var hannað til þess að fást við tölulega hermun á snjóflóðum. Svo vill til að eðlisfræðilegir eiginleikar vökvaflæðis með frjálsu yfirborði eru í grundvallaratriðum svipaðir eiginleikum snjóflóða. Því er unnt að nota snjóflóðalíkan til að herma jökulhlaup í bröttu landi með því að aðlaga það að eiginleikum vökvaflæðis. Snjóflóðalíkön eru sérstaklega miðuð við flæði niður brattlendi en líkön fyrir almennt vökvaflæði eru það yfirleitt ekki. Tilgangur hermunar er að kanna



Mynd 14. Ætlað hámarksrennsli jökulhlaupa vegna eldgosa á einstökum vatnasvæðum (kaflí X)⁹.

ferðatíma hlaupa niður hlíðar (tímann t_2) og stefnu og útbreiðslu þegar þau eru í hámarki á láglendi sunnan Eyjafjallajökuls. Niðurstaðan (mynd 15) gefur einkum vísbendingar um meginstrauma hlaupanna og þar með líkleg hættusvæði, þegar hlaupin koma fyrst niður á láglendi. Erfiðara er að spá um úthlaups-lengd eða hraða og dýpt flóðanna þegar fjær dregur fjallinu.

Upptakasvæðið sem notað er í reikningunum spannar nánast allar suðurhlíðar Eyjafjallajökuls (mynd 15). Þannig eru flóð af völdum margra eldgosa á mismunandi stöðum og tímum könnuð með einni líkankeyrslu. Þessi uppsetning hermunnarinnar er möguleg þar sem flóð sem koma fram úr mismunandi giljum á láglendi hafa lítil áhrif hvert á annað.

Fimm mismunandi jökulhlaup voru hermd með því að breyta inntaksstikum líkansins (þ.e. upptakadýpt og viðnámsstuðlum). Mynd 15 (a) sýnir hámarksflóðdýpt í flóðfarveginum og útbreiðslu flóðsins fyrir eina hermunina (eina gerð inntaksstuðla). Mynd 15 (b) sýnir hámarksrennslishraða í flóðfarvegum í sömu hermun. Í þessu dæmi nam rennsli flóðtopps niður Miðskálagil 2500 m³/s, niður Svaðbælisá 9000 m³/s, niður Laugará 5000 m³/s og niður Kaldaklifsá 6500 m³/s. Hlaup af þessari stærð (stærðarflokkar 1 og 2) eru raunhæf á þessu svæði (mynd 14).

Líkanreikningarnir sýna að það er fremsti hluti hvers hlaups sem nær bæði mestum flóðhraða og dýpt. Hlaupin leita niður í gilin sem beina þeim svo niður á

láglandi. Steinafjall veitir gott skjól fyrir hlaupunum, flóð niður Svaðbælisá og Laugará ná saman en Kaldaklifsá beinir flóðstraumi til vesturs. Flóðtoppur sem fer niður Svaðbælisá er um 15-30 mínútur að ná frá upptökum í jöklinum niður á láglandi skammt ofan við þjóðveg 1.

Flóðhraði í hlaupum verður mestur um 15 m/s í brattasta hluta giljanna. Þar verða flóðin einnig rúmlega 5 m djúp. Flóðin hægja svo mikið á sér og grynna um leið og niður á láglandi er komið. Í stærstu flóðunum verður uppsöfnun vatns ofan við malarkambinn niður við sjó (mynd 15a). Vegna ónákvæmni í kortum og tölulegum reikningum er ekki hægt með nákvæmni að segja til um ferð og dreifingu þessara hlaupa á láglandinu.

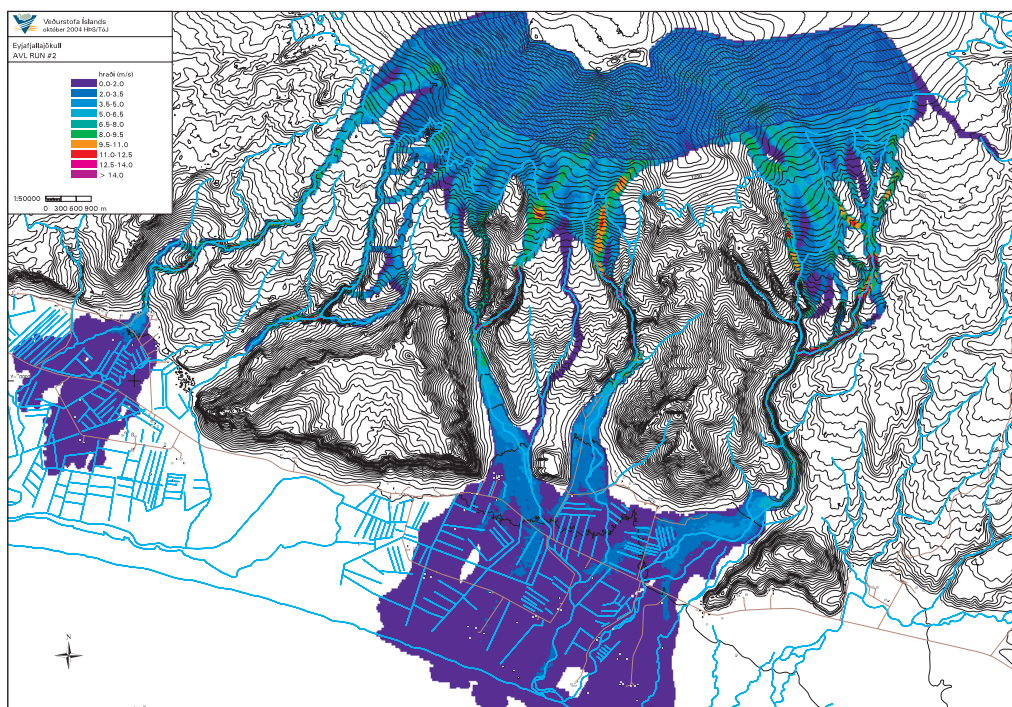
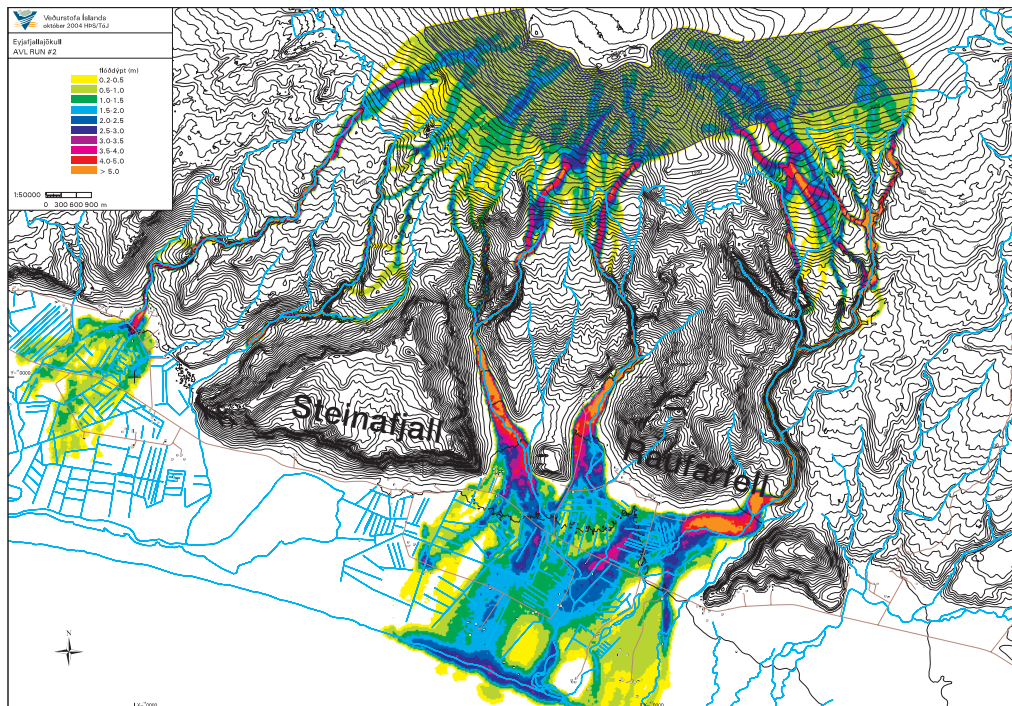
4.4. Hermun stórra hlaupa niður Markarfljót

Til að kanna áhrif og útbreiðslu hamfarahlaupa (stærðarflokkur 5, hámarksrennsli $>100.000 \text{ m}^3/\text{s}$) sem komið geta undan Entujökli í eldgosum innan Kötluöskjunnar, var framrás slíks hlaups könnuð með tölulegum líkanreikningum (sjá kafla XII)¹¹. Við hermunina var notað forritið AQUARIVER¹¹ en það leysir jöfnur fyrir vatnsrennsli í tvívíðum fleti. Nákvæmni reikninganna fer mjög eftir gæðum þeirra stafrænu landakorta sem lögð eru til grundvallar. Hér var sett saman landlíkan sem í meginatriðum byggðist á stafrænu korti sem unnið var á Raunvísindastofnun Háskólans út frá SAR radarmælingum úr flugvél sumarið 1998³¹. Við hermun hlaups þarf að skilgreina vatnsrit þess, þ.e. hvernig rennslið breytist með tíma. Fyrir reiknuðu hlaupin var stuðst við Kötluhlaupið 1918³². Hermd voru hlaup með hámarksrennsli $100.000 \text{ m}^3/\text{s}$ og $300.000 \text{ m}^3/\text{s}$. Hvort

flóð var hermt tvisvar, með mismunandi viðnámi við botninn. Er talið að hærra viðnámið lýsi betur aurbornum jökulhlaupum með jakaburði en þannig hafa Kötluhlaup næstliðinna alda verið.

Vatnsrit reiknuðu hlaupanna voru látin rísa línulega úr núlli í hámark á tveimur tímum, rennsli var haldið stöðugu í aðra tvo tíma og síðan hjáðnar rennslið línulega á tveimur tímum (mynd 16). Hámark stærra reiknaða hlaupsins er svipað og var í því hlaupi sem talið er að hafi farið niður Markarfljót fyrir um 4400 árum (mynd 16). Dýpi reiknaða hlaupsins í Markarfljótsgljúfrum er margir tugir metra og hermunin sýnir einnig að hlaup myndi flæða yfir allar Einhyrningsflatir. Í hámarki yrði slíkt hlaup 10-15 m djúpt á Markarfljótsaurum ofan Stóru Dímon (mynd 16) og víðast hvar í Landeyjum yrði dýpi þess nokkrir metrar. Hlaupið myndi flæða austur í Holtsós, vestur í Þykkvabæ og e.t.v. alla leið vestur í Þjórsá. Það myndi færa Landeyjar í kaf og líklega láglandi undir Eyjafjöllum austur að Holtsósi. Ekki er svo að sjá að hlaup myndu flæða inn á Hvolsvöll svo neinu nemi en hlaupin fara þar rétt hjá.

Sú hermun sem talin er komast næst því að lýsa rennsli hamfarahlaupa, a.m.k. áður en slík hlaup næðu að dreifa verulega úr sér á Markarfljótsaurum, gerir ráð fyrir tiltölulega háum núningi við botn vegna jaka- og aurburðar. Á mynd 16 er sýnt dæmi um útbreiðslu og dýpi hlaups samkvæmt hermuninni, 2,5 klst. eftir að hlaup kæmi undan Entujökli (hér er ekki tekinn með rennslistími undir jökli – sjá 4.5.1). Óvissa í ákvörðun á hraða hlaupsins á láglandi er hlutfallslega meiri en ofar í farveginum. Ástæðan er sú að sennilegt er að núningur við botn verði minni þegar hlaupið nær að dreifa úr sér niðri á sléttlendinu og setja af sér ís og



Mynd 15. Niðurstöður líkanreikninga af jökulblaupum niður suðurhlíðar Eyjafjallajökuls. (a) Dýpi blaupa, (b) braði blaupa (sjá kafla XI)¹⁰.



Mynd 16. Hamfarahlaup með hámarksrennsli 300.000 m³/s. Myndin sýnir útbreiðslu og dýpi blaups 2,5 klst eftir að það kemur undan Entujökli. Manningstala, $n=0.1 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$ (sjá kafla XII)¹¹

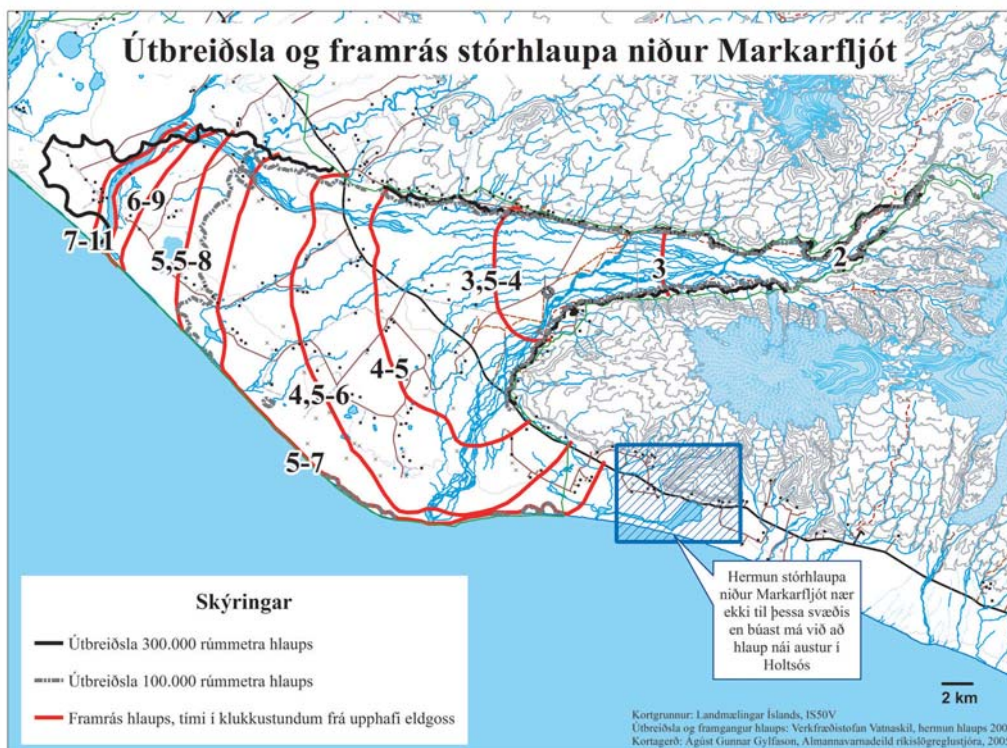
aur. Minni núningur leiðir til hærri rennslisraða. Hraði flóðsins frá Entujökli að Þórsörk er 4-5 m/s, frá Þórsörk að Dímon 3-4 m/s, frá Dímon að Hvalsvelli um 2-4 m/s og frá Hvalsvelli að Þykkvabæ 1-2 m/s. Það hægir því á hlaupinu eftir því sem neðar dregur og landið verður flatara. Búast má við að hlaup af þessari gerð bæri með sér mikinn framburð, bæði gjósku og efni sem hlaupið tekur upp á leið sinni. Verulegur hluti framburðar myndi setjast til vestan Stóru Dímon og í Landeyjum, eins og rannsóknir sýna að var raunin í hlaupi sem kom fyrir um 1600 árum¹⁶.

Ekki er mikill munur á útbreiðslu 100.000 m³/s og 300.000 m³/s hlaupanna á láglandi en flóddýptin yrði vissulega minni í smærri hlaupinu. Varnargarðar við Markarfljót frá Fljótshlíð og niður fyrir Stóra Dímon yrðu engin fyrirstaða gagnvart þessum hamfarahlaupum enda garðarnir aðeins 2-3 m

háir víðast hvar. Sama má segja um önnur mannvirki, lítil von er til að þau standist flóð af þessu tagi. Hermunin bendir til þess að engir staðir í Landeyjunum stæðu upp úr í 300.000 m³/s hlaupi (flokkur 5). Það má hinsvegar búast við að hæstu staðir standi upp úr flóðum af flokki 4.

4.5. Afmörkun hættusvæða – viðvörunartími

Í 4.5.1 er hættusvæði skilgreint og settar tímaskorður fyrir hamfarahlaup undan Entujökli. Hegðun smærri hlaupa (í stærðarflokki 2 eða 3) á Markarfljótsaurum var ekki könnuð sérstaklega með hermun enda eru ekki til nægilega nákvæm kort af svæðinu til að slík hermun yrði raunhæf. Það sem hér fer á eftir um smærri hlaupin (4.5.2.1-7) er byggt á grófum útreikningum á ferdahraða hlaupa og samanburði við hermun hlaupa



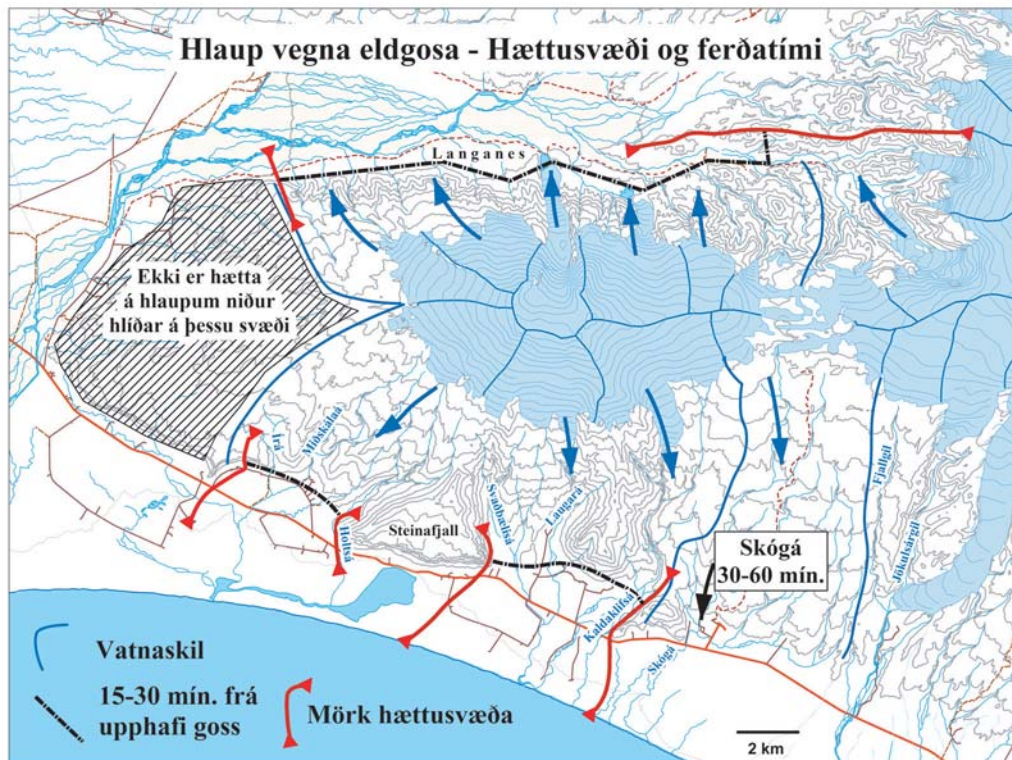
Mynd 17. Útbreiðsla og framrásartími hamfarahlaups niður Markarfljót vegna eldgoss á vatnasvæði Entujökuls.

niður suðurhlíðar Eyjafjallajökuls. Höfð er hliðsjón af hegðun Steinholtsflaupsins³³ í janúar 1967. Þá hrundi Innstíhaus niður á Steinholtsjökul og olli berg- og ísskriðu sem tók með sér lónið fyrir framan jökulinn. Grjótið og ísinn skildust út úr massanum og þegar kom niður á Markarfljótsaura var það sem byrjaði sem grjótskriða orðið að vatnshlaupi. Mældan ferðatíma Steinholtsflaupsins má nota til að skoða hraða minni jökulhlaupa niður Markarfljótsaura.

4.5.1. Hamfarahlaup niður Markarfljót

Áhrifamestu atburðir sem hættumatið nær til eru hamfarahlaup (stærðarflokkur 5) niður Markarfljót vegna eldgosa á vatnasvæði Entujökuls innan Kötluöskj-

unnar. Á mynd 17 er hermun á slíku flóði (4.4) notuð til að draga jafntímalínur sem sýna ferðatíma (t_2) hlaups frá því gos hefst undir jökli í öskjunni. Ferðatími hlaups undir jökli er talinn vera 1 klukkustund⁹ og er hann lagður við ferðatíma hlaups frá jökulrönd við Entujökul til að fá heildarferðatímann t_2 . Á mynd 17 eru tveir mismunandi tímar fyrir hverja jafntímalínu þegar kemur vestur fyrir Stóra-Dímon. Lengri ferðatíminn fæst með því að gera ráð fyrir háum núningi hlaupsins (Manningsjafna, $n = 0,1 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$) við botn alla leið út í sjó. Sá skemmri fæst með því að reikna með svipuðum núningi og yfirleitt er í venjulegu árrennsli ($n = 0,03 \text{ m}^{-1/3}\text{s}$) vestan Þórólfsfells. Óvissa er um hvor tíminn lýsi betur raunverulegu hlaupi og því



Mynd 18. Skilgreining hættusvæða og framrásartími jökulhlaupa vegna eldgosa í Eyjafjallajökli og vesturhluta Mýrdalsjökuls utan Kötlúöskjunnar.

eðlilegt að skemmri ferðatíminn stjórni því hvaða ráðrúm er skynsamlegt að menn gefi sér til viðbragða á hverjum stað ef svona hlaup fer af stað. Eftir 2 tíma frá upphafi goss gæti hlaup verið komið að Þórsmörk, eftir 3 tíma að efstu bæjum í Fljótshlíð, um 3,5 tíma að Dímon, eftir 4,5-6 tíma að Hvolsvelli en 7-10 tíma að Þykkvabæ.

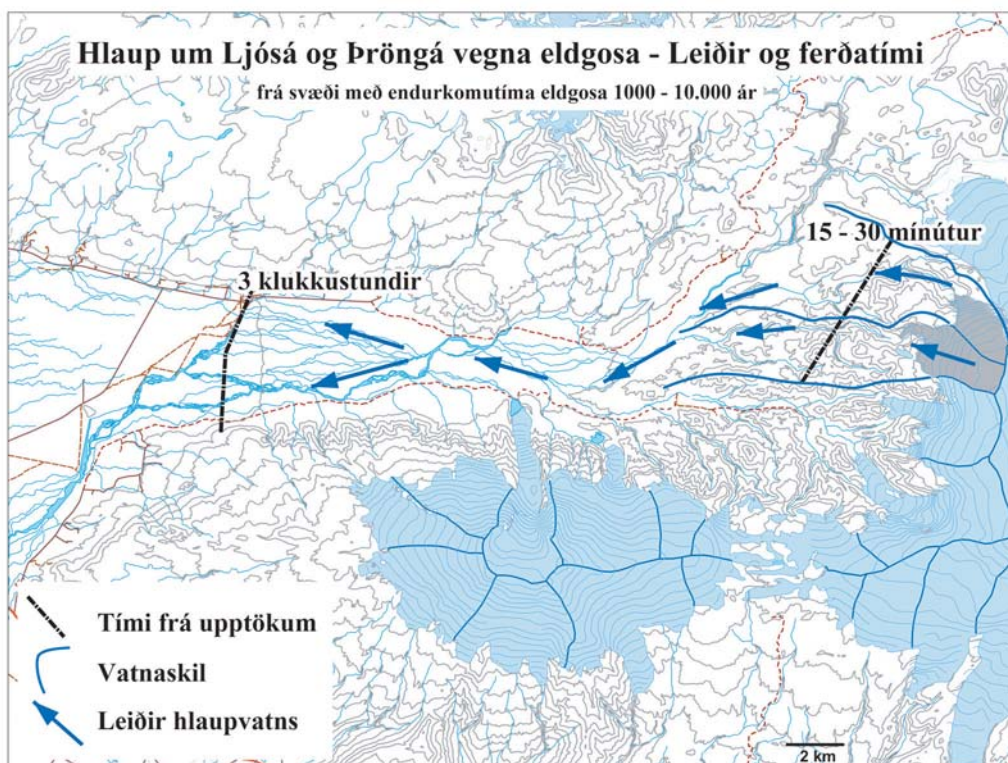
Auk viðvörunartímans er rétt að leggja áherslu á eftirfarandi atriði varðandi hamfarahlaup með 300.000 m³/s hámarksrennsli:

- Meðan á hlaupinu stendur myndi vatn leita inn eftir farvegi Krossár og til yrði 1,5-2 km langt uppistöðulón á Krossáráurum vestast í Þórsmörk. Austurendi þess næði langleiðina inn að Stakkholtsgjá.

- Vatn gæti náð upp í lónið við Gígjökul.
- Vegur inn í Þórsmörk frá Stakkholtsgjá í austri niður á Þjóðveg 1 í vestri færi svo til allur undir vatn.
- Engin fyrirstaða yrði í varnargörðunum við Húsadal, Þórólfsfell eða þeim sem liggja frá Fljótshlíð að Dímon.
- Vatn myndi leita austur með Eyjafjöllum út í Holtsós.

4.5.2. Hlaup með upptök í Mýrdalsjökli vestan öskju eða í Eyjafjallajökli

Á mynd 18 sést hvert hlaup vegna eldgosa í Eyjafjallajökli og vestanverðum Mýrdalsjökli yrðu komin 15-30 mínútum eftir að gos hefst. Gert er ráð fyrir stærstu gerð hlaupa sem reiknað er með



Mynd 19. Framrásartími og leiðir jökulhlaupa um Þröngá og Ljósá. Endurkomutímar eldgosa og stærðir jökulhlaupa eru á myndum 10 og 14.

að komið geti frá hverju vatnasvæði. Hlaupin færu fram gil eða dali og væru í flestum tilfellum ekki meira en fáir metrar að dýpt. Ekki ætti því að þurfa að fara langt upp í hlíðar til að forða sér undan slíkum hlaupum. Þá er ljóst að sum svæði eru í skjóli fyrir hlaupum.

Víðast takmarkast hætta af hlaupum við gil og láglendi fram af þeim. Ef gos yrði t.d. í Eyjafjallajökli og hlaup færi til suðurs er ljóst að byggð sunnan Steinafjalls yrði í skjóli. Þá er ekki hlaupahætta vegna gosa í Eyjafjallajökli vestan Írár að sunnan og Akstaðaár að norðan. Mögulegt er að hlaup kæmi niður Skógá.

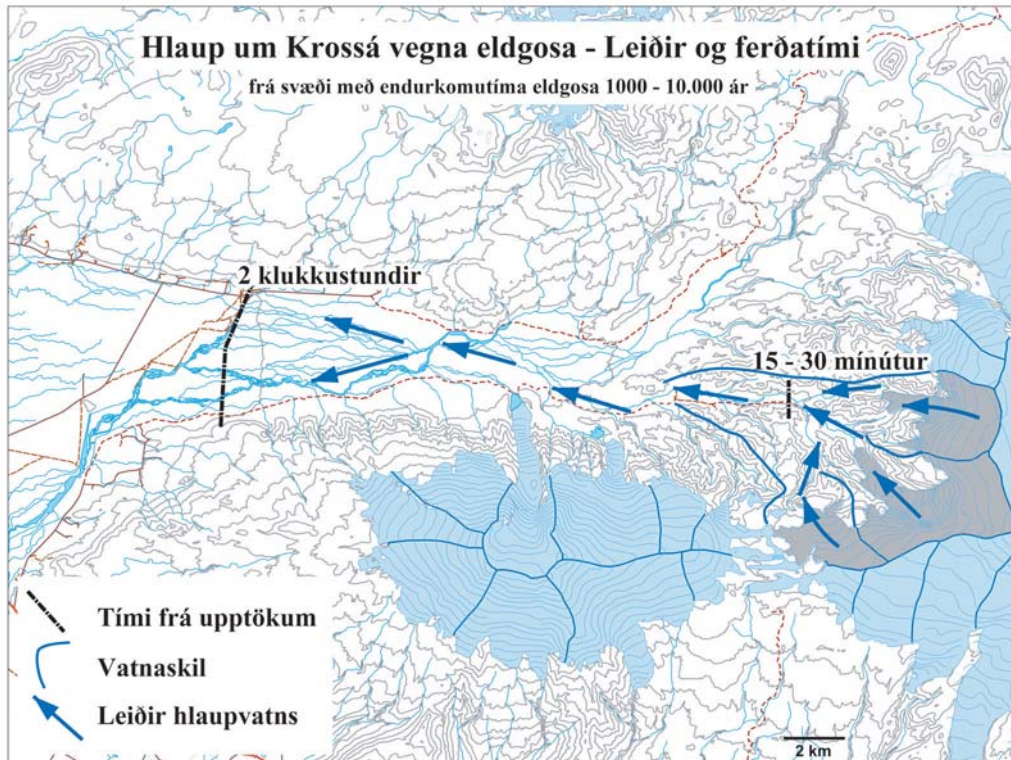
Varnargarðar á Markarfljótsaurum frá Fljótshlíð að Stóra-Dímon eru ekki byggðir til að standast stór jökulhlaup. Í

Steinholtsklaupinu 1967 var rennslið um 2500 m³/s og litlu mátti muna að þá flæddi yfir garðana³³. Því verður að telja líklegt að jökulhlaup í stærðarflokki 2 (3.000-10.000 m³/s, tafla 1) rjúfi þá að einhverju leyti. Að sama skapi yrðu garðarnir lítil fyrirstaða gagnvart hlaupi í stærðarflokki 3 (10.000-30.000 m³/s).

Fyrir hlaup úr suðurhlíðum jöklanna eða hlaup sem færu niður Markarfljótsaura yrði framrásartími niður að byggð mjög mismunandi eftir legu gosstaðar (myndir 19-23).

4.5.2.1. Hlaup til suðurs úr vestanverðum Mýrdalsjökli (mynd 18)

Hlaup af stærðarflokki 1 gæti farið niður Skógá ef gos yrði í suðvesturjaðri Mýrdalsjökuls og ferðatími þess niður á lág-



Mynd 20. Framrásartími og leiðir jökulhlaupa um Krossá úr vestanverðum Mýrdalsjökli. Endurkomutímar eldgosa og stærðir jökulhlaupa eru á myndum 10 og 14.

lendi yrði 30-60 mínútur. Talið er að slíkt hlaup myndi ekki flæða út fyrir farveg Skógár þar til kemur niður á láglendi við Skógafoss. Gos austar í suðvesturkinn Mýrdalsjökuls gætu valdið nokkuð stærri hlaupum en þau færu niður gilin vestan Sólheimajökuls (Jökulsárgil eða Fjallgil) og fram farveg Jökulsár á Sólheimasandi. Ferðatími þeirra frá upptökum niður á láglendi við sporð Sólheimajökuls yrði innan við einn klukkutími.

4.5.2.2. Hlaup úr suðurhlíðum Eyjafjallajökuls (mynd 18)

Gos í suðurhlíðum Eyjafjallajökuls eru talin geta valdið jökulhlaupum af stærðarflokki 2. Eins og líkanreikning-

arnir sýna (4.3. og kafli XI)¹⁰ væru hlaupin 15-30 mínútur frá gosstað í jöklinum niður á láglendi. Tíminn frá því gos hefst þar til hlaup gæti verið komið niður í byggð er því mjög skammur. Á mynd 18 sést að Eyjafjöll frá Stóru Mörk að Írá eru utan áhrifasvæða hlaupa vegna eldgosa í jöklinum. Hlaup gætu komið fram Írá, Miðskálaá og/eða Hóltsá ef gýs í suðvesturkinn jökulsins. Svæðið sunnan Steinafjalls er utan hættusvæða. Gos suður af hátindinum eða gjóskuflóð til suðurs vegna goss í toppöskjunni ylli hlaupi niður Svaðbælisá og/eða eða Laugará. Gos í suðausturkinninni ylli hlaupi fram Kaldaklifsá og gos í jöklinum við Fimm-



Mynd 21. Framrásartími og leiðir jökulhlaupa um Hvanná, Stakkholt og Steinholtsjökul. Endurkomutímar eldgosa og stærðir jökulhlaupa eru á myndum 10 og 14.

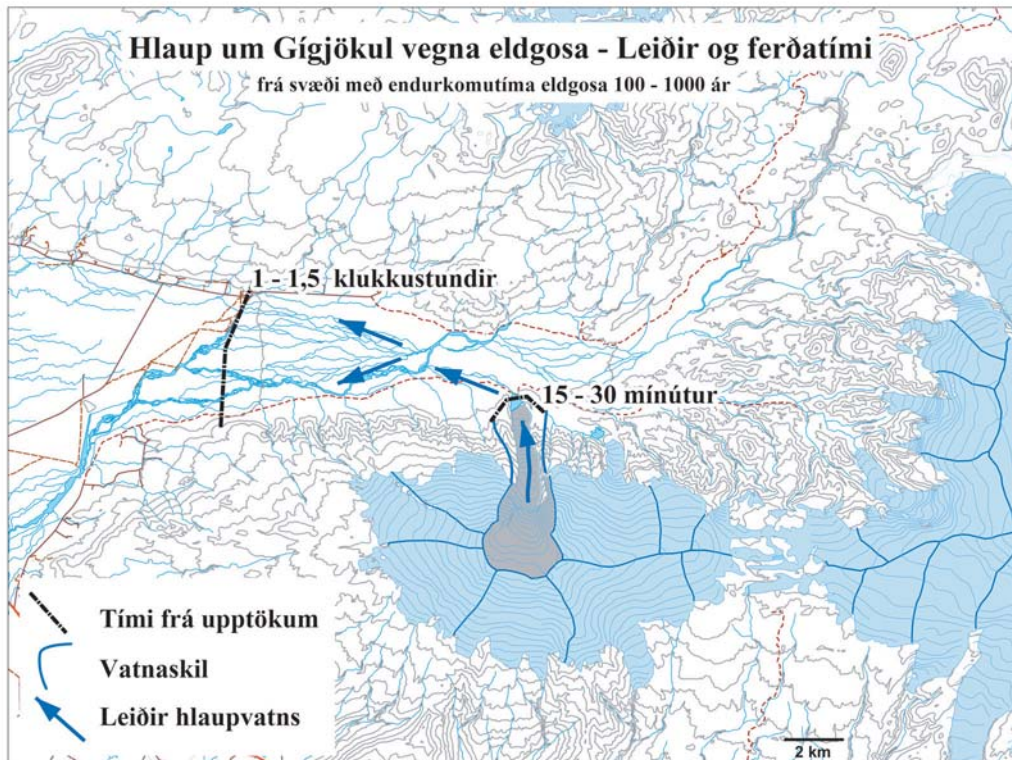
vörðuháls gæti valdið hliðstæðu hlaupi niður Skógá og frá er greint í 4.5.2.1 (stærðarflokkur 1, ferðatími 30-60 mínútur).

4.5.2.3. Hlaup vegna gosa á vatnasvæði Ljósár og Þröngár (mynd 19)

Hlaup frá þessum svæðum yrðu líklega í stærðarflokki 1 eða 2. Sennilegur ferðatími niður að Húsadal er 1-1,5 klst frá því gos hefst. Hlaupið kæmi að varnargörðum við Háamúla í Fljótshlíð um 3 klukkustundum eftir að gosið hefst. Sennilegt er að flóðtoppur myndi dofna þegar kæmi niður á Markarfljótsaura en óvíst er hve vel varnargarðarnir dygðu.

4.5.2.4. Hlaup niður í Krossá/Tungnakvísl (mynd 20)

Stærstu hlaup af þessu svæði eru talin vera af 3. stærðarflokki. Hlaup vegna gosa í vestanverðri Goðabungu færu niður farveg Tungnakvíslar eða Krossár og stærstu hlaupin næðu niður fyrir ármót Tungnakvíslar og Krossár vestan Galtar 15 – 30 mínútum eftir að gos hefst. Slíkt hlaup næði að Merkurana á móts við vaðið á Krossá á leiðinni í Húsadal eftir um 1 klst. Þau kæmu að gördunum suður af Háamúla eftir 2 klst. Þessi hlaup gætu verði það stór að verulegur hluti vatnsins færi yfir garðana og fram farveg Þverár.



Mynd 22. Framrásartími og leiðir jökulhlaupa um Gígjökul. Endurkomutímar eldgosa og stærðir jökulhlaupa eru á myndum 10 og 14.

4.5.2.5. Hlaup úr norðurlíðum Eyjafjallajökuls austan Gígjökuls (mynd 21)

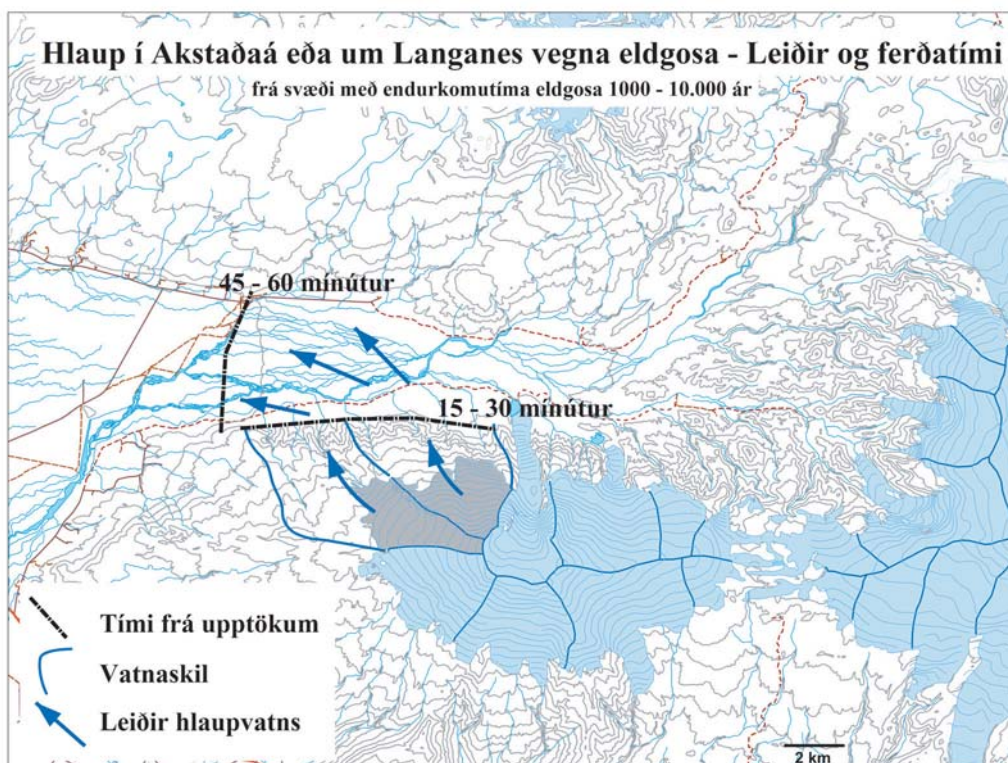
Hlaup vegna gosa úr norðausturkinn Eyjafjallajökuls eru talin mundu verða minni en 10.000 m³/s (stærðarflokkar 1 og 2). Hlaup sem kæmu niður Hvanná næðu fram úr Hvannárgili á 15-30 mínútum. Hlaup gæti farið fram Stakkholtsgjá. Á sama hátt færi hlaup niður Steinholt sjökul á 15-30 mínútum að vaðinu á Steinholtssá og næðu á 1,5-2 klst. vestur að varnargörðunum sunnan Háamúla. Garðarnir gætu brostið en beindu þó líklega rennsli að verulegu leyti til austurs að Markarfljótsbrú.

4.5.2.6. Hlaup niður Gígjökul (mynd 22)

Hlaup niður Gígjökul gæti náð niður í lónið við sporð hans á 15-30 mínútum og verið komið að gördunum sunnan Háamúla aðeins 1-1,5 klst. eftir að gos hefst. Hlaup gætu verið í stærðarflokkum 2 eða 3 og því rofið garðana og runnið fram Þverá, Affall og Ála. (Hlaupið 1822 er metið í stærðarflokki 3)⁴.

4.5.2.7. Hlaup niður í Langanes og niður Akstaðaá (mynd 23)

Þessi hlaup gætu verið af 2. stærðarflokki og hér er reiknaði ferðatíminn að varnargörðunum stystur, aðeins 45-60 mínútur frá því gos hefst. Gera verður ráð fyrir að hluti slíks hlaups geti farið yfir garðana og áfram til vesturs.



Mynd 23. Framrásartími og leiðir jökulhlaupa um Langanes og Akstaðaá. Endurkomutímar eldgosa og stærðir jökulhlaupa eru á myndum 10 og 14.

4.5.3. Flóðbylgjur í sjó vegna hlaupa

Þegar mikið vatnsmagn flæðir af landi út í sjó verða til bylgjur sem berast á haf út og einnig með ströndinni. Ekki var gerð sérstök athugun á slíkum bylgjum í þessu verkefni. Sögulegar heimildir benda til þess að flóðbylgjur samfara Kötlugosum séu ekki miklar og valdi ekki teljandi hættu. Grófir útreikningar á bylgjum sem hlytust af stærstu gerð hlaupa niður Markarfljót gefa vísbendingar í sömu átt. Aðstæður geta þó verið þannig að flóðbylgjur magnist upp, t.d. þar sem þær fara inn firði sem þrengjast þegar nær dregur fjarðarbotni. Þó svo flóðbylgjur af þessu tagi séu ekki taldar alvarleg vá í samamburði við sjálf hlaupin á landi væri skyn-

samlegt að kanna myndun flóðbylgna vegna hamfarahlaupa frá Mýrdalsjökli. Flóðbylgjur vegna skriðufalla í landgrunnsbrún eru einnig mögulegar samfara setmyndun í hamfarahlaupum. Slíkir atburðir eru trúlega sjaldgæfir og tiltölulega ólíklegri undan Landeyjum en í landgrunnsbrúninni sunnan Mýrdalssands. Stafar það af því að halli landgrunnsbrúnarinnar er minni undan Landeyjum en undan Mýrdalssandi. Þessi atriði voru ekki tekin til umfjöllunar í verkefninu.

5. Skriðuföll

Steinholtshlaupið³³ í janúar 1967 sýndi að sú hætta er fyrir hendi að brattar hlíðar

sem skriðjökla hafa sorfið undan geti hrúnið og valdið vatnshlaupum. Rannsókn á jarðfræði brúnanna frá Fimmvörðuhálsi norður að Krossárjökli sýnir að við núverandi aðstæður er hætt á stórum berghlaupum ekki mikil (sjá kafla II)¹. Smærri skriðuföll og aurflóð eru algeng og hafa ummerki um slíkar skriður sést bæði á Krossárjökli og Tungnakvísarjökli. Hættan af þessum skriðum er staðbundin þar sem engin jökullón eru við þessa skriðjökla eins og var við Steinholtstjökul. Ef kvika myndar innskot grunnt undir Goðabungu eða annarstaðar á svæðinu þar sem hlíðar eru brattar getur það breytt aðstæðum mjög og orsakað stór bergflóð (sjá 7. hér að neðan).

6. Líkindi eldgosa og hlaupa

6.1. Hermun gossögu Kötlu

Gögnin í töflum 2 og 3 voru notuð til að herma gossögu Kötluöskjunnar (kafla VIII)⁷ út frá 49 ára meðaltíma milli gosa, en auk þess er gert ráð fyrir að gosstaður geti færst til milli gosa, frá einu vatnasvæði innan Kötluöskjunnar yfir á annað (sjá myndir 10 og 14: vatnasvæði Kötlujökuls, Sólheimajökuls og Entujökuls). Gossagan bendir til þess að hlutfallsleg drefing eldgosa á milli vatnasvæðanna þriggja sé þessi (sjá kafla VIII)⁷:

- á vatnasvæði Kötlujökuls 85-89%
- á vatnasvæði Sólheimajökuls 4-8%
- á vatnasvæði Entujökuls 4-8%

Í mörgum eldfjölum kemur fram samband milli stærðar eldgosa og lengdar goshlés. Í Heklu er t.d. greinileg fylgni milli lengdar goshlés og stærðar eldgoss sem á eftir fylgir. Í Kötlu er þessu ekki svona farið. Þar virðist stærð goss hafa

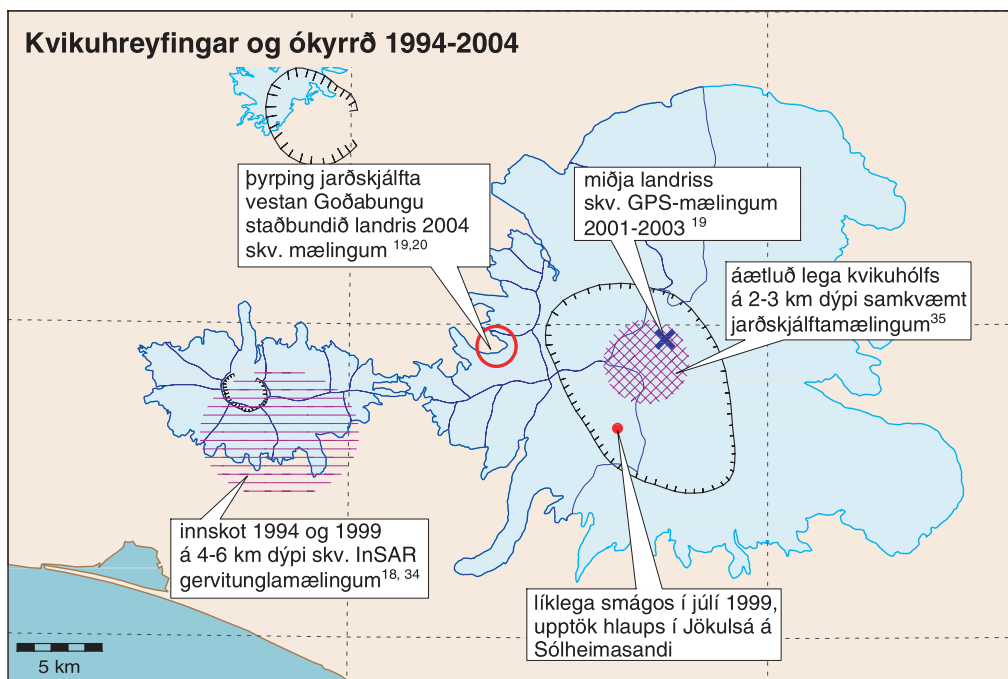
áhrif á lengd goshlés sem á eftir fylgir og er sennilegt goshlé eftir jafn stórt gos og það sem varð 1918, 73 – 95 ár. Af þess má draga þá ályktun að ekki sé sérstök ástæða til að búast við að næsta gos Kötlu verði stórt, þó svo goshléð frá 1918 sé orðið 86 ár.

Út frá gossögunni má reikna langtímalíkur á eldgosum. Aðeins er reiknað með þeim gosum sem náð hafa upp úr jöklinum. Smágos sem kunna að hafa orðið 1955 og 1999 eru ekki tekin með í hermuninni enda tíðni þeirra óþekkt. Mögulegt er að slíkir smærri atburðir hafi orðið margoft á liðnum öldum án þess að hafa ratað í annála. Langtímalíkur eiga við að jafnaði, þegar ekki eru sérstök merki um að kvika safnist fyrir undir eldfjalli. Niðurstaða reikninga á langtímalíkum fyrir Kötlugos eru að um 20% líkur séu á að gos verði í öskjunni innan 10 ára ef goshlé er orðið 86 ár. Þessar líkur á gosi samsvara því að líkur á jökulhlaupi til vesturs eða suðurs (niður Entujökul eða Sólheimajökul) eru á hverju ári 0,2-0,3% en til austurs 1,7-1,8%.

Kvika hefur verið að safnast fyrir undir Kötlu undanfarin ár svo forboðar eldgoss eru komnir fram. Meðan sú þróun er í gangi gefa langtímalíkurnar ekki rétta mynd af hættunni. Ekki er hægt að setja nákvæmar tölur á líkur á gosi við aðstæður eins og þær eru nú í árslok 2004, en reikna má með að þær séu e.t.v. um stærðargráðu meiri en langtímalíkurnar. Ef núverandi þróun hættir ættu langtímalíkurnar á ný að gefa raunsæja lýsingu á ástandinu.

6.2. Líkur á gosum og hlaupum úr Eyjafjallajökli og vesturhlíðum Mýrdalsjökuls utan Kötluöskjunnar.

Eyjafjallajökull virðist gjósa á 300-700 ára fresti (tafla 4). Gos úr toppgígnum



Mynd 24. Eyjafjallajökull og Mýrdalsjökull. Kvikuþrengingar og ókyrrð 1994-2004^{18-20,34,35}.

eru tíðari (hugsanlega tvöfalt til þrefalt) en gos úr hlíðunum. Gos úr norðurhlíðum Eyjafjallajökuls orsaka hlaup niður Krossá og Markarfljót og sama gera jökulhlaup frá norðvesturhluta Mýrdalsjökuls, sjá myndir 14 og 20-23. Sé endurkomutími gosa úr Eyjafjallajökli metinn 400 ár svarar það til þess að gos komi upp einhversstaðar í hlíðunum á 1200 ára fresti en úr gígnum á 600 ára fresti. Sé nú hættan á gosi úr hlíðum Mýrdalsjökuls metin svipuð og úr Eyjafjallajökli er samantekin hættan á jökulhlaupi niður Krossá metin með endurkomutíma um 4000 ár sem svarar til 0,025 % líkinda á jökulhlaupi í Krossá. Jökulhlaup niður Krossá eru metin sem stærðarflokkur 2 af öllum vatnasvæðum nema Tungnakvísarjökli, hlaup þaðan gæti náð stærðarflokki 3.

6.3. Samanburður á hættu á jökulhlaupum í Markarfljóti og annarri náttúruvá

Mögulegt er að bera saman líkindin á jökulhlaupum í Markarfljóti við önnur líkindi á náttúruvá sem notuð eru. Í jarðskjálftahönnun er miðað við jarðskjálfta sem kemur á 475 ára fresti (Eurocode). Landsvirkjun hannar stíflur fyrir flóð sem koma á 1000 ára fresti að meðaltali. Sama gildir fyrir stærri og viðameiri samgöngumannvirki. Svipuð stærðargráða gildir fyrir endurkomu snjóflóða og vindálags (storma). Þegar þessir endurkomutímar eru bornir saman við líkindi á jökulhlaupum í Markarfljóti sést að þarna er um svipaðar stærðargráður að ræða þar sem líkur á stórum jökulhlaupum niður Markarfljót eru heldur lægri en þessar tölur. Á mót

kemur að lífsháski af þessum hlaupum er mun meiri en af jarðskjálftum og stíflubrotum. Þessu má mæta með vöktun og áætlunum sem gera ráð fyrir að nýta þann fyrirvara sem gefst til að flytja fólk burt af hættusvæðunum. Aðeins á þann hátt má draga úr hættu af jökulhlaupum í Fljótshlíð og Landeyjum og nærliggjandi svæðum þannig að hún verði ekki meiri en af annarri náttúruvá sem ásættanleg er talin og fólk býr við hvort eð er.

7. Hugsanleg þróun atburðarásar við núverandi aðstæður

Í ljósi þess þess að bæði Katla og Eyjafjallajökull hafa sýnt merki um ókyrrð á síðustu árum (mynd 24) er rétt að rekja hér hver framvindan gæti orðið varðandi kvikuvirkni á svæðinu. Gengið er út frá núverandi stöðu: Undir Kötluöskjunni er hæg uppsöfnun kviku í gangi, staðbundið landris er við Goðabungu, e.t.v. vegna súrrar kviku sem leitar upp til yfirborðs, og tvívegis á síðustu 10 árum hafa orðið kvikuinnskot undir Eyjafjallajökli (sjá nánar í kafla IX)⁸. Engin leið er að sjá fyrir hvaða atburðarás er líklegust, en eftirtaldir atburðir eru allir raunhæfir.

- Aðstreymi kviku í Kötlu hættir og eldstöðin leggst í tímabundinn dvala.
- Hefðbundið Kötlugos verður innan öskjunnar með hlaupi niður á Mýrdalssand. Fyrirvari frá því að jarðskjálftar hefjast og þar til gos hefst við botn jökulsins gæti verið innan við ein klukkustund, en e.t.v. af stærðargráðunni einn sólarhringur. Líklegast er að gosefni verði basísk en ísúr eða súr kvika getur einnig komið upp.
- Kötlugos á vatnasvæði Entujökuls eða Sólheimajökuls. Fyrirvari þyrfti ekki

að vera lengri en fyrir hefðbundið gos á vatnasvæði Kötlujökuls. Hlaup færi annaðhvort niður Entujökul eða Sólheimajökul.

- Gos í Eyjafjallajökli, í toppgígnum eða í hlíðunum. Reikna má með að slíkt gos ætti sér aðdraganda í einhverskonar innskotavirkni sem gæti staðið vikur eða mánuði. Nauðsynlegt væri að fylgjast mjög grannt með slíkum aðdraganda og viðbrögð á hverjum tíma munu ráðast af hraða og þróun atburðarásar.
- Gos við Goðabungu. Þar gæti orðið venjulegt basískt sprungugos en hið staðbundna landris með lágtíðni-skjálftum sem verið hefur við Goðabungu sver sig í ætt við langtímaforboða súrra eldgosa annarstaðar í heiminum, t.d. í Japan. Gos þar sem súr eða ísúr kvika á í hlut hafa erlendis yfirleitt töluverðan aðdraganda með auknu landrisi og jarðskjálftum. Gúlagos eru stundum róleg með lítilli sprengivirkni en hið gagnstæða er einnig þekkt. Vert er að nefna nokkra möguleika í þróun slíks goss:
 - a. Gosið er rólegt og að mestu án stórra sprenginga. Gúll byggist upp og myndar hæð eða nýtt fjall. Slíkt gos ylli að öllum líkindum engum stórum jökulhlaupum. Ef gúll myndast er þetta líklegasti kosturinn.
 - b. Berghlaup eða hrun stórs hluta fjalls af völdum innskots nærri yfirborði (myndun leynigúls). Brattar hlíðar umhverfis innskot grunnt í berggrunni geta orðið óstöðugar og hrunið í mikilli skriðu. Gas sem bundið er í kvikunni getur þá losnað skyndilega og valdið miklu sprengigosi. Þetta er frekar sjaldgæft og hefur töluverðan aðdraganda.

- c. Basísk kvika skýst inn í súru kvikuna áður en hún nær til yfirborðs. Við það yfirhitnar súra kvikan og afleiðingin getur orðið mikið sprengigos. Aðdragandi getur verið skammur, eða svípaður og fyrir venjulegt Kötlugos.

Möguleikar (b) og (c) eru sjaldgæfari en (a). Þó undirstrika þeir mikilvægi þess að fylgst sé mjög náið með atburðarás á svæðinu.

8. Samantekt

Rannsóknir hafa farið fram á ummerkjum um eldri jökulhlaup og eldgos í Eyjafjallajökli og vesturhluta Mýrdalsjökuls, mat hefur verið unnið á stærðum jökulhlaupa sem orðið geta vegna eldgosa í jöklunum, hermun var unnin fyrir jökulhlaup við mismunandi aðstæður og líkur á mismunandi atburðum metnar. Niðurstöður rannsókna má taka saman á eftirfarandi hátt:

1. Mikil jökulhlaup hafa farið niður Markarfljót á 500-800 ára fresti síðustu 8000 ár. Þau stærstu eru hamfarahlaup með rennsli 200.000-250.000 m³/s. Þessi hlaup hafa komið undan Entujökli og orsakast af eldgosum í norðvesturhluta Kötluöskjunnar.
2. Eldgos eru langtíðust innan Kötluöskjunnar en þar gýs að meðaltali tvisvar á öld. Endurkomutími eldgosa er stystur í austurhluta öskjunnar, á vatnasvæði Kötlujökuls. Þar er meðallengd goshlés talið vera 58 ár. Endurkomutími eldgosa á vatnasvæði Sólheimajökuls er talinn um 600 ár og um 700 ár á vatnasvæði Entujökuls.

Eldgos innan Kötluöskjunnar geta valdið hamfarahlaupum, sagan sýnir að rennsli þeirra getur verið 100.000-300.000 m³/s.

3. Endurkomutími eldgosa í vesturhlíðum Mýrdalsjökuls er talinn vera nokkur þúsund ár. Hlaup vegna gosa á því svæði eru ekki talin geta orðið stærri en 10.000-30.000 m³/s en í flestum tilfellum yrðu þau töluvert minni.
4. Vitað er um fjögur gos í Eyjafjallajökli á síðustu 1500 árum. Gos í Eyjafjallajökli eru fremur lítil miðað við Kötlugos. Endurkomutími eldgosa í toppgígnum er talin nokkur hundruð ár en á bilinu 1.000-10.000 ár í hlíðum hans. Samkvæmt þessu gætu hlaup til norðurs vegna gosa í Eyjafjallajökli átt sér stað á nokkur hundruð ára fresti og hlaup til suðurs orðið á nokkur þúsund ára fresti. Þessi hlaup verða í fæstum tilvikum stærri en 10.000 m³/s.
5. Langtímaforboðar eldgosa eru m.a. aukin jarðskjálftavirkni, landris, aukinn jarðhiti og aukið útstreymi gass. Þessir forboðar geta komið fram nokkrum árum fyrir gos. Skammtímaforboðar eru oftast áköf jarðskjálfta hrina sem hefst 0,5-30 klukkustundum áður en gos hefst. Sagan bendir til þess að í Kötluöskjunni sé þessi tími á bilinu 1-8 klukkustundir og að bræðsluvatn nái frá gosstað að jökulrönd á um 1 klukkustund.
6. Jökulhlaup vegna gosa í hlíðum Eyjafjallajökuls og í Mýrdalsjökli ofan Þórsmurkur næðu víðast hvar niður að fjallsrótum 15-30 mínútum eftir að

gos hefst. Ljóst er því að treysta verður á skammtímaforboða til að vara við, ef slíkir atburðir gerast.

7. Hermun hamfarahlaups frá Entujökli niður Markarfljót sýnir að slíkt hlaup gæti náð að byggð í Fljótshlíð um 3 klukkustundum eftir að gos hefst. Hlaup með hámarksrennsli 300.000 m³/s myndi fara yfir allar Landeyjar og Þykkvabæ.
8. Hlaup vegna gosa vestan Kötluöskjunnar eða í norðanverðum Eyjafjallajökli (3.000-30.000 m³/s) næðu að byggð við Fljótshlíð á 2-3 klukkustundum frá því gos hefst í vesturhlíðum Mýrdalsjökuls en á aðeins 45-60 mínútum eftir gosbyrjun í norðvestanverðum Eyjafjallajökli. Líklegt er að hlaup af þessari gerð geti rofið þá varnargarða sem nú eru milli Fljótshlíðar og Stóru-Dímonar.
9. Tölfræðileg úttekt á gossögu Kötlu bendir til að 85-89% líkur séu á að næsta Kötlugos verði á vatnasvæði Kötlujökuls og valdi hlaupi niður á Mýrdalssand, 4-8% líkur á að það verði á vatnasvæði Sólheimajökuls og 4-8% líkur á að gosið verði á vatnasvæði Entujökuls. Ekki er samband milli lengdar goshlés og stærðar goss sem á eftir fylgir en stóru gosi fylgir gjarnan langt goshlé. Því er ekki sérstök ástæða til að halda að næsta Kötlugos verði stórt þó svo goshlé frá 1918 sé orðið 86 ár.
10. Sé eingöngu miðað við lengd goshlés frá 1918 og tillit tekið til þess að það gos var stórt, fæst að um 20% líkur væru á gosi í Kötluöskjunni á næstu 10 árum ef engir lang-

tímaforboðar eldgoss væru komnir fram. Undanfarin 5 ár hafa komið fram merki um að kvika safnist fyrir undir öskjunni. Meðan það ástand varir eru líkur á gosi á næstu árum mun meiri.

11. Á tímabilinu 1994-2004 hefur ókyrrðar orðið vart í Mýrdals- og Eyjafjallajökli hvað eftir annað. Undir vestanverðri Goðabungu er viðvarandi smáskjálftavirkni samfara staðbundnu en tiltölulega hröðu landrisi. Vísbendingar eru um að þar geti súr kvika verið á hægri leið til yfirborðs. Þegar haft er í huga að viðvörunartími vegna hlaupa er mjög skammur er ljóst að forsenda öryggis í byggðum og ferðamannastöðum á svæðinu er stöðug vöktun eldfjallanna.

9. Heimildir

1. Helgi Torfason og Höskuldur Búi Jónsson. 2005. Jarðfræðilegar aðstæður við vesturjaðar Mýrdalsjökuls (II. kafli).
2. Guðrún Larsen, Kate Smith, Anthony Newton og Óskar Knudsen. 2005. Jökulhlaup til vesturs frá Mýrdalsjökli – ummerki um forsöguleg hlaup niður Markarfljót (III. kafli).
3. Gunnar Orri Gröndal, Sverrir Elefsen og Guðrún Larsen. 2005. Stærðir forsögulegra hamfaraflóða í Markarfljóti – mæling á farvegum neðan Einhyrningsflata (IV. kafli).
4. Gunnar Orri Gröndal og Sverrir Elefsen. 2005. Farvegir Markarfljóts í Landeyjum og rennsli jökulhlaupsins 1822 (V. kafli).
5. Óskar Knudsen og Ólafur Eggertsson. 2005. Jökulhlaupaset við Þverá í Fljótshlíð (VI. kafli).
6. Hreggviður Norðdahl. 2005. Ummerki stórflóða í Vestur-Landeyjum (VII. kafli).
7. Jónas Elíasson, Guðrún Larsen, Magnús

- Tumi Guðmundsson og Freysteinn Sigmundsson. 2005. Líkindi eldgosa, hlaupa og færslu eldvirkni milli svæða innan Kötluöskjunnar (VIII. kafli).
8. Páll Einarsson, Heidi Soosalu, Erik Sturkell, Freysteinn Sigmundsson og Halldór Geirsson. 2005. Virkni Kötlueldstöðvarinnar síðan 1999 og hugsanleg þróun atburðarásar (IX. kafli).
 9. Magnús Tumi Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir. 2005. Ísbráðnun og upptakarennisli jökulhlaupa vegna eldgosa í Eyjafjallajökli og vestanverðum Mýrdalsjökli (X. kafli).
 10. Kristín Martha Hákonardóttir, Tómas Jóhannesson og Peter Sampl. 2005. Líkanreikningar á jökulhlaupum niður suðurhlíðar Eyjafjallajökuls (XI. kafli).
 11. Sigurður Lárus Hólm og Snorri Páll Kjaran. 2005. Reiknilíkan fyrir útbreiðslu hlaupa frá Entujökli (XII. kafli).
 12. Helgi Björnsson, Finnur Pálsson og Magnús T. Guðmundsson. 2000. Surface and bedrock topography of the Mýrdalsjökull ice cap, Iceland: The Katla caldera, eruption sites and routes of jökulhlaups. *Jökull*, 49, 29-26.
 13. Sara M. Strachan. 2001. A geophysical investigation of the Eyjafjallajökull glaciovolcanic system, South Iceland, using radio echo sounding. University of Edinburgh, PhD ritgerð (óbirt). 200 bls.
 14. Haukur Jóhannesson, Sveinn P. Jakobsson og Kristján Sæmundsson. 1990. Jarðfræðikort af Íslandi, 1:250.000, blað 6, Miðsuðurland, 3. útgáfa. Náttúrufræðistofnun Íslands og Landmælingar Íslands, Reykjavík.
 15. Kate Smith. 2003. Holocene jökulhlaups, glacier fluctuations and palaeoenvironment, Mýrdalsjökull, South Iceland. PhD ritgerð (óbirt). 139 bls. + myndir
 16. Hreinn Haraldsson. 1981. The Markarfljót sandur area, Southern Iceland: Sedimentological, petrological and stratigraphic studies. *Striae*, 15, 1-65.
 17. Erik Sturkell, Freysteinn Sigmundsson og Páll Einarsson 2003. Recent unrest of the Eyjafjallajökull and Katla volcanoes, Iceland. *Journal of Geophysical Research*, 108, No. B8, 2369, 10.1029/2001 JB00091.
 18. Rikke Pedersen og Freysteinn Sigmundsson. 2004. InSAR based sill model links spatially offset areas of deformation and seismicity for the 1994 unrest episode at Eyjafjallajökull volcano, Iceland. *Geophysical Research Letters*, vol. 31, L14610, doi: 10.1029/2004GL020368.
 19. Erik Sturkell, Páll Einarsson, Freysteinn Sigmundsson, Halldór Geirsson, Halldór Ólafsson, Rósa Ólafsdóttir og Gunnar B. Guðmundsson. 2003. Þrýstingur vex undir Kötlu. *Náttúrufræðingurinn*, 71 (3-4), 4-10.
 20. Gunnar B. Guðmundsson, Steinunn S. Jakobsdóttir og Bergþóra S. Þorbjarnardóttir. 2004. Seismicity in Iceland in 2003. *Jökull*, 54, 67-74.
 21. Veðurstofa Íslands, vefsíða: www.vedur.is.
 22. Ágúst Gunnar Gylfason, Jónas Elíasson, Kjartan Þorkelsson og Magnús Tumi Guðmundsson. 2003. *Áætlun um hættumat og ábættugreiningu vegna eldgosa og hlaupa til norðurs, vesturs og suðurs frá Eyjafjallajökli og vesturluta Mýrdalsjökuls*. 19 bls. Dómsmálaráðuneytið, vefur: [http://www.doms-malaraduneyti.is/media/Skyrslur/Aetlun_um_haettumat\(377k\).pdf](http://www.doms-malaraduneyti.is/media/Skyrslur/Aetlun_um_haettumat(377k).pdf)
 23. Guðrún Larsen. 2000. Holocene eruptions within the Katla volcanic system, south Iceland: Characteristics and environmental impact. *Jökull*, 49, 1-28.
 24. Guðrún Larsen. Óbirt gögn.
 25. Guðrún Larsen. 1999. Gosið í Eyjafjallajökli 1821-23 – stutt samantekt á framvindu og áhrifum gossins samkvæmt lýsingum. Rannsóknaskýrsla RH-28-99, Raunvísindastofnun Háskólans. 13 bls.
 26. Andrew J. Dugmore. 2004. óbirt gögn.
 27. Lacasse, C., og Garbe-Schonberg, C.D. 2001. Explosive silicic volcanism in Iceland and the Jan Mayen area during the last 6 Ma: sources and timing of major eruptions. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 107, 113-147.
 28. Freysteinn Sigurðsson. 1988. Fold og vötn að Fjallabaki. Vörður á vegi, Árbók Ferðafélags Íslands 1988, 181-202. *Ferðafélag Íslands*, Reykjavík.

29. Ingibjörg Kaldal og Elsa Vilmundardóttir. 2002: Jökulmenjar á Emstrum, norðvestan Mýrdalsjökuls. Orkustofnun OS-2002/080, 29 bls.
30. Zwingler, T., Kluwick, A., og Sampl, P. 2003. Numerical simulations of dry-snow avalanche flow over natural terrain. Í Hutter, K., og Kirchner, N. (ritstj.) Response of granular and porous materials under large and catastrophic deformations, árgangur 11 í *Lecture notes in applied and computational mechanics*, bls. 160-194. Springer, Berlín.
31. Eyjólfur Magnússon. 2003. Airborne SAR data from S-Iceland: analyses, DEM improvements and glaciological application. MS-ritgerð, Háskóli Íslands, raunvísindadeild, Reykjavík. 130 bls.
32. Haukur Tómasson. 1996. The jökulhlaup from Katla in 1918. *Annals of Glaciology*, 22, 249-254.
33. Guðmundur Kjartansson. 1967. The Stein-holtshlaup, central-south Iceland on January 15th, 1967. *Jökull*, 17, 249-262.
34. Rikke Pedersen og Freysteinn Sigmundsson. Temporal development of the 1999 intrusive episode in the Eyjafjallajökull volcano, Iceland, derived from InSAR images. Sent til birtingar í *Bulletin of Volcanology*.
35. Ólafur Guðmundsson, Bryndís Brandsdóttir, William Menke og Guðmundur E. Sigvaldason. 1994. The crustal magma chamber of the Katla volcano in south Iceland revealed by 2-D seismic undershooting. *Geophysical Journal International*, 119, 277-296.