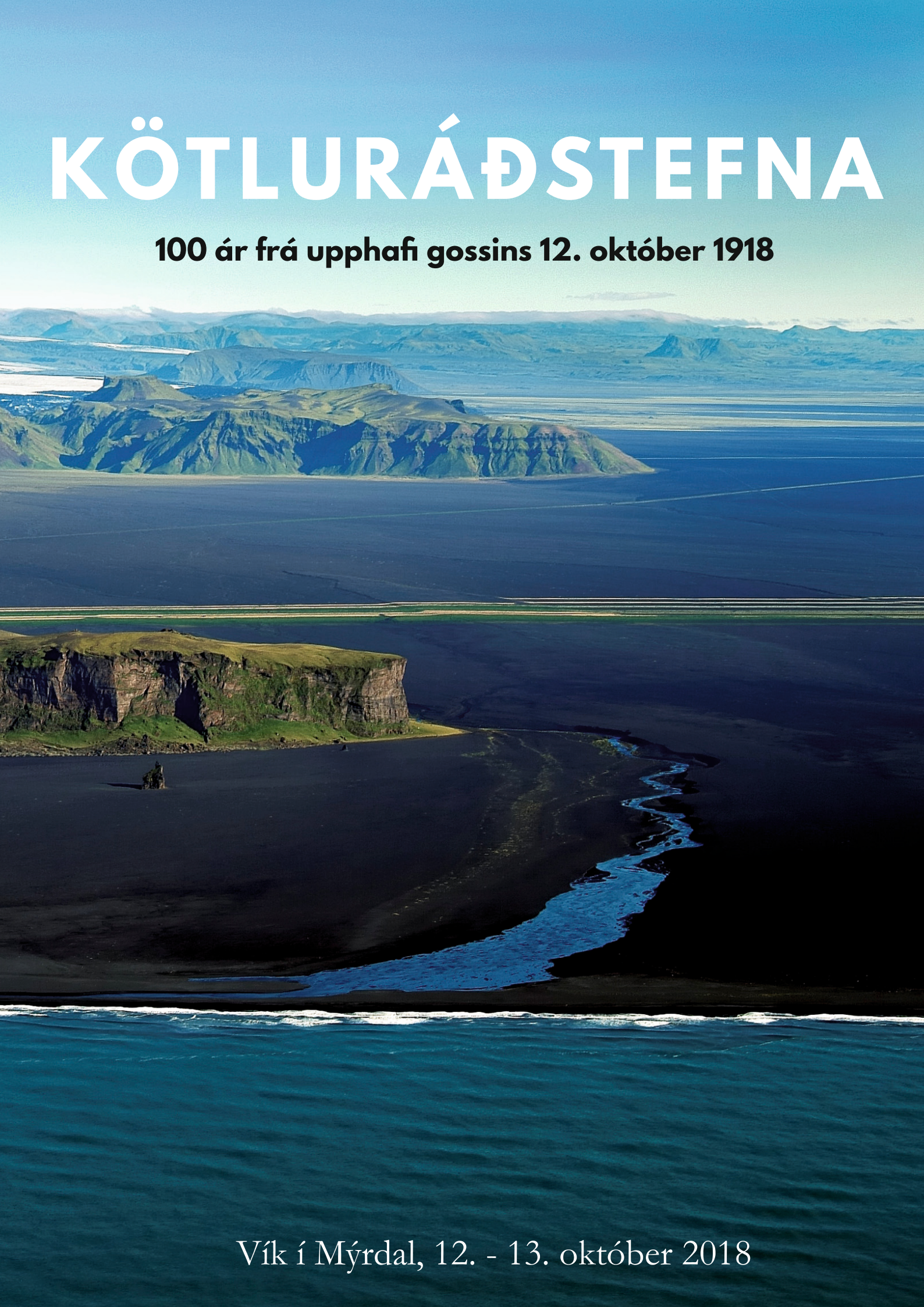
KÖTLURÁÐSTEFNA

100 ár frá upphafi gossins 12. október 1918



Vík í Mýrdal, 12. - 13. október 2018

Uppbyggingarsjóður Suðurlands
styrkir nýsköpunar- og menningarverkefni
á Suðurlandi.
Sjóðurinn er stoltur styrktaraðili
Kötluráðstefnunnar
SÓKNARÁÆTLUN
SUÐURLANDS
SASS
SAMTÖK
SUNNLENSKRA
SVEITARFÉLAGA

Dagskrá Kötluráðstefnu, 12. október 2018

9:00 – 9:45 **Skráning og kaffi**

9:45 – 10:00 **Setning Þorsteinn Sæmundsson, formaður Jarðfræðafélags Íslands**

Fundarstjóri: **Ásta Rut Hjartardóttir**

10:00 – 10:15 *Páll Einarsson*

Sögulegar heimildir um aðdraganda Kötlugosa og samanburður við mælda forboða eldgosa seinustu áratuga á Íslandi

10:15 – 10:30 *Eyjólfur Magnússon*

Skyggnst í undirheima Mýrdalsjökuls með íssjá

10:30 – 10:45 *Ármann Höskuldsson*

Um eðli Kötlugosa

10:45 – 11:00 *Þorvaldur Þórðarson*

Yfirlit um útgösun brennisteins í Kötlugosum og hugsanleg áhrif þess á andrúmsloftið

11:00 – 11:15 *Uta Reichardt*

Kötlugos á þotuöld

11:15 – 11:30 *Sigurður Sigurðarson*

Vík í Mýrdal, varnir gegn sjávarrofi og aðgerðir til að verjast því

11:30 – 11:45 *Smári Jóhannsson*

Raforkuflutningskerfið - Áhætta vegna jarðvár

11:45 – 12:00 *Þorleifur Jónasson*

Fjarskiptasamband á rýmingarsvæði Kötlu

12:00 – 13:00 **Matur**

Fundarstjóri: **Ásgeir Magnússon**

13:00 – 13:15 *Guðrún Larsen*

Allt orðið svart af sandi og ösku: Kötlugjóskan 1918

13:15 – 13:30 *Magnús Tumi Guðmundsson*

Þar brunuðu fram heilar heiðar snævi þaktar: Ísbráðnun í gosinu 1918, tengsl hlaups og goss og eðliseiginleikar stórra Kötluhlaupa

13:30 – 13:45 *Magnús Tumi Guðmundsson*

Breytingar á Mýrdalssandi samfara Kötluhlaupum - hvað gerist í næsta stórhlaupi?

13:45 – 14:00 *Helgi Gunnar Gunnarsson*

Hermun Kötluhlaups í Múlakvísl og mat á rennsli til Víkur

VÍK
Icelandair Hotels
ICELANDAIR HOTEL VIK
Klettsvegi 1-5 – 870 Vík – Sími: 487 1480
www.icelandairhotels.com – vik@icehotels.is

14:00 – 14:15 *Tómas Jóhannesson*

Framrásarhraði jökulhlaupa á Mýrdalssandi

14:15 – 14:30 *Guðmundur Valur Guðmundsson*

Kötlugos 2018 – hver yrðu áhrif á samgöngur, vegi og brýr?

14:30 – 14:45 *Kristín Jónsdóttir*

Eftirlit með Kötlu: Náttúruváreftirlit Veðurstofunnar

14:45 – 15:00 *Víðir Reynisson*

Beðið eftir Kötlu, áskoranir í undirbúningi almannavarna í síbreytilegu samfélagi

15:00 – 15:30 **Kaffi**

Fundarstjóri: **Einar Freyr Elínarson**

15:30 – 15:45 *Magnús Þór Einarsson*

Ásýnd eftir sandgræðslu í Mýrdal

15:45 – 16:00 *Hulda Ragnheiður Árnadóttir*

Ef Katla gýs, hvaða tjón fæst bætt?

16:00 – 16:15 *Evgenia Ilyinskaya*

Mikil gaslosun frá Kötlu 2016 og 2017

16:15 – 16:30 *Halldór Geirsson*

Hvað segja jarðskorpuhreyfingar okkur um kvikusöfnun Kötlu?

16:30 – 16:45 *Björn Sævar Einarsson*

Katla sett á rautt: Veðurstofan og alþjóðaflugið

16:45 – 17:00 *Guðrún Gísladóttir og Deanne Bird*

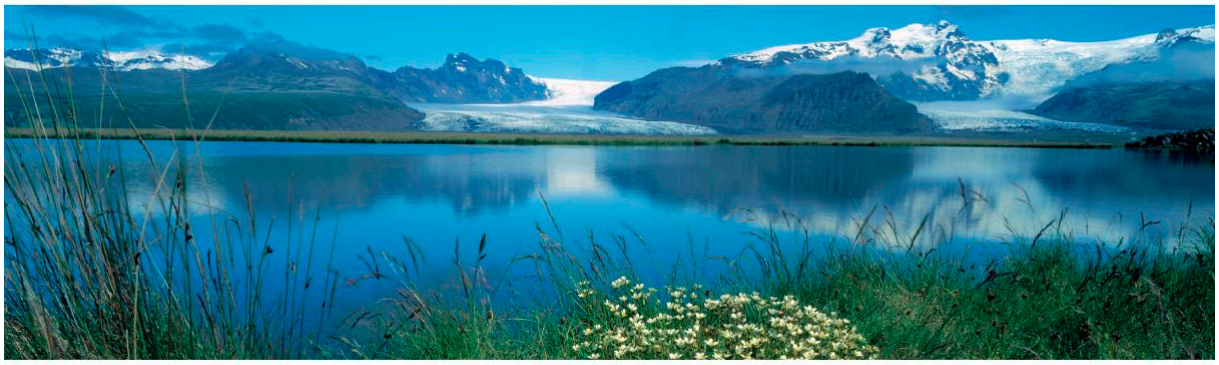
Hvað getum við lært af fyrri kynslóðum? Reynsla Álftveringa af Kötlugosinu 1918

17:00 **Lokaorð: Þorbjörg Gísladóttir, sveitarstjóri Mýrdalshrepps**

Undirbúningsnefnd:

Þorsteinn Sæmundsson, Beata Rutkowska, Berglind Sigmundsdóttir, Kristín Jónsdóttir, Haukur Hauksson, Þóra Björg Andrésdóttir, Lúðvík Eckardt Gústafsson, Ásta Rut Hjartardóttir, Víðir Reynisson og Kjartan Þorkelsson

VINIR VATNAJÖKULS
Hollvinasamtök Vatnajökulsþjóðgarðs



Vinir Vatnajökuls styrkja rannsóknir, kynninga- og fræðslustarf sem stuðlar að því að sem flestir geti notið náttúru og sögu Vatnajökulsþjóðgarðs.

Samtökin vilja setja í forgang verkefni sem stuðla að:

- Aukinni þekkingu almennings á náttúru og sögu Vatnajökulsþjóðgarðs
- Samspili byggðarlaga innan þjóðgarðsins
- Aukinni fræðslu og rannsóknum í Vatnajökulsþjóðgarði og grenndarsamfélagi hans
- Samspili útivistar, menningar og Vatnajökulsþjóðgarðs
- Tengslum barna og unglinga við náttúruna
- Auknum skilningi umheimsins á mikilvægi Vatnajökulsþjóðgarðs og einstakri náttúru hans á heimsvísu
- Eflingu samkenndar um mikilvægi Vatnajökulsþjóðgarðs fyrir nærliggjandi byggðir og alla landsmenn
- Sjálfbærri ferðaþjónustu

Mýrdalshreppur er vaxandi um 699 manna sveitarfélag. Í Vík er öll almenn þjónusta svo sem leik-, grunn-, og tónskóli, heilsugæsla, dvalar- og hjúkrunarheimili og frábær aðstaða til allrar almennrar íþróttaiðkunar o.fl..
Náttúrufegurð er rómuð í Vík og nágrenni og samgöngur greiðar allt árið. Ferðaþjónusta er öflug og vaxandi í sveitarfélaginu og fjölbreyttir möguleikar á því sviði fyrir fólk með ferskar hugmyndir.
Mýrdalshreppur
Skrifstofa Mýrdalshrepps, Austurvegur 17, 870 Vík
Sími: 487-1210 Netfang: myrdalshreppur@vik.is
Heimasíða: www.vik.is Facebook: @myrdalshreppur
Mynd: Þ. N. Kjartansson

list
veisla
söngur
tónleikar
VÍK
Í MÝRDAL
Sveitaball
Opin hús
Mýrdalshreppur
tónlist
100 ÁR
FRÁ KÖTLUGOSI
BARNADAGSKRÁ
skemmtun
Viðburðir
MATARSMAKK
handverk
Regnboginn
sýningar
PARTÝ
gaman
LIST Í FÖGRU UMHVERFI
skemmtidagskrá
ART

SJÓVÁ

gleði
gróska
gæði
gagn
Víkurskóli

Kötlusetur
Miðstöð menningar, fræða og ferðamála

SKÓGASAFN
Skógar Museum

ARCANUM
GLACIER TOURS

FULLVELDI ÍSLANDS
1918 • 2018

Arion banki

THE SOUP COMPANY

RÍKISLÖGREGLUSTJÓRINN
ALMANNAVARNADEILD

BJÖRGUNARSVEITIN
VÍKVERJI

Efnisyfirlit

Dagskrá Kötluráðstefnu, 12. október 2018 iii
Efnisyfirlit ix
Ávarp formanns Jarðfræðafélags Íslands xi
Ágrip 1
Um Eðli Kötlugosa 3
Ármann Höskuldsson, Þorvaldur Þórðarson, Johanne Schmith og Guðrún Larsen
Katla sett á rautt: Veðurstofan og alþjóðaflugið 4
Bjørn Sævar Einarsson, Sara Barsotti og Þórður Arason
Mikil gaslosun frá Kötlu 2016 og 2017 10
Evgenia Ilyinskaya, Stephen Mobbs, Ralph Burton, Mike Burton, Federica Pardini, Melissa Anne Pfeffer, Ruth Purvis, James Lee, Stéphane Bauguitte, Barbara Brooks, Loana Colfescu, Guðrún Nína Petersen, Axel Wellpott og Baldur Bergsson
Skyggnst í undirheima Mýrdalsjökuls með íssjá 17
Eyjólfur Magnússon, Finnur Pálsson, Tayo van Boeckel, Joaquín, M.C. Belart, Magnús T. Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir og Helgi Björnsson.
Kötlugos 2018 - hver yrðu áhrif á samgöngur, vegi og brýr? 22
Guðmundur Valur Guðmundsson
Hvað getum við lært af fyrri kynslóðum? Reynsla Álftveringa af Kötlugosinu 1918. . 26
Guðrún Gísladóttir og Deanne Bird
Allt orðið svart af sandi og ösku: Kötlugjóskan 1918 33
Guðrún Larsen, Maria H. Janebo og Magnús T. Guðmundsson
Jökulhlaupið 1721 - flóðalda í Vík? 38
Guðrún Larsen og Þórir N. Kjartansson
Hvað segja jarðskorpuhreyfingar okkur um kvikusöfnun Kötlu? 42
Halldór Geirsson, Benedikt G. Ófeigsson, Vincent Drouin, Michelle Parks, Sigrún Hreinsdóttir, Freysteinn Sigmundsson, Páll Einarsson og Erik Sturkell
Hermun Kötluhlaups í Múlakvísl og mat á rennsli til Víkur 46
Helgi Gunnar Gunnarsson, Sveinn Óli Pálmarsson, Magnús Tumi Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir og Guðrún Larsen
Ef Katla gýs, hvaða tjón fæst bætt 51
Hulda Ragnheiður Árnadóttir framkvæmdastjóri
Eftirlit með Kötlu: Náttúruváreftirlit Veðurstofunnar 53
Kristín Jónsdóttir, Sara Barsotti, Matthew J. Roberts, Sigurlaug Hjaltadóttir, Gunnar B. Guðmundsson, Benedikt G. Ófeigsson, Michelle M. Parks, Kristín Vogfjörð, Melissa A. Pfeffer, Ragnar Heiðar Þrastarson og náttúrvárhópur Veðurstofunnar
Þar brunuðu fram heilar heiðar snævi þaktar: Ísbráðnun í gosinu 1918, tengsl hlaups og goss og eðliseiginleikar stórra Kötluhlaupa 57
Magnús Tumi Guðmundsson, Guðrún Larsen, Þórdís Högnadóttir og Maria H. Janebo
Breytingar á Mýrdalssandi samfara Kötluhlaupum – hvað gerist í næsta stórhlaupi? 60
Magnús Tumi Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir, Guðrún Larsen, Helgi G. Gunnarsson og Sveinn Óli Pálmarsson
Ásýnd eftir sandgræðslu í Mýrdal 63
Magnús Þór Einarsson

Sögulegar heimildir um aðdraganda Kötlugosa og samanburður við mælda forboða eldgosa seinustu áratuga á Íslandi 66
Páll Einarsson

Vík í Mýrdal, sjávarrof og aðgerðir til að verjast því 70
Sigurður Sigurðarson, Pétur Ingi Sveinbjörnsson og Fannar Gíslason

Framrásarhraði jökulhlaupa á Mýrdalssandi 81
Tómas Jóhannesson, Matthew J. Roberts og Oddur Sigurðsson

Kötlugos á þotuöld. 87
Uta Reichardt, Guðrún Pétursdóttir og Guðmundur Freyr Úlfarsson

Beðið eftir Kötlu, áskoranir í undirbúningi almannavarna í síbreytilegu samfélagi 91
Víðir Reynisson

Fjarskiptasamband á rýmingarsvæði Kötlu 92
Þorleifur Jónasson

Útgösun brennisteins í Kötlugosum og líkleg áhrif þess á andrúmsloftið 96
Þorvaldur Þórðarson

Ávarp formanns Jarðfræðafélags Íslands

Ágætu ráðstefnugestir

Í dag, nánar tiltekið um klukkan 15, þá eru liðin 100 ár frá því að eldfjallið Katla minnti rækilega á sig með stóru eldgosi og miklu hamfarahlaupi niður Mýrdalssand. Ég tel að við sem erum hér í dag þurfum ekki að velta vöngum yfir því hvernig fólki, í þessum fallegu sveitum leið þegar ósköpin gengu yfir þann 12. október árið 1918. Gosið var stórt, gerði ekki boð á undan sér og það stóð yfir í 24 daga. Í þá daga komu engar hjálparsveitir eða lögregla til aðstoðar eða vísindamenn til að greina stöðuna. Það voru engar viðvaranir eða rýmingar, fólk þurfti einfaldlega að standa saman og bjarga því sem bjargað varð, en mikið tjón og miklar landbreytingar urðu í þessum hamförum.

Á þeim 100 árum sem liðin eru þá hefur margt breyst hér á Íslandi. Samfélagið hefur þróast úr bændasamfélagi yfir í borgarsamfélag, samgöngumátinn hefur umturnast og einn af aðal atvinnuvegum landsins í dag er ferðamennska með fjölda fólks út um allt, alla daga ársins.

Ritaðar heimildir fyrri alda og víðtækar rannsóknir á Kötlu á undanförnum áratugum hafa sýnt okkur fram á að Katla er eitt af okkar allra virkustu eldfjöllum og með þeim hættulegri. Ummerki eru um gríðarleg jökulhlaup, bæði niður Mýrdalssand að austanverðu, Sólheimasand að sunnanverðu og Markarfljósaura að vestanverðu, sem sýnir okkur að eldgos í Kötlu getur haft áhrif víða, svo ekki sé talað um öskufallið. Ekki má heldur gleyma mannlega þættinum og áhrifum slíkra hamfara á samfélagið og búsetuþróun.

Með þessari ráðstefnu viljum við minnast þessara tímamóta. Yfirskrift ráðstefnunnar er Kötlugosið 1918 og afleiðingar þess á náttúru og samfélag þess tíma. Hverjar myndu afleiðingar af svipuðu gosi verða á samfélag dagsins í dag?

Við munum skyggnast örlítið inn í horfin heim þeirra sem urðu vitni að gosinu og hlaupinu og tókust á við afleiðingar þessara náttúruhamfara fyrir 100 árum. Við munum skoða hvað gerðist í gosinu og hlaupinu og velta vöngum yfir því hvað er að gerast í Kötlu í dag. Við munum einnig velta fyrir okkur framtíðinni, hvernig við fylgjumst með og vöktum Kötlu í dag, hvernig er líklegt að næsta gos og hlaup muni haga sér og hvernig samfélagið muni bregðast við viðlíka atburði í lofti, láði og legi.

Hingað til Víkur er kominn fjöldi sérfræðinga, sem munu fræða okkur um hina ýmsu þætti varðandi Kötlu, Kötluhlaup og hugsanlegar afleiðingar á náttúru og samfélag. Við viljum þakka þeim fyrir að gefa sér tíma til að taka þátt í ráðstefnunni og deila sínum fróðleik með okkur.

Að undirbúningi og fjármögnun þessarar ráðstefnu hafa fjölmargir einstaklingar, stofnanir, félagasamtök og fyrirtæki lagt hönd á plóginn og viljum við þakka þeim kærlega fyrir veitta hjálp og stuðning.

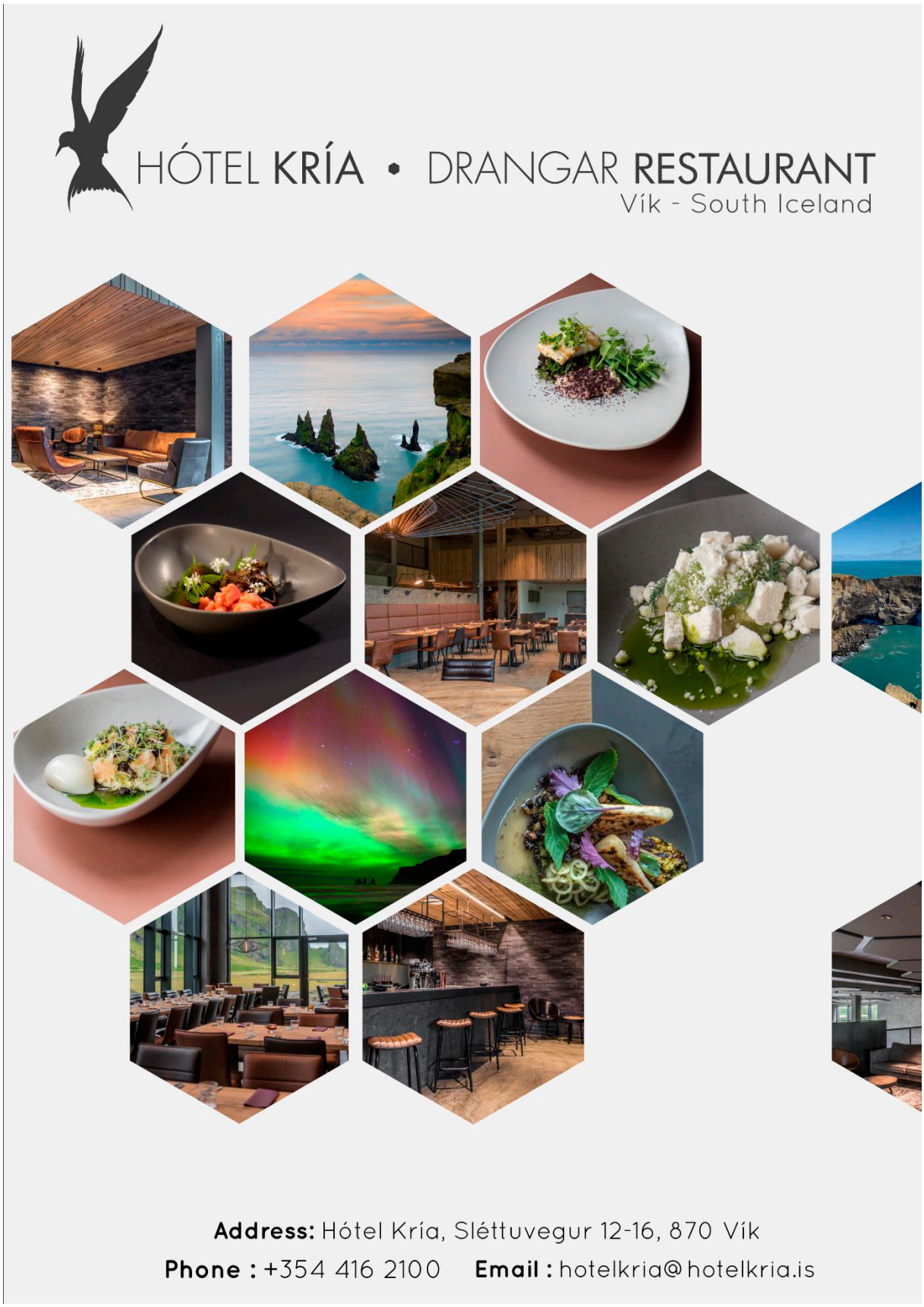
Ekki síst viljum við þakka Sveitastjórn Mýrdalshrepps og öllum íbúum fyrir að taka á móti okkur og gera okkur kleyft að halda ráðstefnuna hér með jafn höfðinglegum hætti og raun ber vitni.

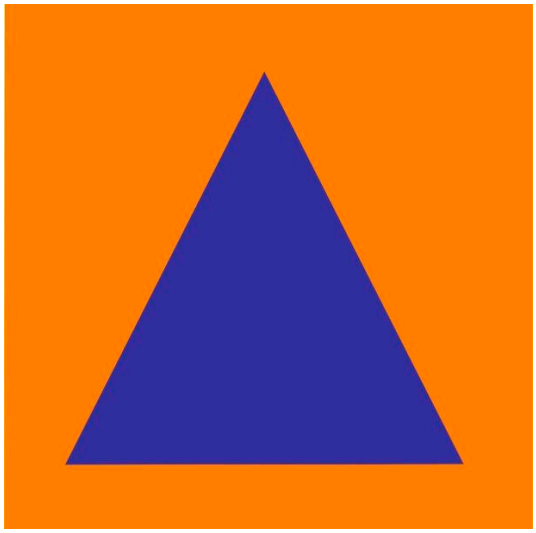
Við óskum ykkur ánægjulegrar ráðstefnu.

Fyrir hönd undirbúningsnefndar Kötluráðstefnu, í Vík í Mýrdal.

Þorsteinn Sæmundsson

Þorsteinn Sæmundsson, formaður Jarðfræðafélags Íslands


HÓTEL KRÍA • DRANGAR RESTAURANT
Vík - South Iceland
Address: Hótel Kría, Sléttuvegur 12-16, 870 Vík
Phone : +354 416 2100 Email : hotelkria@hotelkria.is



HÁSKÓLI ÍSLANDS
Jarðvísindastofnun

Veðurstofa
Íslands

ICELANDIC LAVA SHOW

JÖKLARANNSÓKNAFÉLAG ÍSLANDS
ICELAND GLACIOLOGICAL SOCIETY

UNIVERSITATIS ISLANDIAE SIGILLUM

HÁSKÓLI ÍSLANDS

HOTEL KATLA
HÖFÐABREKKA

Jarðfræðafélag
Íslands

Katla jarðvangur

Katla er fyrsti íslenski jarðvangurinn sem gerist aðili að Samtökum evrópskra jarðvanga og Global Geoparks Network og er frá 2015 hluti af UNESCO Global Geoparks, hnattrænum UNESCO jarðvöngum. Hugmyndafræði jarðvanga byggir á styrkleikum svæðanna sem felast bæði í náttúru svæðisins og menningu. Það þarf enginn að velkjast í vafa um það að jarðfræði jarðvangsins er merkileg á heimsmælikvarða. Yfir 100 eldgos hafa verið skráð á svæðinu frá landnámi. Náttúran hefur haft áhrif á sögu svæðisins, ekki síður en mannskepnan, enda tekur landslagið stöðugum breytingum vegna eldvirkninnar. Fyrir vikið má segja að íbúar svæðisins hafi einstaka aðlögunarhæfni og séu duglegir að grípa tækifærin þegar þau gefast. Jarðvangurinn þekur um 9% landsins, 9.542 km², og nær yfir land þriggja sveitarfélaga, Skaftárhrepps, Mýrdalshrepps og Rangárþing eystra. Tæplega 3.000 manns búa innan marka jarðvangsins. Nyrsti hluti jarðvangsins nær inn í Vatnajökulsþjóðgarð og í suðri liggur svartur sandur Mýrdalsins og Suðurstrandarinnar. Það má með sanni segja að Katla jarðvangur sé með allra fjölbreyttustu og jarðfræðilega mest spennandi svæðum heimsins hvort heldur sem litið er til milljóna ára landslagsmyndana, nýmyndaðs hrauns Eyjafjallajökuls frá því árið 2010, jöklanna sem krýna flest okkar eldfjöll eða beljandi jökulvatnsins sem frá þeim rennur. Það finnst vart sá staður á jörðinni þar sem andstæðurnar eldur og ís eiga eins vel saman og kraftur jarðarinnar er jafn áþreifanlegur!

KATLA GEOPARK

Menningarmálastofnun Sameinuðu þjóðanna · United Nations Educational, Scientific and Cultural Organisation · Katla Hnattrænn jarðvangur UNESCO · Katla UNESCO Global Geopark

GEOPARK - AUSTURVEGUR 4, 860 HVOLSVÖLLUR - INFO@KATLAGEOPARK.IS - +354 8624066

Kötluráðstefna – 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918
Vík í Mýrdal, 12. október 2018

Ágrip

Kötluráðstefna – 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918
Vík í Mýrdal, 12. október 2018

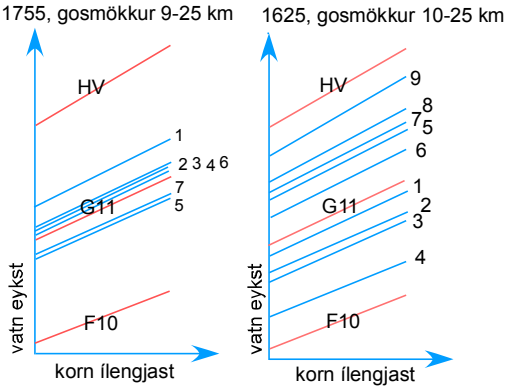
Um Eðli Kötlugosa

Ármann Höskuldsson, Þorvaldur Þórðarson, Johanne Schmith og Guðrún Larsen

Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands, Nordvolc, Futurevolc, Vetools, Eurovolc.

Ágrip

Í þessum fyrirlestri verður fjallað um eðli eldgosa í Kötlu. Í dag er ekki nokkur maður lifandi er séð hefur Kötlugos. Síðasta eldgos í Kötlu átti sér stað 1918 en á þeim tíma voru tæki til að fylgjast með framvindu eldgosanna fátækleg. Um hegðun og framgang Kötlugosa höfum við samtímalýsingar og nú síðast ljósmyndir frá 1918. Af öllum lýsingum að dæma eru Kötlugos ein stórfenglegustu basísku eldgos er eiga sér stað hér á landi. Lýsingum ber saman um mikla og háa gosmekki er vara dögum til mánuðum saman með tilheyrandi öskufalli og vatnagang. Samfara eldgosum í Kötlu er mikil og rúmfrek flóð er berast fram á Mýrdalssand, Sólheimasand eða niður Markarfljótsaura. Rúmmál gosefna í Kötlugosum er í flestum tilvikum mjög mikið í samanburði við aðrar eldstöðvar á Íslandi. Af 21 eldgosi á sögulegum tíma má ráða að frá gjósku á landi að 10 þeirra eru minni en 0,1 km3, 5 eru allt að 0,5 km3 og 6 eru stærri en 0,5 km3 (Thordarson and Larsen 2007). Samtíma heimildir eru mjög gagnlegar þegar rýna skal í hvað er nákvæmlega að gerast í eldgosinu dag fyrir dag. Hinsvegar duga þær ekki og því er nauðsynlegt að skoða það efni er upp kemur í eldgosunum í smáatriðum til að átta sig betur á þeim gosrásarferlum er ráða ríkjum og leiða til myndunnar hins mikla gosmakkar í Kötlugosum. „Devil is in the details“ er orðatiltæki er gjarnan er notað til að benda á að til að ná betur utan um heildarmyndina þurfi að skoða smæstu smáatriði í viðburðinum. Nú þegar hefur sjónum verið beint að eldgosinu í Kötlu 1755 er stóð yfir í 120 daga og eldgosinu í Kötlu 1625 er stóð aðeins yfir í 13 daga. Nokkuð greinargóðar samtíma lýsingar eru til af báðum eldgosum. Til að átta sig betur á þeim ferlum er eiga sér stað í gosrásinni voru korn í öskulögunum er mynduðust skoðuð smáatriðum. Öskukorn eru þeirra náttúru gædd að lögun þeirra stjórnast að mestu af því sem að kemur fyrir kvikuna eftir að hún yfirgefur gos opið og kvikan fer að kólna. Þannig bera öskukornin upplýsingar um aðstæður í og við gosrás og geta gefið til kynna útstreymishraða kviku í eldgosinu sem og líklega hæð gosmakkar á tímum eldgossins. Eldgosið 1755 og eldgosið 1625 sýna miklar breytingar í ösku sem fellur til jarðar á meðan á eldgosinu stendur. Myndin hér að neðan sýnir að vatnsmagn er hefur aðgang að gosmekkinum er mjög breytilegt á meðan á gosi stendur. Í fyrirlestrinum verður farið nánar út í hvað þetta getur sagt okkur um eðli Kötlugosa.



Kötluráðstefna – 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918
Vík í Mýrdal, 12. október 2018

Katla sett á rautt: Veðurstofan og alþjóðaflugið

Björn Sævar Einarsson, Sara Barsotti og Þórður Arason

Veðurstofa Íslands

Ágrip

Veðurstofa Íslands, VÍ, leikur lykilhlutverk í alþjóðaflugi sem veðurstofa fyrir Íslenska flugstjórnarsvæðið (Reykjavik CTA) og veitir þar veðurþjónustu fyrir flugleiðsögu, og vaktar veður (sem aðalveðurstofa, Meteorological watch office, MWO) og sendir út viðvaranir þegar þörf er á, þ.á.m. viðvaranir fyrir flugaðila vegna eldgosasösku. Annað lykilhlutverk Veðurstofunnar í alþjóðaflugi er að hún er útnefnd af Alþjóðaflugmálastofnunni, ICAO sem Eldfjallaeftirlitsstöð (State volcano observatory), IVO, sem hefur eftirlit með eldvirkni með tilliti til þarfa flugleiðsögu fyrir Reykjavik CTA. VÍ vinnur náið með ISAVIA (flugleiðsöguþjónusta) og London VAAC (Ráðgjafarmiðstöð um gjóskudreifingu). Eldgosaaska er alvarleg hætta fyrir flugsamgöngur og sérstaklega mikilvægt að vara við henni.

Abstract

The Icelandic Meteorological Office, IMO, has a key role in international aviation as the Meteorological office, for the Icelandic flight control area (Reykjavik CTA) and monitors the weather (as Meteorological watch office, MWO) and issues if necessary warnings to aviation, including warnings about ash. Another key role is as designated by ICAO - a State volcano observatory, IVO, to monitor and provide information on volcanic activity in Reykjavik CTA. IMO works closely with ISAVIA (the air navigation service provider) and London VAAC (volcanic ash advisory centre). Volcanic ash is a serious hazard to aviation.

Veðurstofan og alþjóðaflugið

Veðurstofa Íslands, VÍ, heldur úti veðurþjónustu og náttúruvárvöktun 24/7 allt árið um kring. VÍ þjónustar og vaktar Reykjavik CTA, eitt stærsta flugstjórnarsvæði heims, 5,4 milljón km^2, bæði sem veðurstofa fyrir flug og sem eldfjallaeftirlitsstöð. ISAVIA veitir flugleiðþjónustu fyrir svæðið. London VAAC, Ráðgjafarmiðstöð um gjóskudreifingu, sem rekin er af Bresku veðurstofunni er útnefnd af ICAO fyrir alþjóðaflugið til sjá um öskudreifingarspár frá eldfjöllum sem eru á svæði sem nær yfir Ísland og Jan Mayen. Eldgosaaska er alvarleg hætta fyrir flugsamgöngur og sérstaklega mikilvægt að vara við henni á skjótan og skipulagðan hátt. Þess vegna eru VÍ, ISAVIA og London VAAC með ýtarlegar viðbragðsáætlanir og æfa saman nánast mánaðarlega viðbrögðin þegar eldgos efst.

Víðast hvar er það sitt hvor stofnunin sem sér um flugveðurþjónustu og eldfjallaeftirlit en hér á Íslandi búum við svo vel að þetta er ekki aðeins ein og sama stofnunin heldur vinna fræðingarnar saman í sama sal á vöktum allan ársins hring og vakta náttúruna.

Eldfjallaeftirlitið fylgist með eldfjöllum á Íslandi með margskonar mælitækjum, og meðtekur einnig rannsóknir og ráðgjöf annarra vísindastofnana og vegur og metur ástand eldfjalla. Formleg samskipti við flugþjónustuaðila eru einkum í gegnum Eldfjallalitakóðann fyrir flug og VONA (Volcano Observatory Notification for the Aviation) tilkynningar. Þessi litakóði er skilgreindur fyrir flugsamgöngur eftir aukinni virkni í fjallinu og líkum á að eldgos muni búa til ösku sem hafi áhrif á og trufli flug. Mikilvægt er að hafa í huga að litakóðinn er ekki notaður sem hættumat fyrir aðra vá sem stafar af eldfjallinu.

Katla var sett á gult í september 2016 í öflugri jarðskjálftahrinu en sett aftur á grænt nokkrum dögum seinna. Þegar VÍ telur að eldgos er yfirvofandi eða hafið í Kötlu og líklegt er að aska berist upp í lofthjúpinn þá verður litkóðanum fyrir hana breytt í RAUTT.

VONA tilkynning er gefin út í hvert sinn sem litakóðanum er breytt og einnig þegar eldgos er í gangi og eldvirknin breytist umtalsvert. Sniðmátið fyrir VONA er sýnt á mynd 1. Sérstök áhersla er lögð á að lýsa gosmekkinum. Náttúruvársérfræðingur á vakt sér um að gefa út VONA.

Flugveðurfræðingur á vakt sér um að gefa út sérstakar viðvararanir fyrir flugumferð, svokölluð SIGMET skeyti (significant meteorological information) sem hversdagslega snúast um að vara við markverðu veðri eins og t.d. mikilli kviku, fjallabylgjum, ísingu eða þrumuveðri. SIGMET skeyti eru á ensku í knöppum símskeytastíl enda er aðeins hægt að hafa samband við suma flugmenn á flugi í gegnum talfjarskipti.

Þegar staðfest er að eldgos sé hafið eða er alveg að hefjast þá er það tilkynnt strax til flugstjórnarmiðstöðvar ISAVIA, sem gefur út svokallað NOTAM þar sem varað er við eldgos er hafið og til öryggis er sett hættusvæði sem nær 120 sjómílur út frá eldstöðinni og flugvélum stýrt frá og framhjá hættunni. Flugveðurfræðingur kallar út veðurfræðing á bakvakt, tilkynnir London VAAC að eldgos sé hafið í þessu eldfjalli, tímasetning og möguleg hæsta hæð gosmakkar.

London VAAC byrjar þá að keyra sitt dreifingarlíkan grundað á þessum upplýsingum.

Flugveðurfræðingur gefur út eins fljótt og auðið er fyrsta eldgosa-SIGMETið sem gildir í 3 tíma. Þar kemur fram nafn og hnitin á eldfjallinu, möguleg hæsta hæð gosmakkar, og vindátt og mesta vindhraði í 30 til 40 þúsund fetum, þar sem alþjóðaflugið flýgur eða í toppnum á gosmekkinum ef hann er neðar.

Þegar þessi fyrsta viðvörun er komin út gefst tími til að skoða betur gögn. London VAAC keyrir gosöskudreifingarlíkan sitt (NAME) reglubundið fyrir helstu eldfjöllin á Íslandi miðað við að eldgos hefjist 00, 06, 12 eða 18 og niðurstöðurnar eru vistaðar á innri vef VÍ. Einnig keyrir Veðurstofan daglega öskudreifingarlíkan (NAME) innanhúss fyrir svæðið í kringum Ísland miðað við að gos hefjist á miðnætti og einnig fyrir misháa gosmekki (mynd 4. (a)). Einnig er hægt að keyra innanhúslíkanið fyrir viðkomandi eldfjall og upphafstíma þegar eldgosið er hafið og skoða niðurstöður úr þeirri keyrslu. Þannig má sjá hvert er líklegt að askan muni berast næstu tíma. Einnig má er hægt að velja hnit, t.d. Vík og skoða spá um öskufall (mynd 4. (b)).

Mjög mikilvægt er að fá sem fyrst upplýsingar um hæðina á gosmekkinum. Í fyrsta lagi er það beinlínis nauðsynlegt fyrir flugið því í upphafi þegar mesta óvissan er, er hafður allur varinn á og gefið upp möguleg hæsta hæð samkvæmt mati jarðvísindamanna. Mun líklegra er að í reynd verði gosmökkurinn mun lægri og t.d. ef þetta er lítið gos þá nær hann ekki upp í þær hæðir sem alþjóðaflug flýgur í. Í öðru lagi er grundvallaratriði að fá sem réttasta hæð inn í líkönin, bæði til að hæðin sé rétt í módelinu og einnig því að á mat á massaflæðinu, hvað mikið af gosefni kemur upp í andrúmsloftið byggir að mestu á hæð gosmakkarins. Massaflæðið stýrir í raun í líkaninu útreiknaðri gosefnaþéttni. Þannig að öskuspáin byggir mjög á sem réttustu mati á hæð makkarins.

Allar athuganir á hæðinni, t.d. úr flugvélum, nýtast en nýtt kerfi VESPA (Arason, et al 2018) hjá IMO tekur gögn úr veðursjáakerfinu og reiknar sjálfvirkt út hæðina og massaflæðið með skekkjumörkum (mynd 2). Nú þegar VÍ hefur fengið staðfesta hæð á gosmekkinum þá er hringt í London VAAC og ISAVIA og þeir upplýstir um nýju hæðina. Síðan gefur flugveðurfræðingur út SIGMET nr. 2 sem gildir einnig í 3 tíma og nú með nýrri hæð gosmakkar og með svæði sem askan gæti dreifst yfir á þessum 3 tímum frá yfirborði og upp í top makkarins. Þetta svæði er byggt á fyrrnefndum dreifingarlíkönum og vindaspám úr veðurlíkönum.

Síðan þarf að sérstaklega að aflýsa fyrsta SIGMETi því ekki gengur að hafa tvær mismunandi viðvaranir í gangi. Einnig gefur ISAVIA út nýtt NOTAM sem visar hér eftir í eldgosa-SIGMET frá Veðurstofunni.

Næst er beðið eftir fyrstu spám frá London VAAC og þær koma bæði sem texti, VAA (Volcanic Ash Advisory) og grafík, VAG. Þá er gefið út nýtt SIGMET, V04, sem er byggt að mestu á VAA spánni og gildir það í 6 tíma í samræmi við gildistíma VAA. Það er mikilvægt að flugið fái samræmdar viðvaranir. Einnig London VAAC keyrir líkan sem nær yfir allan heiminn og fylgir öskunni eftir í marga daga jafnvel hringinn í kringum hnöttinn og í stórgosi gætum við fengið ösku úr Kötlu úr vestri frá Kanada inn í flugstjórnarsvæðið.

Veðurstofan heldur síðan áfram að vakta eldgosið og gefa út VONA og eldgosa-SIGMET þar gosi lýkur og þá er litakóðanum breytt úr rauðu í lægra stig.

Icelandic Metorological Office and the international aviation

The Icelandic Meteorological Office, IMO, maintains weather service and natural hazard watch 24/7 the year round. IMO services and watches over REYKJAVIK CTA, one of the largest flight control areas in the world, 5.4 million km^2, both as meteorological watch office and as state volcano observatory. ISAVIA is the air navigation service provider for the area. London VAAC, Volcanic Ash Advisory Center, is run by the british Met Office and designated by ICAO to provide ash advisory forecasts from volcanoes in a area that includes Iceland and Jan Mayen. Volcanic ash is a serious hazard to aviation and it is especially important to warn about it in speedy and orderly manner. Therefore IMO, ISAVIA and London VAAC have detailed contingency plans and exercise together almost monthly the reaction when an eruption starts.

Worldwide, it is most common that two separate institutes handle aviation weather services and volcano observation but here in Iceland we are so fortunate that this is not only the same institute but the specialists work together in the same room on duty year round and monitor nature.

The state volcano observatory monitors the volcanoes in Iceland with all kinds of instruments and also includes the research and advice from other research institutes and weighs and assesses the state of the volcanoes. Formal communications with aviation stakeholders are mainly via the Aviation colour code and VONA (Volcano Observatory Notification for the Aviation) notifications. This color code is based on the stakes for aviation based on increased activity in the mountain and the likelihood that volcanic eruption will generate ash that affects and interferes with flight operations. It is important to keep in mind that the color code is not for use as a risk assessment for other volcanic hazards.

Katla was put on yellow in September 2016 during a powerful earthquake episode, but returned to green a few days later. When IMO decides that volcanic eruption is imminent or has started in Katla and it is likely that ash rises into the atmosphere, the color code will be changed to RED.

VONA announcement is issued every time the color code is changed and also when volcanic eruption is ongoing and the activity changes significantly. The

template for VONA is shown in Figure 1. Special attention is given to describing the ash cloud. Natural hazard specialist on duty is in charge of issueing VONA.

Aviation forecaster on duty is in charge of issueing special weather warning measures to aviation, so-called SIGMET (significant meteorological information), which are everyday used to warn about weather hazards, like heavy turbulence, mountain waves, icing or thunderstorms. SIGMET messages are in English in a terse telegram style, which is neccessary because some pilots enroute can only be reached via voice communications.

When it has been confirmed that an eruption has already started or is due to begin, it is reported immediately to ISAVIA air traffic control center, which issues a so-called NOTAM with a warning that an eruption has started and for safety a danger zone is declared that reaches 120 nautical miles from the volcano and flights are steered away from the volcano. Aviation forecaster on duty requests forecaster on call to come to work and calls London VAAC to inform them eruption has started in this volcano at this time and the highest possible height of the plume. London VAAC starts their dispersion model based on this information.

Aviaton foreacaster issues as quickly as possible the first volcanic ash SIGMET, which is valid fot the next 3 hours. It includes name and position of the volcano, possible maximum height of the plume and wind direction and highest windspeed in about 30 to 40 thousand feet where the international flights are or in the top of the plume if it is lower.

When this first warning has been issued, there is some time to examine more data. London VAAC runs its volcanic dispersion model (NAME) periodically for the major volcanoes in Iceland, with volcanic eruptions starting at 00, 06, 12 or 18, and the results are saved on IMO internal website. In addition, IMO runs daily a dispersion model (NAME) for the area around Iceland, with eruptions starting at midnight, and also for the plume reaching different heights (Figure 4. (a)). The internal model can also be run when the eruption has started for that volcaneo. So the forecasters can see where the ash is likely to disperse over the next hours. Also, one can select a coordinate, e.g. Vík and view the forecast for tepra fall (Figure 4. (b)).

It is very important to get information as soon as possible about the height of the eruption. Firstly, it is absolutely necessary for the aviation, because at the onset of the eruption when there is the greatest uncertainty, the highest possible height is provided, according to the estimates of geologists. It is much more likely that the eruption will actually be much lower and, for example, if this is a small eruption, the plume might not reach the heights in which international airplanes fly. Secondly, it is essential to get the right height into the models, both in order to have the height itself correct in the model, and also because the mass flow rate assessment is largely based on the height of the plume and from that the amount of ash in the atmosphere. The mass flow rate actually steers the calculated ash concentration in the model. So the ash forecast is very reliant on the best estimate of the height of the plume.

All observations about the plume height are useful, e.g. from airplanes, but a new system VESPA (Arason, et al. 2018) takes data from the weather radar system and automatically calculates the height and mass flow rate with error bars (Figure 2). Now that IMO has confirmed the height of the eruption, London VAAC and ISAVIA are informed about the new height. Then the aviation forecaster issues SIGMET number 2 which is also valid for 3 hours and now with the new plume height and with an area that the ash could disperse over these 3 hours from the surface up to the top of the plume. This area is based on the above-mentioned distribution models and wind data from weather models.

Then one needs to cancel the first SIGMET because it is not good to have two different warnings at the same time. ISAVIA also issues a new NOTAM, which only refers to the volcanic ash SIGMET from IMO.

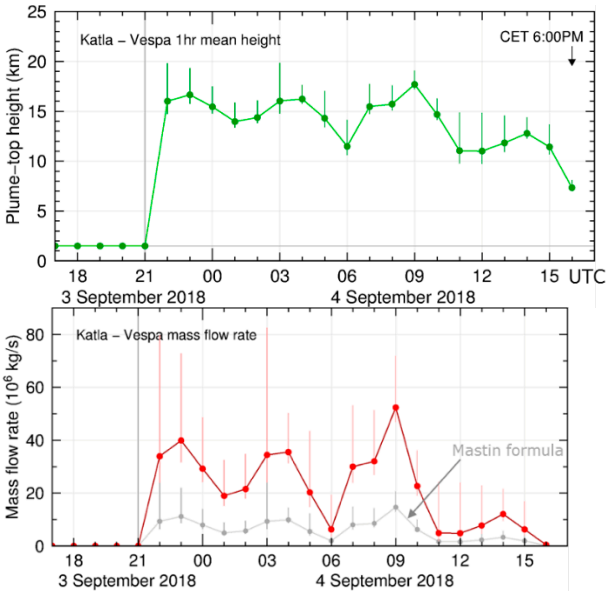
Then the first forecasts from London VAAC arrive. They are both text, VAA (Volcanic Ash Advisory) and graphical, VAG. A new SIGMET, V04, is issued, based mostly on the VAA forecast, and lasts for 6 hours in accordance with the VAA. It is important that aviation receives coordinated warnings. London VAAC also runs a global model and follows the ashes for many days even circling around the globe, and in a giant eruption we could get ash from Katla coming from the west through Canada into Reykjavik CTA.

The Meteorological Office then continues to monitor and watch the eruption, and issues VONAs and volcanic ash-SIGMETs until the eruption ends. The color code is then changed from red to lower levels.

(1) VOLCANO OBSERVATORY NOTICE FOR AVIATION
(2) Issued
(3) Volcano name and number
(4) Current Aviation Colour Code
(5) Previous Aviation Colour Code
(6) Source: Name of Volcano Observatory
(7) Notice Number
(8) Volcano Location
(9) Area
(10) Summit Elevation
(11) Volcanic Activity Summary
(12) Volcanic Cloud Height
(13) Other Volcanic Cloud information
(14) Remarks: Optional
(15) Contacts
(16) Next Notice

Mynd 1. Skilgreining á VONA skeyti.

The structure of VONA as defined by the ICAO guidance



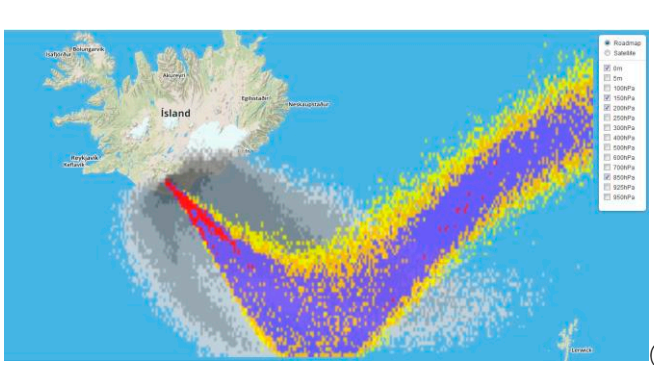
Mynd 2. Dæmi um notkun á VESPA kerfinu til gefa sjálfvirkt mat á hæð gosmakkar og massaflæðið tengt hæðinni. Efra grafið sýnir hæð makkarins mælt í km frá sjávarmáli byggt að gögnum ratsjánum fjórum sem eru á Íslandi. Neðra grafið sýnir mat á massaflæði reiknað út frá PlumeMoM 1-D líkaninu.

An example of the usage of the VESPA system for the automatic estimate of the plume height and the associated mass flow rate. The upper plot shows the height of the plume as measured from the sea level in km by using the data coming form the fours radars located in Iceland; the lower plot shows the estimate of the mass eruption rate as calculated by the inversion of the PlumeMoM 1-D model.

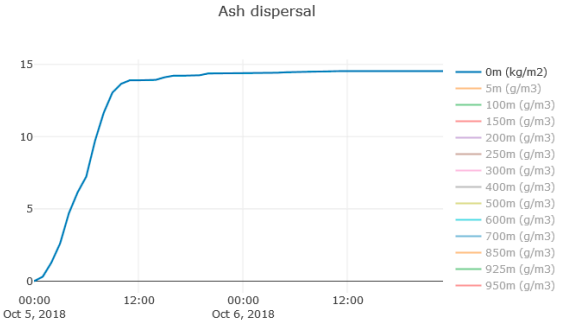
WVIL31 BICC 091401
BIRD **SIGMET** V02 VALID 091430/091730 BIRK-
BIRD REYKJAVIK CTA EXERCISE VOLCICE MT EYJAFJALLAJOKULL
PSN N6338 W01938 VA
CLD FCST
WI N6340 W01930 - N6350 W01850 - N6100 W01120 - N6040
W01610 - N6340
W01930 SFC/FL300 MOV SE 85KT
EXERCISE EXERCISE EXERCISE=

Mynd 3. Dæmi um SIGMET gefið út á æfingu.

Example of a SIGMET issued during an exercise.



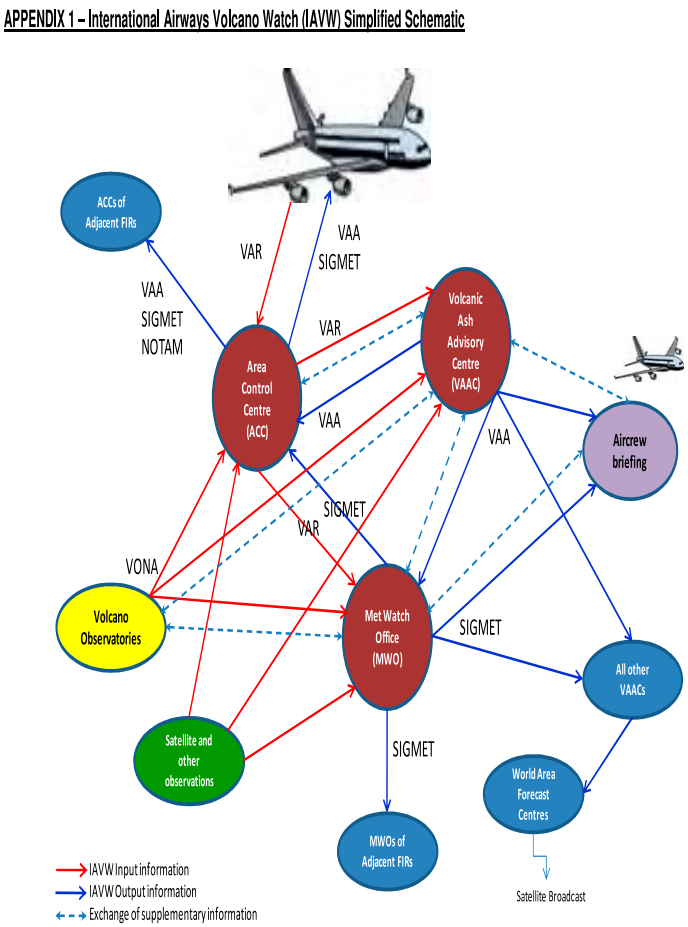
(a)



(b)

Mynd 4. (a) Gosdreifing úr líkankeyrslu ef Kötlugos hefði hafist 5. október og gosmökkurinn hefði náð 15 km hæð. Litir sýna öskuþéttni (sýnt í klukkutíma þrepum) í lofthjúpnum í mismunandi hæðum (í hPa) og grátónar sýna heildaröskufall – 24 tímum eftir að eldgos hófst. (b) grafið sýnir þróun á öskufalli í Vík í kg/m2.

(a) Model result for a simulation started on the 5th of October for an hypothetical eruption at Katla with a plume height of 15 km. The colored contours show the hourly ash concentration in the atmosphere at different heights (in hPa) and the grey contours show the total accumulation of tephra on the ground 24 hours after the beginning of the eruption; (b) the graph shows the temporal evolution of tephra accumulation on the ground for Vík in kg/m².



Mynd 6. Yfirlitsmynd af samskiptum milli stofnana og annarra aðila tengda flugþjónustu vegna eldgoss.

A summary of how the communication works through the different institutions involved in supporting the aviation in case of a volcanic eruption..

Heimildir

Arason Þ., S. Barsotti, M. de' Michieli Vitturi, S. Jónsson & B. Ý. Gísladóttir (2018), The Vespa-system: Real-time estimation of eruption source parameters, Cities on Volcanoes - 10, Napólí, Ítalíu, 2.-7. september 2018

Guffanti, M., Casadevall, T. J. and Budding, K., 2010, Encounters of Aircraft with Volcanic Ash Clouds: A Compilation of Known Incidents, 1953-2009. [Online] 2010. http://pubs.usgs.gov/ds/545/. U.S. Geological Survey Data Series 545, ver. 1.

C Christmann, R Nunes, A Schmitt, M Guffanti, 2017, Flying into Volcanic Ash Clouds: An Evaluation of Hazard Potential – NATO [Online]

Rekstrarhandbók Veðurstofu Íslands

ICAO VOLCANIC ASH CONTINGENCY PLAN — EUR/NAT VACP Edition 2.0.0 — July 2016

ICAO IAVW Handbook, 2nd edition, last AMD 16.8.16 (ICAO Doc 9766)

ICAO Annex 3, 19th edition, AMD77-A

ICAO Manual on Volcanic Ash, Radioactive Material and Toxic Chemical Clouds, Third Edition — 2015

ICAO Guidance for State Volcano Observatories: The International Airways Volcano Watch, 1st Edition – December 2009

ICOA Flight Safety and Volcanic Ash, 1st Edition - 2012

ICAO VOLCANIC ASH CONTINGENCY PLAN — EUR/NAT VACP Edition 2.0.0 — July 2016

ICAO IAVW Handbook, 2nd edition, last AMD 16.8.16 (ICAO Doc 9766)

ICAO Annex 3, 19th edition, AMD77-A

ICAO Manual on Volcanic Ash, Radioactive Material and Toxic Chemical Clouds, Third Edition — 2015

ICAO Guidance for State Volcano Observatories: The International Airways Volcano Watch, 1st Edition – December 2009

ICOA Flight Safety and Volcanic Ash, 1st Edition - 2012

Kötluráðstefna – 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918
Vík í Mýrdal, 12. október 2018

Mikil gaslosun frá Kötlu 2016 og 2017

Evgenia Ilyinskaya[1]*, Stephen Mobbs[2], Ralph Burton[2], Mike Burton[3], Federica Pardini[3], Melissa Anne Pfeffer[4], Ruth Purvis[2], James Lee[2], Stéphane Bauguitte[5], Barbara Brooks[2], Loana Colfescu[2], Guðrún Nína Petersen[4], Axel Wellpott[5] og Baldur Bergsson[4]

[1]School of Earth and Environment, University of Leeds, UK; [2]National Centre for Atmospheric Science, UK; [3] School of Earth and Environmental Sciences, University of Manchester, UK; [4]Veðurstofa Íslands, Reykjavík; [5]Facility for Airborne Atmospheric Measurements, Cranfield University, UK

Ágrip

Katla er ein virkasta og hættulegasta eldstöð landsins. Síðast gaus hún árið 1918 en orðið hefur vart við aukna virkni síðustu ár. Þó er erfitt að spá fyrir um hvort kvika sé að safnast fyrir undir eldstöðinni og hvenær megi gera ráð fyrir næsta gosi.

Gasútstreymi frá Kötlu var kannað með sérútbúinni rannsóknarflugvél í október 2016 og 2017. Hingað til hefur verið talið að Katla framleiði lítið sem ekkert gas en þetta voru fyrstu mælingarnar með þessarri aðferð á Íslandi. Niðurstöður sýna að það var gríðarlegt flæði af koltvísýringi (CO_2) sem streymdi úr Kötlu (12—24 þúsund tonn á dag) sem er allt að tíu sinnum meira en það heildarflæði sem hefur verið áætlað að losni frá öllum íslenskum eldstöðvarkerfum. Á heimsvísu er Katla eitt af þremur eldfjöllum með mestu losun af þeim eldfjöllum þar sem CO_2 losun hefur verið mæld, og losar allt að 4% af áætluðu heildarmagni CO_2 frá eldfjöllum.

Þetta mikla flæði af CO_2 sem Katla losar er vísbending um að kvika sé að afgasast undir eldstöðinni. Reglulegar gasmælingar á flæði koltvísýrings og annarra gastegunda þurfa að hefjast til að hægt sé að skera úr um hvort þetta sé venjulegt ástand fyrir Kötlu eða hvort gasflæðið sé að aukast, sem gæti þá þýtt að kvika sé að safnast fyrir.

Þessi rannsókn hefur verið birt í Ilyinskaya et al., (2018).

Abstract

Volcanoes are a key natural source of carbon dioxide (CO_2) but global estimates of volcanic CO_2 flux are predominantly based on measurements from a fraction of world's actively degassing volcanoes.

We combine high-precision airborne measurements from 2016 and 2017 with atmospheric dispersion modelling to quantify CO_2 emissions from Katla, a major subglacial volcanic caldera in Iceland that last erupted 100 years ago but has been undergoing significant unrest in recent decades. Katla's sustained CO_2 flux, 12—24 kt/d, is up to an order of magnitude greater than previous estimates of total CO_2 release from Iceland's natural sources. Katla is one of the top three volcanic sources of CO_2 on the planet, contributing up to 4% of global emissions from non-erupting volcanoes. The large amount of CO_2 released by Katla suggests a magmatic source but further measurements are required to understand if this is Katla's steady-state of the if the gas flux is changing.

Further measurements on subglacial volcanoes world-wide are urgently required to establish if Katla is exceptional, or if there is a significant previously unrecognized contribution to global CO_2 emissions from natural sources.

This study has been published in Ilyinskaya et al., 2018.

Inngangur

Eldfjöll losa frá sér ýmsar gastegundir, bæði í eldgosum og á milli þeirra. Algengustu gastegundirnar eru vatnsgufa (H_2O), koltvísýringur (CO_2), brennisteinn sem getur verið í formi brennisteinsoxíðs (SO_2) og/eða brennisteinsvetnis (H_2S), klór (HCl) og flúor (HF). Hlutföll og heildarmagn gastegundanna eru háð kvikusamsetningu og virkni eldsfjallsins, t.d. á hvaða dýpi kvikan er, magn hennar og hvort hún sé að færast nær yfirborði. Mælingar á eldfjallagasi geta því gefið mikilvægar vísbendingar um virknisástand eldfjalla og eru notaðar víða um heim sem hluti af vöktunarkerfum. Koltvísýringur er ein af þeim gastegundum sem geta aukist þegar kvika byrjar að safnast undir eldfjöllum. Redoubt eldfjallið á Alaska (Werner et al., 2012) og Kīlauea á Havaí (Poland et al., 2012) eru tvö dæmi þar sem útstreymi á CO_2 jókst nokkrum mánuðum (Redoubt) og árum (Kīlauea) fyrir eldgos.

Gasmælingar eru tiltölulega ný viðbót í vöktun íslenskra eldstöðva. Heildarmagn gasútstreymis hefur verið mælt eða áætlað í aðeins örfáum kerfum (Grímsvötn, Hekla, Reykjanes, Hengill og Krafla - Tafla 1).

Gasmælingar við Kötlu hafa aðallega verið gerðar í jökulhlaupum og sýnt aukið flæði af koltvísýringi og brennisteinsvetni (gögn Veðurstofu Íslands). Hér lýsum við fyrstu mælingum á heildarflæði gass frá Kötlu sem voru gerðar í október 2016 og október 2017. Mælingarnar voru gerðar með flugvél til að kanna hvort

þessi aðferð henti fyrir gasvöktun á íslenskum eldstöðvum, en aðferðin er notuð víðar um heim, sjá t.d. Delgado, et al., (1998); Doukas and McGee, (2007); Gerlach et al., (1998); Werner et al., (2012, 2008).

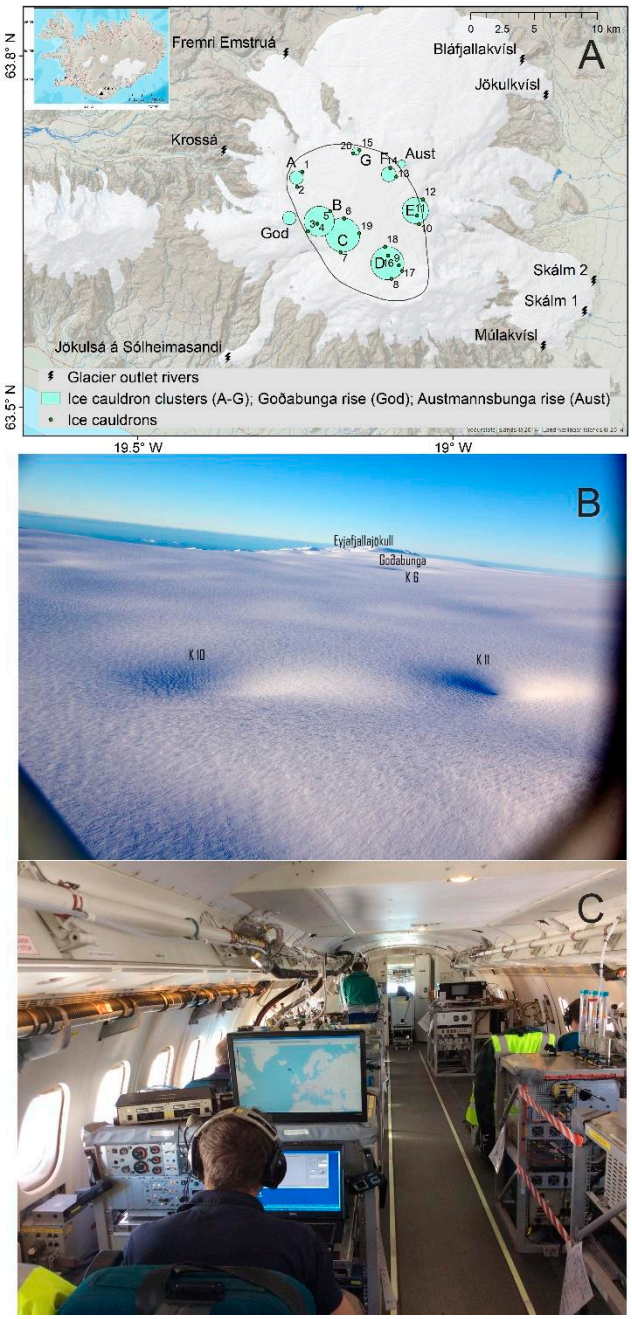
Aðferðafræði

Mælingarnar voru gerðar með sérútbúinni rannsóknarflugvél (BAe-146) frá Facility for Airborne Atmospheric Measurements í Bretlandi (Mynd 1). Upplýsingarnar um mælibúnað um borð í vélinni má finna á www.faam.ac.uk. Flugleiðirnar í kringum Kötlu (Mynd 2) voru valdar með tilliti til skýjahulu og flugöryggis; ekki var flogið yfir fjalllendi þar sem var lágskýjað. Aðstæðurnar við Kötlu voru erfiðari fyrir flugmælingar en á öðrum stöðum þar sem þær hafa verið gerðar, því það er ekki vitað hvar nákvæmlega gasið streymir úr Kötlu sem er hulin mjög stórum jökli (600 km^2). Við þurftum því að beita líkanreikningi til að ákvarða hvaðan gasið streymdi.

Tvö reiknilíkön, loftferlalíkanið HYSPLIT (Stein et al., 2015), og veðurlíkanið Weather Research and Forecasting model (WRF) (Skamarock et al., 2008), voru notuð til að ákvarða hvort gasið sem við mældum í fluginu kæmi frá Kötlu eða einhverri annarri uppsprettu. HYSPLIT reiknaði slóð loftflæðisins á svæðinu síðustu 12 tímum fyrir mælingu til að ákvarða hvaðan gasið hafði komið. WRF notaði öll íslensk eldstöðvarkerfi, 32 talsins, sem mögulegar uppstrettur til að sjá hvaða eldstöðvakerfi passaði best við mælingarnar. Bæði líkönin sýndu að Katla væri uppspretta gassins sem við mældum.

Þá notuðum við WRF líkanið til að ákvarða mögulega uppsprettusvæði innan Kötluöskjunnar (Mynd 1). Við gáfum okkur að mögulegar uppsprettur gætu verið árnar sem streyma undan Mýrdalsjökli, 8 talsins; sigkatlarnir í jöklinum sem eru alls 20 en við hópuðum saman í 7 þyrpingar (A-G); og loks Goðabunga; sjá mynd 1. Líkanið reiknaði hvernig gasið myndi dreifast ef það losnaði úr hverri af þessum 16 uppsprettum. Niðurstöður líkanreikninganna voru bornar saman við mælingarnar til að sjá hvaða uppsprettur væru líklegastar.

Magn gassins var reiknað með þrem aðferðum til að gefa sem besta vissu í þessum erfiðu mæliaðstæðum. Við bendum á Ilyinskaya et al. 2018 fyrir nánari upplýsingar um reikningsaðferðirnar á gasflæðinu.



Mynd 1. (A) Kort af Mýrdalsjökli sem sýnir staðsetningu Kötluöskjunnar, árnar sem renna undan jöklinum (8 talsins), Goðabungu (God), Austmannsbungu (Aust), og sigkatlana (20 talsins). Sigkatlarnir voru hópaðir í 7 þyrpingar (A—G) fyrir líkanreikninga af dreifingu gassins. (B) Ljósmynd sem sýnir hvernig umhorfs var á Mýrdalsjökli á tíma gasmælinganna. Sigkatlar 10, 11 og 6, Goðabunga og Eyjafjallajökull sjást vel (ljósmynd Reynir Ragnarsson). (C) Innaborðs í FAAM flugvélinni sem er sérútbúin til rannsókna á lofthjúp jarðar (ljósmynd Evgenia Ilyinskaya).

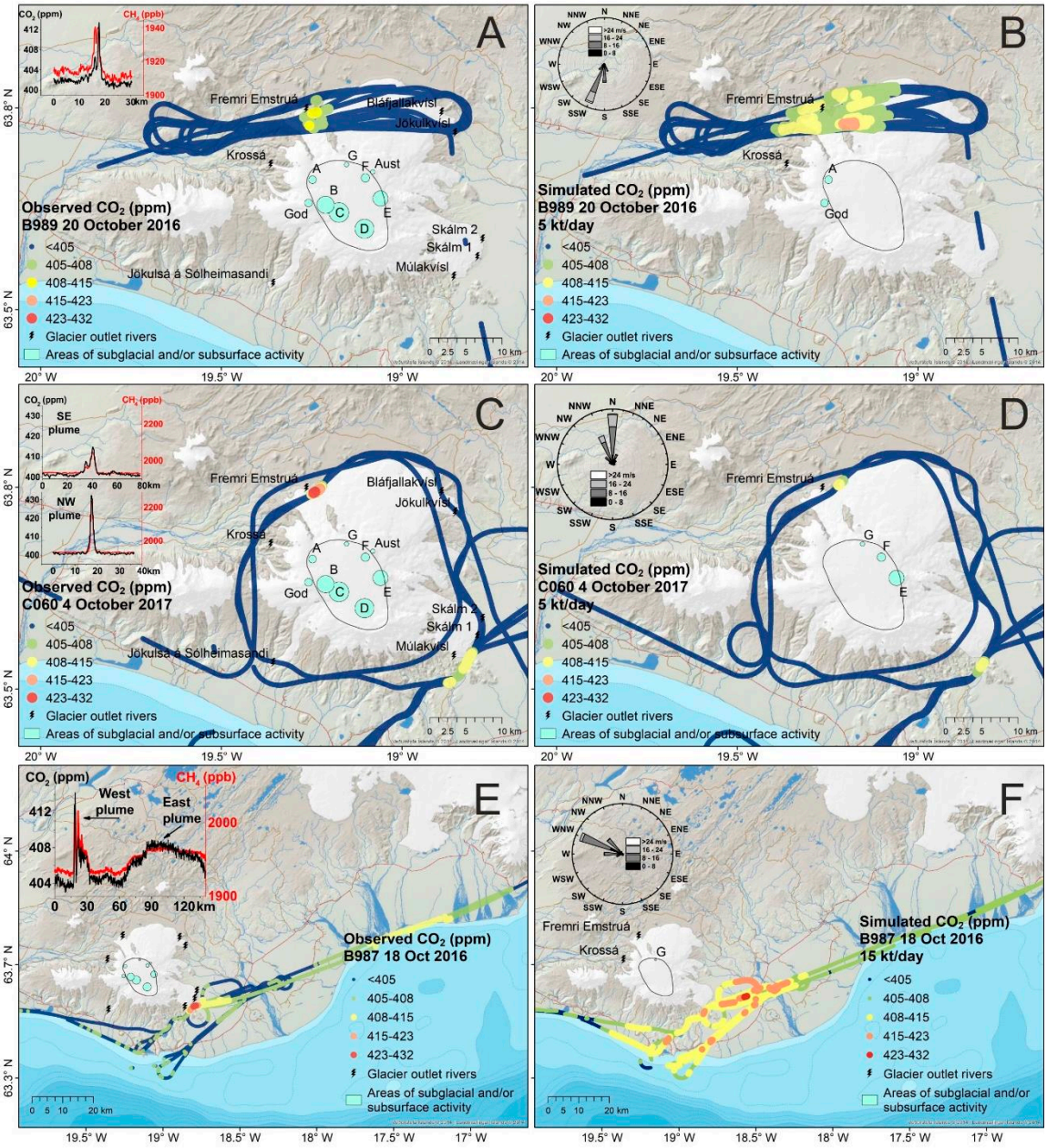
Hár styrkur koltvísýrings og metans og uppspretta þeirra

Bakgrunnsstyrkur koltvísýrings var um 400 ppm, og hærri gildi mældust í öllum mæliflugunum nálægt Kötlu: 18. október 2016 (flugnúmer B987), 20. október 2016 (flugnúmer B989) og 4. október 2017 (flugnúmer

C060). Styrkur CO_2 mældist allt að 432 ppm í næsta nágrenni við Mýrdalsjökul (Myndir 2A, 2C og 2E), og 409 ppm yfir Skeiðarársandi, u.þ.b. 80 km austan við Mýrdalsjökul (Mynd 2E). Það var talið útilokað að þessi aukni styrkur koltvísýrings gæti verið af mannavöldum á þessum svæðum. Lykt af brennisteinsvetni (H_2S) fannst í flugvélinni í nokkur skipti, norðan og sunnan Mýrdalsjökuls en vélin var ekki útbúin tækjum til að mæla það.

Töluvert mældist af metani (CH_4), með CO_2/CH_4 hlutfall um 200 (Mynd 2). Þetta er venjulegt hlutfall í gasi sem hefur verið í snertingu við jarðhitakerfi, og er sambærilegt við mælingar frá öðrum eldstöðvum á Íslandi sem eru undir jöklum (Kverkfjöll: 200, Grímsvötn, 300—350; gögn frá Veðurstofu Íslands).

Brennisteinsoxíð (SO_2) var fyrir neðan það gildi sem mælitækin geta numið (1 sekúndu meðalgildi undir 1.5 ppb). Þetta kom ekki á óvart þar sem SO_2 losnar aðallega þegar kvika er farin að streyma án fyrirstöðu upp að yfirborði, eins og gerist í eldgosum.



Mynd 2. Gasstyrkur koltvísýrings (CO_2) samkvæmt mælingum ("observed„) og líkanreikningi ("simulated„) 20. október 2016 (A og B); 4. október 2017 (C og D) og 18. október 2016 (E og F). Myndirnar sýna einnig styrk koltvísýrings og metans sem tímaröð, og vindstyrk og vindátt í hverju flugi sem vindrós.

Eldstöð	Dagsetning	CO_2 flæði (kt/d)
Katla	18. október 2016	15—20
	20. október 2016	12—15
	04. október 2017	11—13
Grímsvötn (Ágústsdóttir and Brantley, 1994)	1954—1991	0.53
Eyjafjallajökull (Gíslason, 2000)	2000	0.007—0.070
Hekla (Gislason et al., 1992)	1988—1991	0.19
Hekla (Ilyinskaya et al., 2015)	2012—2013	0.044
Reykjanes (Fridriksson et al., 2010, 2006)	2004—2009	0.012—0.019
Hengill (Hernández et al., 2012)	2006	0.45
Krafla (Ármannsson et al., 2007)	2004—2006	0.23

Tafla 1: Losun koltvísýrings (CO_2,kílótonn/dag) frá íslenskum eldstöðvum þar sem mælingar hafa verið gerðar.

Hér lýsum við niðurstöðum úr hverju mæliflugi fyrir sig, fyrst 20. október 2016 (B989), svo 4. október 2017 (C060) og loks 18. október 2016 (B987). Gasdreifingin 18. október var mun flóknari en hina tvo dagana.

Þann 20. október 2016 (B989) fannst vel afmarkaður CO_2- og CH_4- ríkur gasmökkur (≤413 ppm CO_2) nálægt Fremri-Emstruá norðanvestan við Mýrdalsjökul (Mynd 2A), í 840—1200 metrum yfir sjávarmáli, eða um 300—700 metrum yfir jörðu. Líkanreikningar sýndu að uppsprettusvæðin sem passa við mælingarnar (Mynd 2B) eru Fremri-Emstruá, Krossá, sigkatlaþyrping A, og Goðabunga. Öll þessi mögulegu uppsprettusvæði eru í vestari hluta Mýrdalsjökuls.

Þann 4. október 2017 (C060) fundust tveir CO_2- og CH_4- ríkir gasmekkir sem voru vel aðskildir hvor frá öðrum, norðvestan og suðaustan við Mýrdalsjökul (Mynd 2C). Norðvesturmökkurinn (≤432 ppm CO_2) var á mjög svipuðu svæði og í svipaðri hæð og árið á undan í flugi B989 og líkanreikningur sýndi að gasið gæti verið að streyma frá Fremri-Emstruá. Suðaustur-mökkurinn innihélt ≤415 ppm af CO_2, og var 400—650 metrum yfir sjávarmáli. Líkanreikningar sýndu að suðastur-mökkurinn gæti verið að koma frá sigkatlaþyrpingum E, F og G sem eru við norður- og austurbrún Kötluöskjunnar. Þyrping E inniheldur katla 10 og 11 sem eru þeir virkustu (Guðmundsson et al., 2007). Austmannsbunga er einnig á þessu svæði, en nálægt henni eru oft mældir jarðskjálftar og aflögun (gögn Veðurstofu Íslands).

Þann 18. október 2016 fannst aukinn CO_2-og CH_4-styrkur á tveimur svæðum (Mynd 2E): annarsvegar vel afmarkaður mökkur suðaustan við Mýrdalsjökul (≤432 ppm CO_2 í 100—600 m yfir sjávarmáli); og hins vegar dreifður mökkur yfir Skeiðarársandi u.þ.b. 80 km austur af Mýrdalsjökli (≤409 ppm CO_2, 200—500 m yfir sjávarmáli). Líkanreikningar sýndu að báðir mekkirnir gætu verið að koma frá Kötlu, með Fremri-Emstruá, Krossá og sigkatlaþyrpingu G sem möguleg uppsprettusvæði. Þess þarf að geta að óvissan í líkanreikningnunum fyrir þennan gasmökk er töluverð og því er ekki útilokað að þetta gas gæti verið úr annarri eldstöð, t.d. innan Vatnajökuls. Líkanreikningar sýndu aðeins að Katla er ein möguleg uppspretta gassins. Við flugum einnig yfir Vatnajökul bæði 2016 og 2017 en fundum enginn merki um aukið gas, sem styrkir þá kenningu að CO_2 og CH_4 sem mældist yfir Skeiðarársandi sé frá Kötlu.

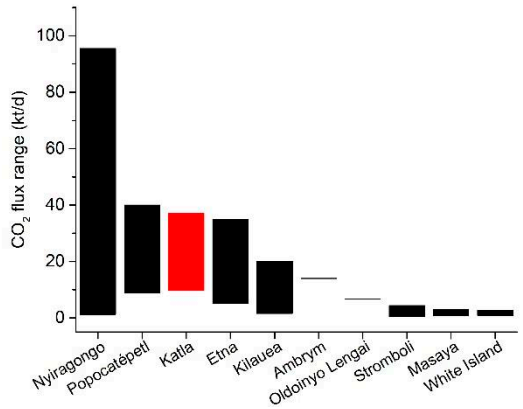
Gasmekkirnir sem við mældum nálægt jöklinum í öllum þrem flugum voru vel afmarkaðir sem þýðir það að gasuppsprettan í Kötlu sé afmörkuð frekar en dreifð. Við höfum sýnt með líkanreikningum hvar innan Kötluöskjunnar þessi gassvæði gætu verið en það þarf fleiri mælingar, annaðhvort úr lofti og/eða á jörðu til að ákvarða staðsetningar þeirra nánar.

Magn af koltvísýringi sem Katla losar

Heildarlosun CO_2 frá Kötlu var reiknuð sem 12—20 kílótonn á dag frá mælingum árið 2016 og 13—24 kílótonn á dag árið 2017 (Tafla 1). Heildarflæði CO_2 þessi tvö ár var því nokkuð stöðugt og mjög hátt miðað við aðrar eldstöðvar á Íslandi og annarsstaðar í

heiminum (Tafla 1). Heildarflæði CO_2 frá öllum eldstöðvum á Íslandi var áður áætlað sem aðeins 2,7—5,8 kílótonn á dag (samantekt í Ármannsson et al., 2005) en niðurstöðurnar frá Kötlu sýna að þetta gildi þarf að endurskoða. Gasflæðið frá Kötlu er einnig stórkostlegt þegar hún er borin saman við eldstöðvar annarsstaðar í heiminum, en hún er í u.þ.b. 3 sæti á heimsvísu (Mynd 3).

Þetta mikla magn af CO_2 sem mældist í Kötlu er talið vera merki um að það sé kvika að afgasast undir eldstöðinni, því það er ekki þekkt að jarðhitakerfi geti losað frá sér svona mikið magn af CO_2. Við getum reiknað hversu mikið magn af kviku þarf að afgasast til að viðhalda þessu gasflæði. Ef við gefum okkur að 'fersk' kvika í Kötlukerfinu (kvika sem er ekki byrjuð að afgasast) inniheldur um 1%[1] af CO_2 þá þarf 0.2 km^3 af kviku að afgasast á hverju ári. Við vitum ekki ennþá á hvaða dýpi þessa kvika er að finna því CO_2 getur byrjað að afgasast á allt að 40 km dýpi.



Mynd 3. Flæði CO_2 frá Kötlu borið saman við topp tíu eldstöðvar í heimi. Heimildir: Aiuppa A. et al., 2008; Aiuppa et al., 2011; Allard et al., 2016, 1994, 1991; Arellano et al., 2017; Brantley and Koepenick, 1995; Burton et al., 2000; Delgado, H. et al., 1998; Gerlach et al., 2002, 1997; Greenland et al., 1985; Le Guern, 1987; Martin et al., 2010; Rose et al., 1986; Wardell et al., 2008

Getur gasið sagt fyrir um Kötlugos?

Aukið koltvísýringsflæði getur verið orsakað af kviku sem er að safnast fyrir undir eldstöðinni og þannig verið undanfari eldgosa. Þetta er þekkt frá Redoubt á Alaska (Werner et al., 2012) og Kīlauea á Havaí (Poland et al., 2012), eins og minnst var á í inngangínum. Það er þó ekki vitað ennþá hvort flæði CO_2 muni aukast fyrir Kötlugos. Okkar niðurstöður geta ekki svarað því hvort kvika sé að safnast fyrir undir Kötlu eða hvort þetta sé stöðugt ástand fyrir þessa eldstöð því við höfum einungis mælingar frá tveim árum, 2016 og 2017, og gasflæðið var svipað á báðum árum. Til þess að fá svar við þessarri spurningu þarf að gera mælingar í lengri tíma, til dæmis árlega, sem myndi gera okkur kleift að sjá hvort breytingar verða á gasflæðinu.

Samantekt

Uppgötvun á miklu CO_2 flæði frá Kötlu 2016 og 2017 setur hana hátt yfir aðrar elstöðvar á Íslandi, og í u.þ.b. 3.sæti á heimsvísu.

Gasið mældist á afmörkuðum svæðum, norðvestan og suðaustan við Mýrdalsjökul. Einnig mældist gas yfir Skeiðarársandi (80 km austur af Mýrdasjökli) og við teljum að það hafi einnig komið frá Kötlu. Líkanreikningar sýndu að gasuppstreymið gæti verið frá vesturhluta Mýrdalsjökuls (t.d. við Fremri-Emstruá) og við austurbrún Kötluöskjunnar (t.d. við sigkatla 10 og 11 og Austmannsbungu). Nákvæmar staðsetningar á uppsprettu gassins innan Kötlu eru þó enn óþekktar þar sem það er óvissa í líkanreikningum og það þarf fleiri mælingar úr lofti og/eða á jöklinum til að finna þær. Það getur einnig verið að uppsprettusvæðin stjórnist af þykkt jökulsins og færist til með tíma.

Við teljum að þetta mikla flæði CO_2 sé merki um að kvika sé að afgasast undir Kötlu, en það er ekki hægt að svara því ennþá hvort þetta sé stöðugt ástand fyrir þessa eldstöð eða hvort gasflæðið sé að breytast. Reglulegar mælingar á flæði CO_2 og annarra gastegunda þarf til að geta svarað þessarri spurningu. Mælingar úr lofti eru góð aðferð til þess að meta gasflæði frá eldstöðvum eins og Kötlu sem eru huldar jöklum og erfiðar yfirferðar.

Heimildir

Ágústsdóttir, A.M., Brantley, S.L., 1994. Volatile fluxes integrated over four decades at Grímsvötn volcano, Iceland. J. Geophys. Res. Solid Earth 99, 9505–9522. https://doi.org/10.1029/93JB03597

Aiuppa, A., Burton, M., Allard, P., Caltabiano, T., Giudice, G., Gurrieri, S., Liuzzo, M., Salerno, G., 2011. First observational evidence for the CO_2-driven origin of Stromboli's major explosions. Solid Earth 2, 135–142. https://doi.org/10.5194/se-2-135-2011

Aiuppa A., Giudice G., Gurrieri S., Liuzzo M., Burton M., Caltabiano T., McGonigle A. J. S., Salerno G., Shinohara H., Valenza M., 2008. Total volatile flux from Mount Etna. Geophys. Res. Lett. 35. https://doi.org/10.1029/2008GL035871

Allard, P., Aiuppa, A., Bani, P., Métrich, N., Bertagnini, A., Gauthier, P.-J., Shinohara, H., Sawyer, G., Parello, F., Bagnato, E., Pelletier, B., Garaebiti, E.,

[1] Þetta magn CO_2 var mælt í kvikunni á Fimmvörðuhálsi 2010 en engar mælingar eru til fyrir Kötlu; Burton et al., in review.

2016. Prodigious emission rates and magma degassing budget of major, trace and radioactive volatile species from Ambrym basaltic volcano, Vanuatu island Arc. J. Volcanol. Geotherm. Res., Understanding volcanoes in the Vanuatu arc 322, 119–143. https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.10.004

Allard, P., Carbonnelle, J., Dajlevic, D., Bronec, J.L., Morel, P., Robe, M.C., Maurenas, J.M., Faivre-Pierret, R., Martin, D., Sabroux, J.C., Zettwoog, P., 1991. Eruptive and diffuse emissions of CO2 from Mount Etna. Nature 351, 387–391. https://doi.org/10.1038/351387a0

Allard, P., Carbonnelle, J., Métrich, N., Loyer, H., Zettwoog, P., 1994. Sulphur output and magma degassing budget of Stromboli volcano. Nature 368, 326–330. https://doi.org/10.1038/368326a0

Arellano, S., Yalire, M., Galle, B., Bobrowski, N., Dingwell, A., Johansson, M., Norman, P., 2017. Long-term monitoring of SO2 quiescent degassing from Nyiragongo's lava lake. J. Afr. Earth Sci. 134, 866–873. https://doi.org/10.1016/j.jafrearsci.2016.07.002

Ármannsson, H., Fridriksson, T., Kristjánsson, B.R., 2005. CO2 emissions from geothermal power plants and natural geothermal activity in Iceland. Geothermics 34, 286–296. https://doi.org/10.1016/j.geothermics.2004.11.005

Ármannsson, H., Fridriksson, T., Wiese, F., Hernandez, P., Perez, N., 2007. CO2 budget of the Krafla geothermal system, NE-Iceland, in: Proceedings of the 12th International Symposium on Water- Rock Interaction 2007. Taylor & Francis Group, London, pp. 189–192.

Brantley, S.L., Koepenick, K.W., 1995. Measured carbon dioxide emissions from Oldoinyo Lengai and the skewed distribution of passive volcanic fluxes. Geology 23, 933–936. https://doi.org/10.1130/0091-7613(1995)023<0933:MCDEFO>2.3.CO;2

Burton, M.R., Oppenheimer, C., Horrocks, L., Francis, P., 2000. Remote sensing of CO2 and H2O emission rates from Masaya volcano, Nicaragua. Geology 28, 915–918. https://doi.org/10.1130/0091-7613(2000)28<915:RSOCAH>2.0.CO;2

Delgado, H., Piedad-Sanchez, N., Galvan, L., Julio, T., Alvarez, M., Cardenas, L., 1998. CO2 flux measurements at Popocatepetl volcano: II Magnitude of emissions and significance. EOS TransSupplement 79, F926.

Doukas, M.P., McGee, K.A., 2007. A Compilation of Gas Emission-Rate Data from Volcanoes of Cook Inlet (Spurr, Crater Peak, Redoubt, Iliamna, and Augustine) and Alaska Peninsula (Douglas, Fourpeaked, Griggs, Mageik, Martin, Peulik, Ukinrek Maars, and Veniaminof), Alaska, from 1995-2006 (USGS Numbered Series No. 2007–1400), Open-File Report. Geological Survey (U.S.).

Fridriksson, T., Kristjansson, B.R., Armannsson, H., Margretardottir, E., Olafsdottir, S., Chiodini, G., 2006. CO2 emissions and heat flow through soil, fumaroles, and steam heated mud pools at the Reykjanes geothermal area, SW Iceland. Appl. Geochem. 21, 1551–1569. https://doi.org/doi: DOI: 10.1016/j.apgeochem.2006.04.006

Fridriksson, T., Oladottir, A.A., Jonsson, P., Eyjolfsdottir, E.I., 2010. The Response of the Reykjanes Geothermal System to 100 MWe Power Production: Fluid Chemistry and Surface Activity, in: Proceedings World Geothermal Congress. Bali, Indonesia.

Gerlach, T., McGee, K., Elias, T., Sutton, A.J., Doukas, M., 2002. Carbon dioxide emission rate of Kīlauea Volcano: Implications for primary magma and the summit reservoir. J Geophys Res 107, 2189.

Gerlach, T.M., Doukas, M., McGee, K., Kessler, R., 1998. Three-year decline of magmatic CO2 emissions from soils of a Mammoth Mountain Tree Kill: Horseshoe Lake, CA, 1995–1997. Geophys. Res. Lett. 25, 1947–1950. https://doi.org/10.1029/98GL01298

Gerlach, T.M., McGee, K.A., Elias, T., Sutton, A.J., Doukas, M.P., 1997. Application of the LI-COR CO2 analyzer to volcanic plumes: A case study, volcán Popocatépetl, Mexico, June 7 and 10, 1995. J. Geophys. Res. Solid Earth 102, 8005–8019. https://doi.org/10.1029/96JB03887

Gíslason, S.., 2000. Carbon dioxide from Eyjafjallajökull and Chemical Composition of SpringWater and River Water in the Eyjafjalljökull–Mýrdalsjökull region (No. RH-06-2000). Science Institute, University of Iceland.

Gislason, S.R., Andrésdóttir, A., Sveinbjörnsdóttir, Á., Oskarsson, N., Thordarson, T., Torssander, P., Novâk, M., Zâk, K., 1992. Local effects of volcanoes on the hydrosphere: example from Hekla, southern Iceland. Water-Rock Interact. Rotterdam Balkema 1, 477–481.

Greenland, L.P., Rose, W.I., Stokes, J.B., 1985. An estimate of gas emissions and magmatic gas content from Kilauea volcano. Geochim. Cosmochim. Acta 49, 125–129. https://doi.org/10.1016/0016-7037(85)90196-6

Guðmundsson, M., Högnadóttir, Þ., Kristinsson, A., Guðbjörnsson, S., 2007. Geothermal activity in the subglacial Katla caldera, Iceland, 1999–2005, studied with radar altimetry. Ann. Glaciol. 45, 66–72. https://doi.org/10.3189/172756407782282444

Hernández, P., Pérez, N., Fridriksson, T., Egbert, J., Ilyinskaya, E., Thárhallsson, A., Ívarsson, G., Gíslason, G., Gunnarsson, I., Jónsson, B., Padrón, E., Melián, G., Mori, T., Notsu, K., 2012. Diffuse volcanic degassing and thermal energy release from Hengill

volcanic system, Iceland. Bull. Volcanol. 74, 2435–2448. https://doi.org/10.1007/s00445-012-0673-2

Ilyinskaya, E., Aiuppa, A., Bergsson, B., Di Napoli, R., Fridriksson, T., Óladóttir, A.A., Óskarsson, F., Grassa, F., Pfeffer, M., Lechner, K., Yeo, R., Giudice, G., 2015. Degassing regime of Hekla volcano 2012–2013. Geochim. Cosmochim. Acta 159, 80–99. https://doi.org/10.1016/j.gca.2015.01.013

Ilyinskaya, E., Mobbs, S., Burton, R., Burton, M., Pardini, F., Pfeffer, M.A., Purvis, R., Lee, J., Bauguitte, S., Brooks, B., Colfescu, I., Petersen, G.N., Wellpott, A., Bergsson, B., 2018, Globally significant CO2 emissions from Katla, a subglacial volcano in Iceland. Geophys. Res. Lett. https://doi.org/10.1029/2018GL079096

Le Guern, F., 1987. Mechanism of energy transfer in the lava lake of Niragongo (Zaire), 1959–1977. J. Volcanol. Geotherm. Res. 31, 17–31. https://doi.org/10.1016/0377-0273(87)90003-5

Martin, R.S., Sawyer, G.M., Spampinato, L., Salerno, G.G., Ramirez, C., Ilyinskaya, E., Witt, M.L.I., Mather, T.A., Watson, I.M., Phillips, J.C., Oppenheimer, C., 2010. A total volatile inventory for Masaya Volcano, Nicaragua. J Geophys Res 115, B09215.

Poland, M.P., Miklius, A., Sutton, A.J., Thornber, C.R., 2012. A mantle-driven surge in magma supply to Kīlauea Volcano during 2003–2007. Nat. Geosci. 5, 295–300. https://doi.org/10.1038/ngeo1426

Rose, W.I., Chuan, R.L., Giggenbach, W.F., Kyle, P.R., Symonds, R.B., 1986. Rates of sulfur dioxide and particle emissions from White Island volcano, New Zealand, and an estimate of the total flux of major gaseous species. Bull. Volcanol. 48, 181–188. https://doi.org/10.1007/BF01087672

Skamarock, W., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D., Duda, M.G., 2008. A description of the advanced research WRF version 3 (NCAR Technical Note No. NCAR/TN-475+STR). National Center for Atmospheric Research, Boulder, CO.

Stein, A.F., Draxler, R.R., Rolph, G.D., Stunder, B.J.B., Cohen, M.D., Ngan, F., 2015. NOAA's HYSPLIT Atmospheric Transport and Dispersion Modeling System. Bull. Am. Meteorol. Soc. 96, 2059–2077. https://doi.org/10.1175/BAMS-D-14-00110.1

Wardell, L.J., Buseck, P.R., Counce, D., 2008. Volcanic emissions of metals and halogens from White Island (New Zealand) and Erebus volcano (Antarctica) determined with chemical traps. J. Volcanol. Geotherm. Res. 177, 734–742. https://doi.org/doi: 10.1016/j.jvolgeores.2007.07.007

Werner, C., Evans, W., Kelly, P., McGimsey, R., Pfeffer, M., Doukas, M., Neal, C., 2012. Deep magmatic degassing versus scrubbing: Elevated CO2 emissions and C/S in the lead-up to the 2009 eruption of Redoubt Volcano, Alaska. Geochem Geophys Geosyst 13, Q03015. https://doi.org/10.1029/2011GC003794

Werner, C., Hurst, T., Scott, B., Sherburn, S., Christenson, B.W., Britten, K., Cole-Baker, J., Mullan, B., 2008. Variability of passive gas emissions, seismicity, and deformation during crater lake growth at White Island Volcano, New Zealand, 2002–2006. J. Geophys. Res. Solid Earth 113. https://doi.org/10.1029/2007JB005094

Skyggnst í undirheima Mýrdalsjökuls með íssjá

Eyjólfur Magnússon, Finnur Pálsson, Tayo van Boeckel, Joaquín, M.C. Belart, Magnús T. Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir og Helgi Björnsson.

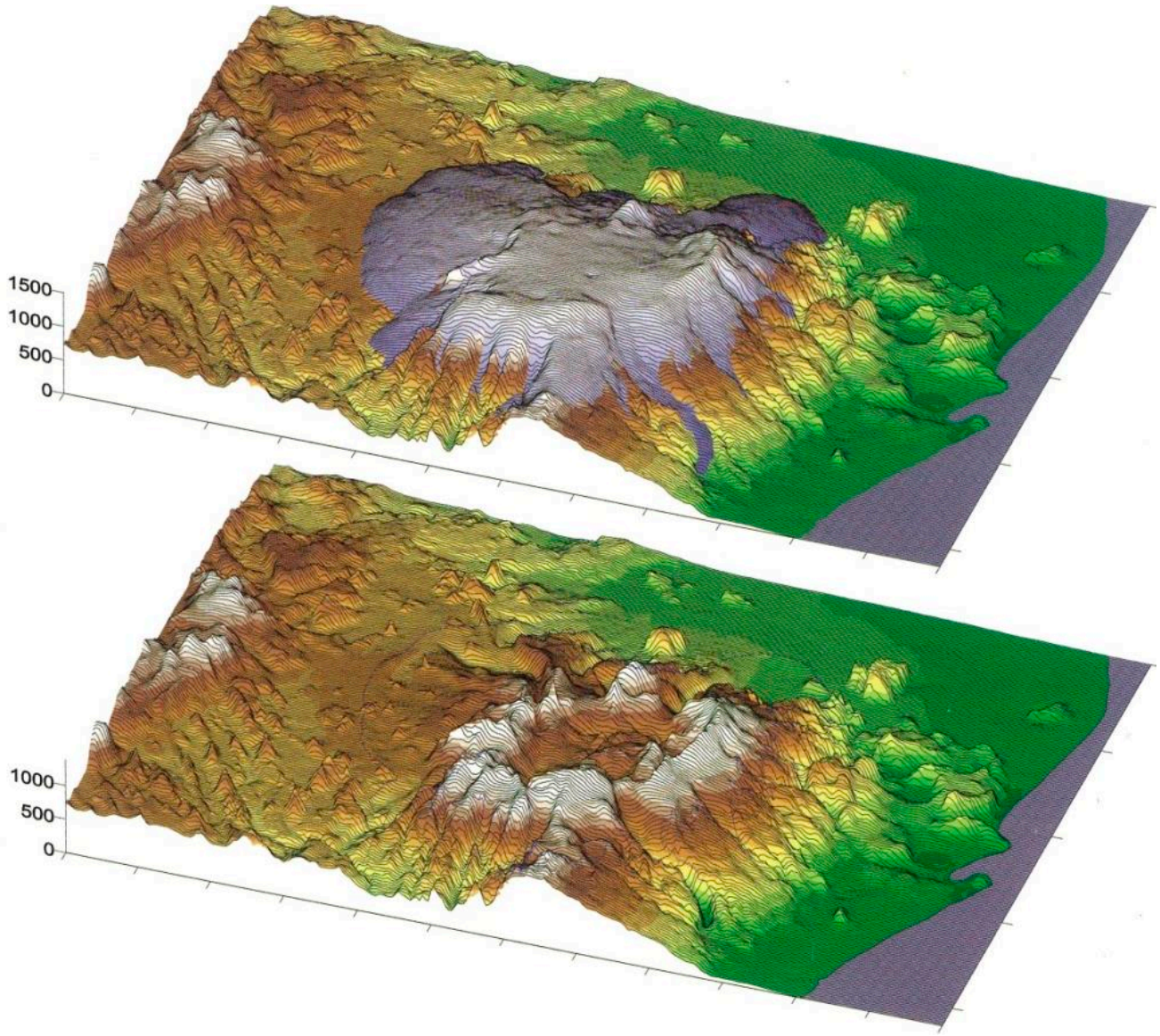
Jarðvísindastofnun Háskólans

Ágrip

Á síðasta aldarfjórðungi 20. aldar unnu íslenskir vísindamenn brautryðjendastarf í kortlagningu á botnlandslagi þíðjökla með lágtíðni ratsjá (íssjá) sem var hönnuð og smíðuð af starfsmönnum Raunvísindastofnunar Háskólans (Marteinn Sverrisson o.fl., 1980). Meðal þeirra jökla sem var kortlagður þá er Mýrdalsjökull. Hann var íssjármældur vorið 1991 (Helgi Björnsson o.fl. 2000) í tveggja vikna leiðangri 6-8 þátttakenda að jafnaði. Niðurstöður þessa leiðangurs hefur síðan verið grundvöllur þekkingar á því hvernig jökulhuldi hluti eldstöðvarinnar Kötla lítur út. Mælingarnar sýndu meðal annars u.þ.b. 100 km² öskju undir jöklinum með allt að 750 m þykkum ís auk verulegs landslags innan öskjunnar (Myndir 1 og 2a-b). Á síðustu árum hefur myndin af Kötlu skýrst enn frekar. Vorið 2016 var Kötluaskjan endurmæld að stærstum hluta með nýrri stafrænni íssjá og nú voru mælisnið víðasta hvar tvöfalt þéttari og enn þéttari yfir flestum sigkötlum Mýrdalsjökuls (Mynd 2c). Nýjungar í mælitækni gerðu það kleift að nú var þessi mæling unnin að mestu af tveimur mönnum á 5 dögum. Í erindinu verður sagt nánar frá því hvað nýjustu íssjármælingar sýna (Mynd 2c-e), t.a.m. í nágrenni umbrotasvæðis síðusta goss (Mynd 3). Einnig verður sagt því hvernig íssjá nýtist við skoða fleiri hluti enn jökulbotninn, þar með talið vatnssöfnun við jökulbotn undir sigkötlum og hvar askan frá 1918 gosinu er nú í ísnum (Mynd 4).

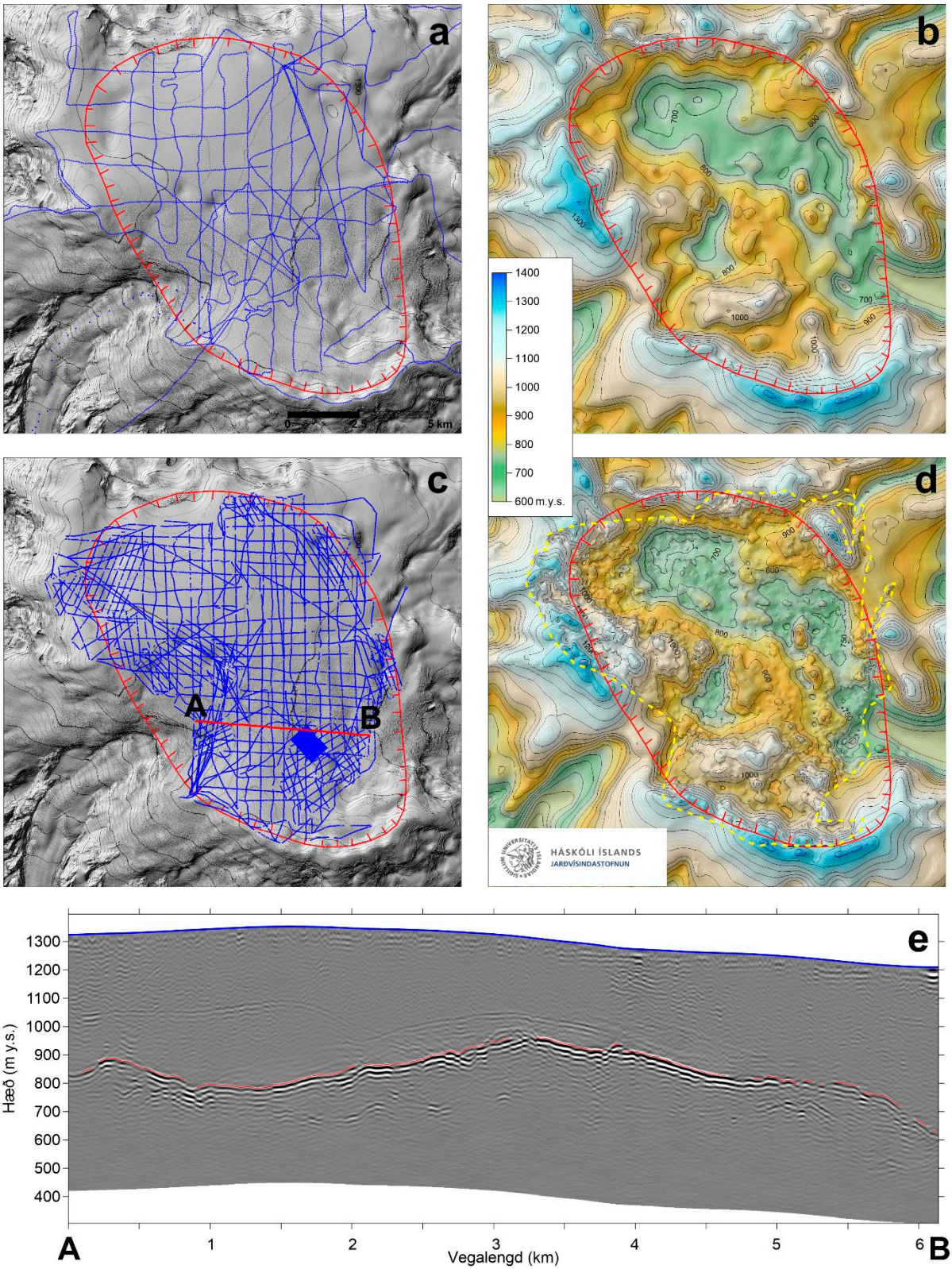
Abstract

In the last quarter of the 20th century, Icelandic scientists were pioneers in mapping the bedrock of temperate glaciers with low frequency radar, developed and built at the Science Institute, University of Iceland (Sverrisson et al., 1980). Among the glaciers mapped with this radar was Mýrdalsjökull, which was surveyed in the spring 1991 (Björnsson et al., 2000). The results of this survey has been the basis of our knowledge on how the ice covered part of the central volcano, Katla, looks like. This survey showed ~100 km² caldera underneath the glacier with up to 750 m thick ice and substantial bed topography witin it (Figs. 1 and 2a-b). In recent years more details of Katla have been revealed. In the spring of 2016 the caldera was resurveyed with a new (with todays advanced technology) radar system, acquiring more than twice denser network of survey profiles than in 1991 (Fig. 2c). In the presentation we will describe what the new dataset reveals (Fig. 2c-e) including the appearance of the eruption site in 1918 (Fig. 3). We will also discuss how ice penetrating radar can be applied to study other features than the bedrock topography, such as water accumulation beneath ice cauldrons and the current location of 1918 eruption tephra layer within the ice (Fig. 4).



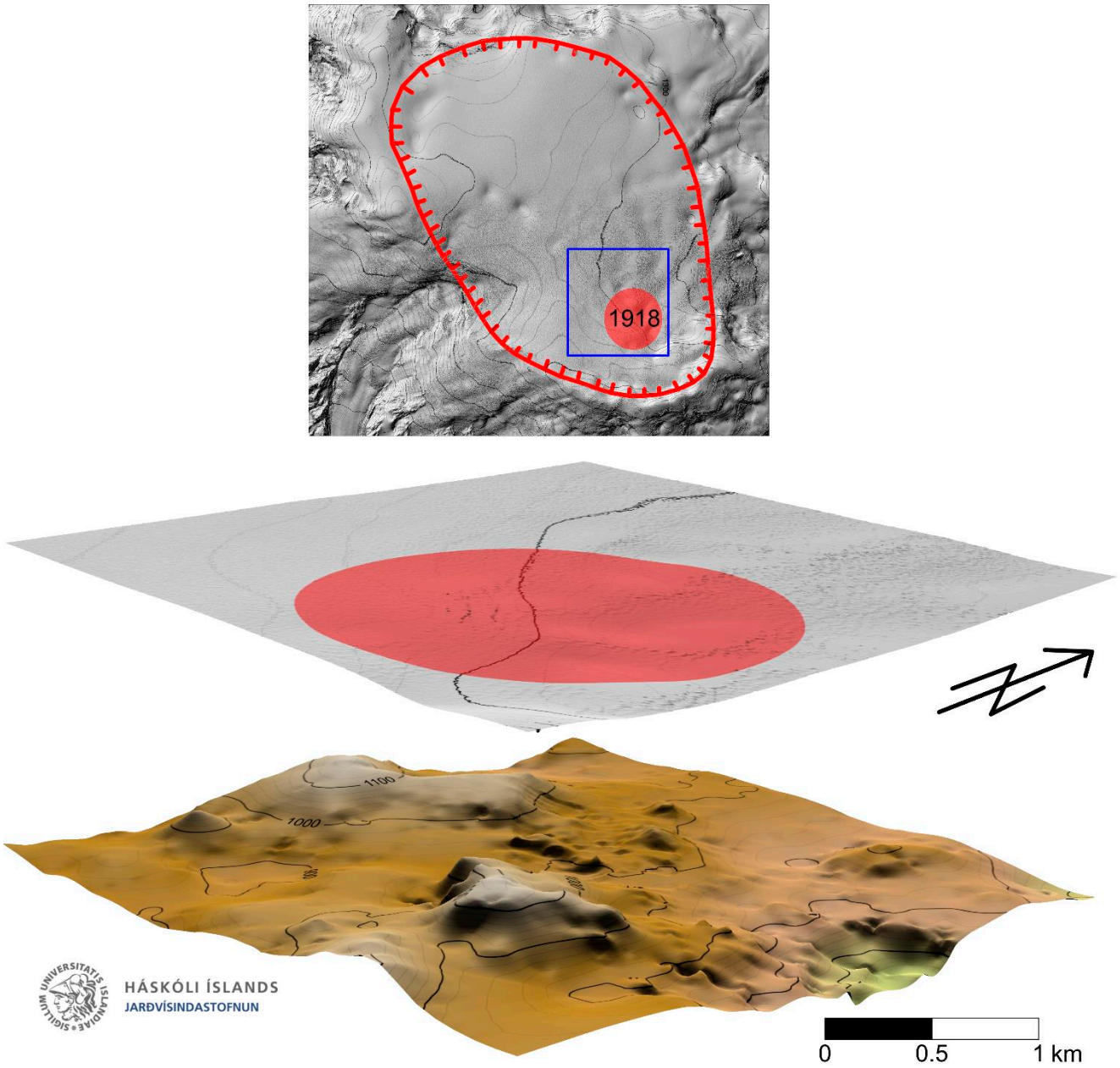
Mynd 1. Mýrdalsjökll og Katla með og án jökuls skv. íssjármælingum sem gerðar voru vorið 1991. Úr grein Helga Björnssonar og annara frá 2000.

Fig 1. The Mýrdalsjökull ice cap and Katla central volcano base don radio echo survey in 1991. From Helgi Björnsson et al. 2000.



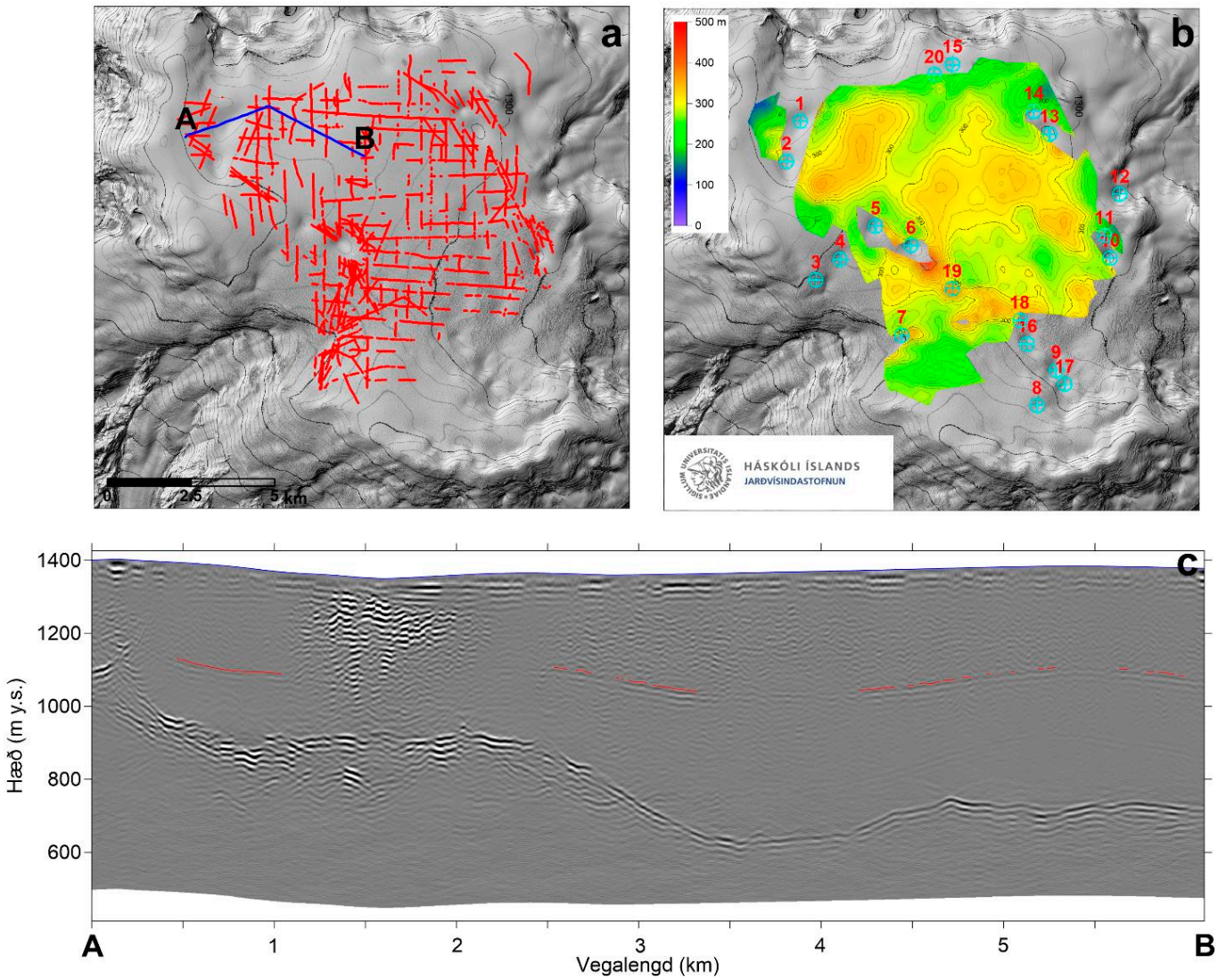
Mynd 2. **a**) Íssjármælisnið, að mestu mæld vorið 1991, sem botnkort Helga Björnssonar og annara (2000) var byggt á (**b**). Rauð hökuð lína sýnir útmörk Kötluöskjunnar. **c**) Íssjármælisnið, að mestu mæld vorið 2016, sem nýtt botnkort (**d**) er byggt á. Gul brota-lína sýnir samskeyti nýs korts þess gamla. **e**) Dæmi um íssjármælisnið frá A til B. Staðsetning snið er sýnd á **c** með rauðri línu. Rauð-ar línur á **e** sýna rakin botnendurköst. Yfirborðshæðarkort á **a** og **c** sýnir jökulyfirborð frá 2010 (Tómas Jóhannesson o.fl., 2013).

Fig 2. **a**) Location of radar profiles, mostly surveyed in 1991, on which the bedrock map (**b**) by Helgi Björnsson et al. (2000) was based. Red hatched line marks the outline of the Katla caldera. **c**) Location of radar profiles, mostly surveyed in 2016, used to construct a new bedrock map (**d**). The yellow dashed line markes the boundary of the new and older bedrock maps. **e**) An example of processed radio e profile from A to B (location shown in frame **c**). Traced bedrock reflections are shown with red lines. The glacier surface maps in **a** and **c** are from lidar survey in 2010 (Tómas Jóhannesson et al. 2013).



Mynd 3. Jökulbotn umhverfis umbrotasvæði 1918 eldgossins sýnd sem þrívíddarmynd án hæðarýkingar (neðra borð). Efra borð er jökulyfirborð frá 2010. Blár kassi á efri mynd sýnir útmörk þrívíddarmyndar. Hæðarlínur með 20 m millibili eru lagðar ofan á botn og yfirborð. Staðsetning umbrotasvæðis (Helgi Björnsson o.fl., 2000; Gísli Sveinsson, 1919) er sýnd með rauðum disk á efri mynd og efra borði neðri myndar.

Fig. 3. The glaceier bed in the vicinity of the 1918 eruption site shown in a perspective view (without elevation exaggeration). Ice surface from the 2010 Lidar survey. Blue rectangle on the left frame marks the area of the perspective image. Elveation contours with 20 m interval are shown on both bedrock and glacier surfaces. Location of the 1918 eruption site (Helgi Björnsson et al., 2000; Gísli Sveinsson, 1919) is indicated with a red disk on the ice surface map.



Mynd 4. **a**) Staðir þar sem endurköst frá 1918 öskulaginu hafa verið rakin í íssjármælingum frá 2016. **b**) Kort sem sýnir dýpi niður á 1918 öskulagið og staðsetningu þekktra katla. **c**) Dæmi um íssjársnið þar sem 1918 öskulagið er vel greinanlegt (merkt með rauðri línu). Staðsetning sniðsins frá A til B er sýnd með blárri línu á **a**.

Fig. 4. **a**) From the 2016 radar survey: Location of traced reflections from the 1918 tephra witin the glacier ice. **b**) Map that shows the depth from surface down to the 1918 tephra layer in 2016, and location of known ice cauldrons. **c**) An example processed radar profile where the 1918 tephra layer horizon is prominent (red line). The profile location (A-B) is shown in frame **a**.

Heimildir

Gísli Sveinsson. 1919. Körtlugosið 1918 og afleipingar þess. Reykjavík, Prentsmiðja Gutenberg, 61 bls.

Helgi Björnsson, Finnur Pálsson og Magnús Tumi Guðmundsson. 2000. Surface and bedrock topography of the Mýrdalsjökull ice cap, Iceland: The Katla caldera, eruption sites and routes of jökulhlaups. Jökull 49, 29-46.

Marteinn Sverrisson, Ævar Jóhannesson og Helgi Björnsson. 1980. A radio-echo equipment for depth sounding of temperate glaciers. Journal of Glaciology, 25(93), 477-486.

Tómas Jóhannesson, Helgi Björnsson, Eyjólfur Magnússon, Sverrir Guðmundsson, Finnur Pálsson, Oddur Sigurðsson, Thorsteinn Thorsteinsson og Eteienne Berthier. 2013. Ice-volume changes, bias-estimation of mass-balance measurements and changes in subglacial water bodies derived by LiDAR-mapping of the surface of Icelandic glaciers. Annals of Glaciology

Kötluráðstefna – 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918
Vík í Mýrdal, 12. október 2018

Kötlugos 2018 - hver yrðu áhrif á samgöngur, vegi og brýr?

Guðmundur Valur Guðmundsson

Vegagerðin

Ágrip

Í þessu erindi er gerð grein fyrir áhrif jökulhlaupa af völdum Kötlugosa á brýr og vegi á Mýrdalssandi. Fjallað er um aðferðafræði við ákvörðun hönnunaratburða með hliðsjón af endurkomutíma flóða. Nýleg jökulhlaup hafa ollið skemmdum og hruni nokkurra brúa á síðustu 20 árum með tilheyrandi lokunum vega og truflana á samgöngum. Jökulhlaup af völdum Kötlugoss sem falla til austurs á Mýrdalssand geta valdið tjóni á 7 brúm, þ.m.t. stórum brúm á Múlakvísl og Kúðafljóti. Að minnsta kosti 40 km af þjóðvegum eru í hættu á að skemmast vegna flóða.

Abstract

Volcanic eruptions can result in lava flows, ash fall or when an eruption is under the glacier, large glacial water outburst floods, or jökulhlaup, which can have catastrophic effects. Recent jökulhlaups in Iceland have resulted in the collapse of a few bridges and the closure of roads with disruptions to traffic.. 7 bridges are in the danger of collapse due to a large glacial outburst flood in Mýrdalssandur and at least 40 km of roads are likely to be damaged due to floods.

Áhrif jökulhlaupa á brýr og vegi

Helstu áhrif Kötlugoss á samgöngur eru vegna jökulhlaupa þar sem vegir rofna og brýr geta skemmst í kjölfar flóða.

Á síðustu 20 árum hafa nokkur jökulhlaup olli skemmdum á vegum og brúm. Í kjölfar goss í Grímsvötnum árið 1996 kom jökulhlaup í Skeiðará og var áætlað hámarksrennsli um 50.000 m^3/s og olli því að 440 m löng brú á Gígjukvísl hrundi ásamt því að hluti 880 m langrar Skeiðarárbrúar skemmdist.

Í kjölfar goss í Eyjafjallajökli kom lítið jökulhlaup í Markafljót án þess að Markarfljótsbrú skemmdist en rjúfa þurfti þjóðveginn.

Árið 2011 olli jarðhitavirkni litlu jökulhlaupi í Múlakvísl sem tók af brú á Múlakvísl, áður hafði brú á Múlakvísl tekið af í jökulhlaupi árið 1955.

Árið 2015 skemmdist brú á Eldvatn hjá Ásum í Skaftártungu í kjölfar á stærsta Skaftárhlaupi frá upphafi þar sem hámarksrennsli var metið sem tæplega 3000 m^3/s.

Áhrifasvæði

Jökulhlaup af völdum eldgoss í Kötlu geta haft áhrif bæði til vesturs og austurs. Áhrifasvæðunum má skipta í 5 hluta: Mýrdalssandur, Kúðafljót, Álftaver, Markarfljót og Sólheimasandur.

Hér verður beint athyglinni að flóðum til austurs og suðurs þar sem þar hafa flest hlaupin komið og endurkomutími þeirra mun styttri. Áætlað hefur verið að endurkomutími jökulhlaupa í farveg Markarfljóts sé um 500-800 ár. (Magnús T. Guðmundsson o.fl. 2005)

Endurkomutími og stærð flóða

Brýr eru mikilvægur hluti innviða þar sem lokun eða truflun á umferð getur haft mikilli röskun og fjárhagslegu tjóni vegna aukins kostnaðar. Ein af stærstu hönnunarákvörðun er að skilgreina hönnunaratburð, hvort sem það er jarðskjálfti, umferðarálag eða flutningsgeta vatns. Í tilfelli náttúruálags er það spurning hvort hægt sé að koma í veg fyrir hættuna eða þá að hanna mannvirkið fyrir tiltekinni áraun. Mögulega er hægt að færa mannvirkið á hættuminni stað eða þá verja það fyrir atburði af ákveðinni stærð. Í tilfellinu á Mýrdalssandi er einungis um eina leið að ræða og því er spurningin hvernig eigi að takast á við hættuna. Þá kemur til hversu löng þarf brúin að vera? Hversu öfluga varnargarða þarf að byggja? Hvenær verður verkefnið of kostnaðarsamt og þar með ekki byggt. Hægt er að beita líkindafræðilegum aðferðum til að meta hversu mikla áhættu er ásættanlegt að taka.

Hefðbundnar aðferðir við hönnun brúa gagnvart flóðum er að skoða söguleg gögn um rennsli og úrkomu, meta stærð vatnasviða og beita tölfræðilegum aðferðum til að meta hversu stórum flóðum megi búast við á 50 ára fresti eða 100 ára fresti.

Erfitt er að meta nákvæma stærð jökulhlaupa og því hefur verið sett fram flokkun um stærð þeirra (Magnús T.Guðmundsson og Guðrún Larsen, 2013. Þar er lítið hlaup í flokki 1 skilgreint með hámarksrennsli 1.000-3.000 m^3/s, töluvert hlaup í flokki 2 er skilgreint með hámarksrennsli 3.000-10.000 m^3/s, mikið hlaup í flokki 3 er skilgreint með hámarksrennsli 10.000-30.000 m^3/s, stórhlaup í flokki 4 með hámarksrennsli 30.000-100.000 m^3/s og stærri hlaup en 100.000 m^3/s eru skilgreind sem hamfarahlaup.

Í yfirliti Guðrúnar Larsen þar sem teknar eru saman samtímaheimildir og frásagnir og gerð grein fyrir umfangi, hlaupleiðum, tjóni og landbreytingum, (óútgefið 2018) kemur fram að í 8 eldogsum í Kötlu frá árinu 1612 hafi í öllum 8 tilvikum hlaupið fram í farveg Múlakvíslar, alls 5 sinnum í farveg Sandvatns eða Blautukvíslar og alls 3 sinnum í Hólmsá og Kúðafljót,

sjá nánar á mynd 6. Það má því segja að endurkomutími flóða í Kúðafljót sé um 100-150 ár en að endurkomutími stærri jökulhlaupa í Múlakvísl sé rúmlega 50 ár.

Baldur Þór Þorvaldsson (2018) gerir góða grein fyrir áhrifum Kötlugoss á brú á Hólmsá og farveg Hólmsár í Skaftártungu og leiðir þar líkur á að það sé fyrsta brúin hér á landi sem fer af völdum eldgoss og hlaups undan jökli.

Í töflu 1 má sjá hvernig mat á stærð jökulhlaupa og lengd eldgosa koma fram í yfirliti Guðrúnar Larsen (2018). Í þeirri greinargerð er jafnframt gerð grein fyrir fjölda hlaupa á meðan að gosi stóð og goslengd einstakra atburða.

Tafla 1. Stærð jökulhlaupa í síðustu Kötlugosum

Eldgos	**Stærð jökul-hlaups**	**Lengd goss**	**Hvað stóðu jökulhlaup lengi yfir**
1612	3		
1625	4	12 dagar	1 d
1660	4	2 mán.	10 d
1721	5	4 mán.	1 d
1755	5	4 mán.	10 d
1823	4	4 vikur	1 d
1860	4	3 vikur	21 d
1918	5	24 dagar	7 d

Alls hafa því komið 3 hamfarahlaup á síðustu 400 árum, 4 stórhlaup og 1 mikið hlaup. Til viðbótar við hlaup vegna eldgosa hafa komið 3 lítil jökulhlaup í Múlakvísl í kjölfar jarðhitavirkni árin 1955,1956 og 2011.

Við endurbyggingu brúar á Múlakvísl árið 2011 voru annars vegar skilgreindir hönnunaratburðir fyrir venjulegt ástand og var það metið sem hönnunarflóð 1000 m^3/s sem jafngildir leysingaflóði og mögulega minniháttar losunar jarðhitavatns undan jökli, brýr, varnargarðar og vegir eiga að standast þann atburð án skemmda. Annað hönnunartilfelli er skilgreint sem hámarksrennsli 3000 m^3/s og er þá miðað við að varnargarðar geti rofnað og flætt yfir veg en brúin standi óskemmd eftir (Einar Hafliðason og Rögnvaldur Gunnarsson, 2011).

Endurkomutíma atburða má ekki líta á að sé einungis flóð sem komi á 100 ára fresti eða 500 ára fresti heldur þarf að skoða hverjar eru líkur á að atburður verði á næsta ári eða næstu 10 árum. Í töflu 2 má sjá hvað atburðir með ólíkan endurkomutíma þýðir.

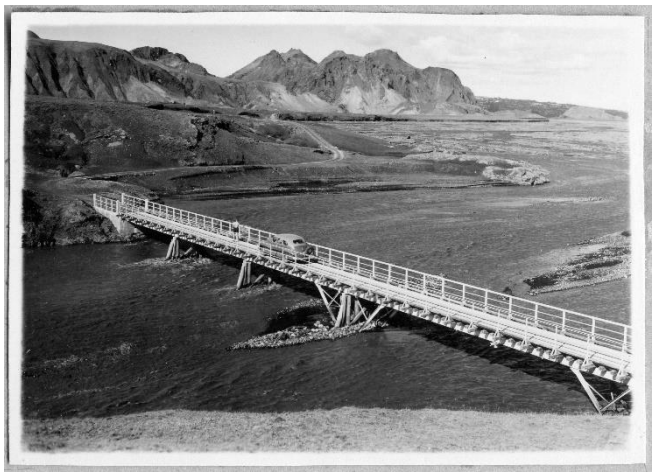
Tafla 2. Endurkomutími ólíkra hönnunaratburða

Hönnunar-atburður	**Endur-komutími T**	**Líkur á 10 árum**	**Líkur á 100 árum**
Múlakvísl Lítið jökulhlaup v. jarðhitavirkni	35 ár	25%	95%
Múlakvísl Stórt jökulhlaup v. eldgoss	52 ár	18%	86%
Kúðafljót. Jökulhlaup v. Kötlugoss	100-150 ár	7 - 10%	49 - 63%
Markarfljót. Jökulhlaup v. Kötlugoss	500-800 ár	1 – 2%	12 - 18%

Mynd 1 – Horft yfir Kúðafljót þann 2.okt 2015 á meðan Skaftárhlaupi stóð (mynd: Veðurstofan, Snorri Zophaníasson)

Mynd 2 – Brú á Múlakvísl, byggð 1990, skemmdist í flóði 2011. (myndsafn Vegagerðarinnar)

Mynd 3 – Brú á Múlakvísl, byggð 1955, aflögð 1990. (myndasafn Vegagerðarinnar)



Mynd 4 Brú á Múlakvísl við Léreftshöfuð, tók af í flóði 1955. (myndasafn Vegagerðarinnar)

Mynd 5 – Brú á Múlakvísl, tekin í notkun 2014. (myndasafn Vegagerðarinnar)

Vegir og brýr á áhrifasvæði

Sé horft einungis til vega- og brúa á áhrifasvæði vegna Kötluhlaupa til austurs þá eru vegir á Mýrdalssandi eru allir í hættu. Hringvegur 1 liggur um Mýrdalssand á um 35 km kafla. Þá liggur Hrífunesvegur 209 á um 5-6 km kafla á mögulegu flóðasvæði.

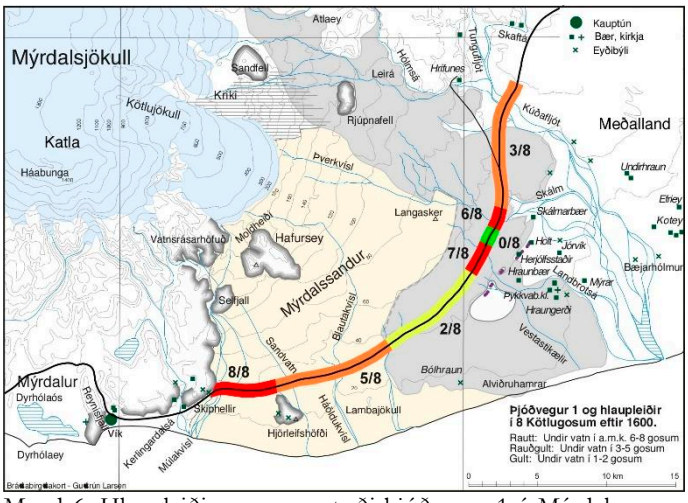
Auk þess eru minni tengivegir einnig í hættu, Meðallandsvegur liggur á um 13 km kafla meðfram Kúðafljóti og þá eru vegir í Álftaveri um 15 km langir. Ekki hefur verið metið hver áhrif geta verið á þá vegi.

Alls eru 6 brýr á Hringvegi 1 og 1 brú á Hrífunesvegi.

Tafla 3. Brýr á áhrifasvæði

Brú	Lengd	aldur
Kúðafljót	302 m	1993
Múlakvísl	164 m	2013
Skálm	44 m	1994
Blautakvísl	50 m	1988
Vestari Kælir	10 m	1989
Kerlingardalsá	64 m	1974/2000
Hólmsá	35 m	1963

Kötluhlaup til austurs hafa 3 sinnum hlaupið í farveg Kúðafljóts og er það í öllum tilvikum þegar um hamfarahlaup er að ræða. Brú á Kúðafljót er ekki hönnuð fyrir slíkum atburðum og óvíst að hún geti staðið af sér slíkan atburð. Það mun verða háð jakaburði, flóðbylgjum og öðru slíku hvort að brú á Kúðafljót standi af sér slíkan atburð.



Mynd 6: Hlaupleiðir um vegarstæði þjóðvegar 1 á Mýrdalssandi í átta Kötlugosum eftir 1600. Rautt: Flætt í 6-8 gosum. Gulrautt: Flætt í 3-5 gosum. Gult: flætt í 1-2 gosum. Grænt: Aldrei flætt ef marka má heimildir (Guðrún Larsen o.fl. 2013).

Áhrif á samgöngur

Nútímasamfélag er orðið verulega háð samgöngum og rof eða truflanir geta valdið mikilli röskun og fjárhagslegu tjóni fyrir atvinnulíf. Allt aðrar aðstæður eru í dag heldur en voru þegar Hringvegurinn rofnaði á Skeiðarársandi árið 1996 og hvað þá í síðasta Kötlugosi árið 1918. Nýleg dæmi þar sem Hringvegur 1 hefur rofnað sýna að áhrif á atvinnulíf og ferðaþjónustu geta verið mjög mikil.

Ekki er sjálfgefið að hægt sé að hefja uppbyggingu strax, tímalengd síðustu 8 eldgosa í Kötlu er frá 12 dögum til 4 mánaða. Á meðan eldgos er í gangi er hætta á jökulhlaupum yfirvofandi og líklegt að öskufall sé mikið. Því er óvíst að hægt sé að hefja uppbyggingu vega og brúa fyrr en að gosi lýkur.

Mynd 7. Brú á Kúðafljót þann 2.október 2015 á meðan Skaftárhlaupi stóð.

Heimildir

Þorvaldsson, Baldur Þór. 2018. Brýr á Hólmsá í Skaftártungu og Kötlugosið 2018. Framkvæmdafréttir Vegagerðarinnar nr.688 (9.tbl, 26.árg, 17.9.2018)

Larsen, Guðrún. 2018 (óútgefið). Jökulhlaup til austurs og suðurs frá Mýrdalsjökli, Kötluhlaup eftir 1600: Umfang, hlaupleiðir, tjón og umhverfisbreytingar..

Guðmundsson, Guðmundur Valur. 2016. When is glacial flood too large to design for. Proceedings of the 19th Congress of International Association of Bridge and Structural Engineers (IABSE) 2016.

Guðmundsson, Magnús T. og Larsen, Guðrún. 2013. Náttúruvá á Íslandi, Eldgos og jarðskjálftar. (kafli um jökulhlaup, s. 156). Viðlagatrygging Íslands/Háskólaútgáfan.

Hafliðason, Einar og Gunnarsson, Rögnvaldur. 2011. Hönnunarforsendur nýrrar brýar á Múlakvísl, október 2011 (óútgefið minnisblað).

Kötluráðstefna – 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918
Vík í Mýrdal, 12. október 2018

Hvað getum við lært af fyrri kynslóðum? Reynsla Álftveringa af Kötlugosinu 1918

Guðrún Gísladóttir[1,2] og Deanne Bird[1]

[1]Líf- og umhverfisvísindastofnun Háskóla Ísland, [2]Jarðvísindastofnun, Háskóla Íslands

Ágrip

Staðbundin þekking og reynsla getur haft mikil áhrif á vilja fólks til að fylgja viðbragðsáætlunum vegna náttúruvár. Til að tryggja skilvirkni áætlana er því mikilvægt að aðilar sem eru ábyrgir fyrir viðbragðs- og rýmingaráætlunum hafi samráð við heimamenn. Íbúar í Álftaveri þekkja glöggt til reynslu íbúa af Kötlugosinu 1918 og hafa lýsingar af þessum ógnaratburði varðveist mann fram af manni enda hafa þeir sem byggja sveitina búið þar kynslóðum saman. Vegna hugsanlegs goss í Kötlu var viðbragðsáætlun gerð fyrir Álftaver og rýmingaráætlunin æfð í mars 2006 með þátttöku íbúa og viðbragðsaðila. Álftveringar tóku þátt í æfingunni en voru ekki sáttir við skipulagið og voru tregir til að fylgja fyrirmælum um rýmingu meðan á æfingunni stóð þar sem þeim fannst að þekking þeirra og reynsla hefði ekki verið höfð til hliðsjónar við gerð áætlunarinnar. Í þessari kynningu munum við skoða reynslu Álftveringa af Kötlugosinu 1918 eins og hún hefur varðveist í rituðu og mæltu máli og bera saman við viðhorf, þekkingu og reynslu íbúa þar nær hundrað árum síðar.

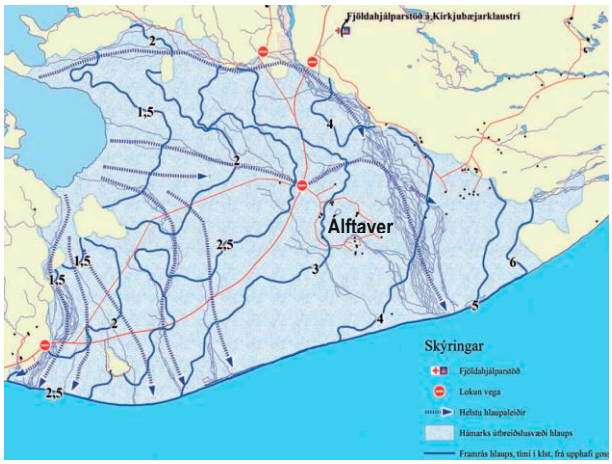
Abstract

Local knowledge and experience can impact people's willingness to comply with mitigation strategies. It is therefore important that authorities responsible for volcanic mitigation and emergency response plans consult and collaborate with communities to ensure applicability. Residents in Álftaver know well their ancestor's experience of the 1918 Katla eruption and their description of the hazards has become an important part of each generation's inherited memory. Emergency response plans were developed for a Katla eruption impacting Álftaver and in March 2006 the evacuation plan was tested in a full scale exercise involving residents and emergency response groups. However, Álftaver residents questioned the original plan, and were reluctant to follow evacuation orders during the exercise as they felt their knowledge and experience had not been taken into consideration. In this presentation, we will examine past experiences of Katla eruptions through the writings and oral descriptions of local residents and compare those with the views, knowledge and experience of Álftaver's current residents.

Inngangur

Katla sem hvílir í Mýrdalsjökli er ein virkasta og varasamasta eldstöð landsins og hefur gosið a.m.k. 21 sinnum frá landnámi en síðast náði gosið upp úr jöklinum 12. október 1918. Kötlu fylgja gríðarleg jökulhlaup, gjóskufall, eldingar og ógnardrunur og er líklegt að jökulhlaup komi fram undan jöklinum þegar gosstrokur brýst upp úr jöklinum eða allt að tveimur klukkustundum áður (Larsen o.fl. 2015). Þegar hlaup koma fram Mýrdalssand (Sandinn) eins og oftast hefur gerst á sögulegum tíma er byggð í Álftaveri í mikilli hættu og um aldir hafa íbúar þar upplifað hamfarir tengdar Kötlugosum. Katla hefur oftast þyrmt mannslífum þótt oft hafi munað litlu. Hún hefur gengið mjög á byggðina og er núverandi byggð einungis brot af þeirri byggð sem dreifðist um Sandinn fyrr á öldum. Katla hefur og eytt skepnum, gjörspillt umhverfi og hafa Álftveringar (eða Veringar) þurft að búa við gjörbreyttar aðstæður áratugum saman í kjölfar Kötlugosa (t.d. Gísladóttir 1980, Gísladóttir & Margrétardóttir 2004). Vegna þess hve hættuleg Katla er og vegna hugsanlegs goss í henni hefur hún verið vöktuð lengi (t.d. Sigmundsson o.fl. 2009) og viðbragðsáætlanir verið til staðar allar götur frá 1973 (Friðfinnsson 2003, Jóhannesdóttir & Gísladóttir 2010, Bird o.fl. 2011). Aukin jarðskjálftavirkni í Kötlu síðasta áratug 20. aldar kallaði á hættumat og endurskoðaðar viðbragðsáætlanir vegna hugsanlegs Kötlugoss (t.d. Guðmundsson & Gylfason 2005). Á grunni þeirra var rýmingaráætlun fyrir Álftaver mótuð af hálfu almannavarnanefndar og lögreglustjóra í héraði í samráði við Almannavarnarnefnd ríkislögreglustjóra (mynd 1). Til að kanna skilvirkni hennar var hún æfð í mars 2006, með þátttöku íbúa og allra viðbragðsaðila (t.d. Bird o.fl. 2011) á þann hátt að íbúar fengu hringingu í heimasíma eða sms

skilaboð frá Almannavörnum ríkislögreglustjóra þar sem þeim var tilkynnt að þeir hefðu 30 mínútur til að rýma Verið og fara á fjöldahjálpastöð á Kirkjubæjarklaustri. Lögreglan þar átti að fylgja rýmingunni eftir, en ekki björgunarsveitarmenn í Verinu, og ef einhver neitaði að rýma yrði viðkomandi handtekinn og færður á Kirkjubæjarklaustur.



Mynd 1. Helstu leiðir jökulhlaups austur Mýrdalssands og framrás þess í klukkustundum frá upphafi goss. (Heimild: Almannavarnir ríkislögreglustjóra á.á.).

Íbúar í Álftaveri þekkja vel reynslu Veringa af Kötlugosinu 1918. Það kom öllum íbúum á óvart á miðjum degi og skyndilega voru Álftveringar lentir í hamförum (jökulhlaupi, gjósku, eldingum og þrumum) við mismunandi aðstæður á Sandinum og í byggð og þurftu að bregðast skjótt við til að forða sér frá hættunni. Lýsingar þeirra af þessum ógnaratburðum hafa varðveist mann fram af manni enda hafa þeir sem byggja Álftaverið búið þar kynslóðum saman (Bird o.fl., 2011). Í ljósi þess hve mikilvægt er að þekkja til hegðunar eldgosa og þeirrar vár sem eldgosum fylgir er spurning hvort sú þekking sem hefur erfst frá einni kynslóð til annarrar í Álftaveri hafi mótað afstöðu þeirra til viðbragðsáætlana og hvort viðhorf þeirra geti nýst við skipulag viðbragðsáætlana vegna hugsanlegs Kötlugoss. Í þeim tilgangi verður lýst upplifun Álftveringa af gosinu 1918 og þekkingu íbúa og upplifun þeirra af Kötlugosi og ríkjandi rýmingaráætlun um 90 árum eftir gos.

Reynsla Álftveringa af Kötlugosinu 1918

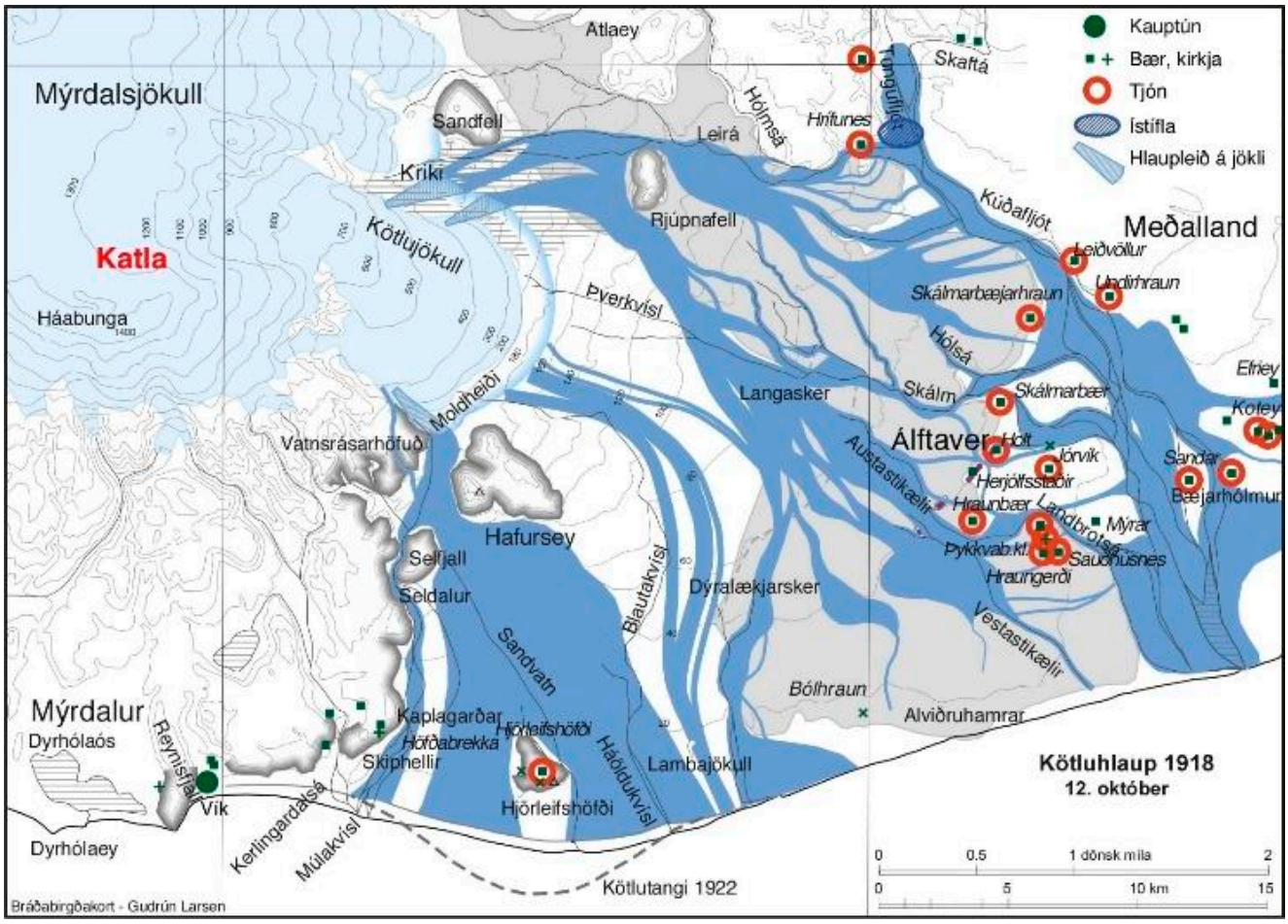
Þann 12. október 1918 var annasamur dagur. Um miðjan dag voru karlmenn á besta aldri við smölun og rekstur fjár af afrétti, hluti íbúa var við réttina ofan við Skálm til að taka á móti safninu og aðrir íbúar þar á meðal konur, börn, ungmenni og gamalt fólk heima á bæjum að undirbúa komu gangnamanna og réttarfólks. Sú lýsing sem hér fylgir er fengin úr rituðu máli (Sveinsson 1919; Oddsson, 1968; Bjarnason, 1985 og Gíslason (skráð hjá Bjarnason,1985) en einnig munnlegar lýsingar frá þeim sem upplifðu gosið og afkomendum þeirra (Brynjólfur Oddsson, Guðmunda Oddsdóttir, Hilmar Jón Brynjólfsson, Gísli Brynjólfsson, Júlíus Jónsson, Böðvar Jónsson og Gissur Jóhannesson) og verður lýsingin ekki slitin í sundur með tilvísunum (nema um beina tilvísun sé að ræða) heldur verður frásögnin fléttuð saman í eina heild.

Á afrétti og við Fossarétt í október 1918

Þann 10. október var farið í seinni göngur inn á Álftaversafrétt en fyrir lá þriggja daga smalamennska og áætlað að koma með safnið í Fossarétt, lögrétt Álftveringa, ofan við Skálm um miðjan dag 12. október. Þann dag var milt haustveður og heiðskírt nema gráleit þoka huldi Mýrdalsjökul og byrgði mönnum sýn. Gangnamenn fóru saman frá Atlaey og ráku safnið suður fyrir Leirá (mynd 2). Þar skildust leiðir og var mannskapnum skipt í tvo hópa annar rak safnið frá Leirá í réttina en hinn hópurinn smalaði Rjúpnafellið og skipti þar liði. Fór annar hópurinn vestan í Rjúpnafellið og hagana næst Mýrdalsjökli en hinn austan í Rjúpnafell og hagana þar austur og suður af.

Smalamennskan gekk vel og um nónbil (þrjú leytið) voru smalar og réttarfólk á mismunandi stöðum á sandinum, í Upphögum, efst í Selhólmi og framan við Hrísneshólm og þá var fólk komið í rétttina til að taka á móti safninu (mynd 3). Um þetta leyti fóru hlutir að gerast hratt. Í Selhólmi höfðu smalar áð stuttlega og ofan af hóli þar mátti sjá til vesturs. Einn smalinn, Vilhjálmur Bjarnason frá Herjólfsstöðum sá þá mikinn atgang í vestrinu og gerði sér grein fyrir að gos væri hafið í Kötlu. Vilhjálmur (Bjarnason, 1985) lýsir því sem fyrir augum bar á eftirfarandi hátt:

„Verður mér nú litið yfir umhverfið í kring og að Hrúthálsafossi. Þó að hann væri kominn í dálitla fjarlægð barst niður hans til okkar dálítið hátt og sveiflukennt eftir því sem vindurinn blés. Ekkert athugavert við það; þar var bara fossinn. En að þessu sinni blekkti fossniðurinn eyru mín. Að sjálfsögðu var niður frá hlaupinu farinn að blandast hávaða fossins þó að við áttuðum okkur ekki á því. Ég horfði nú lengra fram Hrúthálsana sem enduðu syðst við sandinn í allháum sandhólum sem ég þekkti vel. En nú fannst mér einhver umbreyting þarna er ég átti ekki von á. Þokumugga var að færast yfir, auðvitað af völdum hlaupsins, svo að skyggni var ekki gott í þessari fjarlægð. Ég trúi varla mínum eigin augum. Í þessari þokumuggu virtist allt vera á fleygiferð. En hver ósköpin eru þetta? hugsa ég. Ég horfði um stund stjarfur á þessa ógnar sýn. Hlaupið sem fór fram austan Hafurseyjar hljóp þarna fram og var lítið farið að breiða út sér. Því var það þarna að sjá eins og fjallshlíð sem þeystist fram með mjög breytilegu yfirborði, þar sem dökkir jakar gnæfðu himinhátt og flóðaldan spjó vatnsstrókum til ýmsra átta eftir því sem jakahrönnin valt fram. – *Katla,* flaug strax í huga minn."



Mynd 2. Jökulhlaup til austurs og suðurs frá Mýrdalsjökli. (Frá Larsen G. 2018

Í kjölfar þessara upplifunar riðu þeir félagar í loftköstum annars vegar til að gera smölum sem voru í Uphögum viðvart og hins vegar í átt að réttinni til að vara réttarfólki við. Vilhjálmur (1985) lýsir hlaupinu frekar á þessum slóðum

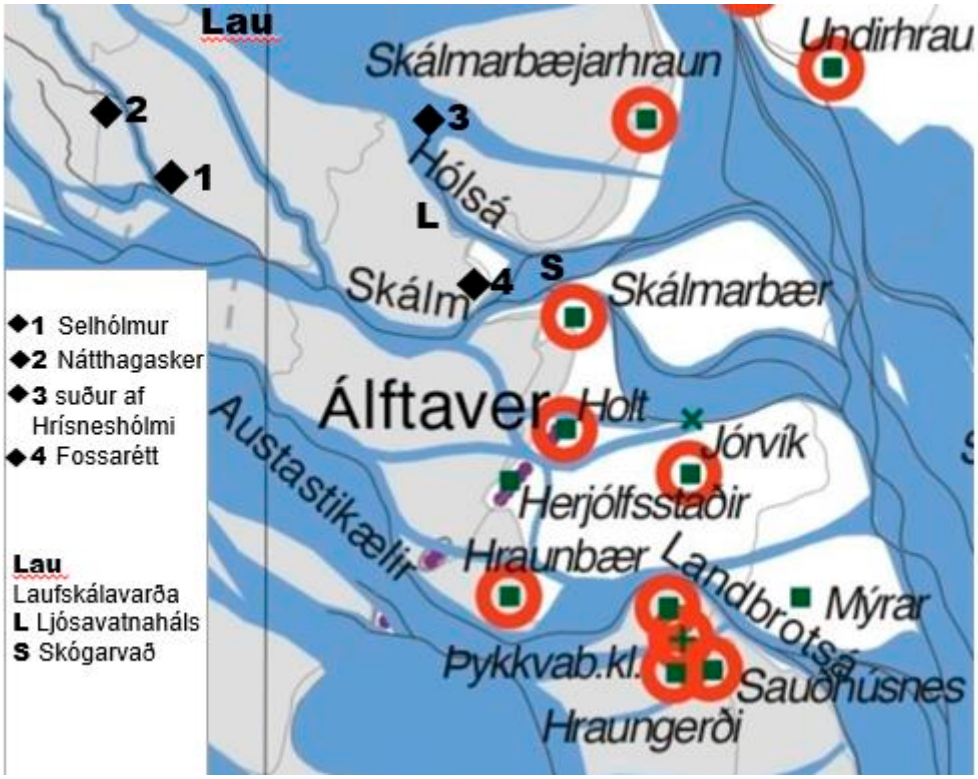
„Er við sáum fyrst til aðalhlaupsins gæti ég giskað á að það hafi verið í um það bil 5 km fjarlægð frá okkur en þarna á sandinum hljóp fram jökulvatn sem fyllti farvegi og ýmsar aðrennsliskvíslar Skálmarinnar. Þetta undanhlaup, sem kalla mætti, bar ekki með sér neina jakahrönn er tefði fyrir framrás þess og var það komið miklu nær en aðalhlaupið sem velti á undan sér mikilli jakahrönn með himinháum jakabjörgum. Þegar við skynjuðum þetta undanhlaup sem var komið svo óhugnanlega nærri var ljóst að það var meira en nóg til þess að gera Skálmina ófæra yfirferðar er það næði farvegi hennar."

Á þessum tíma var réttarfólkið farið að ókyrrast en það hafði heyrt einkennilegan nið og dynki sem virtust koma frá Mýrdalsjökli, en einn réttarmanna, Sigurður Jónsson frá Þykkvabæjarklaustri reið út á Ljósuvatnaháls en þaðan var gott útsýni frá réttinni til norðvesturs og mætti hann þar Vilhjálmi sem kom í loftköstum og flutti honum gosfréttirnar. Sigurður geystist til réttarfólksins og tókst fólkinu sem var við réttina að fara yfir Skálmina á s.k. Skógarvaði (mynd 3) rétt um 1-2 km frá hlaupveggnum, stuttu áður en hlaupið náði ánni. Vilhjálmur sem hafði riðið í ofboði um sjö km leið fór yfir Skálmina þar sem hann skildi við Sigurð og komst yfir rétt áður en hlaupið fór í ána.

Þegar smölunum í Upphögunum bárust fréttir af Kötluhlaupinu (mynd 3) riðu þeir sem mest þeir máttu og er þeir nálguðust grjótin ofan við Ljósuvatnaháls urðu þeir varir við jökulhlaupið sem streymdi fram sandinn vestan Laufskálavörðu og stefndu þeir því beint í Skálmarbæjarhraun.

Þeir gangnamenn sem ráku safnið frá Atlaey urðu fyrst varir við að eitthvað alvarlegt væri á seiði þegar þeir voru komnir nokkuð langt sunnan við Laufskálavörðu (mynd 3). Þeir voru þá komnir svo nærri réttinni að þeir sáu hvar fólk yfirgaf réttina í miklum flýti auk þess sem þeir sáu til smalanna sem riðu allt hvað af tók og stefndu á Skálmarbæjarhraun. Þeir höfðu heyrt dynki og drunur sem ágerðust en sáu ekki til hlaups, enda voru þeir staddir í sandlægð með hálsum beggja vegna sem byrgði þeim sýn til vesturs. Einn gangnamanna Jón Gíslason frá Norðurhjáleigu sneri við á þessum tíma til að fara fyrir lamb sem hafði snúið frá safninu og er haft eftir Brynjólfi Oddssyni frá Þykkvabæjarklaustri (Oddsson, 1968) að þegar Jón hafi snúið sér við hafi hann sagt

„það er þá hún Katla!"



Mynd 3. Staðsetning gangna- og réttarmanna þegar þeim er ljóst að Kötluhlaup er á hælum. Mynd stækkuð úr mynd Larsen (2018) með viðbótum um staði og örnefni sem koma við sögu í frásögnum. Heimild fyrir staðsetningu merkinga Þórarinn Eggertsson frá Hraungerði og Gísladóttir (1980).

Taldi Brynjólfur að Katla hafi þá ekki átt nema rétt yfir 100 metra að þeim. Lýsing Jóns á atburðinum er eftirfarandi (skráð hjá Bjarnason, 1985).

„Mun mér lengi minnistæð sú sjón, er mér bar þá fyrir augum. Var þá að geisast fram að baki okkur jökulhlaup mikið og ægilegt, sem brunaði fram lægðina milli hraunhálsanna…. Fórum við nú sem mest við máttum, og stefndum suður á Ljósuvatnaháls. Þegar þangað kom, sáum við, að hlaupið var komið austur úr Skálminni fyrir sunnan okkur; var því eigi fært að halda lengur þá leið. Breyttum við þá um stefnu og héldum nú í áttina til Skálmabæjarhrauna…Hleyptum við nú hestunum á lægðina, sem er milli Ljósuvatnanna og hraunsins, og þeystum á fleygiferð þvert yfir skurði og læki. Mátti nú varla á milli sjá, hvort okkur eða hlaupinu mundi veita betur. Þó náðum við hraunbrúninni áður en hlaupið skall á henni, en svo var það nærri komið, að það féll þá yfir slóð okkar 40-50 metra frá hraunbrúninni."

Þegar upp á hraunið var komið héldu þeir í átt að skeri á vestanverðu hrauninu þar sem hinir afréttarmennirnir og þeir réttarmenn sem ekki komust fram yfir Skálmi höfðu safnast saman. Fólkið hélt hópinn og horfði á hlaupið (sem mun hafa verið það sem kom fram sandana vestan Laufskálavörðu) þar sem það brunaði fram með gríðarmiklu afli, hraða og jakaburði og fór yfir hvað sem fyrir var, flóðjaðarinn ýtti upp jarðvegi og grónu landi (eins og upprúlluðum pönnukökum) sem svo blandaðist jökulvatninu. Hlaupið var kolmórautt og ægilegt að þeirra sögn og af því lagði megna jöklafýlu. Ekki þótti mönnum ráðlegt að halda kyrru fyrir á skerinu enda með fjölda hesta þar sem enginn gróður var auk þess sem hlaupið stefndi kringum skerið og fór heim að Skálmarborgarhraunum.

Bærinn (mynd 1) var efsti bær í Verinu og sá eini ofan við Skálm. Þegar þangað kom var hlaupið komið á ótrúlega miklu flugi fram Kúðafljót og meira en fyllti árfarveginn milli hrauna og Leiðvallar og komið fast að bænum. Tóku menn því til að flytja úr bænum allt sem hægt var upp á hraunbrún ofan bæjarins en heimilisfólkið og aðkomumenn (um 20 manns) gistu um nóttina í fjárhúsi ofar í hrauninu. Mönnum var ekki svefnsamt um nóttina, enda gekk mikið á, sífelldar þrumur og dynkir, þungur vatnsniður án þess að til þess sæist, það var öskufall og koldimmt nema þegar eldingar og leiftur lýstu upp himininn.

Um morguninn var komin austanátt svo öskumökkurinn byrgði fólki ekki lengur sýn. Vatn hafði farið allt í kringum bæinn og mittishá jakahrönn við húsið. Fólkið gerði sér grein fyrir að hlaupið hafði rénað en allt um kring voru miklir og hrikalegir ísjakar um allan Sand þar sem flóð hafði farið um og svæðið á að líta eins og úfið eldhraun. Það var ekki nokkur leið að fara um svæðið á hestum og tóku afréttarmenn sem voru í Skálmabæjarhraunum aðfaranótt 13. október á það ráð að skilja hestana eftir en klöngrast yfir jakabreiðurnar, yfir Skálmina og heim. Það var svo viku seinna sem hestarnir voru sóttir í Skálmabæjarhraun.

Í Álftaveri sunnan við Skálm í október 1918

Eftir að gos hófst voru fyrst og fremst konur, ungt fólk, börn og gamalt fólk heima á bæjum en þó höfðu sumir karlmenn náð heim til sín frá réttinni. Bærnir stóðu mishátt í landinu og var því mismikil hætta búin af flóðinu.

Á s.k. Sunnnbyggjaratorfu sunnan Landsbrotsár var búið á fimm bæjum (á Þykkvabæjarklaustri, Norðurhjáleigu og Hraungerði) og var einungis einn karlmaður (Jón Brynjólfsson á Þykkvabæjarklaustri) heima. Tveir réttarmannanna, Gísli Magnússon í Norðurhjáleigu og áðurnefndur Sigurður Jónsson, komust þó heim til sín, með hlaupið sem brunaði fram leirurnar vestan við Hraunbæ á hælum sér.

Þegar ljóst var að flóð var komið í Verið var fólk farið að draga sig saman á bæjunum. Sunnan Landsbrotsár var kona og börn hennar frá Hraungerði komin að Norðurhjáleigu. Þegar réttarmennirnir náðu bæjum var hlaupið rétt komið að Norðurhjáleigu og Hraungerði og stýrði Gísli för fólks af bæjunum suður í Virkisfjárhús sem standa hærra, en Jón Brynjólfsson reið austur að Mýrum þar sem ekkja með tvö börn og stúlku voru heima. Guðmunda Oddsdóttir frá Þykkvabæjarklaustri var ein þeirra sem flúði með heimafólki frá Sunnanbyggjarabæjum. Hún ríghélt í fatlaðan bróður sinn sem átti erfitt um gang og hafði miklar áhyggjur af því að hún myndi missa hann. Ferð fólksins var mjög uggvænleg því handan við þau hafði hlaupið með miklu jakaflugi náð á milli bæjanna og fyllti upp mýrina kringum Þykkvabæjarklaustur og náði að kirkjugarðinum. Fólkið náði Virki og dvaldi þar um nóttina en veran þar var óhugnaleg. Það varð niðamyrkur af öskufalli og fólk sá ekki handa sinna skil, en eldingar geystust um allt loft og þrumur dundu í sífellu svo það var varla nokkurt hlé á, og í myrkrinu heyrðu þau í flóðinu sem var skammt undan en ekki sýnilegt.

Í Holti var þríbýli og þar voru stórar barnafjölskyldur og gamalt fólk, en tveir réttarmanna höfðu náði heim að Holti áður en hlaupið fór í Skálmina og vissu að hlaupið var skammt undan bæjunum. Holt er um 1-2 km frá Herjólfsstöðum sem standa hærra og vildu karlmennirnir að allt heimilisfólk myndi flýja þangað og gekk það eftir vallendisrana í átt að Herjólfsstöðum. Þegar það voru komið um hálfa leið varð einni konunni ljóst að hún myndi ekki hvort hún hefði byrgt eld í eldhúsinu. Karlarnir fóru því til baka en hin fóru sem hraðast að Herjólfsstöðum. Þegar karlarnir voru búnir að ganga úr skugga um að allt væri með felldu í Holti sneru þeir til baka, en þegar þeir komu að lægðinni milli Holts og Herjólfsstaða rann þar straumþungt fljót algjörlega ófært yfirferðar (mynd 2). Þeir sneru því til baka en það óx fljótt í ánni og brátt var Holt umlukið jökulfljóti og þeir komust hvergi.

Á Herjólfsstöðum voru tveir bæir og heimilisfólk sem var á staðnum auk fólksins frá Holti og dvöldu um 40 manns þar um nóttina. Íbúar sóttu andlegan styrk til hvers annars enda sagði fólk að það hefði verið eins og himininn hefði verið í trylltum hrunadansi sem ógnaði tilverunni, öskrandi þrumur, dynkir og ljósagangur. Þegar eldingarnar lýstu upp himininn var sem glóandi línur þeyttust áfram í toppi rafmagnaðara bólstraskýjanna og allt umhverfið var lýst upp nokkur andartök. Þó er líklegt að þungur vatnsniðurinn sem barst hvaðanæva af jökulhlaupinu sem braust fram Álftaverið nær og fjær bæjum hafi valdið fólki einna mestum óhugnaði og hrollvekju. Síðari hluta nætur virtist draga úr vatnsniðnum og vonaðist fólk að mesta flóðahættan væri liðin. Þegar birti af morgni hafði flóðið rénað en ljóst að flóð og jakar hafði farið um allt láglendi sveitarinna, sem hafði verið eins og hafsjór þegar flóðið náði hámarki. Öll býlin í sveitinni standa á hæðum í landinu og sakaði ekki af flóðinu, en íshrönn og jakar stóðu þó nærri bæjum og víðast um láglendið og af flóðförum mátti sjá að flóð hafði nánast sleikt bæina án þess að ná inn í þá. Þótt mesta hættan hafi verið liðin hjá eftir fyrsta sólarhringinn var gosinu ekki lokið, enda stóð það í 24 daga. Ljandskemmdir urðu miklar og margt fé fórst í hlaupinu enda urðu smalar að skilja féð við sig á flóttanum undan hlaupinu.

Þekkingu íbúa á Kötlu og Kötluvá og viðhorf þeirra til rýmingaráætlunar árið 2008

Álftveringar þekkja vel sögu Kötlu og hegðan hennar í gegnum aldirnar sem og viðvörunarkerfi vegna hugsanlegs goss í Kötlu og skipulag rýmingaráætlunar sem er í gildi. Þær lýsingar sem hér fylgja byggja á rannsóknum Bird o.fl. (2011) og Bird & Gísladóttir (2012) sem fóru fram 2008.

Þekking Álftveringa á Kötlu og upplifun á þeirri vá sem henni fylgir

Allir viðmælendur í Álftaveri þekktu sögu Kötlugosa og þá vá sem henni fylgir enda hafa íbúar tileinkað sér frásagnir af Kötlugosum og reynsla Álftveringa 1918 hefur erfst frá einni kynslóð til annarrar. Auk þessa hafa margir upplifað jökulhlaup frá Mýrdalsjökli 1955. Um helmingur viðmælenda taldi að þeim stafaði mest hætta af jökulhlaupi en þó töldu íbúar að þeim myndi

stafa mikil hætta af eldingum eins og einn viðmælandi sagði

„Jökulhlaup [er alvarlegasta hættan] en eldingar geta verið mjög hættulegar. Menn óttast þær hér.. Jafnvel þótt gjóskufall hafi verið tiltölulega lítið voru eldingar svo miklar að það var eins og miður dagur jafnvel þótt það væri mið nótt [í gosinu 1918]. “

Aðrir voru á varðbergi fyrir gjóskufalli og voru meðvitaðir um hugsanlegt andlegt álag vegna þess

„ég er ekki svo hrædd um að við verðum í raunverulegri hættu en það getur orðið niðamyrkur og það myndi valda andlegri streitu sem menn þyrftu að takast á við. Ég þekki til bænda sem voru úti í niðamyrkri og þeir þurftu að lesa sig eftir girðingum til að rata til baka [heim meðan á Kötlugosinu 1918 stóð].”

Viðhorf íbúa til viðbragðsáætlana og samskipta við rýmingu

Íbúum í Álftaveri fannst rýmingaráætlunin ekki vera viðeigandi fyrir byggðina og fannst skynsamlegra að rýma að Herjólfsstöðum sem standa hærra en aðrir bæir í Verinu. Þar er gamalt skólahús og tvö býli og að þeirra mati nægilegt pláss fyrir íbúana auk þess sem samvera sveitungana myndi styrkja þá. Lélegt skyggni og slæmt veður kemur oft í veg fyrir að menn sjái til Kötlu og vegna reynslu eldri kynslóða um flóðleiðir niður Mýrdalssand töldu íbúar að þeim myndi stafa hætta af að fara á móti hlaupinu eða þvert á það eins og afréttamenn þurftu að gera 1918. Flestir íbúar í Álftaveri voru því tregir til að fylgja rýmingar-áætluninni og enginn sagðist myndu fylgja henni ef verður væri slæmt og skyggni lélegt.

Dæmi um viðbrögð eins íbúa við rýmingu á Kirkju-bæjarklaustur var

„ég myndi fylgja því sem forfeður mínir gerði, forða mér á staði sem liggja hærra. “

Og annar Veringur sagði

„Ef ég sæi ekkert myndi ég ekki fylgja áæltun um rýmingu. Og það fer líka eftir því hversu langan tíma við höfum. “

Margir íbúar voru ósáttir við skipulag rýmingar-áætlunarinnar. Einn íbúi sagði

„við höfðum blendnar tilfinningar til æfingarinnar því okkur var ætlað að fara á móti hlaupinu. Þetta er mjög hættulegt svæði. Þessi tilfinning hefur verið innbyggð í okkur frá 1918. Þetta svæði fyrir austan fór mjög illa 1918. Það fór mjög fljótt í kaf. “

Annar íbúi sagði

„ það er eins og að aka beint upp í kjaftinn á henni [Kötlu]“

Þá voru Veringar ósáttir við að þeir voru ekki hafðir með í ráðum við skipulag rýmingaráætlunarinnar og óánægðir með að björgunarsveitin í Álftaveri var ekki látin fylgja eftir rýmingu heldur lögreglan á Kirkjubæjarklaustri, eða eins og einn íbúi sagði

„það er góð hugmynd að fólk komi á staðinn og hjálpi en það er fáránlegt að þeir feli ekki okkar fólki að fylgja eftir rýmingu. Það er fáránlegt að ræða ekki við heimafólk sem hefur lesið allar lýsingar af Kötlugosum og hefur staðbundna þekkingu í stað þess að byggja skipulag á ónákvæmum gögnum. Mér finnst skipulagið fáránlegt. Sérstaklega fyrir lögregluna að koma frá Kirkjubæjarklaustri og rýma svæðið. Okkur eru einungis ætlaðar 30 mínútur til yfirgefa svæðið. “

Annar íbúi sagði

„Mér fannst vitlaust að við ættum að fara á móti hlaupinu. Ég sagði þeim að ég myndi fara á Herjólfsstaði eða Mýrar [bær sem standa hærra]. Ég sagði þeim að ég myndi aldrei fara á Kirkjugbæjarklaustur. Lögreglan kom og ég sagði henni það…. Þetta var ekki gott því þeir höfðu ekki samskipti við fólkið hér um það hvað þeir vildu að við gerðum, þeir bara sögðu okkur hvað við ættum að gera og gerðu ráð fyrir að við færum [á Kirkjubæjarklaustur]. “

Íbúar í Álftaveri tóku þátt í æfingunni og flestir fylgdu fyrirmælum um rýmingu, jafnvel þótt þeir væru ekki sáttir eða eins og einn viðmælenda sagði

„við vildum taka þátt. Jafnvel þótt mér þætti það [skipulag æfingarinnar] vitlaust. Ég vildi frekar vera um kyrrt á Herjólfsstöðum. Meðan á æfingunni stóð fórum við á móti hlaupinu í átt að Kirkjubæjarklaustri, en við vildum það ekki. Okkur fannst þetta skrýtið. “

Annar íbúi sagði

„Ég neitaði að fara. Ég sagði þeim að ég myndi taka þátt og mér fannst í lagi að gera það en þegar kom að sjálfri æfingunni tóku þeir ekki tillit til fólksins sem hér býr. Það fór ekki fram neitt samtal við okkur um mótun skipulagsins. Mér finnst ég öruggur heima. Frá þessum degi [æfingadeginum] lærði ég að maðurinn í lögreglubúningnum er við völdin. “

Íbúar töldu ekki að viðbragðsáætlun tæki á mikilvægum málum sveitarinnar eftir að hlauphættan er yfirstaðin en aðrir erfiðleikar enn yfirstandandi. Álftveringar eru bændur og tengsl þeirra við bústofninn náin, ekki síður tilfinningaleg en efnahagsleg. Bændur telja að ef þeir rýma á Kirkjubæjarklaustur muni þeir ekki komast til að sinna skepnum í Álftaveri um lengri eða skemmri tíma sem gæti haft alvarlegar afleiðingar fyrir skepnurnar. Þá er Veringum í minni sá skaði sem varð af gosinu 1918 þegar skepnur drápust, land skemmdist, byggð lagðist af á sumum bæjum, fasteignamat jarða lækkaði verulega og flóð og gjóskufall með tilheyrandi sandfoki gerði búsetu erfiða um langan tíma. Íbúum finnst skorta samráð við þá og skipulag sem tekur á slíkum vandamálum sem geta endurtekið sig í næsta gosi.

Samantekt

Tengsl Álftveringa sín á milli, við umhverfi sitt og bústofn, ásamt þekkingu af hamförum tengdum Kötlu sem hefur erfst frá einni kynslóð til annarar hefur mótað mjög þekkingu þeirra á Kötlu og Kötluvá og afstöðu þeirra til rýmingar. Bein upplifun af eldgosum

og þeirri hættu sem þeim fylgir sem og lærð þekking mótar verulega vilja fólks til að fylgja viðbragðs- og rýmingaráætlunum. Því er mikilvægt að þeir opinberu aðilar sem sjá um mótun og skipulag slíkra áætlana hafa samvinnu við heimamenn til að tryggja skilvirkni rýmingaráætlana og að þeir geti betur aðlagast breyttum aðstæðum í kjölfar hamfaranna með hjálp viðeigandi viðbragðsáætlunar. Þótt Álftveringar hafi séð aukinn vilja opinberra aðila til samvinnu um rýmingaráætlanir hefur ný áætlun ekki enn verið staðfest.

Þakkir

Verkefnið var styrkt af Rannís og Vegagerðinni og unnið innan ramma NORDRESS verkefnisins. Íbúum í Álftaveri lífs og liðnum er þökkuð þátttaka í rannsókninni 2008. Þá er skyldmennum og vinafólki í og úr Álftaveri þakkað fyrir að hafa miðlað af reynslu sinni af atburðum 1918 í gegnum árin.

Ritaðar heimildir

Almannavarnir ríkislögreglustjóra á.á.: Bæklingur fyrir íbúa austursvæðis. Mýrdalsjökull vegna Kötlugoss – Katla.https://www.almannavarnir.is/utgefid-efni/leidbeiningar-um-storf-almannavarnanefnda/?wpdmdl=22940 (Náð í 1. október 2018)

Bird, D.K., Gísladóttir, G., & Dominey-Howes, D. 2011: Different communities, different perspectives: issues affecting residents' response to a volcanic eruption in southern Iceland. Bull Volcanol 73,1209–1227.

Bird, D., & Gísladóttir, G., 2012. Residents' attitudes and behaviour before and after the 2010 Eyjafjallajökull eruptions – a case study from southern Iceland. Bulletin of Volcanology, 74, 1263–1279.

Bjarnason, V. 1985: Á flótta undan Kötluhlaupi. Í: Salómonsson, B., Magnússon, H., & Einarsson, S. (ritstj.) Dynskógar 3, 149-173.

Friðfinnsson, B. 2005: Almannavarnir og áfallaþol íslensk samfélags. Dóms- og kirkjumálaráðuneytið, Málþing um framtíðarskipulag almannavarna- og björgunarmála, 8 mars 2005.

Gísladóttir, G. 1980: Örnefni í Álftaveri, Verkfræði- og raunvísindadeild, Háskóli Íslands, B.Sc. ritgerð í landfræði. 47 bls og viðaukar.

Gísladóttir, G., & Margrétardóttir, E. 2004: Áhrif uppgræðslu á sandfok og lokun þjóðvegar 1 um Mýrdalssand, (RH-01-2004). Raunvísindastofnun Háskólans. 36 bls.

Guðmundsson, M.T., & Gylfason, Á.G. 2005. Hættumat vegna eldgosa og hlaupa frá vestanverðum Mýrdalsjökli og Eyjafjallajökli. (Ríkislögreglustjórinn og Háskólaútgáfan).

Jóhannesdóttir, G., & Gísladóttir, G. 2010: People living under threat of volcanic hazard in southern Iceland: vulnerability and risk perception. Nat Hazards Earth Syst Sci 10(2):407–420.

Larsen, G. 2018. Kötluhlaup eftir 1600: Umfang, hlaupleiðir, tjón og umhverfisbreytingar, ásamt viðaukum. Rannsóknaskýrsla RH-13_2018. 66 bls.

Larsen, G., Gudmundsson, M.T., Vogfjörð, K., Evgenia Ilyinskaya, Oddsson, B. & Pagneux, E. 2015. The Katla volcanic system. In: Ilyinskaya, Larsen and Gudmundsson (ritstj.): Catalogue of Icelandic Volcanoes. (IMO, UI, CPD-NCIP).

Oddson, B. 1968: Það er þá hún Katla. Viðtal ritnefndar (Guðmundsson R., Guðfinnsson, G., Kjartansson, Ó., & Ágústsson, P.) við Brynjólf Oddsson. Farfuglinn 12 (2). 4-13.

Sigmundsson, F., Geirsson. H., Hooper, A.J., Hjaltadottir, S., Vogfjord, K.S., Sturkell. E.C., Pedersen, R., Pinel, V., Fabien, A., Einarsson, P., Gudmundsson, M.T., Ofeigsson, B., & Feigl, K. 2009: Magma ascent at coupled volcanoes: Episodic magma injection at Katla and Eyjafjallajökull ice-covered volcanoes in Iceland and the onset of a new unrest episode in 2009. In: American Geophysical Union Fall Meeting 2009. San Francisco, abstract #V32B-03.

Sveinsson, G. 1919: Skýrsla um Kötlugosið 1918 og afleiðingar þess. In Loftsson, M. (safnaði og ritaði), 141-194. Rit um jarðelda á Íslandi. (Skúli Markússon, 1930).

Kötluráðstefna – 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918
Vík í Mýrdal, 12. október 2018

Allt orðið svart af sandi og ösku: Kötlugjóskan 1918

Guðrún Larsen, Maria H. Janebo og Magnús T. Guðmundsson

Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands

Ágrip

Kötlugosið 1918 hófst 12. október og síðast sást til reyks í Mýrdalsjökli 4. nóvember. Kötlugjóskan féll víða um land og segja má að hennar hafi orðið einhversstaðar vart alla gosdagana að tveim undanskildum. Í nærsveitum féll gjóska fyrstu 4-5 gosdagana en varð þó hvergi þykkari en hálfur þumlungur eða 1,3 cm. Mesta gjóskufallið var dagana 22. til 25. október, á 11.-14. gosdegi. Skaftártunga varð verst úti og alls varð þykkt gjóskunnar (jafnfallinnar) þar yfir 3 þumlungar eða um 8 cm, en miklu þykkari þar sem hún safnaðist í skafla. Í Vík stóð gjóskufall meira og minna í 11 klukkustundir 24. til 25. október en jafnfallin aska og vikur var þá orðin 2-4 cm. Gjóska barst til Hornafjarðar og Reykjavíkur á öðrum gosdegi, 13. október, og til norðurlands daginn eftir. Í Reykjavík var magnið um 40 grömm á fermetra þennan dag og þykktin aðeins brot úr millimetra. Síðar náði gjóskufall bæði til austurlands og vesturlands.

Kötlugjóskan er illa varðveitt í jarðvegi enda nefna heimildir að strax um haustið hafi hún fokið og skolast burt í rigningum. Í ísnum í Mýrdalsjökli, þar sem hún huldist fljótlega snjó, er hún nokkuð vel varðveitt og myndar nú kolsvartar rendur á öllum skriðjöklum hans. Búið er að kortleggja gjóskulagið utan jökuls og að hluta á jökli. Lágmarksrúmtak eins og það er í jarðvegi og ís nú er um 0,7-0.8 rúmkílómetrar en það samsvarar um 1 rúmkílómetra af nýfallinni gjósku.

Abstract

The 1918 eruption of Katla in Mýrdalsjökull began on October 12 and was over on November 4. The Katla tephra was widely dispersed and tephra fall was reported almost every day throughout the eruption, except on two days. In the vicinity of Mýrdalsjökull discontinuous tephra fall occurred during the first 4-5 days with tephra thickness not exceeding half an inch in any populated area. The most heavy tephra fall took place between October 22 and 27, i.e. days 11 to 14 of the eruption. The district of Skaftártunga was the worst hit area, with tephra fall exceeding three inches (~8 cm) in total and collecting into drifts tens of cm thick. The Vík village suffered almost continuous tephra fall for 11 hours on October 24 and 25. When it was over the tephra cover was 2 to 4 cm thick on the ground. Tephra reached Reykjavík and Hornafjörður, 150 and 200 km away, on day two of the eruption. In Reykjavík the tephra deposited that day was ~40 g per m^2 and the thickness a fraction of a millimeter. Later, tephra also reached northern, western and eastern Iceland.

The Katla tephra is poorly preserved in the soil and reports emphasize that it was considerably eroded by wind and water already in the fall of 1918. In the Mýrdalsjökull ice where the tephra was soon covered by snow the preservation is better. The 1918 tephra now crops out on the outlet glaciers as distinct dark bands. The revised isopach map of the 1918 tepha represents its thickness as it is now in soil and ice. The minimum volume of the deposit is about 0.7-0.8 km^3, corresponding to about 1 km^3 of freshly fallen tephra.

Inngangur

Kötlugos eru miklir atburðir og geta - og hafa - valdið miklum búsifjum í nærsveitum. Kötlugosið 1918 er eitt af stærstu eldgosum á Íslandi á síðustu öld. Það hófst laugardaginn 12. október og var lokið 4. nóvember. Gosinu fylgdi gjóskufall, eldingar í gosmekki og jökulhlaup - eins og öllum Kötlugosum sem glöggar heimildir eru um. Hér verður fyrst og fremst fjallað um gjóskufallið og gjóskuna, hvar og hvenær hún féll og hversu mikil gjóska féll á þessum rúmlega 3 vikum sem gosið stóð. Um jökulhlaupið, jakaburð og setflutninga er fjallað á öðrum stað.

Segja má að gjóskufall í nærsveitum Kötlu í gosinu 1918 hafi komið í tveimur hrinum. Sú fyrri og vægari varaði fyrstu fimm dagana en næstu fimm daga var gjóskufall lítið eða ekkert. Síðari og harðari hrinan hófst á ellefta gosdegi, stóð í fjóra-fimm daga og var að mestu lokið 27. október. Eftir það var lítið gjóskufall í nærsveitum, nema nokkurt á Síðu, enda suðlægar áttir ríkjandi síðustu gosdagana.

Í samtímaheimildum um Kötlugosið eru "aska" eða "sandur" notuð í sömu merkingu og "gjóska". Í eftirfarandi kafla er því orðalagi haldið, einnig þótt ekki sé um beina tilvitnun að ræða.

Gjóskufall og gosmökkur í Kötlugosinu 1918 - örstutt yfirlit

Hvernig kom upphaf Kötlugossins 1918 mönnum í nærsveitum fyrir sjónir laugardaginn 12. október fyrir 100 árum?

Um um nónbil (um kl. 15) laugardaginn 12. október 1918 sást gufu- eða skýstrókur mikill vinda sig uppá

loftið yfir Mýrdalsjökli þar sem Katla var talin vera (Gísli Sveinsson 1919). "huggðu ýmsir, er sáu, ský vera. En brátt varð mökkurinn ólíkur öllum skýjum og steig til himins með miklum krafti; hrúgaðist hann saman og veltist um í loftinu á ýmsa vegu; var sýnilegt að þetta var vatnsgufumökkur. Sýndist hann hvítur og glær þeim megin er að sól sneri, en þar sem skugga bar á var hann dimmur mjög." (Markús Loftsson 1930, bls. 117).

"Upptökin eru að sjá rétt fyrir vestan vesturjaðarinn á Höttu. Eigi sjást þau alveg niðri við, vegna þyknis, er ber þar í milli. ... Er hann alltaf ósléttur og bólstraður að vestan, með kynlegustu hringum og gárum. Lengi er t.d. að sjá hátt uppi ský mikið í mökknum, sem líkist trekt á hvolfi og stendur það yfir öðru skýi, sem er enn meira og líkist það hring, er liggur í láréttum fleti." (Guðgeir Jóhannsson 1919). Bæði þessi fyrirbrigði eru þekkt úr lýsingum á öðrum eldgosum.

Gosmökkur 1918 séður frá Vík eða nágrenni. Myndina tók Þorlákur Sverrisson ljósmyndari í Vík en hún er ódagsett. Himininn er dekktur örlítið til að mökkurinn komi betur fram.

Austan Mýrdalssands sást ekki strax til gossins vegna þoku á jöklinum en svo "varð móðan svartari ... og kom fyrsta reiðarslagið, og steyptist á sömu stundu kolsvart þykkni til landsuðurs yfir loftið". (Gísli Sveinsson 1919). Í Meðallandi byrjaði öskufall um kl. 15:30 og um svipað leyti kom "blaut krapasletta með sanddrífu" í Álftaveri. Um kvöldið kl 20 var jörð öll í Álftaveri orðin svört af sandi og slitrings öskuregn var framundir morgun. Með kvöldinu varð einnig almyrkt í Skaftártungu og á Síðu og öskufall fram eftir nóttu. Daginn eftir var jörð alsvört og tæplega ½ þumlungur (um 1 cm) af fínni ösku hafði þá fallið þar.

Á sunnudagsmorgun 13. október breyttist vindátt, askan barst vestur og vestnorðvestur: "Öskufall fréttist af öllu Suðurlandi fyrir utan [vestan] alt til Reykjavíkur." (Gísli Sveinsson 1919).

Fréttir af gosinu birtust í dagblöðum. Fyrstur til var **Skeggi**, Vestmannaeyjum með fyrirsögninni: **Katla? að gjósa!** Gríðarmikill reykjarmökkur gýs upp úr Mýrdalsjökli (kl. 3 í dag), gæti eftir stefnunni verið úr Kötlugjá. Miklir dynkir í Vík. (Skeggi, 1. árg. 51. tbl. laugardagur 12. okt. 1918 bls. 2).

Í **Morgunblaðinu** 13. október er fyrirsögnin **Eldur í Kötlu** og þar segir m.a.: "Vér náðum tali af símastöðinni í Vík kl. 61/2 í gærkvöldi. Er mönnum órótt innanbrjósts, sem vonlegt er, og þó munu þeir ver staddir, sem heima eiga austur á söndum, milli vatna þeirra, sem ófær eru orðin vegna flóðsins. ... Af hæðunum fyrir ofan Vík sáust í gær miklar eldglæringar við jökulinn, en öskufall var eigi byrjað, þegar síðast fréttist í gærkvöldi. ... Skömmu eftir að gosið byrjaði, sást reyk- og gufumökkurinn héðan úr Reykjavík og bar hátt á himin. Jókst hann stöðugt, og þegar tók að dimma, sáust eldglæringar og eldstrókar í mökknum. ... Símasambandi við Vík var slitið í gærkvöldi, vegna þess að stórhættulegt var að nota símalínuna sökum þess, hvað loftið var þrungið af rafmagni." (Morgunblaðið, 13. okt. 1918, bls. 1).

Símasamband við Vík var erfitt í Kötlugosinu og ekki hættulaust að nota síma.

Gosmökkur 1918 séður úr Reykjavík. Ljósmynd Magnús Ólafsson, ódagsett. Gosmökkurinn 12. október sást úr Reykjavík en þessi mynd er tekin að morgni til síðar í gosinu.

Á þriðja gosdegi, 14. október, var mistur eða móða í nærsveitum Kötlu bæði vestan og austan Mýrdalssands, logn og sá ekki til gosmakkar, dynkir og eldslög en lítið öskufall. Í Vík varð fyrst vart við ösku þá um kvöldið: "Rignir blautri ösku." (Gísli Sveinsson 1919). Daginn eftir var svipað ástand í þessum sveitum, móða eða mistursþoka en lítið öskufall.

Á fimmta gosdegi, 16. október, féll aska í Vík, ekki þó mikið, en enn var móða í lofti. Segja má að næstu fimm daga hafi gosið verið aðgerðalítið og öskufall lítið sem ekkert í nærsveitum en dynkir og eldslög við og við.

Gosmökk ber við loft yfir Höttu. Myndina tók Þorlákur Sverrisson, hún er ódagsett en gæti verið frá 16. október. Engan snjó er að sjá í fjöllum en aska gæti hafa svert hann.

Á ellefta gosdegi, 22. október, herti aftur á gosinu: "Gosið magnast; mikið um eldingar. jarðskjálftar, þó eigi mikið." ... Um og frá miðmunda [kl 13:30] lagði upp úr gígnum ógurlegan mökk með kyngikrafti, og virtist nú koma heldur austar upp en undanfarna daga. ... Loks dreif hjer yfir Mýrdalinn, austanverðan, sand og ösku svo að huldi jörð. ... Askan er niður fjell, var nú miklu sandbornari en áður (grófari)" (Gísli Sveinsson 1919). Í Álftaveri varð algert myrkur um hádag og askan sem féll þennan dag varð allt að 2 þumlungar eða 5,2 cm. Talsvert öskufall var um morguninn í Skaftártungu og á Síðu.

Daginn eftir, 23. október, var suðvestanátt og síðar austsuðaustanátt í Vík, snjóslydda og síðar rigning. Þar var öskulagið orðið um ½ þumlungur (um 1,3 cm). "Öskulagið rignir nokkuð niður í jörðina" (Gísli Sveinsson 1919). Um nóttina var öskufall í Álftaveri og Meðallandi en með morgninum barst mökkurinn yfir Skaftártungu og Síðu. Í Skaftártungu var orðið aldimmt um hádegi og öskulagið sem féll þann dag var talið 2½ þumlungur (6,5 cm) og í lautum 3-4 þumlungar (8-10 cm). Á Síðu féll minna af ösku en ekki var ratljóst úti um tíma eftir hádegi.

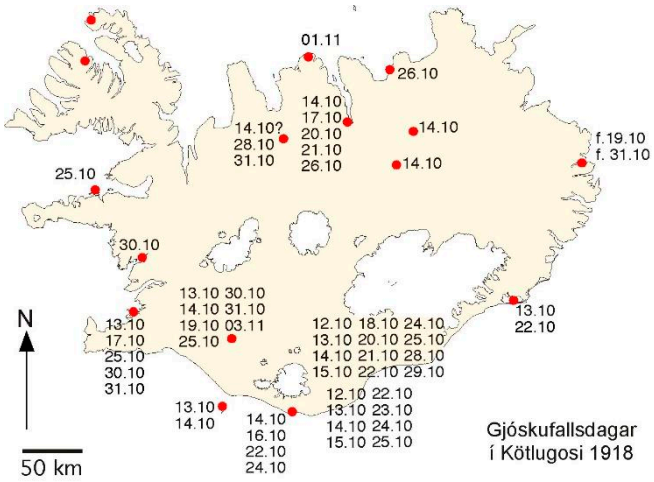
Á þrettánda gosdegi, 24. október, voru "Eldumbrot afskapleg, með allra mesta móti, drunur og eldingar. Hinn ægilegasta öskustrók, biksvartan og stórgerðan sem fjallgarð í loftinu, leggur hjer fyrir austan (fram á Sandinn)." Í Álftaveri og Meðallandi var myrkur af öskufalli snemma að morgni þess 24. meðan mökkinn lagði til suðausturs fram á sandinn en þegar brá til norðanáttar birti til þar. Þá skall yfir mesta öskufallið í Mýrdal í þessu gosi. "En undir kl 1 e.h. skall hinn svarti mökkur hjer yfir Mýrdalinn allan, mest austurhlutann, og rigndi ösku (sandi) og vikri. Varð niðdimma um hádaginn, svo ekki sá handa skil. Varð alstaðar að kveikja ljós í húsum. Hjer hefir aldrei þvílíkt orðið. Myrkrið svo svart, að ekki sást spönn út úr húsdyrum. Þrumur með fádæmum, og eldingar alveg uppi yfir. Reiðarslögin dynja á þökum húsanna og hriktir í hverju tré. ... Slökkva varð á rafljósum ... og talsími mátti ekki hreyfast." (Gísli Sveinsson 1919). Svartamyrkur var í Vík til kl 5 e.h. þá rofaði um stund en svo syrti aftur. Þykkt sandöskulag féll þennan dag en um kvöldið hvessti og gerði öskubyl. Alls stóð öskufallið um 11 klst frá kl 13:30 til 02:30 nóttina eftir. Þetta var í síðasta sinn sem aska féll vestan Mýrdalssands og í Álftaveri og Meðallandi varð ekki teljandi öskufall eftir þetta.

Gosmökk ber við himin yfir húsin í Vík, e.t.v. 24. október. Ljósmynd Þorlákur Sverrisson, ódagsett. Ef það er snjór sem grillir í yfir húsaþökin er myndin líklega tekin eftir 23. október, en þann dag var slydda í Vík og snjór féll í Skaftártungu og á Síðu.

Í Skaftártungu var norðanátt og sandbylur 24. október "og urðu sandskaflarnir nær 2 álna djúpir." Þar og á Síðu féll nokkur aska næsta dag en eftir það nánast ekkert nema 28. október og aðfaranótt þess 29. féll töluverð aska á Útsíðu.

Í Vík var "Jörð öll hér hulin sandi, þykku lagi og haglaust, þó betra úti um Mýrdalinn." skrifar Gísli Sveinsson (1919) við 25. október. Af sama tilefni skrifar Guðgeir Jóhannsson (1919) "2-4 cm. lag af ösku og vikri liggur nú yfir hvarvetna. ... Á stöku stað hefir vikurinn sópast saman í drög, 4-8 cm. þykk".

Öskufalls varð vart víða um land fyrstu gosdagana. Í Reykjavík féllu um 40 grömm á fermetra á öðrum gosdegi, 13. október, eða 40 tonn á ferkílómetra og reiknuð þykkt var 0,04 millimetrar (Samúel Eggertsson 1919). Aska féll þar nokkrum sinnum, mest féll dagana 30. og 31. október, fyrri daginn var svo dimmt að varla sást út í Örfirisey. Aðfaranótt 14. október féll aska á Akureyri svo allt varð grátt yfir að líta og þvottur á snúrum svartur (Morgunblaðið 15. okt). Ekki kemur fram hvort sporrækt varð þennan eða aðra daga, til að svo verði þarf um 300 grömm á fermetra. Ekki sást yfir í Vaðlaheiði að morgni 26. október (Morgunblaðið 27. okt).



Ýmsir staðir þar sem aska féll 1918 eru sýndir með rauðum deplum. Austan Mýrdalssands eiga dagsetningarnar við Skaftártungu og Síðu (ofar) og Álftaver og Meðalland. (Gísli Sveinsson 1919, Guðgeir Jóhannsson 1919, Sigurður Ásbjörnsson og Guðrún Larsen óbirt gögn).

Gosmökkurinn var hæðarmældur frá Reykjavík, ekki þó á fyrsta gosdegi. Hann náði þá 14,3 km hæð yfir sjávarmál en eldingaleiftrin náðu miklu hærra (Samúel Eggertsson 1919). Líklegt er að hann hafi einhvern tímann risið hærra.

Öskuþykktir samkvæmt heimildum

Í byggð féll mest af ösku í Skaftártungu, samtals meira en 3 þumlungar (yfir 8 cm) jafnfallin samkvæmt heimildum, og miklu þykkari þar sem hún safnaðist í skafla. Askan mælist nú mest 5-6 cm sunnan við Núpsheiði, skammt frá jörðinni Svartanúpi sem fór í eyði vegna Kötlugossins. Annars staðar er hún 1-4 cm - þar sem hún finnst.

Í Álftaveri féll ekki alveg jafnmikil aska en samtals meira en 2 þumlungar (yfir 5,5 cm) samkvæmt heimildum. Þar mælist hún nú mest 3-4 cm, einna þykkust í Skálmarbæjarhrauni. Í Álftaveri fóru tveir bæir í eyði vegna Kötlugossins en mesta tjónið varð vegna hlaupsins.

Í Vík og e.t.v víðar í Mýrdalnum var 2-4 cm lag af ösku þegar birti af degi 25. október samkvæmt lýsingu Guðgeirs Jóhannssonar (1919). Hann nefnir að öskuna hafi skafið meðan hún féll og á stöku stað sé lagið 4-8 cm. Í byggð í Mýrdalnum mælist askan 1.5 cm við Heiði, annars staðar minna.

Kötlugjóskan 100 árum síðar

Kötlugjóskan frá 1918 er svört og yfirleitt fremur fínkorna þar sem hún finnst í jarðvegi nú. Hún hefur hvergi fundist þykkari en 18 cm utan Mýrdalsjökuls. Næst jökli eru stærstu kornin um 1 cm í lengsta þvermál og smærri þegar fjær dregur.

Þykktartölur sem nefndar er í heimildum eiga líklega oftast við nýfallna gjósku. Gjóska þjappast bæði við að blotna og þegar farg leggst ofan á hana. Menn gerðu sér grein fyrir þessu og t.d. er tekið fram um mælingu á gjóskunni sem féll á Útsíðu 29. október að gjóskan hafi verið þurr. Kornastærð hefur áhrif á hversu mikið gjóskan getur þjappast. Ef gengið er út frá að þykkt þjappaðrar gjósku sé 60-70% af því sem mælist nýfallið verður 2,6 cm (þumlungur) að 1,6-1,8 cm og 8 cm (3 þumlungar) að 4,8-5,6 cm.

Kötlugjóskulagið (svart) frá 1918 í jarðvegi við Gæsavatn. Þar mældist Kötlugjóskan mest 6-8 cm. Dökkgráa gjóskulagið rétt undir grasrótinni er úr Eyjafjallajökulsgosinu 2010. MHJ

Þetta skýrir að hluta mismuninn á því sem lýst er í samtímaheimildum og því sem finnst í jarðvegi nú. Reyndar getur verið erfitt að mæla þykkt gjósku í gróðurlendi og þar er hætta á nokkru ofmati. Hún féll að hausti til og af lýsingum má ráða að gjóskulagið fauk og skolaðist burt af auðri jörð bæði meðan á gosinu stóð og eftir gosið. Lítið var um hágróður sem hefði getað varið það og auk þess var gjóskan 1918 fremur fín í korninu og auðrofin. Í stuttu máli sagt er gjóskulagið frá 1918 fremur illa varðveitt í jarðvegi. Þykktarkort af K1918 sýnir því yfirleitt lágmarksþykkt.

Í ferð á Mýrdalsjökul haustið 1919, ekki er fulljóst af lýsingunn hvort farið var upp Kötlujökul eða Sandfellsjökul, var allt kafið af sandi. "Reyndist jafnfallið af siginni sandöskunni ½ meter á þykkt" (Páll Sveinsson 1992). Kötlugjóskan er líklega best varðveitt í ísnum í Mýrdalsjökli. Þar fennti yfir gjóskuna bæði í gosinu og eftir að því lauk. Með tímanum færðist hún fram með ísnum og myndar nú dökkt band eða skára á leysingasvæðum jökulsins. Á Kötlujökli og Sólheimajökli er Kötlugjóskan frá 1918 komin niður undir sporðana og mældist þar um 30 cm þykk að meðaltali. Hún er enn alllangt inni á Sléttjökli þar sem hún mældist 14 til 30 cm þykk, og er þykkust vestast. Hægt er að reikna hvar gjóskan féll upphaflega á jökulinn og meta hvað hún hafi þynnst við flutninginn.

Kötlugjóskan 1918 nýkomin undan ís vestarlega á Sléttjökli í ágúst 2018, undir henni glittir í ís. Hún er nú um 30 cm þykk á þessum stað. GL

Rúmmál Kötlugjóskunnar eins og hún reiknast nú í jarðvegi og ís, þ.e. loftborna hluta gosefnanna 1918, er 0,7-0,8 rúmkílómetrar en óvissa er um mestu þykkt hennar næst gosstöðvunum. Þetta samsvarar um 1 km^3 af nýfallinni gjósku og skipar K-1918 á bekk með stærstu gjóskulögum sem fallið hafa síðustu 100 árin. Til samanburðar má nefna að gjóskulagið úr gosinu í Grímsvötnum 2011 var álíka stórt eða litlu minna nýfallið. En loftborna Kötlugjóskan segir ekki alla söguna því hluti gosefnanna barst frá gosstöðvunum með vatni. Um það er fjallað á öðrum stað.

Lokaorð og þakkir

Í þessari samantekt eru heimildir um gjóskufallið að mestu úr riti Gísla Sveinssonar (1919) en einnig er stuðst við Jarðeldarit Markúsar Loftssonar (1930), rit Guðgeirs Jóhannssonar (1919) og dagblöð frá árinu 1918. Vettvangsrannsóknir vegna þykktarmælinga á gjóskunni í jarðvegi og á Mýrdalsjökli voru styrktar af Vegagerðinni og Almannavörnum.

Ljósmyndir Þorláks Sverrissonar í Vík eru gerðar eftir glerplötum sem Raunvísindastofnun fékk að gjöf frá erfingjum Þorláks. Glerplöturnar eru varðveittar á Þjóðminjasafni Íslands.

Heimildir

Gísli Sveinsson 1919. Kötlugosið 1918 og afleiðingar þess. Prentsmiðjan Gutenberg, Reykjavík, 61 p.

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

Markús Loftsson 1930. Rit um jarðelda á Íslandi, 2. útgáfa aukin. Útgefandi Skúli Markússon.

Morgunblaðið, 13., 15., og 27. október 1918.

Páll Sveinsson 1992. Kötluför, 2. september 1919. Jökull 42, 89-93.

Samúel Eggertsson 1919. Ýmislegt smávegis viðvíkjandi Kötlugosinu 1918. Eimreiðin XXV ár, 4. hefti, 212-222.

Skeggi, 1. árg. 51. tbl. laugardagur 12. okt. 1918.

Kötluráðstefna – 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918
Vík í Mýrdal, 12. október 2018

Jökulhlaupið 1721 - flóðalda í Vík?

Guðrún Larsen[1] og Þórir N. Kjartansson[2]

[1]Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands, [2]Bakkabraut 14, Vík

Ágrip

Þegar grafið var fyrir grunni spennistöðvar vestast í Víkurkauptúni sumarið 2017 kom í ljós allþykkt brúnleitt lag sem skar sig úr svörtum sandi undir og ofan á því. Við athugun á efninu í þessu lagi kom í ljós að í því var vel núin möl, líkt og finnst í fjörunni í Vík, svart gler og brúnleitt jarðvegskennt efni. Mölin bendir eindregið til að hún sé úr fjöru en grunnurinn er alllangt frá núverandi strönd, undir bakka sem vafalítið er gamalt brimklif.

Jökulhlaup í Kötlugosum hafa stundum valdið "sjávarólgu" og jafnvel "sjávarflóði" við nærliggjandi strendur þegar þau renna í sjó fram. Eitt af þremur stærstu jökulhlaupum síðustu 400 ára var í Kötlugosinu 1721. Hlaupið bar fram feiknilega jakahrönn og reif með sér miklar jarðvegstorfur sem það ók í sjó fram. Heimildir um hlaupið 1721 nefna einnig sjávarflóð sem spillti túnum og engjum Víkurjarða. Leiða má líkur að því að brúnleita lagið sem fannst í spennistöðvargrunninum hafi borist þangað í þessu sjávarflóði.

Abstract

During excavation for the foundations of a new transformer plant in the Vík village in the summer of 2017, a 25 cm thick layer of brownish sediments was found present in the black sandur deposit. The layer was sampled and examined, revealing well rounded gravel similar to that found on the Vík beach, black glassy grains and fine brownish soil-like material. The gravel indicates origin on the beach but the transformer plant is located well inland.

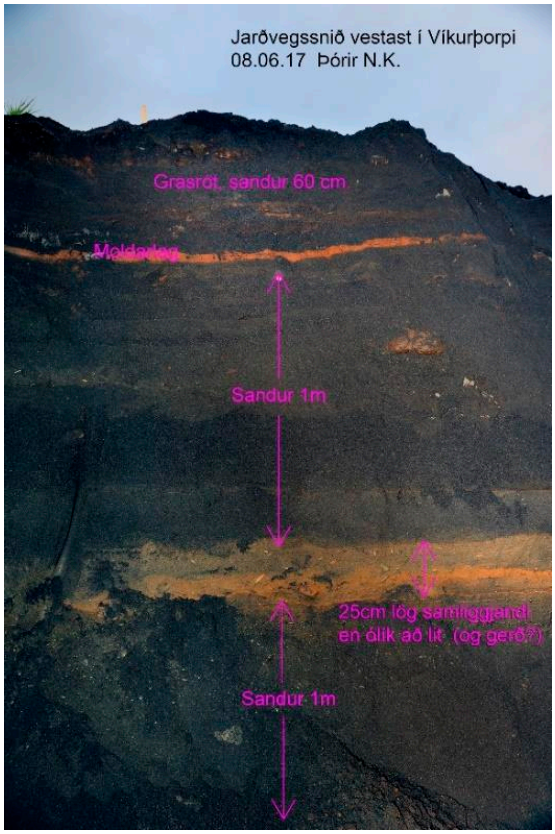
Katla jökulhlaups have at times caused unusual waves when the mass of ice and debris they carry enters the sea. One of the largest jökulhlaups since 1600 CE occurred during the Katla eruption of 1721. It carried a great amount of iceblocks, ripping large patches of soil from hill slopes as it passed and transported its load into the sea. Contemporary documents report that the sea flooded onto and damaged the hayfields of the Vík farm. Here the unusual sediment layer in the pit for the foundations is correlated to the "sea flooding" reported in 1721.

Inngangur

Öllum Kötlugosum, sem sögur fara af, hafa fylgt jökulhlaup. Kötluhlaup eru blanda af bræðsluvatni, krapi, ísjökum og föstu efni, ösku, vikri, möl, sandi og jökulleir. Stærstu jakarnir eru tugir metra í lengsta þvermál, "frá 20 metrum upp að 60 metrar á hæð" skrifar Skúli Markússon um jakana úr hlaupinu 1918 (Markús Loftsson 1930, bls. 120). Hlaupin hafa kaffært gróðurlendi, rifið með sér jarðveg og gróður og flutt með sér stór björg. Flestöll Kötluhlaup hafa bætt við sandinn og fært ströndina fram. Í fimm af átta Kötluhlaupum eftir 1600 hefur hlaupvatn leitað vestur með hömrunum í átt að Reynisfjalli og valdið búsifjum en einnig lagt til landauka þar.

Sumum Kötluhlaupum hefur fylgt sjávarólga, sjávarflóð og jafnvel flóðbylgja. Um þetta hefur verið deilt því þótt lýsingar í samtímaheimildum séu nokkuð skýrar voru engin ummerki þekkt um hve hátt þessi sjávarólga hefði náð. Þegar grafið var fyrir grunni spennistöðvar vestast í Víkurkauptúni sumarið 2017 kom í ljós sérkennilegt brúnleitt lag, um 25 cm þykkt sem skar sig úr svörtum sandi beggja vegna.

Efnið í því er m.a. möl, sandur, svart gler og jarðvegskennt fínefni. Hvernig og hvenær myndaðist þetta brúnleita lag?



Mynd 1. Jarðvegssnið í grunni spennistöðvar í Vík. ÞNK

Kötluhlaup

Þrjú stærstu Kötluhlaup sem sögur fara af voru hlaupin 1721, 1755 og 1918. Þá eru frátalin hlaup sem urðu í tengslum við gosið í Eldgjá á 10. öld.

Stærstu Kötluhlaupin virðast hafa hagað sér með líku móti. Fyrsta gosdaginn skiptast þessi hlaup í tvo aðgreinda þætti. Í fyrri þætti þeirra brýst hlaupvatnið upp úr Kötlujökli töluvert innan við jökulsporðinn og rennur ofaná og fram af jöklinum á nokkrum stöðum. Nyrsti hlutinn fer um Krika í Leirá-Hólmsá og e.t.v. í Skálm, hluti fer fram af jöklinum austan við Hafurey en vestasti hluti hlaupsins kemur niður jökulinn með stefnu á Sker og Höfðabrekkuafrétt, eins og gerðist í hlaupinu 1918 þegar hlaupvatn og jakar köstuðust yfir í Remundargil.

Jakaburður í fyrri þætti hlaupanna er þó ekkert í líkingu við það sem gerist í seinni þætti þeirra þegar þau finna sér farveg undir jöklinum og koma fram undan jökulsporðinum sem þau brjóta og flytja ísflykkin með sér fram á Mýrdalssand.

Kjartan Markússon í Hjörleifshöfða lýsti þessum seinni þætti Kötluhlaupsins 1918 í hnotskurn: "Kom þá fram á milli Hafurseyjar og Selfjalls svo mikið íshrúgald, að líkast var sem þar brunuðu fram heilar heiðar snævi þaktar. Ruddist þessi mikli ís austur með eynni vestur með Selfjalli og svo fram yfir allan sandinn". (Guðgeir Jóhannsson 1919, bls. 26).

Kötluhlaupið 1721

Kötlugosið 1721 var ekki með allra stærstu Kötlugosum ef litið er eingöngu til loftborinnar gjósku. Loftborna gjóskan segir ekki alla söguna því stór hluti gosefna í Kötlugosum berst fram með hlaupunum. Kötluhlaupið 1721 var óumdeilanlega eitt af þrem stærstu hlaupunum og bar fram feiknamikla jakahrönn sem það braut úr jaðri Kötlujökuls. Það reif einnig með sér jarðveg og gróður og ekkert Kötluhlaup hefur verið stórtækara í þeim efnum en hlaupið 1721.

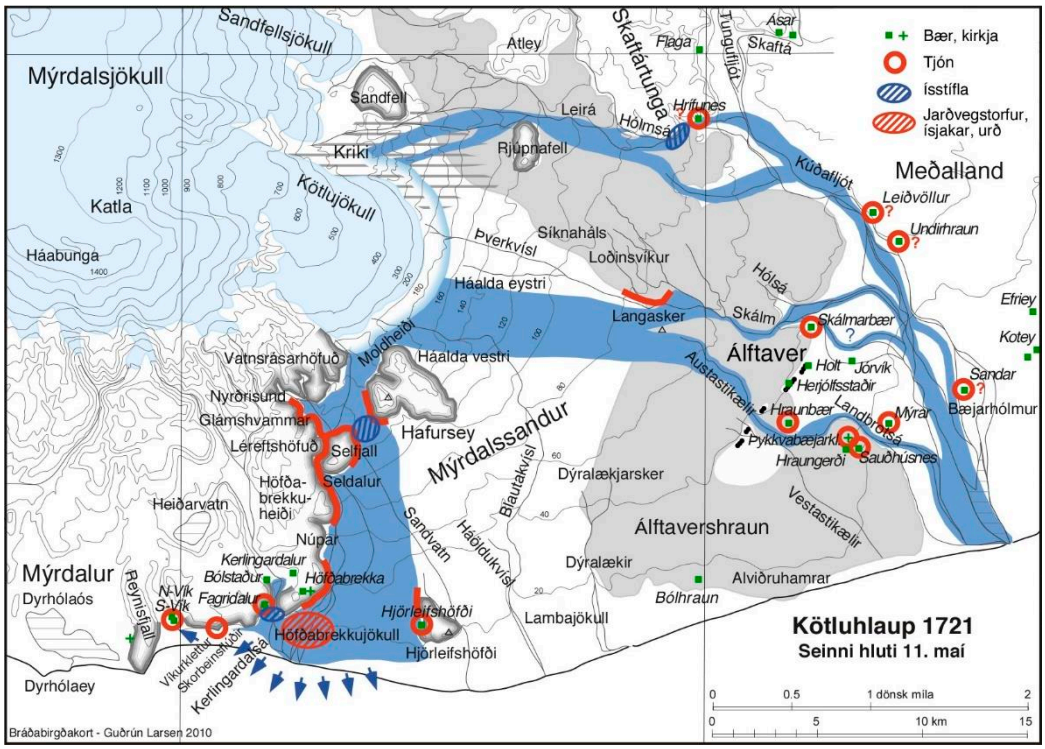
Kötluhlaupsins 1721 varð vart um kl. 2 fyrsta gosdaginn þegar "kom krapavatnshlaup hastarlega framrennandi með nokkrum jökum að stærð viðlíkt smáeyjum í sæ." (Safn til sögu Íslands. IV: 222). Það huldi sandinn frá Höfðabrekkufjöllum að Hjörleifshöfða og til Hafurseyjar en ekki sást hvað það náði langt austur vegna svælu sem af því lagði. Önnur álma hlaupsins fór austan Hafurseyjar niður í Álftaver og þriðja álma hlaupsins hefur líklega komið fram í Krika og runnið eftir farvegum Leirár, Hólmsár og etv fleiri kvísla í Kúðafljót.

Um kl. 3 "kom hlaupið sjálft með viðlíkt hraðri ferð sem kaupskip með hægum byr" og miklum jakaburði í sjó fram svo ekki sást útyfir ísinn af hæstu fjöllum. "... gekk og hlaupið jafnhátt Höfðabrekkufjalli og tók af allt grasland upp undir hamra, að fráteknu litlu plássi í Núpum austan, sömuleiðis alt haglendi um Nyrðrisund og Glámshvamma, mikinn part af Selfjalli og allan Seldal." (S.t.s.Ísl. IV: 223). Til vesturs flæddi hlaupið út fyrir Skorbeinsflúðir. Þegar meginhlaupið með jökum, jarðvegstorfum og öðru föstu efni (möl, grjóti, ösku, vikri) barst út fyrir þáverandi strönd olli það "sjávarflóði".

Sjávarflóðið "fór að Víkurbæ og spilti þar bæði túnum og engjum, tók einnig skipin, teinæring og áttæring, undir Víkurkletti og braut þau til stórra skemda ... gekk yfir fjörur í hér Mýrdal og undir Eyjafjöllum, niður braut hjalla í Vestmannaeyjum, svo flestir menn þar mistu það lýsi, sem áttu; það gekk einnig uppá land í Þorlákshöfn og Grindavík". Jöklastykki "setti 30 faðma upp á Vestmannaeyjar". Sjóargangur "tók burt nokkra sauði sem voru í Víkurtúni" ".(S.t.s.Ísl. IV: 223 og 227).

Hluti skýringar á þessum viðburði kann að vera sá að auk ísjaka og gosefna ók hlaupið í sjó fram miklum jarðvegsflekum sem það reif af 8 km löngu svæði ofan frá Selfjalli og setti af sér þar sem nú er Höfðabrekkujökull. Vera má að hlaupið hafi einnig rutt þangað Múlanum sem var austan við Höfðabrekku (þ.e. Höfðabrekkubæinn sem eyðilagðist í Kötluhlaupi 1660) eða kaffært hann. Horrebow (1752: 36-37) lýsir jarðvegs-, ísjaka- og setdyngju sem hlaupið ruddi fram í sjó og á vafalítið við Höfðabrekkujökull. Jarðvegstorfur blasa við í rofum, undnar og í fellingum í bland við ösku, möl og grjót. Höfðabrekkujökull er nú um 1,5 km langur en var vafalítið lengri áður og upphafleg breidd frá vestri til austurs var a.m.k. 2 km (mælt á loftmynd). Vel má vera að ströndin þarna hafi færst fram um hálfa danska mílu (3,7 km) eða meira á skömmum tíma fyrsta gosdaginn, eins og Horrebow segir. Það munar um minna.

Feiknamikill jakaburður einkenndi hlaupið fyrsta gosdaginn 1721. Jakahrönnin á sandinum náði neðan frá sjó upp í jökul (S.t.s.Ísl. IV: 223). Til að rífa burt jarðveg upp undir hamra (80 m yfir núverandi sand) þurfti hrönnin að vera tugir metra á þykkt. Hafi jarðvegurinn verið frosinn gátu jarðvegsflekar sem losnuðu náð lengra upp en hrönnin. Ekki er ljóst við hvaða staði er miðað í lýsingunni "gekk og hlaupið jafnhátt Höfðabrekkufjalli" en það er hvergi lægra en 100 mys.



Mynd 2. Kort af hlaupleiðum 11. maí 1721. Rauðar línur: Svæði þar sem jökulhlaupið reif með sér jarðvegstorfur. Bláar örvar: Flóðbylgja eða sjávarflóð hefur líklega myndast þegar hlaupið ruddi jarðefni og jakahrönn í sjó fram (Guðrún Larsen 2018).

Mynd 3. Jarðvegstorfur og hlaupset í Höfðabrekkujökli. GL

Flóðalda í Vík

Sjávarflóðið "fór að Víkurbæ og spilti þar bæði túnum og engjum, tók einnig skipin, teinæring og áttæring, undir Víkurkletti og braut þau til stórra skemda". Þessi lýsing sýnir að sjór gekk miklu lengra á land en mestu "brimsjóir" gerðu. Þarna flæddi upp á tún og engjar. Ekki er sagt hvernig flóðið spillti túnum og engjum en ætla má að það hafi borið jakahröngl og annað laust efni uppá graslendið.

Hvers konar efni var það sem flóðaldan gat flutt á fjörur og upp fyrir þær? Auk jaka og kraps var úrval af föstum efnum, aska, vikur, sandur, ármöl og jarðvegur. Auk þess komst rót á fjöruröl, sand og annað sem á fjörum lá.

Hvernig fellur efnið í þykka, brúnleita laginu í grunni spennistöðvarinnar að þessari lýsingu?

Setlagið - samsetning

Brúnleita setlagið var sigtað svo auðveldara væri að gera sér grein fyrir hvað þarna var á ferð. Grófasta efnið er vel núin möl, stærstu kornin eru um 3,5 cm í þvermál. Núin smámöl og sandur eru ríkjandi fyrir ofan kornastærðina 0,4 cm en eftir því sem kornin verða smærri eykst fjöldi ösku- og móbergsbrota úr 5% í rúm 40 % þegar komið er niður í 0,1 cm. Hlutfall ösku virtist svipað í smærri kornaflokkum en var ekki mælt að sinni. Fínasti hluti setsins er brúnleitur og moldarkenndur en lífrænt innihald hefur ekki verið athugað. Hluti öskukornanna er mjög fersklegur, svört

glerkorn með skörpum brúnum, mismikið blöðrótt, í sumum blöðrum situr brúnleitt fínefni. Þetta er dæmigerð Kötluaska. Fínmalar- og sandkornin sem þessi öskukorn finnast með eru miklu meira núin en þau. Skarpar brúnir öskukornanna benda til að þau hafa ekki farið margar ferðir fram og aftur í fjöru.

Mynd 4. Grófasta efnið úr brúnleita laginu, stærsta kornið er 3,5 cm í þvermál. GL

Líklegast er að þessu seti hafi skolað upp með öldu sem var blanda af ís, krapi, nýmyndaðri og gamalli ösku, jarðvegi og sandi, og hreif með sér möl úr fjörunni. Stórgrýti sem hlaupið bar fram hefur verið búið að falla út áður en efnið úr því barst að landi.

Niðurstaðan af þessum vangaveltum er sú að setið sé sennilega úr flóðöldu tengdri Kötluhlaupi og þá kemur hlaupið 1721 helst til greina. Hafa þarf í huga að ströndin lá mun innar á þeim tíma. Samfelld fjara milli Reynisfjalls og Höfðabrekku varð ekki til fyrr en eftir Kötluhlaupið 1660 (Árni Magnússon 1955). Ekki verður ráðið af heimildum hversu breið ströndin framan við Vík var fyrir 1721.

Heimildir

Árni Magnússon 1955. Chorographica Islandica. Safn til sögu Íslands og íslenskra bókmennta, annar flokkur, I, 2. Hið íslenzka bókmenntafélag, Reykjavík, 1955.

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

Guðrún Larsen 2018. Jökulhlaup til austurs og suðurs frá Mýrdalsjökli I. Kötluhlaup eftir 1600: Umfang, hlaupleiðir, tjón og umhverfisbreytingar, ásamt viðaukum. Rannsóknaskýrsla RH-13-2018. 66 bls.

Horrebow, Niels 1752. Tilforladelige Efterretninger om Island: med et nyt Landkort og 2 Aars Meteorologiske Observatione. København 1752, 478 bls.

Markús Loftsson 1930. Rit um jarðelda á Íslandi, 2. útgáfa aukin. Útgefandi Skúli Markússon.

Safn til sögu Íslands IV. Kaupmannahöfn og Reykjavík, 1907-1915, 186-294.

Kötluráðstefna – 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918
Vík í Mýrdal, 12. október 2018

Hvað segja jarðskorpuhreyfingar okkur um kvikusöfnun Kötlu?

Halldór Geirsson[1], Benedikt G. Ófeigsson[2], Vincent Drouin[1,3], Michelle Parks[2], Sigrún Hreinsdóttir[4], Freysteinn Sigmundsson[2], Páll Einarsson[2] og Erik Sturkell[5]

[1]JarðvísindastofnunHáskóla Íslands, NORDVULK, Háskóli Íslands; [2]Veðurstofa Íslands; [3]Landmælingar Íslands; [4]GNS Science, Nýja Sjáland; [5]Háskólinn í Gautaborg, Svíþjóð

Ágrip

Mælingar á jarðskorpuhreyfingum má nota má til að segja til um breytingar á magni kviku í eldfjöllum. Mismunandi tækni hefur verið beitt við vöktun og rannsóknir á jarðskorpuhreyfingum við Kötlu: hallamælingum, GPS landmælingum, og bylgjuvíxlmælingum á radarmyndum sem teknar eru með gervitunglum (InSAR). Í heildina hafa mælingarnar sýnt óverulegar færslur utan jökulsins, sem takmarkar mögulegt magn kviku sem gæti hafa safnast fyrir í Kötlu síðustu áratugina. Tvær GPS mælistöðvar á jökulskerjum innan jökulsins sýna óverulegar færslur frá 2000-2011, en frá 2015 sýna stöðvarnar færslur upp og út frá miðju Kötluöskju sem nema að jafnaði um 5-10 millimetrum á ári hverju. Séu þessar færslur túlkaðar sem innflæði kviku þarf um 1-2 milljón rúmmetra af kviku á ári hverju að bætast við á um 3 km dýpi til að útskýra færslurnar. Til samanburðar þá er þetta magn um tífalt minna en ætlað er fyrir Heklu. Einnig mætti hugsanlega túlka færslurnar sem breytingar í jarðhitakerfi Kötlu eða að hluta til sem færslur samfara jarðskjálftum eða jarðskjálftahrinum og flóðum. Mælingarnar segja hins vegar ekki til um hversu mikil kvika hafði safnast áður en mælingar hófust árið 1967. Náið er fylgst með breytingum í jarðskorpuhreyfingum við Kötlu.

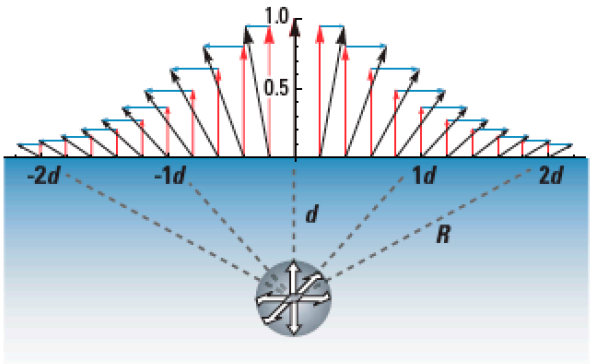
Abstract

Crustal deformation measurements are particularly useful for inferring volume changes at volcanoes. Different techniques are used for monitoring and research of crustal deformation at Katla: tilt measurements, geodetic GPS measurements, and satellite radar interferometry (InSAR). Overall, the measurements show small or insignificant displacements outside of the ice cap, which constrains the possible magma accumulation at Katla for the past decades. Two GPS stations on nunataks within the glacier show small or insignificant deformation 2000-2011, but from 2015 the stations show movements up and outward from the center of the caldera by 5-10 mm/yr on average. If these observations are interpreted as magma inflow, about 1-2 million cubic meters are needed every year at approximately 3 km depth to explain the observations. For comparison then this volume is about ten times less than what is estimated for Hekla volcano. It is also possible that the nunatak GPS stations are recording deformation from the geothermal system, or in relation to floods and earthquakes. The crustal deformation, however, does not show how much magma had accumulated before measurements started in 1967. Hence crustal deformation at Katla is closely monitored.

Inngangur

Að öllu jöfnu safna virk eldfjöll að sér bergkviku milli eldgosa. Þessi kvikusöfnun getur verið með ýmsum hætti: með jöfnu kvikustreymi, í stökum innskotum, á miklu eða litlu dýpi. Þessar kvikuhreyfingar valda hreyfingum á yfirborði jarðar, ekki ósvipað og ef blásið er í blöðru sem þenst út (Mynd 1). Þessar jarðskorpuhreyfingar er hægt að mæla og segja til um t.d. staðsetningu, dýpi og rúmmálsbreytingu kvikuhólfa. Oft eru þessar jarðskorpuhreyfingar smáar, ef til vill örfáir millimertarar á ári hverju, en einnig eru til dæmi um að mældar hreyfingar spanni fjölmarga metra. Þegar eldfjöll gjósa er verið að færa kviku úr iðrum eldfjallanna upp á yfirborðið og eldgosum fylgir þess vegna að öllu jöfnu þrýstilækkun og hjöðnun. Gott dæmi um þetta eru jarðskorpuhreyfingar vegna eldgossins í Eyjafjallajökli 2010 (Sigmundsson o.fl. 2011).

Nota má nákvæmnis landmælingatækni, sér í lagi GPS- og InSAR bylgjuvíxlmælingar (sjá skýringar síðar) til að mæla þessar jarðskorpuhreyfingar með nákvæmni sem nemur nokkrum millimetrum. Hér verður gerð grein fyrir nákvæmnislandmælingum á jarðskorpuhreyfingum við Kötlu og hvaða skorður þær mælingar setja á kvikuhreyfingar í eldfjallinu síðustu áratugi.



Mynd 1. Líkan af jarðskorpuhreyfingum vegna þrýstiaukningar í kúlulaga kvikuhólfi á dýpi *d*. Svartar örvar sýna heildarhreyfingu á hverjum stað á yfirborði, sem skipta má upp í lóðréttar hreyfingar (rauðar örvar) og láréttar hreyfingar (bláar örvar). Mynd: Dzurisin, 2007.

Mælingar á jarðskorpuhreyfingum

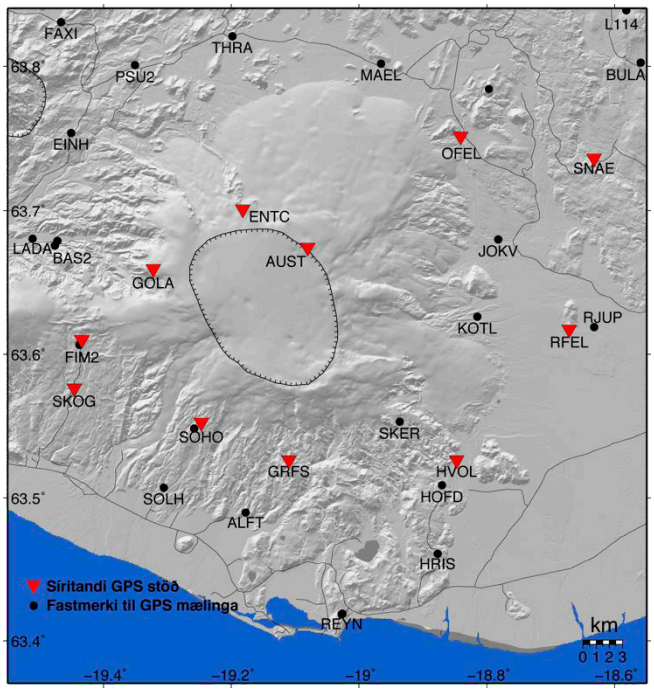
Mælingar á jarðskorpuhreyfingum við Kötlu hófust með hallamælingum Eysteins Tryggvasonar o.fl. 1967 (Sturkell o.fl. 2004; 2008). Í þessum mælingum er hæðarmælt á milli fastmerkja sem steypt eru í klappir á 500-600 m löngum prófílum og reiknaðar breytingar í halla jarð-skorpunnar með tíma, ekki ósvipað og þegar hefðbundin hallamál eru notuð. Mælingar þessar voru stundaðar fram undir tíunda áratuginn þegar GPS landmælingar tóku við. Þó eru enn sumar hallamælistöðvanna mældar á nokkurra ára fresti til að viðhalda löngum tímaröðum.

Mynd 2. Síritandi GPS mælistöð á Sólheimaheiði (SOHO), sunnan Mýrdalsjökuls. GPS loftnetið er með plastkúpli til að hindra snjósöfnun. Vindrafstöð og sólarsella (sést ekki á mynd) framleiða rafmagn fyrir viðtækið sem staðsett er í kassa á stálundirstöðu.

Í GPS landmælingum er notaður sérhæfður búnaður sem nemur merki frá staðsetningargervitunglum og getur gefið staðsetningu (lárétta og lóðrétta) með nákvæmni upp á nokkra millimetra. Bæði er hægt að mæla á nokkurra ára fresti hvernig staðsetning fastmerkja breytist, eða hafa tæki sífellt í gangi á sama staðnum í árarаðir (Mynd 2). Síðari kosturinn er auðvitað nokkru dýrari, en gefur mun betri upplausn í tíma. Mynd 3 sýnir net GPS mælistöðva við Kötlu og Eyjafjallajökul. Veðurstofa Íslands, í samvinnu við Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands, sér um rekstur og úrvinnslu á síritandi GPS stöðvum. Gögn frá síritandi GPS stöðvum eru flutt sjálfvirkt til úrvinnslu-miðstöðva í Reykjavík, unnið úr þeim jafnóðum, og niðurstöður birtar á vefsjám, t.d. http://gps.vedur.is og https://strokkur.raunvis.hi.is (Geirsson o.fl. 2010).

Einnig eru notaðar svokallaðar bylgjuvíxlmælingar (e. Interferometric Synthetic Aperture Radar - InSAR) til mælinga á jarðskorpuhreyfingum. Í bylgjuvíxlmælingum eru radarmyndir frá sérhæfðum gervitunglum á mismunandi tímum bornar saman á sérstakan hátt, og þá má meta færslu jarðskorpunnar í átt að eða frá gervitunglinu á þeim svæðum sem gefa stöðug endurköst af radarmerkinu. Bylgjuvíxlmælingar gefa sérlega góða upplausn í rúmi þar sem nánast hver staður á jörðinni getur nýtist til mælinganna þegar best lætur.

Ofangreindar mæliaðferðir hafa hver sína kosti og galla og nýtast því vel saman. Til dæmis virka bylgjuvíxlmyndir ekki vel þegar snjór er á jörðu, og GPS stöðvar mæla bara breytingar á staðsetningu á þeim punkti sem tækið er á. Allar aðferðirnar verða fyrir áhrifum af bylgjubroti í lofthjúp jarðar. Katla er þakin jökli og fátt um staði innan jökulsins sem finna má fasta klöpp til að mæla hreyfingar á. Því er mikilvægt að nýta þá fáu staði sem standa upp úr jöklinum, svo sem Austmannsbungu (AUST á Mynd 3) og Entu (ENTA). Rekstur mælistöðva inni á miðjum jökli er erfiður; sólarsellur og vindrafstöðvar þekjast ís og tímafrekt og krefjandi er að komast til að sinna viðhaldi stöðva. Auk þess sest klaki á loftnetin og veldur truflunum sem geta í sumum tilvikum litið út eins og færslur á stöðinni.

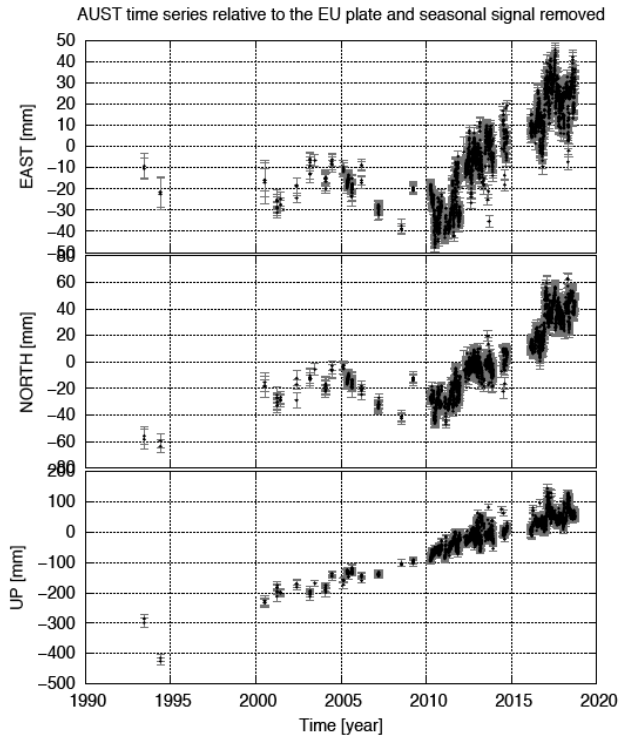


Mynd 3. GPS mælistöðvar í grennd við Kötlu. Fastmerki til punktmælinga eru merkt með svörtum hringjum, en síritandi stöðvar með rauðum þríhyrningum.

Niðurstöður mælinga

GPS mælingarnar gefa þrívíða staðsetningu (í austur, norður og lóðrétt) stöðvarinnar með nákvæmni upp á nokkra millimetra miðað við að unnið sé úr sólarhringslöngum gagnaskrám. Því er vanalega horft á hvernig staðsetning stöðvanna breytist með tíma (Mynd 4). Ísland liggur á mörkum tveggja jarðskorpufleka, Evrasíu og Norður Ameríkuflekans, og færast þeir í sundur með hraða sem nemur um 2 cm á ári. Katla er staðsett á Evrasíuflekanum og því er eðlilegast að skoða færslur þar í kring miðað við fastan Evrasíufleka. Mynd 4 sýnir færslur GPS stöðvarinnar á Austmannsbungu frá 1993 til 2018. Töluverðar truflanir eru á þessari stöð og óvenju stórar ársveiflu í staðsetningu, sem búið er að

meta og fjarlægja úr gögnunum á Mynd 4. Fram til 2005 færist stöðin heldur til norðurs, til suðvesturs frá 2005 til 2011, og til norðausturs (út frá öskjunni) frá 2011 (Mynd 5). Lóðréttar færslur eru nokkuð jafnar upp á við allan tímann og stjórnast mikið til af fargbreytingum vegna rýrnunar jökla.

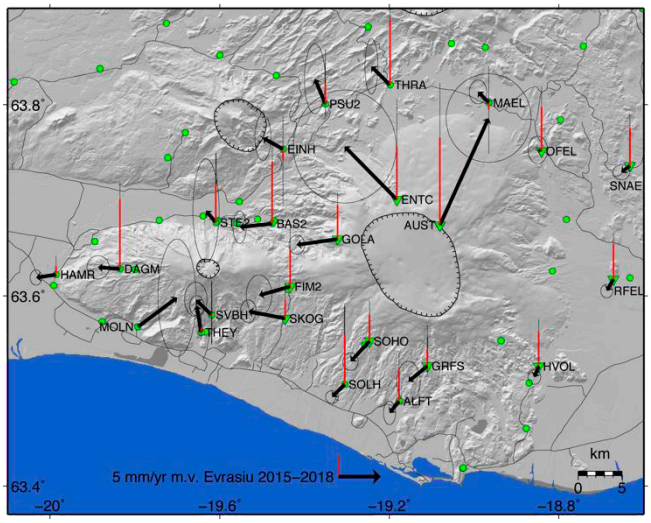


Mynd 4. Færslur samfelldu GPS stöðvarinnar á Austmannsbungu (AUST). Stöðin var notuð til punktmælinga fram til 2010 þegar síritandi mælitæki var sett þar upp. Búið er að fjarlægja árssveiflur úr gögnunum.

Gagnlegt að skoða meðalfærsluhraða GPS stöðvanna yfir ákveðin tímabil. Mynd 5 sýnir meðalfærsluhraða GPS stöðva við Kötlu og Eyjafjallajökul frá 2015 til 2018. Á Mynd 6 er svo sýnt meðalfærslusvið unnið úr bylgjuvíxlmælingum. Samsvörun þessara mælinga er ágæt. Rétt er að geta þess að hér ekki leiðrétt fyrir svörun jarðskorpunnar þegar jöklar bráðna, en þá rís jarðskorpan og færist, í minna mæli, lárétt út frá fargbreytingunni. Við Kötlu gætir áhrifa Vatnajökuls sem og Eyjafjalla- og Mýrdalsjökuls (Árnadóttir o.fl. 2009, Pinel o.fl. 2007). Megnið af lóðréttum færslum við Kötlu og hluti láréttra hreyfinga stafar af fargbreytingum jökla.

Bæði GPS og bylgjuvíxlmælingar sýna skýrt landsig við sunnanverðan Eyjafjallajökul frá 2015. Sigið er á svipuðum stað og getið var í grein Spaans o.fl. (2015), fyrir tímabilið 2001-2010, en virðist síga af meiri hraða núna. Þetta sig hefur greinilega áhrif á stöðvar t.d. á Fimmvörðuhálsi, SKOG og FIM2. Einnig þarf að gæta að jarðskorpuhreyfingum frá Torfajökulsöskjunni, en þar hefur ríkt hægt sig og færslur að miðju öskjunnar (Gerisson o.fl. 2012) sem hefur áhrif á stöðvarnar norðan við Mýrdalsjökul. Stöðvarnar AUST of ENTC færast upp og út frá Kötluöskjunni, en hafa nokkuð stórar óvissur (Mynd 5).

Í heildina litið mælast óverulegar eða litlar hreyfingar utan Mýrdalsjökuls sem hægt er að tengja beint við kvikusöfnun í Kötlu. Þetta er í samræmi við fyrri athuganir, t.d. Sturkell o.fl. (2008) og Spaans o.fl. (2015). Það eru helst stöðvarnar ENTC og AUST sem tengja mætti við kvikusöfnun í Kötlu. Til að skýra færslur stöðvanna næst Mýrdalsjökli má setja upp einfalt líkan af kúlulaga kvikuhólfi undir öskju Kötlu. Þetta kvikuhólf þyrfti að safna um 1-2 milljónum rúmmetrum kviku á ári á um 3 km dýpi til að skýra færslur stöðvanna. Þetta magn kviku er um tífalt minna en talið er að safnist undir Heklu á ári hverju (Geirsson o.fl. 2012).



Mynd 5. Meðalfærsluhraðar GPS stöðva á tímabilinu 2015-2018 miðað við Evrasíufleka. Svartar örvar sýna lárétta hraða, rauðar örvar lóðrétta hraða. Óvissur eru táknaðar með hringjum við enda færsluörva. Ekki er leiðrétt fyrir fargbreytingum jökla.

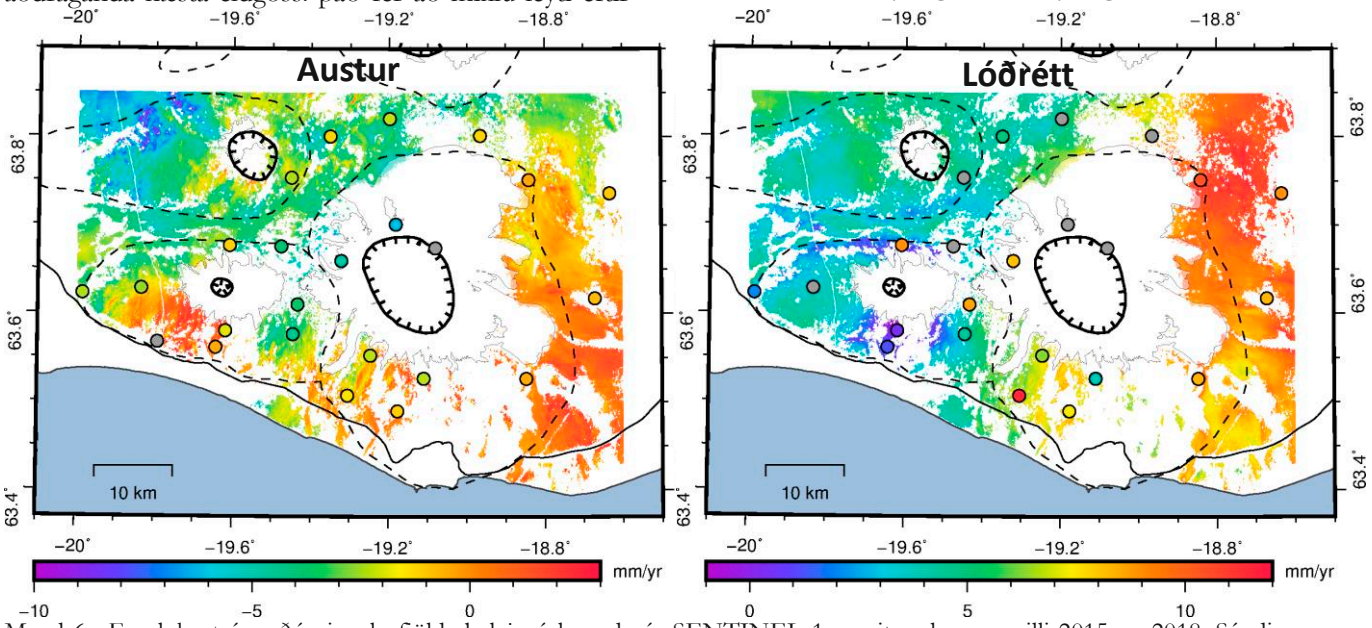
Kvika eða ekki kvika?

Athuga má aðrar skýringar en kvikusöfnun til að skýra jarðskorpuhreyfingarnar. Breytingar í jarðhitakerfi Kötlu geta hugsanlega valdið samskonar jarðskorpuhreyfingum og kvikuhreyfingar. GPS stöðin AUST sýnir einnig færslur í tenglsum við jarðskjálftahrinur og jökulhlaup 2011 og 2016 (Mynd 4) og því ætti að rannsaka þá atburði nánar. Í öllu falli má ætla að hvar sem miklar breytingar eru í jarðhitahitakerfi sé stutt í kviku.

Eins má athuga nánar áhrif bráðnunar jökla og fargbreytinga - geta þær skýrt færslur stöðvanna AUST og ENTC? Bráðnun Mýrdalsjökuls hefur verið mun meiri meðfram jöðrum jökulsins en á hájöklinum (Gunnlaugsson o.fl. 2016), auk þess að AUST færist tímabundið inn að miðju öskjunnar á þeim hluta ársins sem bráðnun á sér stað. Þessar athuganir mæla heldur á móti því að fargbreytingar einar sér skýri hreyfingar AUST.

Mælingar á jarðskorpuhreyfingum gefa upplýsingar um *breytingar* í aflögun, þ.e. ekki er hægt að segja beint til um heildarmagn kviku - einungis er hægt að segja til um hversu mikil breytingar eiga sér stað milli mælinga.

Ekki er einsýnt með hvernig merki munu mælast í aðdraganda næsta eldgoss: það fer að miklu leyti eftir hversu mikil kvika er nú þegar undir Kötlu og hversu mikla kviku þarf til að brjóta veggi kvikuhólfsins og hrinda af stað eldgosi. Sum eldfjöll sýna sívaxandi jarðskjálftavirkni og jarðskorpuhreyfingar skömmu fyrir eldgos, en engin einhlít regla gildir um það, né heldur hversu stórar hreyfingar verða fyrir gos.



Mynd 6. Færslukort úr raðúrvinnslu fjölda bylgjuvíxlmynda úr SENTINEL-1 gervitunglunum milli 2015 og 2018. Sýndir eru áætlaðir færsluhraðar til austurs og og í lóðrétta stefnu og gefur litaskali til kynna stærð hreyfinga. Hringir sýna staðsetningar og samsvarandi færslur GPS stöðva. Ekki er leiðrétt fyrir fargbreytingum jökla.

Þakkir

Mælingar hafa oft notið aðstoðar heimafólks og björgunarsveitarinnar Víkverja og kunnum við þeim bestu þakkir. Fjölmörg rannóknar- og sérvöktunar-verkefni hafa stutt mælingar og rannsóknir.

Heimildir

Árnadóttir, Th., Lund, B., Jiang, W., Geirsson, H. Björnsson, H., Einarsson P., Sigurdsson, T. 2009: Glacial rebound and plate spreading: Results from the first countrywide GPS observations in Iceland. Geophys. J. Int., 177(2), 691-716.

Dzurisin, D. 2007: Volcano Deformation. Springer.

Geirsson, H., Árnadóttir, Th., Hreinsdóttir, S., et al. 2010: Overview of results from continuous GPS obser-vations in Iceland from 1995 to 2010. Jökull, 60, 3-22.

Geirsson, H., LaFemina, P., Árnadóttir, Th., Sturkell, E., Sigmundsson, F., Travis, M., Schmidt, P., Lund, B., Hreinsdóttir, S., Bennett, R. 2012: Volcano deformation at active plate boundaries: Deep magma accumulation at Hekla volcano and plate boundary deformation in south Iceland. J. Geophys. Res., Vol. 117, No. B11, B11409.

Gunnlaugsson, Á. Þ., Magnússon, E., Pálsson, F., Belart, J.F.C., Árnadóttir, Þ. 2016: Surface elevation changes of Mýrdalsjökull ice-cap: 1960-2010. Skýrsla Jarðvísindastofnunar, RH-11-2016.

Pinel, V., Sigmundsson, F., Sturkell, E., Geirsson, H., Einarsson, P., Gudmundsson, M.T. & Högnadóttir, T. 2007: Green's function estimates of Earth response to variable surface loads: Application to deformation of the subglacial Katla volcano, Iceland. Geophysical Journal International, 169, 325–338.

Sigmundsson, F., Hreinsdóttir, S., Hooper, et al. 2010: Intrusion triggering of the 2010 Eyjafjallajökull explosive eruption. Nature, 468, 426-430.

Spaans, K., Hreinsdóttir, S., Hooper, A., Ófeigsson, B.G. 2015: Crustal movements due to Iceland's shrinking ice caps mimic magma inflow signal at Katla volcano. Scientific reports, 5, p.10285.

Sturkell, E., Einarsson, P., Sigmundsson, F., Geirsson, H., Ólafsson, H., Ólafsdóttir R., Guðmundsson, G. 2004: Þrýstingur vex undir Kötlu. Náttúrufræðingurinn 71(3-4), 80-86.

Sturkell, E., Einarsson, P., Roberts, M. J., Geirsson, H., Gudmundsson, M. T., Sigmundsson, F., Pinel, V., Guðmundsson, G.B., Ólafsson, H., & Stefánsson, R. 2008: Seismic and geodetic insights into magma accumulation at Katla subglacial volcano, Iceland: 1999 to 2005. Journal of Geophysical Research, 113, B03212

Hermun Kötluhlaups í Múlakvísl og mat á rennsli til Víkur

Helgi Gunnar Gunnarsson[1], Sveinn Óli Pálmarsson[1], Magnús Tumi Guðmundsson[2], Þórdís Högnadóttir[2] og Guðrún Larsen[2]

[1]Verkfræðistofan Vatnaskil, [2]Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands

Ágrip

Markmið þessa verkefnis var að fá varfærið mat, byggt á haldgóðum forsendum, á rennsli vatns í átt að þéttbýlinu við Vík komi til Kötluhlaups af sömu stærðargráðu og árið 1918. Stillt var upp reiknilíkani sem gat tekið tillit til líklegrar uppsöfnunar sets sem á sér stað í svona flóði, sem reyndist mikilvægt til þess að fá varfærið mat á rennsli vatns í átt til Víkur. Til viðbótar var greindur atburður þar sem minna flóð rennur um nýtt yfirborð í kjölfar Kötluhlaups um farveg í átt til Víkur. Þessi tilfelli gáfu svipað mat á mestu flóðhæð, um 5,4 – 6 m.y.s., við Víkurklett sem hér er nýtt sem viðmiðunarstaðsetning fyrir varnargarð.

Í líkaninu var stillt upp dæmi af varnargarði út frá Víkurkletti með krónu í 7 m.y.s. og sýndu niðurstöður reikninga fyrir bæði flóðatilfellin að ekki flæði yfir þann garð. Reiknilíkanið gaf mat á vatnshæð, straumhraða og varanda meðfram slíkum garði og væri hægt að nýta líkanið áfram til frekari hönnunar á varnargarði.

Abstract

Numerical modelling of a jökulhlaup from the Katla volcano, of the same order of magnitude as occurred in 1918, has been used to provide a conservative yet realistic estimate of floodwater discharge to the Vík municipality. The numerical model takes into account accumulation of sediment on land which can be expected to occur during the flood event, which proved to be an important factor in the estimation of floodwater discharge to Vík. In addition, a case where a smaller jökulhlaup, by an order of magnitude, following the larger Kötluhlaup was simulated as it flows in a channel directed to Vík. Both scenarios provided a similar estimate of flood height, 5,4 – 6 m.a.s., at Víkurklettur, a location for a suggested levee.

Model simulations with a proposed levee at Víkurklettur with a crest height 7 m.a.s. showed that for both jökulhlaup scenarios floodwater did not flow over the levee. The model produced estimates of water depth, velocity and flood duration on the levee and could be used for further design considerations.

Inngangur

Í kjölfar vinnu við gerð hættumats vegna eldgosa og hlaupa frá vestanverðum Mýrdalsjökli og Eyjafjallajökli (Magnús Tumi Guðmundsson og Ágúst Gunnar Gylfason, 2005) gerði Verkfræðistofan Vatnaskil reiknilíkan fyrir útbreiðslu hlaupa úr Sólheima- og Kötlujökli fyrir almannavarnardeild Ríkislögreglustjóra. Til skoðunar voru meðal annars hamfaraflóð með rennslishámarki allt að 250.000 m^3/s frá mismunandi útrennslissvæðum Kötlujökuls (Verkfræðistofan Vatnaskil, 2006).

Aðfaranótt 9. júlí 2011 átti sér stað hlaup úr sigkötlum Mýrdalsjökuls sem tók með sér brúna yfir Múlakvísl. Við hönnun nýrra brúarmannvirkja og varnargarðs á flóðasvæði Múlakvíslar fékk Vegagerðin Verkfræðistofuna Vatnaskil til þess að meta áhrif samsvarandi flóðaatburðar á fyrirhuguð mannvirki (Verkfræðistofan Vatnaskil, 2014). Í þeirri vinnu var líkanið uppfært með tilliti til þess að mæta þeim markmiðum en var einnig beitt til þess að meta gróflega áhrif hamfaraflóðs á Kötlugarð. Niðurstöður leiddu í ljós að líkur eru á að slíkt flóð færi yfir og tæki með sér Kötlugarð og útbreiðslan myndi ná til þéttbýlisins við Vík í Mýrdal.

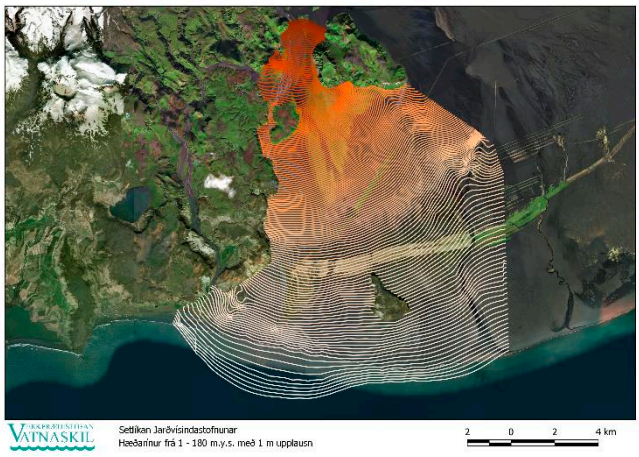
Að beiðni Lögreglustjórans á Suðurlandi í samstarfi við almannavarnadeild ríkislögreglustjóra, Vegagerðina og Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands hefur Verkfræðistofan Vatnaskil uppfært reiknilíkanið enn frekar og hermt tilfelli af útbreiðslu og dreifingu hamfaraflóðs úr Kötlujökli með áheyrslu á þéttbýlið við Vík. Markmiðið var að fá varfærið mat, byggt á haldgóðum forsendum, á flóðhæð við Víkurklett, komi til Kötluhlaups af sömu stærðargráðu og árið 1918. Til að ná þeim markmiðum vann Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands greiningu á setmyndun samfara jökulhlaupinu 1918 og yfirfærði á líklega útbreiðslu sambærilegs flóðs miðað við legu lands í dag. Fékkst þannig grunnur að líklegri uppsöfnun sets meðan á flóðinu stendur komi til sambærilegs atburðar í nútíma og varð árið 1918, sem tekið var tillit til í reiknilíkangerðinni til að meta mögulegt rennsli vatns til Víkur í slíkum atburði. Fjallað er um greininguna á setmyndun í sérstöku erindi (Magnús Tumi Guðmundsson o.fl., 2018).

Jafnframt var lagt mat á hversu háan varnargarð þurfi við Víkurklett, austan af Vík, til að hindra útbreiðslu flóðsins til þéttbýlisins í Vík, og þannig lögð drög að hentugu tóli sem stutt gæti hönnun slíks varnargarðs.

Í eftirfarandi umfjöllun er greint frá helstu forsendum vinnunnar og meginniðurstöðum, en ýtarlegri umfjöllun er að finna í skýrslu Vatnaskila til Lögreglustjórans á Suðurlandi (Vatnaskil, 2018).

Flóðahermanir

Byggt var á líkani sem beitt var við hermun hamfaraflóða í Múlakvísl vegna hlaupa í Kötlujökli (Verkfræðistofan Vatnaskil, 2006) sem var uppfært til hermunar á flóðaatburði í Múlakvísl 2011 (Verkfræðistofan Vatnaskil, 2014). Fyrir markmið þessa verkefnis voru gerðar breytingar á líkaninu til þess að auka nákvæmni þess á því svæði sem nú er til skoðunar við þéttbýlið í Vík í Mýrdal. Fólust þær aðallega í þéttingu reikninets, endurvörpun hæðargrunns, færslu jaðars út í sjó auk þess að bæta við þeim möguleika að reikna með hækkun á yfirborði lands vegna uppsöfnunar setefnis sem á sér stað í svona atburði og áhrif þess á flóðið á hverjum stað og tíma innan líkankeyrslunnar. Til þess var nýttur landhæðagrunnur sem tilgreinir ætlaða hækkun yfirborðs lands vegna setefnis úr Kötluhlaupi sambærilegu og 1918 (Magnús Tumi Guðmundsson o.fl., 2018, sjá mynd 1).



Mynd 1. Landhæðargrunnur eftir ætlaða útfellingu setefna í Kötluhlaupi í nútíma, sambærilegu og átti sér stað 1918.

Við færslu jaðars í reiknilíkaninu fékkst nákvæmara mat á útbreiðslu flóðsins þegar og eftir að það kemur fram í sjó. Auk þess fékkst gróft mat á bylgjuhraða og dreifingu flóðbylgjunnar í sjó í kjölfarið sem nýtt var við mat á hversu langt sú flóðbylgja gæti gengið á land.

Jökulhlaup líkt og búast má við að komi vegna eldgoss í Kötlu er svo yfirmettað af setefnum að það hegðar sér ekki fyllilega eins og vatn. Þeirri nálgun er beitt í reiknilíkaninu að nýta hrýfisstuðul til þess að líkja eftir eðliseiginleikum jökulhlaups er varðar straumhraða og vatnshæð og byggir á greiningum á flóðförum við Hafursey og Markarfljótsgljúfur (Jónas Elíasson, 2005; Magnús Tumi Guðmundsson og Ágúst Gunnar Gylfason, 2005).

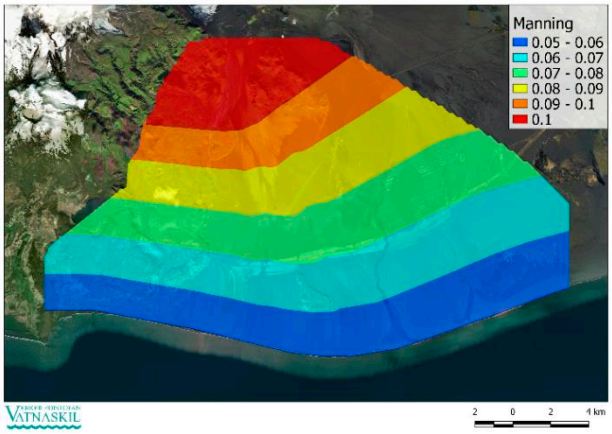
Jökulhlaup með rennslistopp 250.000 m³/s

Þar sem markmið þessa verkefnis er að fá varfærið mat á flóðhæð við Víkurklett voru gerðar breytingar á líkaninu til þess að líkja eftir aðstæðum í hlaupinu sem gætu leitt til aukins rennslis í átt að þéttbýlinu við Vík. Þær fólust í því að fjarlægja Kötlugarð, sbr. Niðurstöður úr fyrri hermunum (Vatnaskil, 2014), líkja eftir klakastíflu sem lokar um helmingi rennslisþversniðs milli Hafurseyjar og Selfjalls (mynd 2) og nota breytilegt hrýfi (mynd 3).

Mynd 2. Klakastífla í reiknilíkani.

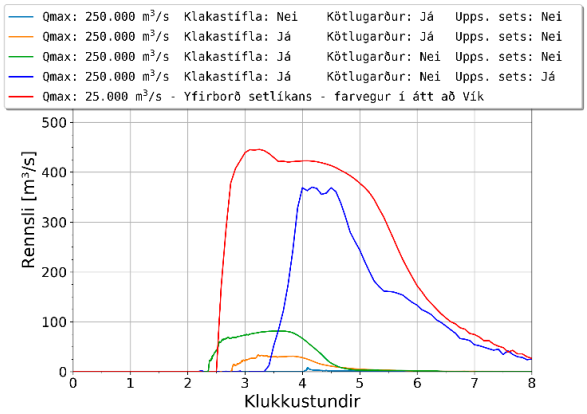
Þar er Manning gildi 0,1 látið gilda frá upptökum að Selfjalli og Hafursey og lækkar það svo jafnt og þétt niður í 0,05 við ströndu. Er þar tekið tillit til breytileika í jökulhlaupinu eftir því sem það berst niður að ströndu. Að lokum var svo einnig tekið tillit til hækkunar lands vegna útfellingar sets í hlaupinu út frá setefnahæðargrunni byggðum á greiningu Jarðvísindastofnunar.

Klakastíflan veldur því að um 20% meira rennsli fer vestur fyrir Selfjall og í farveg Múlakvíslar sem skilar sér í auknu rennsli í átt til Víkur. Á mynd 4 má sjá áhrif klakastíflunnar á rennsli í sniði við Víkurklett, sjá snið á mynd 5. Með klakastíflu fer rennslið frá því að vera óverulegt yfir í að hafa um 30 m³/s rennslistopp. Sé Kötlugarður einnig tekinn út eykst rennslistoppur í þessu sniði í um 80 m³/s. Sá þáttur sem hefur hins vegar yfirgnæfandi mestu áhrif fyrir þetta tilfelli jökulhlaups er að taka tillit til uppsöfnunar sets í flóðinu sem rúmlega fjórfaldar rennslistopp í þessu sniði, og fer rennslið í um 370 m³/s (mynd 4).



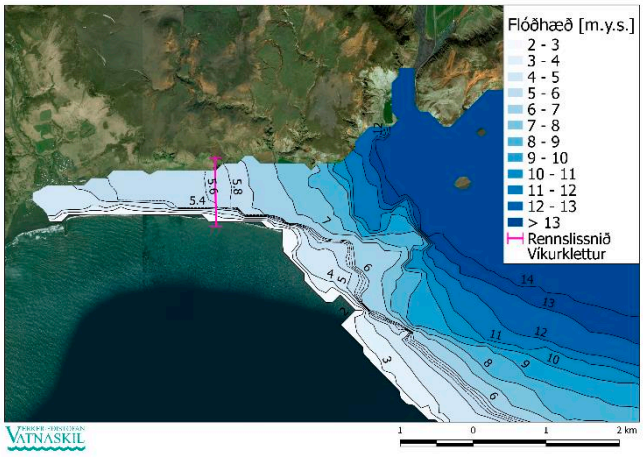
Mynd 3. Hrýfi í reiknilíkani sem Manning gildi.

Greining á þeim niðurstöðum sýnir að þar munar mikið um að til að byrja með þá veldur setmyndun við Höfðabrekkujökul því að það dregur úr skjóláhrifum hans á rennsli vestur í átt að Vík. Þegar líður á keyrsluna eru skjóláhrifin þar nánast ekki til staðar lengur og rennslið berst nokkuð óhindrað í átt til Víkur. Eins og sést á reiknuðu rennsli þá berst vatnið um klukkustund seinna að Víkurkletti sé tekið tillit til uppsöfnunar sets og spilar þar inn í að bakvatn frá ströndu berst seinna þegar aurkeilan myndast út í sjó.



Mynd 4. Rennsli í sniði við Víkurklett.

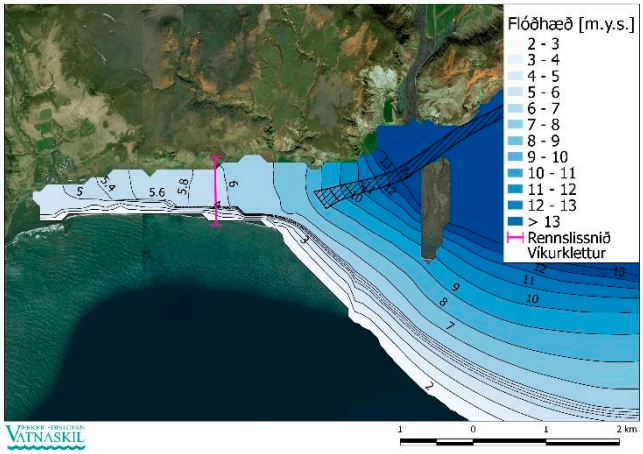
Skoða þurfti sérstaklega næmni fyrir þeim tíma sem hækkun lands átti sér stað í reiknilíkaninu meðan á hlaupinu stóð. Vatnsrit atburðarins er 4 klst. og við ströndina hefur teygst nokkuð úr því samanborið við upptakasvæðið. Eftir því sem landið hækkaði á skemmri tíma, jókst rennsli vestur til Víkur. Munar þar m.a. um hversu lengi skjóláhrif Höfðabrekkujökuls vara. Neðri mörk þess hvenær landið væri nálægt því að ná endanlegri hæð í svona atburði voru skilgreind sem 2 klst., eða þegar atburðurinn er um hálfnaður. Er það talið varfærið mat og var notað við lokahermun. Niðurstöður á mestu hæð sem flóðið stígur í yfir keyrslutímann úr þeirri hermun má sjá á mynd 5. Við Víkurklett er flóðhæðin frá um 5,4 – 5,8 m.y.s. á flatlendinu og fellur í átt að ströndu.



Mynd 5. Mesta reiknaða flóðhæð [m.y.s.]. Hámarksrennsli 250.000 m³/s.

Minna flóð í kjölfarið með rennslistopp 25.000 m³/s

Reiknilíkaninu var beitt til þess að líkja eftir því ef minna hlaup kæmi í kjölfarið á stærra flóði vegna eldgoss í Kötlu. Slíkt hlaup myndi renna um nýtt yfirborð myndað af fyrra flóði (mynd 1). Dæmi eru um að slík flóð myndi sér nokkuð mótaða farvegi og er í þessu tilfelli líkt eftir því að slíkur farvegur myndi beina rennslinu í átt til Víkur. Varfærið mat á slíkum farvegi var stillt upp í reiknilíkaninu frá gilinu vestan við Selfjall suður eftir farvegi Múlakvíslar og sveigt vestur í átt að Vík, sjá mynd 6, með 4 m dýpi og um 200 m breiður. Byggðist útfærslan á greiningu sögulegra flóðfara á Sólheimasandi. Ekki voru settir inn frekari farvegir á yfirborð setlíkansins sem voru utan áhrifasvæðis á rennsli til Víkur.



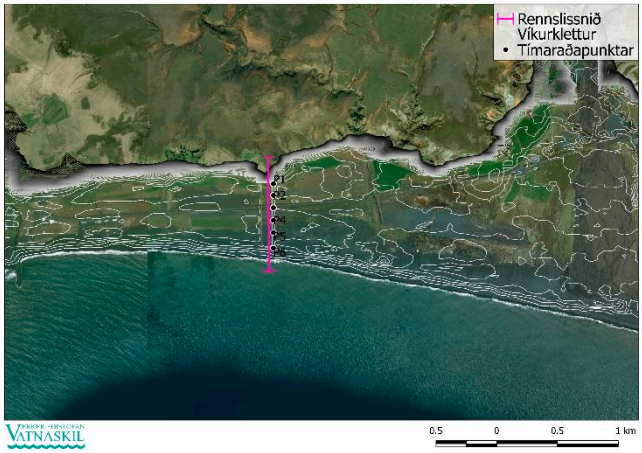
Mynd 6. Mesta reiknaða flóðhæð [m.y.s.]. Hámarksrennsli 25.000 m³/s.

Niðurstöður á reiknuðu rennsli í sniði við Víkurklett fyrir þetta tilfelli, sjá mynd 4, sýna að það gefur rennslistopp um 420 - 450 m³/s, og er um 2,5 klst. að

berast að Víkurkletti, um 1 klst. fljótar en fyrra flóðið. Er það vegna þess hversu djúpur og afgerandi farvegurinn er skilgreindur í þessu tilfelli. Mesta reiknaða vatnshæð við rennslissniðið við Víkurklett, sjá mynd 6, er nú um 5,8 - 6 m.y.s. og fellur svo í átt að ströndu.

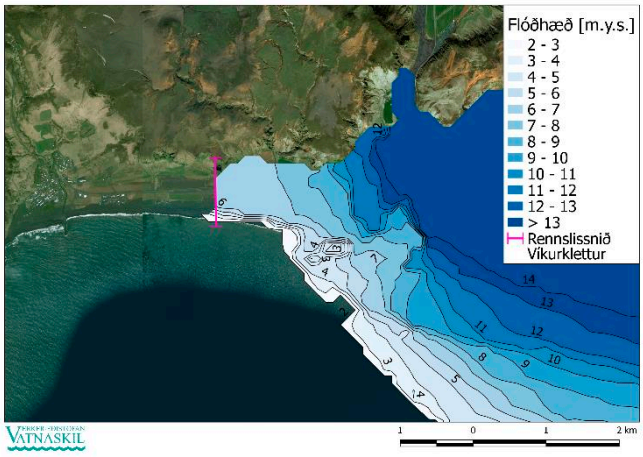
Áhrif varnargarðs við Víkurklett með krónuhæð 7 m.y.s.

Í kjölfar ofangreindra niðurstaðna var stillt upp dæmi af varnargarði með krónuhæð í 7 m.y.s. þvert á straumstefnu flóðs frá Víkurkletti að sjávarkambinum við ströndina, sjá mynd 7.

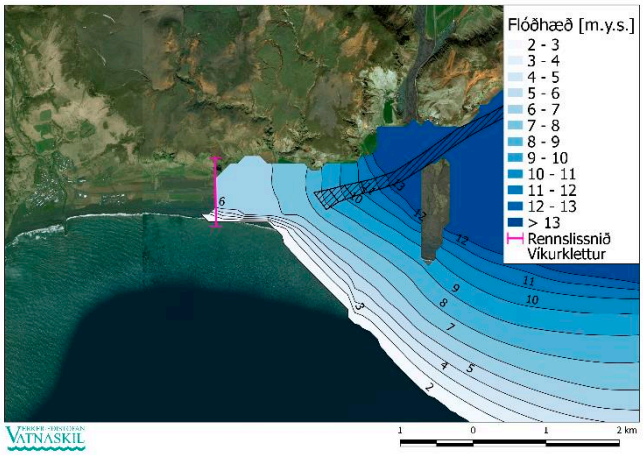


Mynd 7. Dæmi um varnargarð við Víkurklett ásamt tímaraðapunktum.

Virkni hans var skoðuð fyrir bæði fyrra flóð með rennslistopp 250.000 m³/s og seinna flóð með 25.000 m³/s. Á myndum 8 og 9 má sjá niðurstöður á mestu flóðhæð með garðinum. Þar sést að fyrir bæði flóð fer ekki yfir þennan varnargarð og fer flóðhæðin hæst í rúmlega 6,5 m.y.s. hæð. Straumhraði í þeim tímaraðapunktum sem skilgreindir eru framan við garðinn, P1 – P5 (sjá mynd 7) reiknast mest um 0,5 m/s fyrir fyrra flóð en um 0,7 m/s fyrir seinna flóð. Í punkti P6 sem er skilgreindur rétt neðan við garðinn fer straumhraði í allt að 2 m/s fyrir þessa atburði þar sem vatn rennur framhjá. Ljóst er að þar yrði mikið álag á þessa útfærslu varnargarðs.



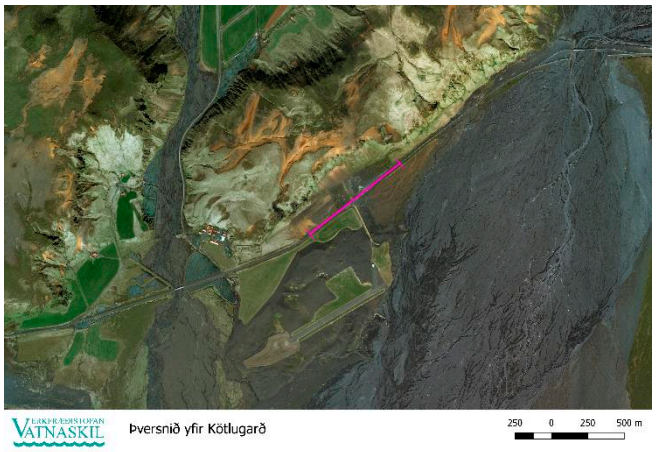
Mynd 8. Mesta reiknaða flóðhæð [m.y.s.] með varnargarði. Hámarksrennsli 250.000 m³/s.



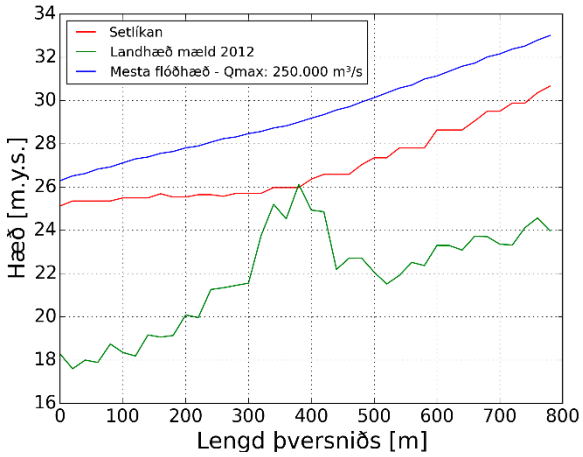
Mynd 9. Mesta reiknaða flóðhæð [m.y.s.] með varnargarði. Hámarksrennsli 25.000 m³/s.

Vatnshæð við núverandi Kötlugarð

Til þess að meta aðstæður við núverandi Kötlugarð er dregið snið sem nær um 400 m sitt hvoru megin þvert á stefnu garðsins (sjá mynd 10). Sniðið sýnir núverandi landhæð miðað við mælingu frá 2012 (Vatnaskil, 2014) með garðinum, hæð setlíkans og mestu reiknuðu flóðhæð, sjá mynd 11. Þar sést að setlíkanið gerir ráð fyrir að efnisburður með flóðinu fari í um sömu hæð og núverandi Kötlugarður. Ofan á það reiknast mest um 3 m flóðhæð yfir garðinum. Þessar niðurstöður sýna flóðhæð miðað við að Kötlugarður sé að fullu rofinn, sem var forsenda í þessum atburði, með áhrifum frá upphækkun lands vegna setmyndunar.



Mynd 10. Staðsetning þversniðs yfir Kötlugarð.



Mynd 11. Landhæð, hæð setlíkans og mesta flóðhæð í þversniði yfir Kötlugarð.

Samantekt

Markmið þessa verkefnis var að fá varfærið mat, byggt á haldgóðum forsendum, á þær aðstæður sem geta skapast komi til Kötluhlaups að sömu stærðargráðu og árið 1918 með áherslu á þéttbýlið við Vík. Nýttar voru forsendur til þessa mats í uppfærðu reiknilíkani sem byggja á gögnum og greiningum úr hlaupinu 1918. Gerðar voru breytingar á reiknilíkaninu og stillt upp viðbótar tilfellum sem myndu auka nákvæmni þess og geta gefið varfærið mat á rennsli í átt til Víkur. Munaði þar mest um að í hermunum á flóðinu var tekið tillit til uppsöfnunar sets sem búast má við í svona atburði útfrá setlíkani.

Sú breyting á líkaninu að taka tillit til hækkunar lands vegna útfellingar sets gerði það að verkum að hermun á atburði sem þessum er nú gerð með mun nákvæmari hætti en áður og reyndist mikilvæg gagnvart því að fá varfærið mat á flóðhæð við Víkurklett við þann atburð.

Til viðbótar var stillt upp atburði þar sem minna flóð rennur um nýtt yfirborð í kjölfar Kötluhlaups um mögulegan farveg í átt til Víkur. Þessi tilfelli gáfu svipað mat á mestu flóðhæð þar, um 5,4 – 6 m.y.s., og voru nýtt sem viðmið fyrir hæð á varnargarði.

Stillt var upp dæmi af varnargarði útfrá Víkurkletti í reiknilíkaninu með krónu í 7 m.y.s. og fór vatn ekki yfir þann garð þegar reiknað var fyrir bæði fyrra og seinna flóð. Reiknilíkanið gaf mat á vatnshæð, straumhraða og varanda meðfram slíkum garði og væri hægt að nýta til frekari hönnunar á varnargarði.

Heimildir

Jónas Elíasson, 2005. Hermun á flóðum úr Eyjafjallajökli, minnisblað fyrir stýrihóp á hættumati.

Magnús Tumi Guðmundsson og Ágúst Gunnar Gylfason (ritstjórar), 2005. Hættumat vegna eldgosa og hlaupa úr vestanverðum Mýrdalsjökli og Eyjafjallajökli. Ríkislögreglustjórinn, Háskólaútgáfan, 2005.

Magnús Tumi Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir, Guðrún Larsen, Helgi G. Gunnarsson og Sveinn Óli Pálmarsson, 2018. Breytingar á Mýrdalssandi samfara Kötluhlaupum. Hvað gerist í næsta stórhlaup? Kötluráðstefna, 100 ár frá upphafi gossins 12. október 1918, Vík í Mýrdal.

Verkfræðistofan Vatnaskil, 2006. Útbreiðsla hlaupa úr Entujökli og Gígjökli. Unnið fyrir Almannavarnanefnd Rangárvallasýslu. Skýrsla nr. 06.07, mars 2006.

Verkfræðistofan Vatnaskil, 2014. Múlakvísl. Hermun flóða við fyrirhuguð brúarmannvirki og varnargarða og mat á áhrifum hamfaraflóðs á Kötlugarð. Unnið fyrir Vegagerðina. Skýrsla nr. 14.03, mars 2014.

Verkfræðistofan Vatnaskil, 2018. Múlakvísl. Hermun jökulhlaups til Víkur. Unnið fyrir Lögreglustjórann á Suðurlandi. Skýrsla nr. 18.06, mars 2018.

Ef Katla gýs, hvaða tjón fæst bætt

Hulda Ragnheiður Árnadóttir framkvæmdastjóri

Náttúruhamfaratrygging Íslands (NTÍ)

Ágrip

NTÍ er vátryggingafélag í eigu íslenska ríkisins sem hefur það hlutverk að vátryggja vegna tjóns af völdum náttúruhamfara. NTÍ vátryggir gegn beinu tjóni af völdum eldgosa, jarðskjálfta, skriðufalla, snjóflóða og vatnsflóða. Umfjöllunin í þessari kynningu snýr eingöngu að því tjóni sem gæti orðið af völdum eldgoss í Kötlu.

Eftirfarandi tilvik sem rekja má til eldgoss, falla undir vátryggingavernd NTÍ.

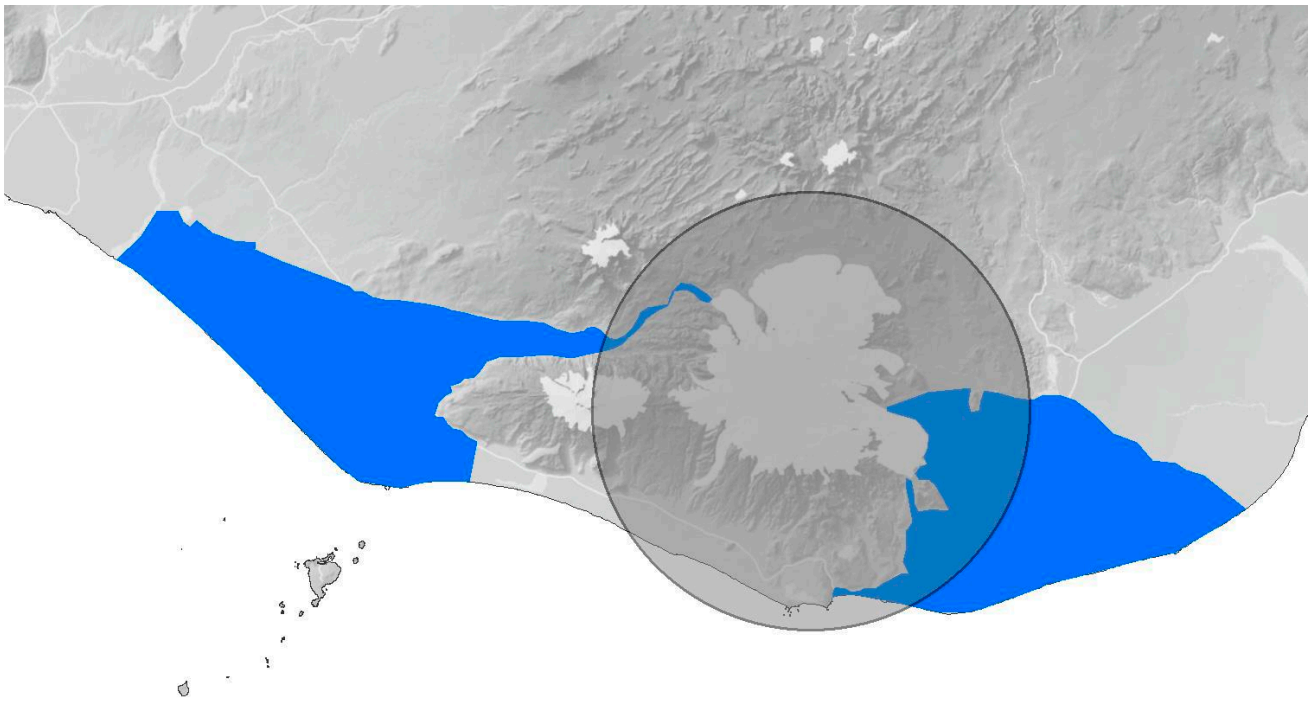
- Jökulhlaup
- Öskufall
- Hraunrennsli
- Gjóskuhlaup
- Eldsvoði sem beinlínis verður rakinn til eldgoss.

Skylt er að vátryggja allar fasteignir á landinu ásamt veitumannvirkjum, hafnarmannvirkjum, brúm (lengri en 50m), raforkuvirkjum og síma- og fjarskiptamannvirkjum sem eru í meirihlutaeigu hins opinbera (ríkis eða sveitarfélaga). Skyldutrygging er einnig á innbúi og lausafé sem er brunatryggt hjá almennu vátryggingafélögunum. Verðmæti sem vátryggð eru með landbúnaðartryggingu sem innifelur brunatryggingu eru einnig vátryggð hjá NTÍ.

Þau verðmæti sem ekki fást vátryggð með náttúruhamfaratryggingu hjá NTÍ eru t.d. vegir, land, ökutæki, og fjarskipta- og veitumannvirki í einkaeigu. Tjón vegna rekstrarstöðvunar eða annars tekjumissis fæst ekki bætt hjá NTÍ.

NTÍ vinnur í nánu samstarfi við almannavarnardeild ríkislögreglustjóra, sveitarfélög og fleiri, til að meta og undirbúa mögulega aðkomu NTÍ að tjónsatburðum í framtíðinni. NTÍ fylgist með vöktun og mælingum Veðurstofunnar sem gefa vísbendingar um atburði sem geta haft áhrif á starfsemi NTÍ.

Á grundvelli heildstæðra upplýsinga um staðsetningu og vátryggingarverðmæti allra vátryggðra eigna hjá NTÍ er hægt að leggja gróft mat á mögulegt fjárhagslegt tjón fyrir hverja sviðsmynd af afleiðingum eldgoss í Kötlu. Í kynningu NTÍ verður farið yfir tvær sviðsmyndir vegna Kötlugosa, annars vegar mikið öskufall og jökulflóð til austurs (A) og hinsvegar mikið öskufall og jökulflóð til vesturs (B).



Abstract

NTI functions as an insurance company. The purchase of catastrophe insurance for earthquakes, volcanic eruptions, avalanches, landslides, rock falls, riverine-, coastal- and glacial floods is compulsory for all buildings; as well as for contents insured against fire. Buildings are insured according to their valuation for fire as assessed by the Iceland Registers (Land Registry). Since fire insurance of buildings is compulsory in Iceland, all buildings are likewise insured against natural perils covered by the programme. The following infrastructure – water distribution networks, geothermal heating systems, sewage systems, electric power systems, bridges, harbors and ski-lifts, not normally insured against fire, are separately insured with the NTI.

NTI has estimated two scenarios of volcanic eruptions in Katla volcano. Scenario A is a loss estimation of an ash fall and a glacial flood towards East from the glacier. Scenario B is a loss estimation of an ash fall and a glacial flood towards West from the glacier. The estimation is based on detailed exposure information, including type, location (lat/lon) and value of all insured properties, contents and public infrastructure in the affected areas. In the presentation, more deails of the loss estimation will be given.

Kötluráðstefna – 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918
Vík í Mýrdal, 12. október 2018

Eftirlit með Kötlu: Náttúruváreftirlit Veðurstofunnar

Kristín Jónsdóttir, Sara Barsotti, Matthew J. Roberts, Sigurlaug Hjaltadóttir, Gunnar B. Guðmundsson, Benedikt G. Ófeigsson, Michelle M. Parks, Kristín Vogfjörð, Melissa A. Pfeffer, Ragnar Heiðar Þrastarson og náttúrvárhópur Veðurstofunnar.

Veðurstofa Íslands

Ágrip

Veðurstofa Íslands leikur lykilhlutverk í íslensku samfélagi þegar kemur að eftirliti, vöktun og þjónustu við almenning og stofnanir vegna náttúruvár og veðurs. Hlutverk stofnunarinnar er að annast samþætta rauntímavöktun og útgáfu viðvarana og spáa vegna náttúruvár á Íslandi. Undir samþætta rauntímavöktun fellur eftirlit með veðurvá (á og umhverfis landið), vatnavá, ofanflóðum, sjávarflóðum og jarðskorpuhreyfingum og annarri náttúrúvá, þ.m.t. eldgosavá.

Abstract

The Icelandic Meteorological Office (IMO) plays a key role in Icelandic society when it comes to monitoring and forecasting natural hazards and weather conditions, providing various services to the public and other stakeholders. Through real-time monitoring, IMO has the role of issuing forecasts and warnings of natural hazards in Iceland. Interdisciplinary monitoring at IMO consists of meteorological observations (land- and marine-based), hydrological monitoring, avalanche and landslide monitoring, coastal flooding, ground-based deformation measurements and monitoring of other natural hazards, including earthquakes and volcanoes.

Vöktun Kötlu á Veðurstofunni

Náttúrvárvöktun Veðurstofunnar byggir á jarðskjálftamælingum, aflögunarmælingum (GPS, þenslumælingum og gervitunglamyndum), vatnamælingum, gasmælingum, drunumælingum, vefmyndavélum og sértækum mælingum t.a.m. eftirliti með yfirborði jökulsins og þróun jarðhitakatla m.a. til að fylgjast með jarðhitabreytingum og hugsanlegri söfnun bræðsluvatns í jöklum (sjá mynd 1). Ennfremur eru sérstakt eftirlit með öskudreifingu á meðan á eldgosi stendur. Sjálfvirk úrvinnslukerfi taka við mælingum og eru niðurstöður yfirfarnar af sérfræðingum jafn óðum og þær berast.

Katla er ein virkasta og hættulegasta eldstöð landsins og hana vakta mælar með ólíka eiginleika (sjá mynd 1 og 4). Um tíu jarðskjálftamælar í nágrenni eldfjallsins senda gögn í rauntíma og sjálfvirk úrvinnsla reiknar stærð og staðsetningu skjálfta. Drunumælar, vatnamælar og gasmælar senda einnig gögn í rauntíma eða með nokkurra mínútna fresti, en GPS-mælingar nýtast helst við mat á langtímabreytingum og senda gögn á klukkustunda fresti (nokkrar stöðvar streyma þó einnig gögnum).

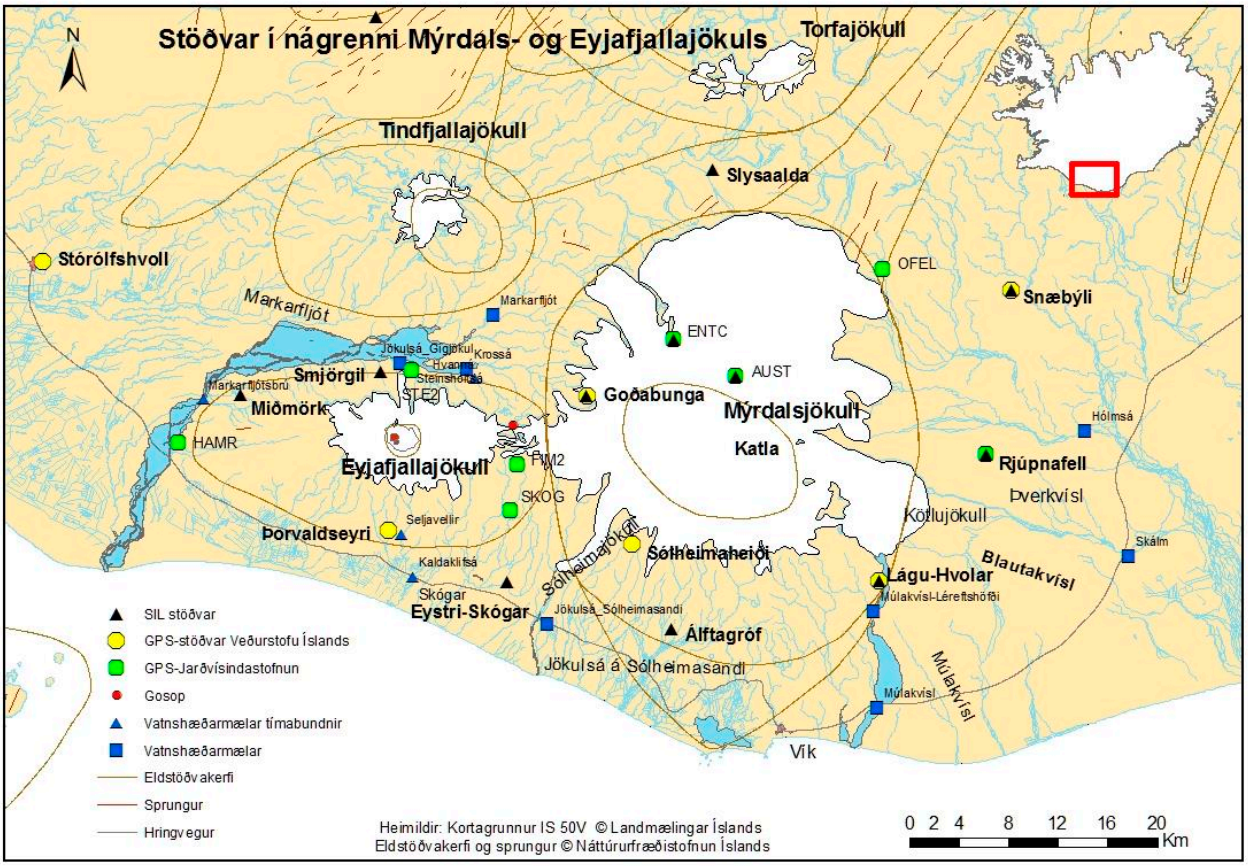
Náttúruváreftirlit Veðurstofunnar heldur úti mannaðri vakt allan sólahringinn og sjálfvirk viðvaranakerfi fara í gang ef virkni eykst. Jarðskjálftavirkni Kötlu hefur undanfarin ár einkennst af grunnum smáskjálftum í öskjunni sem fjölgar síðsumars og á haustin. Sennilegast er aukin haustvirkni algerlega óháð kvikuhreyfingum (sjá mynd 2). M.v. aðrar eldstöðvar á Íslandi þá er Katla ein sú skjálftavirkasta. Aflögunarmælingar síðastliðinna ára benda ekki til mikillar aflögunar vegna kvikusöfnunar. Þrátt fyrir það er ýmsilegt sem bendir til að grunnstæð kvika finnist í efstu kílómetrum eldfjallsins. Til marks um það er umfangsmikið jarðhitakerfi innan öskjunnar og nýlegar óháðar rannsóknir á jarðskjálftastrúktur (Jeddi o.fl., 2016) og gasmælingum (Ilynskaya o.fl., 2018) benda til að grunnstæð kvika sé til staðar. Ómögulegt er að spá í aðdraganda næsta goss en líklegast er að aukinnar jarðskjálftavirkni verði vart og að breytingar mælist í aflögun, gasi og/eða jökulám Mýrdalsjökuls áður en kvika nær yfirborði.

Monitoring Katla volcano at the Icelandic Meteorological Office

The natural hazard monitoring at the Icelandic Meteorological Office (IMO) is mainly based on data analysis from seismometers, deformation measurements (GPS, borehole-strain meters and InSAR), hydrological measurements, gas sensors, infrasound measurements, web cameras and other specific measurements, e.g. surveillance flights to monitor the ice surface and the development of geothermal activity and possible meltwater accumulation. In addition, while an eruption is ongoing, an operational monitoring system exists to track ash dispersion.

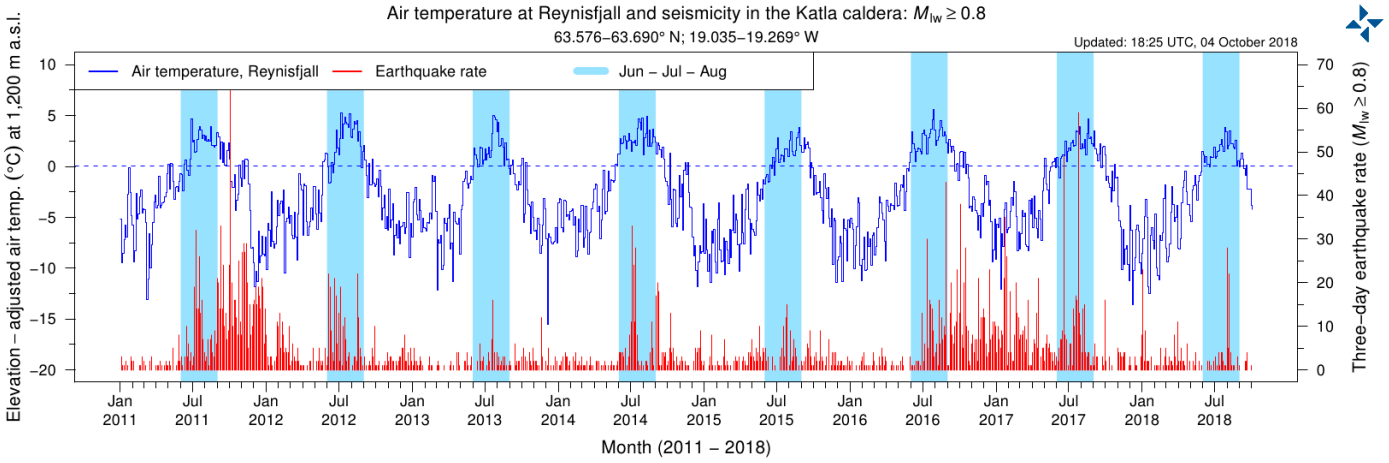
Katla is one of the most active and dangerous volcano in Iceland and it is monitored with a variety of sensors (Fig. 1 and Fig. 4). Ten seismic stations, surrounding the volcano stream data in real-time to IMO where an automatic algorithm calculates earthquake magnitudes

and locations. Infrasound data, hydrological data and gas data are also sent in real-time or with an interval of minutes. GPS-measurements are sent at hourly intervals as they are used for long-term monitoring (some are streamed as well). Seismic and volcanic unrest is followed by 24/7 monitoring and automatic warning systems that are triggered when activity increases. Seismic activity in Katla has, in recent years, been mainly characterized by shallow seismicity in the caldera. The seismicity intensifies in late summers and during the fall, an effect which is probably unrelated to volcanic processes (Fig. 2). Compared with other volcanic systems in Iceland, Katla volcano is one of the most seismically active (Fig. 3). Deformation studies in recent years do not point towards significant deformation caused by magma accumulation. Despite that, there probably exists significant magma within the roots of the volcano. This is apparent by an extensive geothermal area within the 10x14 km wide caldera. Recent independent studies, both structural seismic studies (Jeddi et al., 2016) and initial geochemical studies (Ilynskaya et al., 2018) support a shallow magma reservoir beneath the caldera. Unfortunately, it is very difficult to forecast the next Katla eruption at this stage, but most likely the monitoring system operated by the IMO will detect precursory activity, such as increased seismicity and possibly changes in seismic patterns, inflation of the volcano, changes in gas-fluxes and ratios and/or changes in hydrological data, before magma reaches the surface.



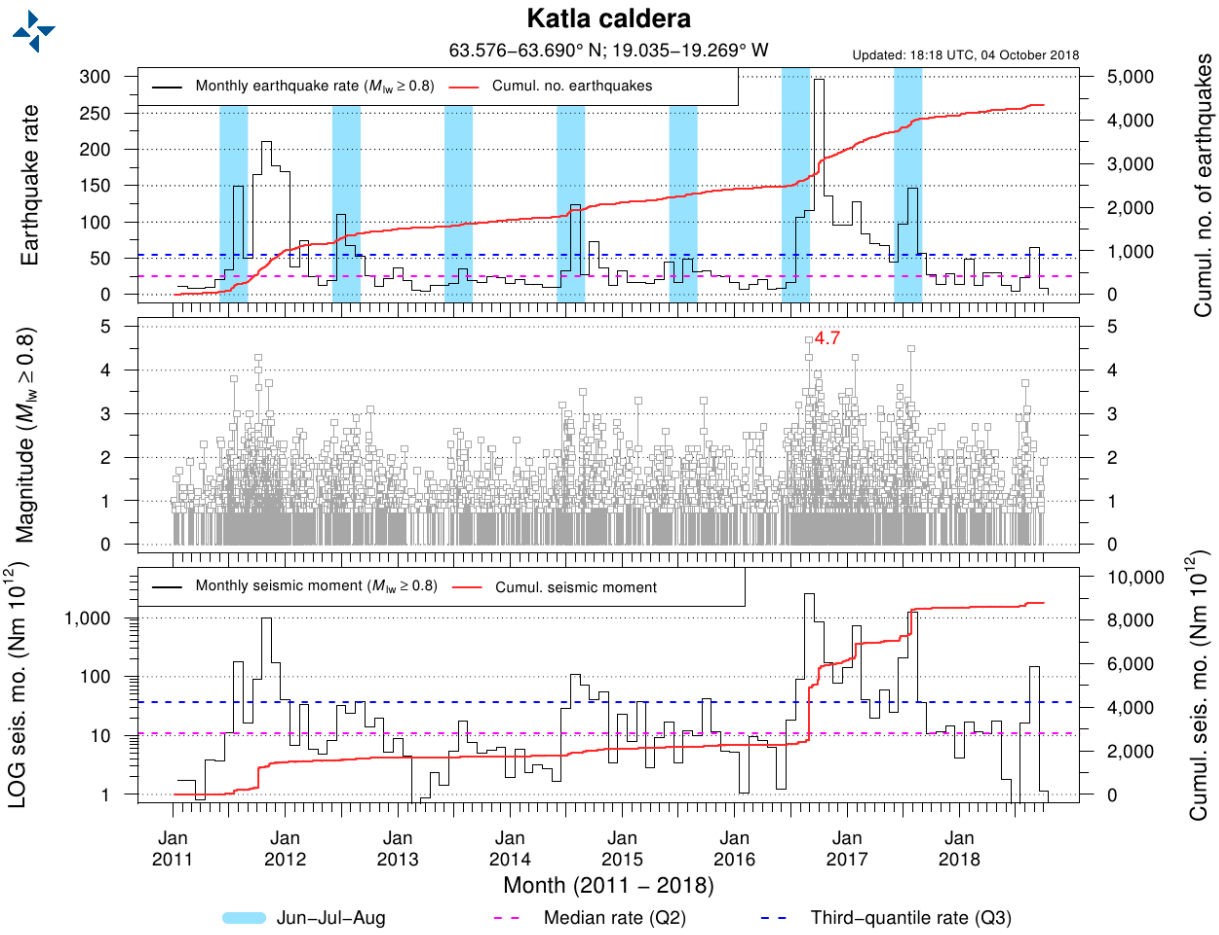
Mynd 1. Mælanet kringum Kötlu eldstöðina er þétt. Jarðskjálftamælar eru merktar sem SIL-stöðvar (svartir þríhyrningar). Gasmælar á Sólheimaheiði og við Sólheimajökul vantar, þenslumælir við Eystri-Skóga og fleiri fjarlægari mælar hjálpa einnig við vöktunina, t.a.m. drunumælar á Kirkjubæjarklaustri og í Gunnarsholti. Mælanetið tekur örlitlum breytingum milli ára og tilhneigingin er að það þéttist.

Figure 1. The monitoring network around Katla volcano is dense. Seismic stations are marked as black triangles (SIL-stations). Missing from the map are gas-sensors at Sólheimaheiði and Sólheimajökull, a bore-hole strain meter at Eystri-Skógar and other instruments farther away, which are also significant for volcano monitoring, e.g. infrasound sensors in Kirkjubæjarklaustur and Gunnarsholt. The monitoring network changes slightly from year to year, but the overall tendency is intensification.



Mynd 2. Grafið sýnir með rauðu jarðskjálftavirkni (3gja daga virkni) frá árinu 2011 (sjá y-ás til hægri). Árstíðabundin jarðskjálftavirkni, þ.e. aukin virkni í júní, júlí og ágúst er nokkuð áberandi og til glöggvunar eru þeir mánuðir skyggðir með ljósbláum lit. Í döggbláum lit er lofthiti mældur á Reynisfjalli. Nokkrar skýringar geta verið á því hversvegna skjálftavirkni eykst síðsumars, t.d. getur aukið bræðsluvatn í skorpunni valdið skjálftavirkni, eins getur jökulfarglétting haft þau áhrif að skjálftvirkni eykst (Jónsdóttir et al., 2007).

Figure 2. The graph shows seismicity (three-day earthquake rate, in red) from 2011. Seismicity is often elevated during June, July and August (these months are shown in light blue). In dark-blue, the air temperature at Reynisfjall is shown, adjusted to the elevation of the Katla caldera. A couple of explanations have been suggested to explain the seasonal seismicity, for example increased pore-fluid pressure can cause increased seismicity. Decreased glacial loading could also be another explanation (Jónsdóttir et al., 2007).



Mynd 3. Grafið sýnir skjálftvirkni frá 2011. Mikil virkni er áberandi og stærstu skjálftar mælast yfir M4 að stærð. Virkni sl. ár hefur farið minnkandi.

Figure 3. The graph shows seismicity since 2011. High earthquake rates are observed and the largest earthquakes have magnitudes above M4. Seismicity has decreased in the past year.

Mynd 4. Austmannsbunga stendur uppúr Mýrdalsjökli norðaustast í öskjurima Kötlu og er heppilegur staður fyrir mælingar. Þar er bæði jarðskjálfta og GPS mælir.

Figure 4. Austmannsbunga is a nunatak in the northeast of the Katla caldera, sticking out of Mýrdalsjökull glacier. It is a convenient spot for monitoring instrumentation. A seismic and GPS stations are located on Austmannsbunga.

Heimildir

Ilyinskaya, E., Mobbs, S., Burton, R., Burton, M., Pardini, F., Pfeffer, M. A., et al (2018). Globally significant CO2 emissions from Katla, a subglacial volcano in Iceland. Geophysical Research Letters, 45. https://doi.org/10.1029/2018GL079096

Jeddi, Z., A. Tryggvason, and Ó. Gudmundsson (2016), The Katla volcanic system imaged using local earthquakes recorded with a temporary seismic network, J. Geophys. Res. Solid Earth, 121, 7230–7251, doi: 10.1002/2016JB013044

Jónsdóttir, K., Tryggvason, A., Roberts, R., Lund, B., Soosalu, H., & Böðvarsson, R. (2007). Habits of a glacier-covered volcano: Seismicity patterns and velocity structure of Katla volcano, Iceland. Annals of Glaciology, 45, 169-177. doi:10.3189/172756407782282499

Kötluráðstefna – 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918
Vík í Mýrdal, 12. október 2018

Þar brunuðu fram heilar heiðar snævi þaktar: Ísbráðnun í gosinu 1918, tengsl hlaups og goss og eðliseiginleikar stórra Kötluhlaupa

Magnús Tumi Guðmundsson, Guðrún Larsen, Þórdís Högnadóttir og Maria H. Janebo

Jarðvísindastofnun Háskólans

Ágrip

Dregin hafa verið saman eldri gögn og þeim steypt saman við nýjar mælingar á gjóskuþykktum og samanburði nýrra og eldri korta af Mýrdalssandi til að fá heildstætt mat á stærð Kötlugossins og Kötluhlaupsins 1918. Gosefnin eru fremur fíngerð gjóska og var um helmingur hennar vatnsborinn og um helmingur loftborinn. Heildarmagn gosefna sem nýfallinnar gjósku og sem viðbót við Mýrdalssand og Kötlutanga er talið vera tæplega 2 rúmkílómetrar sem samsvarar 0,6-0.8 rúmkílómetrum af föstu bergi. Þó svo að hlaupið hafi flutt með sér mjög mikið af efni hníga flest rök að því að hlaupið hafi haft einkenni vatnsflóða. Heilarmagn gosefna bendir til þess að gosið hafi verið álíka stórt og Heklugosið 1947-48 en aðeins minna en Surtseyjargosið 1963-67. Efnið í Kötlu kom þó upp á mun styttri tíma en í hinum tveimur sem undirstrikar ákafa gossins 1918.

Abstract

Previously published data have been merged with new measurements of tephra thickness on Mýrdalsjökull and volume comparisons of new and older maps of Mýrdalssandur to obtain a comprehensive estimate of the size of the Katla eruption in 1918. The material erupted was relatively fine-grained basaltic pyroclasts, whereoff about half was water-transported and half was carried by the eruption plume. The total volume of erupted materal is just under 2 km^3, corresponding to 0.6-0.8 km^3 dense-rock equivalent (DRE). Despite the fact that the jökulhlaup transported about 1 km3 of volcanic material it had the properties of a water flood. Comparison of the total volume of erupted material shows that Katla 1918 was about equal in size to the Hekla eruption in 1947-48 but slightly smaller than the Surtsey eruption in 1963-67. However, the intensity of the Katla eruption was on average much greater as it was of much shorter duration.

Inngangur

Kötlugosið 1918 og hlaupið sem því fylgdi eru meðal þeirra atburða í sögu 20. aldar hér á landi sem flestir Íslendingar kunna einhver skil á. Heimildir um atburðina eru að mörgu leyti góðar. Ítarlegar frásagnir og greinargóðar skýrslur eru til og ljósmyndir voru í fyrsta skipti mikilvæg heimild um atburði af þessu tagi hér á landi. Þó var það svo að jarðfræðingar eða fólk sem hafði sérþekkingu á því sviði komu ekki að þessum athugunum, enda voru þá engir slíkir sérfræðingar starfandi í landinu. En lýsingar í bókum Gísla Sveinssonar sýslumanns og Guðgeirs Jóhannssonar kennara í Vík, ljósmyndir Þorláks Sverrissonar og Kjartans Guðmundssonar auk fjölmargra annarra heimilda gefa skýran vitnisburð um atburðarásina og umfang atburðanna. Vegna nálægðar Kötlu við byggðir, stærðar og eyðingarmáttar hlaupanna auk áhrifa gjóskufalls og gosmakkar, er mikilvægt að sem nákvæmust mynd sé til af Kötlugosinu 1918. Því þarf að vera til þokkalega nákvæmt mat á stærð gossins 1918 og umfangi jökulhlaupsins. Í þessu fellst að nauðsynlegt er að vita hvar gosstöðvarnar voru í jöklinum og hvaða breytingar urðu þar í gosinu. Þá þarf að vera til gott mat því á hversu mikið efni kom upp í gosinu og féll sem gjóska. Hvað hlaupið varðar þarf að þekkja hámarksrennsli þess, heildarvatnsmagn sem rann fram, aurframburð og breytingar sem urðu á Mýrdalssandi og hvernig ströndin breyttist í hlaupinu. Margt af þessu er þegar vitað, en hér er dregin saman vitneskja sem þegar lá fyrir og niðurstöður athugana sem unnar hafa verið að undanförnu til að búa til þessa heildarmynd.

Gosstöðvarnar 1918

Gosstöðvarnar voru kannaðar í þremur ferðum sem farnar voru af færleiksmönnum úr Mýrdalnum (Gísli Sveinsson, 1919; Páll Sveinsson, 1992). Fysta ferðin var farin 23. júní 1919. Greinargóð skýrsla er til um þá ferð og staðsettu leiðangursmenn gosstaðinn 1500-2000 m norður af Háubungu austanverðri. Önnur ferðin var farin 2. september og sú þriðja 12. september sama ár. Mikilvægar heimildir úr fyrstu og síðustu ferðinni eru ljósmyndir Kjartans Guðmundssonar en þær sýna sigdældina sem varð til í suðausturhluta Kötluöskjunnar og djúpa gjá eða dal sem liggur frá gosstöðvunum niður Kötlujökul. Þessi dalur er hin eiginlega Kötlugjá, sem lýst hefur verið í heimildum um mörg eldri Kötlugos. Hún hefur myndast þegar heitt bræðsluvatn blandað gjósku hefur fossað undir jöklinum niður um skarðið í jökulbotninum efst í Kötlujökli og brætt jökulinn fyrir ofan. Samskonar ílöng dæld myndaðist sunnan gosstöðvanna í Gjálp í Vatnajökli 1996. Ummerkin í Kötlu

benda ennfremur til þess að vatn hafi runnið frá gosstöðvunum ofan á jöklinum og hafi það átt verulegan þátt í að búa til djúpa gjá með skörpum brúnum. Samskonar gjá, en styttri, varð einnig til í Gjálp á sínum tíma. Myndirnar frá í september sýna einnig margra metra þykka bunka af gjósku allstaðar kringum gosstaðinn. Eignlegir gígar sjást ekki á myndunum né er þeim lýst í heimildunum. Það bendir til þess að ís hafi hulið gosopin þegar vorið 1919 eða að gígar hafi að hluta eða öllu leyti byggst upp í eða ofan á ís. Slíkar myndanir sáust í Gjálp og Grímsvatnagosum síðustu 20 ára. Þær voru allar skammlífar og hrundu og eyddust þegar ísinn sem þær studdust við bráðnaði. Um 4-6 km víð sigdæld varð til umhverfis gosstöðvarnar og að dýpi hennar þar sem hún er mest á gosstöðvunum var sennilega um eða yfir 200 metrar. Rúmmál íss sem bráðnaði kringum gosstöðvarnar og í Kötlujökli hefur ekki verið minni en 2-2.5 rúmkílómetrar en varla meiri en 5 rúmkílómetrar.

Magn gosefna

Fyrsta mat á gjóskufallinu gerði Samúel Eggertsson (1919. Guðrún Larsen o.fl. (2018) hafa nú tekið saman kort af þykkt gjóskulagsins og er niðurstaðan sú að gjóskan hafi nýfallin verið um 1 rúmkílómetri. Ýmsir hafa lagt mat á Kötluhlaupið 1918. Þar á meðal Pálmi Hannesson (1934), Jón Jónsson (1982), Þorbjörn Karlsson (1994) og Haukur Tómasson (1996). Haukur komst að þeirri niðurstöðu að hámarksrennsli hlaupsins hafi verið nálægt 300,000 rúmmetrar á sekúndu eða um sexfalt hámarksrennsli Skeiðarárhlaupsins sem kom í kjölfar eldgossins í Gjálp nóvember 1996.

Samanburður nákvæmra korta sem unnin hafa verið á síðustu árum og korts danska herforingjaráðsins sem byggt er á mælingum sem gerðar voru 1904 sýnir glögglega þær breytingar sem urðu í hlaupinu 1918. Ofan á sandinn bættust 0,6-0.7 rúmkílómetar af efni, að stærstum hluta gjóska sem er eins og sú sem féll 1918. Um 10% efnisins er þó bergbrot og mylsna sem hlaupið hefur rofið með sér á leið sinni niður Kötlujökul. Kötlutangi myndaðist í hlaupinu og færði ströndina út um 3-4 kílómetra og var nálægt 0,2 rúmkílómetrum að stærð. Heildarmagn efnis sem barst fram með hlaupinu var því um einn rúmkílómetri. Um 10% af því efni kom ekki upp í gosinu en varð til við rof farveginum undir jökli (Haukur Tómasson, 1996).

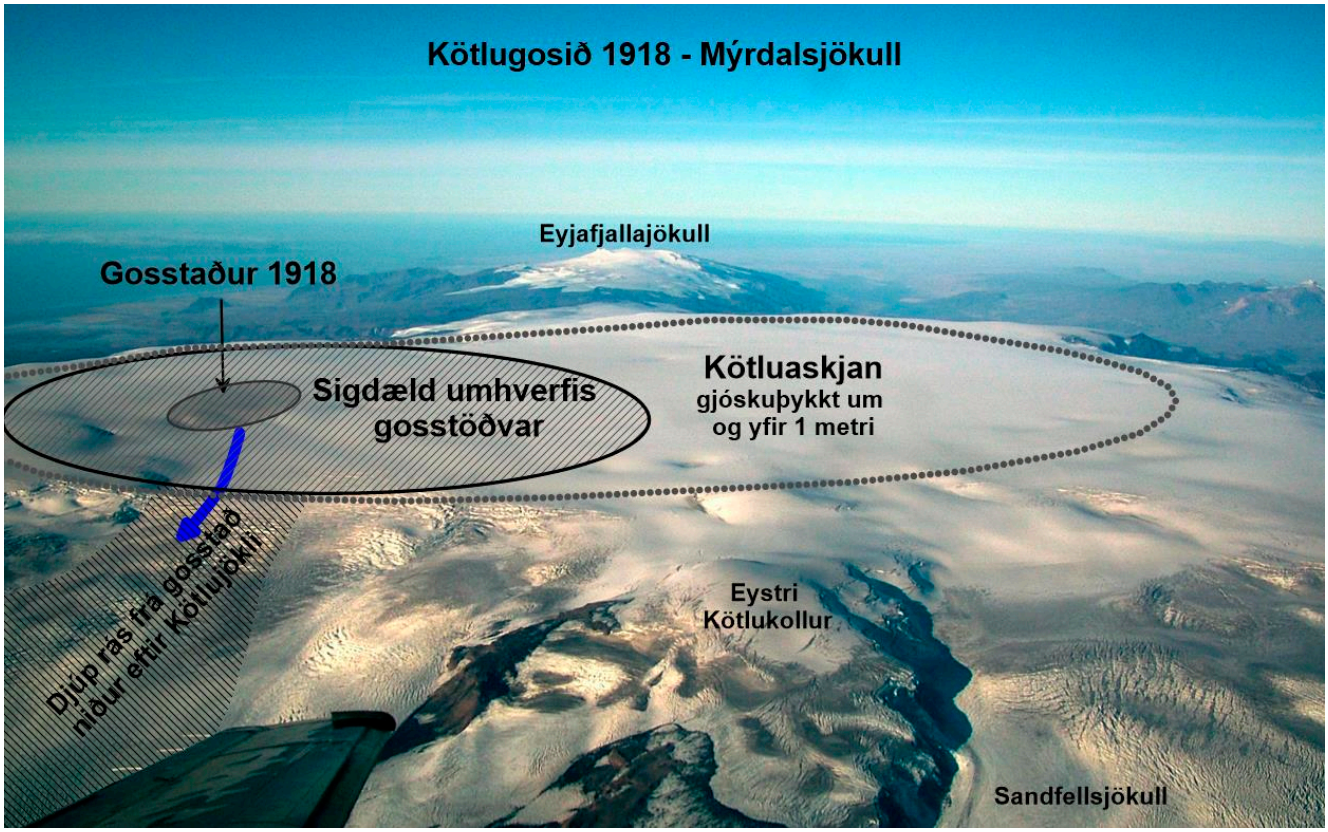
Þegar tekið er saman heildarmagn gosefna í Kötlugosinu 1918 og talið saman magn loftborinnar gjósku og vatnsborins efnis eins og rakið er hér að framan samsvarar niðurstaðan 0,6-0,8 rúmkílómetrum af föstu bergi. Magn gosefna var því álíka og í Heklugosinu 1947 og aðeins minna en í Surtseyjargosinu 1963-67, en þessi þrjú eru talin stærstu gos 20. aldar hér á landi.

Eðli hlaupsins

Eiginleikar rennslis í hlaupum fer eftir því hve mikið er af föstu efni (fínefni, t.d. gjósku og bergbrotum) í hlaupvökvanum. Vatnsflóð eru þau flóð þar sem rúmmál fastefnis er minna en 20% af rúmmálinu. Þau einkennast af boðaföllum og iðustreymi. Aurflóð eru seigari í sér en þar er rúmmál fastefnis 20-60%. Að lokum eru grjótflóð þar sem fastefni er yfir 60%. Þau flæða fram sem þykkur grautur. Slík flóð eru oftast ekki stór en eru t.d. algeng í rigningartíð skömmu eftir eldgos í bröttum eldfjöllum í hitabeltinu þar sem mikið er af lausri gjósku í hlíðum. Jón Jónsson (1982) taldi Kötluhlaupið 1918 hafa verið af þessari gerð, en Þorbjörn Karlsson (1994) og Haukur Tómasson (1996) færðu rök að því að hlaupið ætti að flokkast sem vatnsflóð, þó vissulega hafi það borið með sér mikið af seti.

Það er athyglisvert að magn vatnsborinnar gjósku er mjög svipað magni loftborins efnis. Að langmestu leyti er þetta efni, bæði loftborið og vatnsborið, fremur fíngerð gjóska og gjóskukornin er dæmigerð fyrir basísk gos þar sem vatn og kvika blandast (Tinna Jónsdóttir, 2014). Þessi fíngera gjóska tapar varma sínum á nokkrum sekúndum til bræðsluvatnsins og allar líkur eru á að vatnið hafi verið nálægt 0°C þegar það braust fram á Mýrdalssand. Ef gert er ráð fyrir að öll varmaorka vatnsborna efnisins og um fjórðungur af varmaorku þess loftborna hafi nýst til að bræða ís, fæst út að gosið hafi getað brætt að hámarki um 5 rúmkílómetra af ís. Fellur það vel að efri skorðum á mati á stærð sigdældarinnar og gjárinnar sem myndaðist í austurhluta Kötluöskjunnar. Sé magn fastefnis sem barst fram með bræðsluvatni 1918 borið saman við magn bræðsluvatnsins, fæst út að fastefnið hafi numið nálægt 15% af rúmmáli. Það þýðir að hlaupið flokkast sem vatnsflóð en ekki aur- eða grjótflóð.

Sennilegt er að nálægt helmingur íssins hafi bráðnað á fyrstu klukkustundum gossins. Hafi kvikuflæðið fyrstu klukkustundirnar verið svipað og var fyrst í Heklugosinu 1947 gætu 2-3 rúmkílómetrar íss bráðnað á 3-4 klukkustundum. Fellur það nokkuð vel að atburðarásinni þann 12. október 1918 en í hámarki hlaupsins síðdegis þann dag lýsti Kjartan L. Markússon hlaupinu á eftirfarandi hátt: (Guðgeir Jóhannsson, 1919, bls. 26) „Kl. 5 eftir hádegið óx flóðið geysimikið. Kom þá fram svo mikið íshrúgald , að líkast var sem þar brunuðu fram heilar heiðar snævi þaktar.“ Að svo miklu leyti sem slíkt er hægt fangar þessi gagnorða og meitlaða lýsing þennan mikilfenglega atburð sem var miklu stærri í sniðum en önnur stórhlaup sem orðið hafa á síðustu 100 árum.



Mynd 1. Flugmynd af Mýrdalsjökli. Punktalínan sýnir útmörk Kötluöskjunnar. Gosstaðurinn 1918 og útmörk sigdældar sem myndaðist í gosinu umhverfis hann er skástrikað. Mikið umrót varð einnig ofan til í Kötlujökli. Ljósm: MTG.

Heimildir

Gísli Sveinsson. 1919. Kötlugosið 1918 og afleiðingar þess. Prentsmiðjan Gutenberg. 59 bls.

Guðgeir Jóhannsson. 1919. Kötlugosið 1918 með myndum. Bókaverslun Ársæls Árnasonar. 71 bls.

Guðrún Larsen, Maria H. Janebo og Magnús T. Guðmundsson. 2018. Allt orðið svart af sandi og ösku: Kötlugjóskan 1918. Ráðstefna um Kötlugosið 1918, ágripahefti.

Haukur Tómasson. 1996. The jökulhlaup from Katla in 1918. Annals of Glaciology, 22, 249-254.

Jón Jónsson. 1982. Notes on the Katla volcanological debris flows. Jökull, 32, 61-68.

Páll Sveinsson 1992. Kötluför, 2. september 1919. Jökull 42, 89-93.

Pálmi Hannesson. 1934. Kötlugosið síðasta. Náttúrufræðingurinn, 4, 1-4.

Samúel Eggertsson. 1919. Ýmislegt smávegis viðvíkjandi Kötlugosinu 1918. Eimreiðin, 25, 212-222.

Tinna Jónsdóttir. 2015. Grain size distribution and characteristics of the tephra from the Vatnaöldur AD 871±2 and Katla 1918 eruptions, Iceland. MS-ritgerð, Háskóli Íslands. 140 bls.

Þorbjörn Karlsson. 1994. Kötluhlaup 1918 – vangaveltur um eðli hlaupsins og hámarksrennsli. Jarðfræðafélag Íslands – Kötlustefna.

Kötluráðstefna – 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918
Vík í Mýrdal, 12. október 2018

Breytingar á Mýrdalssandi samfara Kötluhlaupum – hvað gerist í næsta stórhlaupi?

[1]Magnús Tumi Guðmundsson, [1]Þórdís Högnadóttir, [1]Guðrún Larsen, [2]Helgi G. Gunnarsson og [2]Sveinn Óli Pálmarsson

1: Jarðvísindastofnun Háskólans, 2: Verkfræðistofan Vatnaskil

Ágrip

Landbreytingar á Mýrdalssandi samfara Kötluhlaupinu 1918 hafa verið kortlagðar með samanburði nýrra nákvæmra hæðarkorta og korts sem gert var eftir mælingum árið 1904. Þær sýna að um 0,6 rúmkílómetrar bættust ofan á sandinn suðvestanverðan og að Kötlutangi var nærri 0,2 rúmkílómetrar að stærð. Ströndin gekk jafnframt fram um a.m.k. 2 kílómetra. Til að meta mögulegt vatnsrennsli vestur til Víkur var unnin saman hermun hlaups sem færi um farveg Múlakvíslar og með Selfjalli að austan og reiknuð setmyndun samfara því. Niðurstaðan er að sandurinn gæti hækkað um 5-10 metra í farvegi Múlakvíslar og ströndin færst utar um sem næmi 2 kílómetrum. Við það myndu líkur á að hlaupvatn flæddi í átt að Vík aukast. Niðurstöðurnar benda einnig til þess að vel sé gerlegt að reisa varnargarð austan Víkur sem ætti að verja byggðina fyrir slíku hlaupi.

Abstract

Sediment accumulation on Mýrdalssandur in the Katla 1918 jökulhlaup has been mapped by comparison of new accurate DEMs and a topographic map made in 1904. The results show that about 0.6 km^3 were deposited on southwestern part of Mýrdalssandur and that the Kötlutangi peninsula extended at least 2 km out from the pre-1918 coast and had a volume of about 0.2 km^3. To estimate the potential for floodwaters in the next Katla jökulhlaup to reach the town of Vík, a simulation of a 1918-sized flood was combined with a sedimentation model based on the 1918 events. The results indicate that in the flowpath of Múlakvísl sedimentation could add 5-10 meters of new material and a 2 km long peninsula could form into the ocean to the west of where it formed in 1918. These changes would increase the likelihood of some floodwater reaching Vík. However, the results also indicate that it should be feasible to build a levee to stop floowaters to reach Vík.

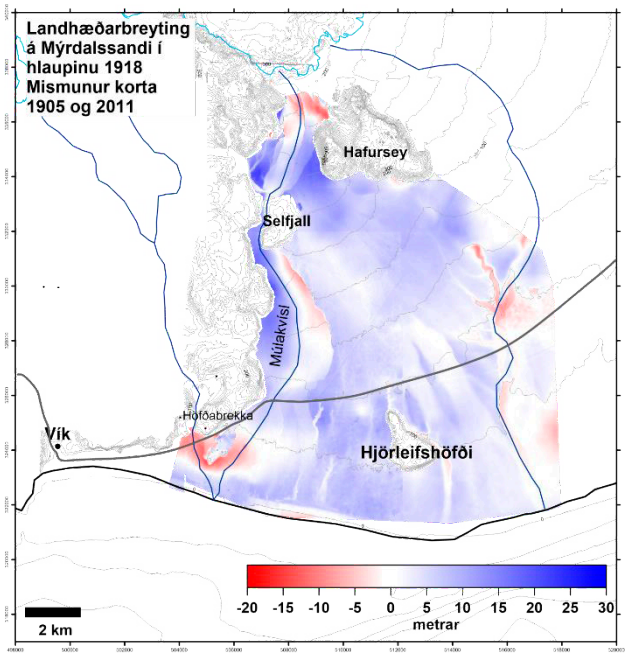
Inngangur

Kötluhlaup flytja með sér mikið magn gosefna sem setjast til á Mýrdalssandi auk þess sem tangar myndast við ströndina. Hafalda og straumar jafna síðan úr töngunum og dreifa efninu eftir ströndinni. Fyrir vikið hefur ströndin færst út og nemur sú færsla nokkrum kílómetrum á síðustu öldum (Guðrún Larsen, 2018). Fyrir hlaupið 1660 var útræði frá Skiphelli við Höfðabrekku en nú er yfir tveggja kílómetra land að fara niður til strandar. Þetta nýja land hafa hlaupin myndað. Í hlaupinu 1918 myndaðist Kötlutangi, en þá færðist ströndin út um 3-4 kílómetra suður af Hjörleifshöfða. Á áratugunum eftir hlaupið fluttist verulegt efni úr Kötlutanga vestur með ströndinni og er hún nú nokkur hundruð metrum sunnar en var fyrir 1918.

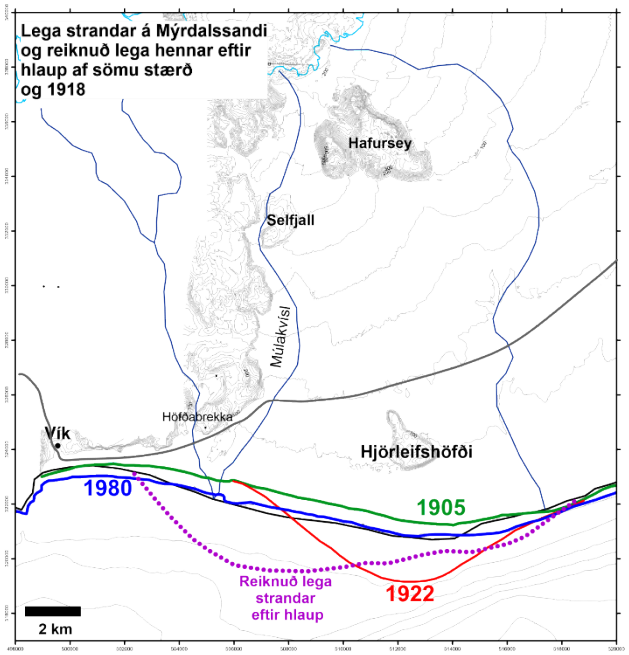
Svo vel vill til að Danska herforingjaráðið lét mæla Mýrdalssand 1904 og má á því korti sjá hvar ströndin lá fyrir hlaupið 1918. Einnig má með samanburði kortsins frá 1904 við nýrri kort meta hæðarbreytingarnar sem urðu í hlaupinu. Ný, nákvæm kort hafa verið unnin af hluta Mýrdalssands á síðustu árum, m.a. af Múlakvísl og nágrenni árið 2011. Einnig eru til kort unnin eftir loftmyndum frá 1945-1946 (AMS) og 1975 (Landmælingar Íslands). Kortin eftir loftmyndunum frá 1945-46 eru ekki eins nákvæm og þau sem seinna hafa verið gerð og samanburður korta frá 1975 og 2011 sýnir hverfandi breytingar á því tímabili. Meginhlaupið 1918 fór fram milli Láguhvola og Hafurseyjar og þaðan milli Hafurseyjar og Selfjalls. Síðan fram sandinn beggja vegna Hjörleifshöfða en lagðist mun minna í farveg Múlakvíslar. Hlaupið sem kom úr Krika, við norðurjaðar Kötlujökuls, var stórt á flesta mælikvarða, en þó sennilega nærri tífalt minna en meginhlaupið. Langstærstu landbreytingarnar urðu því á sandinum í farvegi meginhlaupsins og með myndun Kötlutanga þar sem það fór í sjó fram. Samanlagt efnismagn sem settist á sandinn að frádregnu því sem flust hefur fram með hlaupinu úr Krika er 0,6 rúmkílómetrar. Kötlutangi er talinn hafa verið nálægt 0,2 rúmkílómetrar til viðbótar.

Hlaupið 1918 hækkaði sandinn milli Múlakvíslar og austur fyrir Blautukvísl um 2-10 metra. Mest var hækkunin þó næst jökli ofan Selfjalls, en verulegur hluti þess efnis sem þar settist til hefur Múlakvísl flutt fram í farveg sinn á síðustu 100 árum.

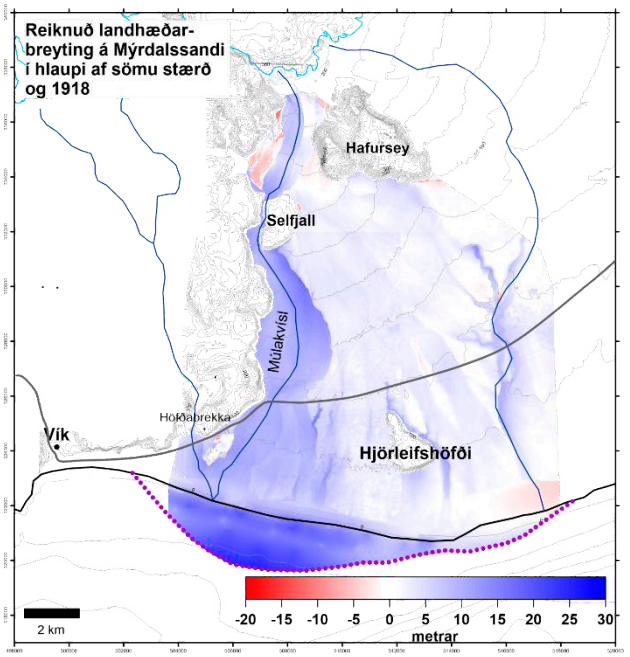
Í ljósi þess hve breytingar á sandinum eru miklar í stórhlaupum eins og 1918, er eðlilegt að sú spurning vakni hvers gæti verið að vænta í næsta hlaupi, ef stærð þess yrði í líkingu við 1918. Sér í lagi er eðlilegt að spurt sé:



Mynd 1. Hæðarbreytingar á suðvesturhluta Mýrdalssands milli 1905 og 2011. Hækkun sandsins varð í hlaupinu 1918.



Mynd 2. Lega strandarinnar á 20. öld og reiknuð lega strandarinnar eftir hlaup af sömu stærð og varð 1918 serm legðist í farveg Múlakvíslar og fram með Selfjalli að austan.



Mynd 3. Reiknaðar landbreytingar samfara hlaupi af sömu stærð og 1918 sem legðist í Múlakvísl og fram með Selfjalli að austan.

1. Hvaða breytingar geta orðið á vestanverðum Mýrdalssandi?
2. Er hætta á að hlaupvatn nái til Víkur við núverandi aðstæður?
3. Er hægt að reisa varnargarð sem geta varið Vík gegn hlaupum?

Þar sem að komin er fram nokkuð skýr mynd af breytingunum sem urðu 1918 er hægt að leita svara við 1. spurningu með hermun jökulhlaupa. Er þá gert ráð fyrir að setmyndun yrði að magni til eins og var 1918. Til að meta versta tilfelli var unnin hermun af útbreiðslu hlaups þar sem rennsli um nyrðri hluta sniðsins milli Hafurseyjar og Selfjalls er ekkert, eins og gæti gerst ef þar myndaðist stór jakastífla (Verkfræðistofan Vatnaskil, 2018). Þeim hluta sandsins sem hlaupið flæddi yfir var síðan skipt í nokkra geira frá vestri til austurs sem lágu í stórum dráttum samsíða rennslisstefnu hlaupsins. Setmyndun er síðan talin vera í réttu hlutfalli við vatnsmagnið sem rann fram í hverju þversniði. Þannig var 0,6 rúmkílómetrum efnis dreift á geirana og öðrum 0,2 rúmkílómetrum bætt í nýjan tanga undan ósum Múlakvíslar. Fæst þannig fram mat á hækkun sandsins á hverjum stað. Að lokum er teiknað kort af sandinum eftir að að nýja setið hefur bæst við. Fæst þannig möguleg sviðsmynd af Mýrdalssandi eftir næsta stórhlaup.

Niðurstöðurnar eru eftirfarandi:

- Hlaup sem kæmi fram við núverandi aðstæður, jafnstórt og kom 1918, myndi að öllum líkindum leggjast meira í farveg Múlakvíslar og flæmast vestar en var 1918.

- Sandurinn í farvegi Múlakvíslar myndi hækka um 5-10 metra og leggjast að og jafnvel færa í kaf hluta Höfðabrekkujökuls.
- Hlaupið gæti náð til Víkur þó svo að meginflaumurinn færi á haf út eftir farvegi Múlakvíslar.

Hermuninni eru gerð skil í erindi Helga G. Gunnarssonar (Helgi G. Gunnarsson o.fl., 2018) en þar kemur fram að dýpt og straumþungi hlaupvatns ætti ekki að vera meiri en svo, að vel á að vera gerlegt að reisa varnargarð sem gæti haldið því frá Vík.

Ef Kötluhlaup halda áfram með svipaðri tíðni og stærð og verið hefur á síðustu öldum, má reikna með að ströndin haldi áfram að færist utar með hverju hlaupi. Fjarlægð til strandar frá Vík mun þá aukast en jafnframt mun sandurinn austur af Vík hækka. Að öðru jöfnu eykur þetta líkur á að hlaup leiti í átt að Vík þegar fram líða stundir.

Spár um loftslagsbreytingar benda til þess að jöklar hér á landi muni minnka mjög og jafnvel hverfa á næstu 100-200 árum. Ef það gerist mun taka fyrir Kötluhlaup. Tíminn mun leiða í ljós hve mörg Kötluhlaup eiga eftir að koma í framtíðinni, en niðurstöðurnar benda til þess að verulegar breytingar geti orðið austan Víkur á næstu 50-100 árum.

Heimildir

Guðrún Larsen. 2018. Jökulhlaup til austurs og suður frá Mýrdalsjökli I. Umfang, hlaupleiðir, tjón og umhverfisbreytingar, ásamt viðaukum. Jarðvísindastofnun Háskólans, RH-13-2018. 66 bls.

Helgi Gunnar Gunnarsson, Sveinn Óli Pálmarsson, Magnús Tumi Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir og Guðrún Larsen 2018. Hermun Kötluhlaups í Múlakvísl og mat á rennsli til Víkur. Kötluráðstefna 1918. Ráðstefna um Kötlugosið 1918, ágripahefti.

Verkfræðistofan Vatnaskil. 2018. Múlakvísl. Hermun jökulhlaups til Víkur. Skýrsla 18.06. 22 bls.

Kötluráðstefna – 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918
Vík í Mýrdal, 12. október 2018

Ásýnd eftir sandgræðslu í Mýrdal

Magnús Þór Einarsson

Landgræðsla ríkisins; magnus.thor@land.is

Ágrip

Rekja má aðgerðir Landgræðslu ríkisins á Mýrdalssandi allt til ársins 1977. Unnið hefur verið á tæplega 2.300 hekturum og á svæðið hafa verið borin um 109 tonn af fræi og 2000 tonn af áburði. Með þessum aðgerðum hefur tekist að minnka verulega sandfok á þjóðveg 1 um Mýrdalssand og lokanir á veginum vegna sandfoks heyra að mestu sögunni til. Jafnframt hefur Landgræðslan unnið að kortlagningu á áfallaþoli vistkerfa í nágrenni eldfjalla gagnvart öskufalli og síðkominni dreifingu gosösku. Slík kortlagning er mikilvæg til að gera uppbyggingu á áfallaþoli vistkerfa markvisst. Áformað er að vinna slíka kortlagningu á svæðum í nágrenni Kötlu á næstu árum.

Abstract

The Soil Conservation Service of Iceland (SCSI) has been carrying out revegetation actions on Mýrdalssandur since 1977. The total extension of these actions is nearly 2.300 hectares and 109 tons of seed and 2.000 tons of fertilizer have been used. Thes actions have resulted in significantly less sand drift on the road through Mýrdalssandur and reduced closures of the road due to sand drift. In addition to this, the SCSI has been mapping the resilience of ecosystems in the vicinity of volcanos towards tephra fall and secondary distribution of tephra. Such mapping is important for making build up of ecosystem resilience more effective. Such mapping of areas in the vicinity of the volcano Mt. Katla will be carried out in the next years.

Inngangur

Landgræðsluaðgerðir á Mýrdalssandi má rekja allt til ársins 1977 en þá byrjuðu flugsáningar yfir sandinn. Fyrstu árin miðuðu aðgerðir að því að verja þjóðveg 1 í þáverandi vegstæði. Þegar ákveðið var að færa þjóðveg 1 í núverandi vegstæði hófust aðgerðir á því svæði árið 1987 til þess að undirbúa varnir gegn ágangi sands við þjóðveg 1. Aðgerðir á Mýrdalssandi eru samstarfsverkefni Landgræðslu ríkisins og Vegagerðarinnar og hefur verið unnið samkvæmt framkvæmdaáætlunum allt frá árinu 1995. Markmið aðgerða á Mýrdalssandi hafa verið til að minnka enn frekar sandfok á svæðinu til að verja þjóðveg 1, viðhalda eldri aðgerðum með það að markmiði að þær sinni áfram hlutverki sínu að safna í sig og stöðva sandfok. Aðgerðir á Mýrdalssandi hafa skilað góðum árangri miðað við að aðstæður eru erfiðar og hafa leitt til þess að þeim dögum sem hringvegurinn er lokaður um Mýrdalssand hefur fækkað verulega.

Meginmál

Landgræðslusvæðið á Mýrdalssandi er 13.300 hektarar að stærð (mynd 4). Innan landgræðslusvæðisins er áætlað að unnið hafi verið á í það minnsta 2.300 hekturum. Hafa þessar aðgerðir samanstaðið af sáningu á melgresi, lúpínu og öðrum landgræðslutegundum og dreifingu áburðar sem tilbúnum áburði og kjötmjöli. Síðari ár hafa aðgerðir verið einna helst í formi áburðargjafar á eldri sáningar til að viðhalda og styrkja þann gróður sem kominn er, svo hann geti tekið við foksandi á svæðinu. Einnig hefur verið sáð melgresi til þess að stækka gróðurlendið sem tekur við sandinum. Undanfarin ár hefur verið unnið á um 300 hekturum árlega. Í heildina hefur verið notað um 109 tonn af fræi á Mýrdalssand og þar af mest af melgresi eða um 65 tonn. Tæplega 1.900 tonnum af áburði og 100 tonnum af kjötmjöli hefur verið dreift til styrkingar og viðhalds á gróðri á Mýrdalssandi.

Mynd 1. Melgresissáning á Mýrdalssandi 2008. Melgresi er sáð til að hefta sand svo hann fari ekki yfir þjóðveg 1. Ljósmynd Jónas Erlendsson.

Mýrdalssandur hefur verið eitt af helstu svæðum Landgræðslu ríkisins í söfnun á melfræi og hefur verið safnað þar um 59 tonnum af melgresi.

Aðgerðir til að stöðva sandfok og dreifingu ösku eftir að hún er fallin eru oft erfiðar og kostnaðarsamar. Til

þess liggja margar orsakir. Sandur og aska eru næringarsnauð jarðvegsefni og vatnsheldni lítil. Því er oft afar erfitt að græða upp slík svæði. Því hafa komið upp hugmyndir að fara í markvissar aðgerðir til að styrkja gróður á svæðum í kring um eldfjöll og byggja þau upp svo þau geti lifað af öskufall og hindrað frekari dreifingu öskunnar. Hvorutveggja er mikilvægt til að vernda heilsufar og lífsgæði íbúa og aðra almannahagsmuni á slíkum svæðum. Verkefnið Hekluskógar var sett af stað í þessum tilgangi árið 2007 (Hreinn Óskarsson, 2011).

Árið 2015 sett af stað verkefnið „Kortlagning á áfallaþoli vistkerfa í nágrenni Heklu með tilliti til öskufalls (GróGos)“. Það verkefni var hluti af heildarhættumati vegna eldgosa á Íslandi, GOSVÁ, og styrkt af Ofanflóðasjóði. Markmið þess var að kanna getu vistkerfa til að standast öskufall og hindra flutning ösku á síðari stigum. Helstu niðurstöður þess verkefnis voru að gerð vistkerfa, þekja gróðurs, yfirborðshrjúfleiki og halli lands réðu mestu um getu vistkerfa til að standast öskufall og hindra flutning ösku. Kjarr- og skóglendi, votlendi og lúpína voru metin með hæst áfallaþol (Elín Fjóla Þórarinsdóttir o.fl. 2017). Slík kortlagning getur skipt miklu til að ákvarða aðgerðir til efla þol vistkerfa gagnvart öskufalli. GróGos verkefnið var unnið í nágrenni við Heklu en framhaldsverkefni þess mun fara af stað 2019 þar sem sambærileg kortlagning verður gerð á svæðinu sunnan Mýrdalsjökuls. Þar hefur reynslan sýnt að veruleg hætta er á því að vindur og vatn sópi ösku af illa grónu landi í vatnsföll sem veldur aurflóðum sem raska samgöngum og spilla ræktarlandi og mannvirkjum, líkt og gerðist eftir Eyjafjallajökulsgosið (mynd 2).

Mynd 2. Dreifing ösku á Skógaheiði eftir Eyjafjalla-jökulsgosið 2010. Hér má sjá hvernig vindur hefur sópað öskunni niður í brekkuna þaðan sem hún berst svo áfram með vatni. Ljósmynd Elín Fjóla Þórarinsdóttir.

Áætla má að fjárhagslegt tjón af völdum öskufalls og síðkominnar öskudreifingar á svæðum sunnan Mýrdalsjökuls yrðu mjög mikill og má í því sambandi benda á að kostnaður vegna aurflóða eftir Eyjafjallajökulsgosið mun hafa verið á bilinu 0,5 – 1 milljarður króna.

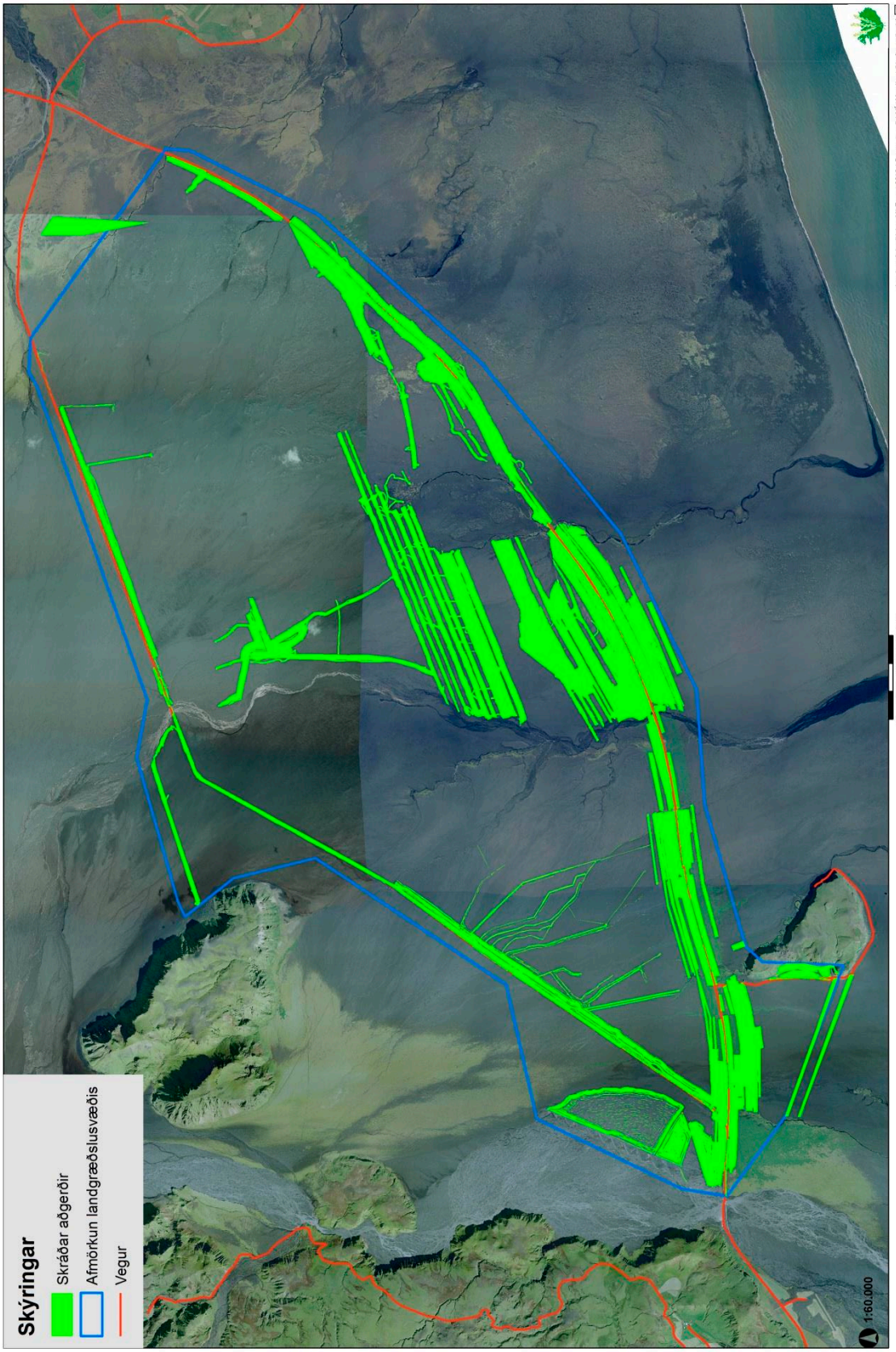
Uppgræðsla á Mýrdalssandi er mikilvæg til að draga úr sandfoki á veginn og Landgræðslan mun halda þeim aðgerðum áfram í samstarfi við Vegagerðina (mynd 3). Þær aðgerðir munu þó að öllum líkindum ekki standast stórt Kötluhlaup, nema að einhverju leyti. Þar mun þurfa að byggja upp varnir gegn sandfoki á nýjan leik eftir hlaup. Um svæðin sunnan Mýrdalsjökul gegnir öðru máli. Þar er aðalhættan öskufall sem hætt er við að leiði til alvarlegra aurflóða og spjalla á samgöngumannvirkjum og ræktarlandi. Þess utan mun öskufok af svæðinu ógna lífsskilyrðum og lýðheilsu íbúa á svæðinu. Mikilvægt er að hefja sem fyrst markvissar aðgerðir til að draga úr áhrifum þess.

Mynd 3. Þrátt fyrir miklar landgræðsluaðgerðir þá er sandfok algengt á svæðinu í þurrum hvassviðrisdögum. Ljósmynd Sveinn Runólfsson.

Heimildir

Elín Fjóla Þórarinsdóttir, Fanney Ósk Gísladóttir, Arna Björk Þorsteinsdóttir, Sigmundur Helgi Brink og Guðmundur Halldórsson (2017). Kortlagning á áfallaþoli vistkerfa í nágrenni Heklu með tilliti til öskufalls. Skýrsla til Ofanflóðasjóðs. Landgræðsla ríkisins og Landbúnaðarháskóli Íslands, 42 pp.

Hreinn Óskarsson (2011). Hekluskógar. Í: Ása L. Aradóttir og Guðmundur Halldórsson (ritstjórar). Vistheimt á Íslandi, bls 71-74. Landbúnaðarháskóli Íslands og Landgræðsla ríkisins, 168 bls. ISBN 978-9979-881-08-7.



Mynd 4. Landgræðslusvæði og landgræðsluaðgerðir á Mýrdalssandi.

Kötluráðstefna – 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918
Vík í Mýrdal, 12. október 2018

Sögulegar heimildir um aðdraganda Kötlugosa og samanburður við mælda forboða eldgosa seinustu áratuga á Íslandi

Páll Einarsson

Jarðvísindastofnun Háskólans

Ágrip

Í rituðum heimildum um Kötlugos eru jarðskjálftar nefndir í að minnsta kosti níu tilvikum. Heimildirnar eru bestar fyrir síðustu fjórar aldirnar og gefa þær nokkuð góða mynd af aðdraganda gosanna. Skjálftar finnast oftast í nærsveitum áður en sést til goss. Skjálftarnir eru oftast vægir en í einstaka tilfellum nógu sterkir til að vekja ugg. Forboðatíminn, þ.e. tíminn frá því að skjálftar finnast þangað til gosmökkur sést, er nokkuð breytilegur, allt frá nokkrum tugum mínútna og upp í meira en 9 klukkustundir. Hlaupa verður yfirleitt vart í byggð 1-3 klukkutímum eftir að gosmökkur sést. Þessi atburðarás er í samræmi við reynslu síðustu áratuga af aðdraganda eldgosa í öðrum eldstöðvum á Íslandi. Öll gosin á síðustu 45 árum áttu sér mælanlega forboða, hrinu lítilla skjálfta sem hófst nokkru áður en gos byrjaði. Forboðatíminn er mjög breytilegur, allt frá 15 mínútum til tveggja vikna.

Abstract

Written historical documents on eruptions of Katla volcano mention earthquakes in at least nine cases. The documentation of eruptions in the last four centuries are reasonably reliable and give a good idea about the precursory activity, prior to the eruptions. Earthquakes are commonly felt in the nearest districts before an eruption column is detected. Most of the time these earthquakes are weak, but occasionally strong enough to frighten people. The precursory time, i.e. time lapse between the first felt earthquake and the detection of an eruption, is variable, from a few tens of minutes to more than 9 hours. Jökulhlaups are commonly detected in the inhabited areas 1-3 hours after the eruption column is seen. This is consistent with the experience from eruptions of other volcanoes in Iceland during the last few decades. All eruptions during the last 45 years had measurable precursory activity in the form of a swarm of small earthquakes. The precursor times are variable, between 15 minutes and two weeks.

Inngangur

Það hafa löngum þótt almenn sannindi á Íslandi að á undan eldgosum finni fólk í nágrenninu jarðskjálfta. Hannes Finnsson (1739-1796) biskup í Skálholti safnaði saman fróðleik um eldgos og aðrar náttúruhamfarir og benti á að tæki eins og loftvog og segulnál mæti nota til að fylgjast með virkni náttúrunnar. Einnig gæti verið gagnlegt að fylgjast með hreyfingu jarðarinnar í jarðskjálftum í því skyni að vara við eldgosum. Aðstaða til slíks hefur vitanlega stórbatnað á síðustu áratugum. Nýlega var tekin saman reynsla manna hérlendis af því að nota skjálftamælingar og aðrar jarðeðlisfræðilegar mælingar til að fylgjast með aðdraganda eldgosa (Páll Einarsson, 2018). Í ljós kom að öll eldgos hér á landi á síðustu fjórum til fimm áratugum áttu sér mælanlegan aðdraganda. Áreiðanlegustu forboðar eldgosa eru hrinur jarðskjálfta og er forboðatíminn nokkuð breytilegur, þ.e. tíminn frá því að mælanlegir skjálftar byrja og þangað til eldgos hefst getur verið allt frá 15 mínútum upp í nokkra daga, jafnvel tvær vikur. Forboðar af þessu tagi hafa raunar verið nýttir hér á landi með góðum árangri til að gefa út aðvaranir til fólks um yfirvofandi gos. Gefin hefur verið aðvörun á undan 2/3 allra gosa á Íslandi síðan 1975. Hegðun mismunandi eldstöðva er ólík. Til dæmis eru mældir forboðatímar Heklugosa með þeim stystu sem þekkjast, enda hefur ekki tekist sérlega vel að vara við gosum hennar. Í ljósi þessa er eðlilegt að spurt sé hverju megi búast við í sambandi við Kötlugos. Hér verðum við að leita til sögulegra heimilda um fyrri gos, því engar mælingar eru fyrir hendi.

Ýmsir höfundar hafa tekið saman söguleg gögn um Kötlugos, t.d. Þorvaldur Thoroddsen (1925) og Sigurður Þórarinsson (1975) og er þar margvíslegan fróðleik að finna. Nýlega var gefin út bók hjá Kötlu Geopark, þar sem Már Jónsson (2018) tekur saman fjölda frásagna af Kötlugosum 1625-1860. Þar er einnig lagt mat á áreiðanleika gagnanna, sem er ómetanlegt framlag til rannsókna á þeim. Eftirfarandi samantekt byggir að verulegu leyti á framlagi Más.

Aðdragandi Kötlugosa

Jarðskjálftar eru nefndir í sambandi við eftirfarandi gos í Kötlu: 1311, 1580, 1625, 1660, 1721, 1755, 1823, 1860 og 1918. Áreiðanlegustu frásagnirnar eru raktar hér.

1311

Öflugt eldgos hófst 25. janúar og fundust sterkir jarðskjálftar í nálægum héruðum 10. og 11. janúar.

Þessu fylgdi svolítið öskufall og er ekki talið óhugsandi að önnur eldstöð hafi verið virk á sama tíma. Nefnt er að 51 bær hafi fallið í skjálftunum (Þorvaldur Thoroddsen, 1925). Samband skjálftanna við eldgosin er óljóst. Þessi frásögn er umdeild og ekki hafa fundist öskulög til að styðja hana. Þetta gos er því oftast ekki talið með Kötlugosum.

1580

Eldgos hófst 11. ágúst og skjálftar eru nefndir, en það er óljóst hvort þeir voru á undan eldsuppkomunni eða á eftir.

1625

Þorsteinn Magnússon á Þykkvabæjarklaustri í Veri lýsti gosinu og aðdraganda þess í talsverðum smáatriðum (Már Jónsson, 2018, bls. 65):

„ … Anno Christi 1625 þann annan dag septembermánaðar um morguninn snemma, um fyrstu birting, þá fundust og heyrðust hér í Veri nokkrir jarðskjálftar, smáir en ekki stórir. Þar skammt eftir heyrðist dunur og gnýr svo mikill og þungur að jörðin öll rigaði sér undir mönnum. Því jökullinn ásamt eldi og vatni gjörði þá hið fyrsta (eftir skjálftann) úr stað að hrærast og upp að springa. En um það bil sem úti voru mjaltir þá tók strax vatnsflóðið að koma í þá á sem fellur næst við staðinn … “

Nokkrar ályktanir má draga af þessari lýsingu og samanburði við mælda forboða seinni ára. Skjálftar fundust á undan eldsuppkomunni og jökulhlaupinu en þeir voru litlir. Lýsingin á hreyfingunum sem urðu samfara gosbyrjuninni eru í samræmi við að þá hafi orðið svokallaður lágtíðniskjálfti, en það er einmitt reynsla við síðari tíma gosbyrjanir. Forboðatíminn virðist hafa verið stuttur, en lýsingin gefur ekki upp hversu stuttur. Hann gæti verið fáir tugir mínútna. Tíminn sem leið þar til flóðið kom fram á sandinn er líklega um 3 klukkustundir.

1660

Samtímaheimild um gosbyrjunina er skrifuð af Jóni Salómonssyni í Höfðabrekku (Már Jónsson, 2018, bls. 83):

„ Anno 1660 þann 3. nóvember um kvöldið móti dagsetri sást fyrst eldur upp koma til norðurs tilsýndar frá Höfðabrekku er stóð við Mýrdal í Skaftafellssýslu, með langvaranlegum landskjálfta, hartnær sem menn meintu heila stund, þó stundum yrði nokkur kyrrð á, áður en eldurinn uppgaus. Þar eftir um kvöldið þess sama dags, þá úti var vanalegur vökutími og menn vildu hvílast, kom fram að Höfðabrekku jöklagangur með ofurmáta miklum vatnaþunga, hver sitt útfall hafði í Kerlingardalsá sem flóar fyrir austan Fagradal. … “

Hér er túlkunin augljós. Jarðskjálftar fundust um klukkustund áður en sást til goss. Jökulhlaupið náði niður til Höfðabrekku 3-4 klukkustundum eftir jarðskjálftana. Ef borið er saman við skjálftalýsingarnar frá gosunum á átjándu öld, þá virðast skjálftarnir 1660 hafa verið fremur vægir.

1721

Samtímalýsing á atburðarásinni er eftir Þórð Þorleifsson á Kirkjubæjarklaustri og Erlend Gunnarsson, Þykkvabæjarklaustri (Már Jónsson, 2018, bls. 89-90):

„Anno 1721 þann 11. maímánaðar, kl. 9 fyrir middag, kom svo mikill jarðskjálfti að á sumum bæjum í Mýrdal voru menn ei óhræddir í húsum vera. Við hvern jarðskjálfta einnin var vart á Síðu, undir Eyjafjöllum og í Fljótshlíð; hverjir næstu viku þar eftir jafnlega voru en viðhéldust öðru hverju til miðsumars.

Á sama degi, klukkan 1 eftir middag, heyrðust miklir dynkir með stórbrestum, hverjum að fylgdi ógnarlegur eldgangur með mökk og svælu, sem uppkom í jöklinum norður af Höfðabrekku, nefnt Kötlugjá, …. Klukkan 2 kom krapavatnshlaup, hastarlega framrennandi með nokktum jökum … Klukkan 3 kom sjálft jökulhlaupið með hraðri ferð, …”

Þetta stóra gos átti sér greinilegan aðdraganda í sterkum jarðskjálftum sem ollu hræðslu og fundust greinilega út í að minnsta kosti 50 km fjarlægð. Forboðatíminn var um 4 klukkustundir. Fyrsta flóðið kom fram á sandinn klukkustund seinna, en aðalflóðið ekki fyrr en tveimur stundum eftir að goss varð vart.

1755

Áreiðanlegasta lýsing á þessu mikla gosi er eftir Jón Sigurðsson í Holti í Mýrdal, um 15 km SSV af Kötlu (Már Jónsson, 2018, bls. 185-186):

„Anno 1755 spjó Kötlugjá í Mýrdalsjökli. Byrjuðust þau upptök föstudaginn þann 17. október lítið fyrir hádegi með miklum jarðskjálftum, eins og húsum vaggað væri, þar eftir þann dag til enda og eftirkomandi nótt, svo margir voguðu varla inn í húsum að vera vegna hræringar jarðarinnar og kvíða þeim að húsin mundu niður hrynja. Að kvöldi þess sama dags þá dimma tók sáust eldingar títt fyrir bregða sem skrugguljós, er gekk út ásamt með skjálfta og hræringum jarðarinnar alla þá nótt …

… Nóttina eftir þann 17. október og svo um daginn hljóp vatns- og jökulhlaupið úr svokallaðri Kötlugjá fram af jöklinum, …”

Samkvæmt lýsingunn var umtalsverð skjálftavirkni í að minnsta kost 6 klukkustundir áður en gosmökkurinn sást. Gera má ráð fyrir að eldingarnar sem lýst er eigi upptök í gosmekkinum. Jökulhlaupið virðist ekki hafa komið fram fyrr en nokkrum klukkustundum síðar.

1823

Undanfari Kötlugossins var með nokkuð óvenjulegum hætti. Eyjafjallajökull hafði gosið slitrótt síðan í desember 1821, og bæði eldfjöllin vor virk samtímis um skeið. Til eru greinargóðar lýsingar á Kötlugosinu eftir

Jón Austmann prest á Mýrum í Álftaveri og Svein Pálsson lækni í Vík, sjá Má Jónsson (2018, bls. 222). Gosið byrjaði 26. júní:

„Hér um bil klukkan 6 eftir middag fannst hér í Vík (…) fyrst jarðskjálfti, nokkrir harðir og stuttir kippir, þó ekki meiri en að vart hrikti í húsum og þar á eftir hægari en viðvarandi hræringu er að síðustu létu á milli með hörðum kippum, viðlíkt og fyrst þangað til klukkan 9, þá allt varð kyrrt svo sem ¼ tíma, sást þá fyrst mökkur koma upp með ógnarlegri ferð … "

Og á bls. 232: „ … Nálægt miðri nótt … byrjaði vatnshlaup nokkurt með smá íshroða og jökulleirsbleytu, austan með Víkurfjalli … ".

Jarðskjálftarnir á undan gosbyrjuninni voru greinilegir en ekki stærri en svo að Jón Austmann nefnir þá ekki í sinni lýsingu. Hann lýsir hins vegar mjög nákvæmlega öllum jökulhlaupum og flóðgusum sem fylgdu gosinu.

1860

Nákvæmasta lýsing af þessu fremur litla gosi í Kötlu er eftir Jón Jónsson í Höfðabrekku, (Már Jónsson, 2018, bls. 267):

„ Þriðjudaginn hinn 8. maí klukkan 6 til 7 um morguninn komu jarðskjálftar svo miklir að hús kipptust við og brakaði í þeim. Klukkan 5 ½ um kvöldið braust vatn fram Múlakvíslaraura með mikilli ferð …".

Og fyrir 9. maí skrifar hann: „ … Þá um morguninn fyrst sást dimmsvartur mökkur er lagði langt upp á loft úr jöklinum … ".

Magnús Hákonarson prestur sem bjó í Vík á þessum tíma, telur þetta gos hafa valdi minnstu tjóni allra gosa Kötlu er menn hafa sögur af (Már Jónsson, 2018, bls. 277). Skjálftar á undan gosbyrjuninni voru greinilegir en ekki tiltakanlega miklir. Forboðatíminn er hins vegar óviss því ekki er vitað nákvæmlega hvenær gosmökkurinn reis. Hann sást ekki fyrr en morguninn eftir þegar birti. Þetta er eina gosið þar sem jökulhlaupsins verður vart áður en sést til gosmakkarins. Ef gert er ráð fyrir að gos hafi hafist 1-3 klukkustundum áður en hlaupið kom fram þá er forboðatíminn um 9 klukkustundir.

1918

Eldgos hófst í Kötlu 12. október og eru til nokkrar samtímalýsingar á því:

Gísli Sveinsson (1919) í Vík skrifar: „Rúmlega einni stundu eftir hádegi fundust mjög snögglega jarðskjálftakippir allmargir og linti ekki hræringunum. Hélst það áfram, þó meira dræmt en í fyrstu."

Guðgeir Jóhannsson (1919) skrifar: „Um kl. 1 e.h. verður snarpur jarðskjálftakippur; hriktir í húsum og glamra saman lausir smámunir, er þétt standa í hillum og borðum. Eru síðan sífelldir smákippir og titringur í ½ kl.st. Um kl. 3 e.h. sést héðan einkennilegt þykkni í hánorðri, sem nær til norðausturs og ber hátt á loft yfir Höttu og Hrafnatinda ... ... Um sama leyti og hér varð vart við mökkinn, eða litlu síðar, sést hvar jökulflóð brunar eftir farvegi Múlakvíslar alla leið fram í sjó. ...".

Af 18 þekktum stórum gosum í Kötlu (Sigurður Þórarinsson, 1975) er minnst á jarðskjálfta í tengslum við átta. Það þýðir þó ekki að ekki hafi orðið jarðskjálftar í tengslum við hin tíu, einungis að þeirra er ekki getið. Í sambandi við gosin 1625, 1660, 1721, 1755, 1823, 1860 og 1912 er þess sérstaklega getið að jarðskjálftarnir hafi fundist áður en sást til goss, allt frá einni klukkustund (1660) til margra klukkustunda (1860). Í gosinu 1625 gæti forboðatíminn verið enn styttri, en lýsingin er óljós. Lýsingin frá 1311 er enn óljósari. Þar gæti verið um flókna atburðarás að ræða, hugsanlega gos á fleiri stöðum. Niðurstöðurnar eru dregnar saman í Töflu 1. Þar má sjá varanda viðkomandi goss, forboðatími, þ.e. tím frá því skjálftar finnast þangað til sést til gosmakkar eða eldinga, og hlauptími, þ.e. tími frá því skjálftar finnast þangað til hlaup kemur fram á Mýrdalssand.

Tafla 1: Forboðatímar Kötlugosa á sögulegum tíma

Eldgos, ár	*Dagsetning*	*Varandi*	*Forboðatími*	*Hlauptími*
1580	11. ágúst	?	?	?
1625	2. september	12 dagar	stuttur	3 klukkustundir
1660	3. nóvember	9 dagar	1 klst.	3-4 klst.
1721	11. maí	~5 mánuðir	4 klst.	5 klst.
1755	17. október	>21 dagar	>6 klst.	>12 klst.
1823	26. júní	4 vikur	3 klst.	6 klst.
1860	8. maí	19 dagar	9 klst.?	11 klst.
1918	12. október	24 dagar	2 klst.	2+ klst.

Heimildir

Gísli Sveinsson, Kötlugosið 1918 og afleiðingar þess . Prentsmiðja Gutenbergs, Reykjavík, 61 pp., 1919.

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

Már Jónsson, 2018. Undur yfir dundu. Frásagnir af Kötlugosum 1625-1860. Katla Geopark. Vík í Mýrdal, 313 pp.

Páll Einarsson, 2018. Short-term seismic precursors to Icelandic eruptions 1973–2014. Front. Earth Sci. 6:45. doi: 10.3389/feart.2018.00045

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

Þorvaldur Thoroddsen, 1925. Die Geschichte der isländischen Vulkane. Den Kongelige Danske Vidensk. Selk. Skrifter, Naturvidensk. og Mathem. Afd., 8, Række IX, 458 pp, København.

Kötluráðstefna – 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918
Vík í Mýrdal, 12. október 2018

Vík í Mýrdal, sjávarrof og aðgerðir til að verjast því

Sigurður Sigurðarson, Pétur Ingi Sveinbjörnsson og Fannar Gíslason,

Vegagerðin

Ágrip

Sandfjaran framan við Vík er hvorki stöðugt fyrirbæri né á hún sér langa sögu. Talið er að hún hafi byrjað að myndast í Kötluhlaupum á 17. öld. Við upphaf 20. aldar var fjaran mjög rýr og jafnframt á sér stað töluvert rof. Eftir Kötlugosið 1918 gengur fjaran fram í um 50 ár, að meðaltali um eina 10 m á ári. Fjaran er breiðust um 1970 en eftir það byrjar rof sem er af svipaðri stærðargráðu. Eftir aðferðum strandsvæðastjórnunar voru árið 1994 settar upp varnar- og eftirlitslínur. Gert var ráð fyrir að bygging varanlegra varna hæfust þegar rofið næði varnarlínunni. Í fyrstu var gert ráð fyrir að byggðar yrðu grjótvarnir langs eftir ströndinni. Það hefði leitt til þess að þegar rofið næði þessum vörnum hefði sandfjaran breyst í stórgrýtisurð. Með öldufarsreikningum og skoðun á sandflutningum var ljóst að hefta mátti rofið með byggingu sandfangara þvert á ströndina. Eftir byggingu fyrsta sandfangarans við ósa Víkurár árið 2011 hefur fjaran milli sandfangarans og Reynisfjalls byggst upp. Eftir að rofið hélt áfram austan sandfangarans var byggður annar fangari framan við iðnaðarhverfið austast í Vík.

Abstract

Neither is the sandy beach in front of Vík a stable phenomenon nor has it a long history. Supposedly, it started to develop in jökuhlaups from Katla on the 17th century. At the start of the 20th century, the beach was rather narrow and eroding. After the Katla eruption in 1918, the beach accreted for 50 years at a rate of ca. 10 m per year. Widest was the beach around 1970. After that, it started to erode with a similar erosion rate as it had accreted. With the tools of Coastal Zone Management, a control line and defence line were defined in 1994. The plan was to start construction of shore protection structures when the erosion reached the control line. This structure would be a rubble mound revetment along the coastline. When the erosion reached the control line, the beach would have been transformed to a boulder beach. Wave refraction analysis and sediment transport calculations showed that it would be possible to stop the beach erosion by building a groyne perpendicular on the beach. After the first groyne was built in 2011 the beach between the groyne itself and the Reynisfjall headland has grown and stabilised. The erosion east of the groyne continued and another groyne was constructed in 2017 in front of the industrial area in the east part of Vik.

Inngangur

Hér verður gerð grein fyrir aðgerðum til að hefta rof strandarinnar við Vík í Mýrdal. Í byrjun tíunda áratugar síðustu aldar var orðið ljóst að grípa þyrfti til aðgerða til að verja byggðina í Vík. Sjóvarnir voru þá á hendi Vita- og hafnamálastofnunar og stóð hún fyrir því í samvinnu við Skipulag ríkisins og Viðlagatryggingu Íslands að ákvarðaðar voru eftirlits- og varnarlínur. Fyrst áfangi var bygging flóðvarnargarðs á varnarlínunni árið 1994. Áætlunin gerði ráð fyrir að þegar rofið næði varnarlínunni þá bæri að hefja byggingu „voldugra grjótvarna“ langs eftir fjörunni.

Fylgst var með rofinu og þegar kom fram yfir aldamótin var rofið farið að nálgast eftirlitslínuna verulega og að hluta til komið inn fyrir hana. Skoðun Siglingastofnunar, sem þá fór með málefni sjóvarna, á sandflutningum langs eftir ströndinni leiddi í ljós að hægt var að stöðva rofið í Vík með byggingu sandfangara þvert á ströndina í stað sjóvarna langs eftir ströndinni.

Fyrsti sandfangarinn við ósa Víkurár var byggður árið 2011 og hefur hann sannað gildi sitt. Annar sandfangari austar var byggður árið 2017 af Vegagerðinni sem þá var komin með ábyrgð á sjóvörnum. Áfram þarf að fylgjast með rofinu sérstaklega utan áhrifasvæðis sandfangaranna.

Þróun Víkurfjöru

Á fyrstu öldum byggðar í landinu er talið að Hjörleifshöfði hafi legið út í sjó og sjór gengið upp að Víkurhömrum. Talið er að Víkurfjara hafi byrjað að myndast í Kötluhlaupum á 17. öld. Því til staðfestingar má nefna að útræði lagðist af við Skiphelli og Víkurklett vegna uppsöfnunar sands þar framan við. Þetta kemur fram í samantekt Gylfa Ísakssonar 1994 og Gylfa og félaga 2005.

Kötluhlaupið 1918 ber með sér gífurlegt efnismagn til sjávar. Á móts við Hjörleifshöfða gekk ströndin lengst fram og var um 2,8 km framar en núverandi strönd og kallast það Kötlutangi. Nær Vík gekk ströndin fram um 1,5 km við Múlakvísl, mynd 1. Dýpi við Kötlutanga, þar sem hann náði lengst fram eftir Kötlugosið, er nú um 75 m og framan við Múlakvísl um 20 m og hefur líklega verið svipað eða meira fyrir Költlugos. Búast má viðað

það hafi tekið allmörg ár þar til strandsniðið náði einhverskonar jafnvægi út á þetta dýpi og hafa því fylgt miklir setflutningar frá ströndinni út á dýpið.

En þetta nýja strandform með Kötlutanga og tanga framan við Múlakvísl var ekki stöðugt enda er suðurströnd Íslands eitt útsettasta strandsvæði á jörðinni fyrir ölduáraun. Þar sem suðvestan aldan er mun orkumeiri en sú úr suðaustri þá hefur mun stærri hluti efnisins borist austur. Engu að síður gengur ströndin við Vík fram um eina 500 m.

Í þessu sambandi er vert að merkja að formun sandstrandar og sandflutningar langs eftir strönd og þvert á strönd, orsakast nær eingöngu af öldunni. Þar sem aldan kemur af hafi, verður dýpisháð og brotnar, þá þyrlast upp sandur af sjávarbotni og flyst til með öldumynduðum straumum. Þannig verður megnið af sandflutningum á tiltölulega litlu dýpi upp við ströndina þar sem öldubrot eru tíð, en geta líka náð út á meira dýpi í aftökum.

Þó að vindurinn feyki einhverju magni af sandi upp á land eða á haf út, þá er það mjög lítið í samanburði við það sem aldan flytur. Og þá er straumhraði í sjávarföllum og hafstraumum yfirleitt það lítill að flutningsgeta þeirra krafta er nær engin.

Þann 9. janúar 1990 gekk yfir suðurströndina mesta aftaka brim í heila öld. Þessu fylgdi gríðarlegt sjávarflóð og landbrot. Þá mældist hæð kenniöldu á ölduduflí sunnan við Surtsey 16,7 m og hæsta staka aldan tæpir 23 m. Öldulengd orkumestu aldanna í þessu sjólagi var tæplega 600 m. Á þessum tíma var þetta orkumesta alda sem mælst hafði í heiminum.

Á árunum 1992 til 1995 var unnið að skipulags og byggingareglum fyrir lágsvæði þar sem hætta er á flóðum. Vík í Mýrdal var tekin sérstaklega fyrir og unnin skýrsla um landeyðingu, skipulagsmat og tillögur um aðgerðir, annar áfangi svokallaðra Lágsvæðaskýrsla. Beitt var aðferðum strandsvæðastjórnunar og byggt á ávinnings- og kostnaðarmatil voru skilgreindar varnar- og eftirlitslínur auk öryggissvæðis og mælisniða til að fylgjast með landbrotinu. Varnarlínan vestan Víkuár var ákvörðuð sem næst þeim stað sem fjaran lá árið 1918, mynd 2. Austan árinnar var línan lögð talsvert sunnar þar sem áformað var að verja byggðina sem þar var komin. Fyrsti áfangi þessa verkefnis var bygging flóðvarnargarðs á varnarlínunni árið 1994, mynd 15. Ætlunin var að þegar rofið næði eftirlitslínunni þá bæri að hefja framkvæmdir við uppbyggingu voldugra grjótvarna.

Fylgst var reglulega með landbroti í mælisniðum. Mynd 4 sýnir snið í ströndina við Víkurá út á um 30 m dýpi. Ystu sniðlínurnar frá 1971 (græn lína) og 1973 (fjólublá lína) sýna stöðuna þegar ströndin framan við Vík var hvað breiðust. Síðan á sér stað rof sem nær niður á um 20 m dýpi, mest fyrstu árin. Eftir aldamótin virðist rofið að mestu vera á litlu dýpi.

Mynd 3 sýnir þróun fjörunnar í þremur sniðum framan við Vík frá aldamótunum 1900 fram yfir síðustu aldamót. Lóðrétti ásinn er fjarlægð á milli fjöruborðs og varnarlínunnar sem skilgreind var árið 1994. Á tímabilinu frá 1904 til 1919 er rofið að meðaltali um 11 m á ári. Jafnframt sést að áður en ströndin fór að ganga fram fyrir áhrif Kötlugossins þá er fjöruborðið innan við varnarlínuna í sniðum framan við Víkurprjón og Vegagerðarhús.

Eftir 1919 fór ströndin að ganga fram allt til ársins 1971. Alls um 500 m framan við Víkurprjón og Vegagerðarhúsið en um 400 m við Víkurá. Uppsöfnun fjörunnar nemur um 10 m á ári á þessu tímabili. Síðan 1971 hefur verið rof sem er að jafnaði um 9 m á ári á tímabilinu 1971-2008.

Áætlun um strandvarnir

Fram til ársins 2010 byggðust áætlanir Siglingastofnunar um varnir vegna landbrots við Vík á Lágsvæðaskýrslunni frá 1994. Þar var gert ráð fyrir grjótvörnum langs eftir fjörunni sem upphaflega yrði byggðar á landi. Rofið myndi að lokum ná varnarlínunni, sem þá væri búið að styrkja með stórgrýti og sandfjaran mundi þá breytast í stórgrýtisurð. Á tímabili var unnið með hugmyndir um að flytja garðinn framar en varnarlínan frá árinu 1994, meðal annars út frá þeirri hugmyndafræði að skapa rými fyrir þjóðveg 1 sjávarmegin við byggðina.

Árið 2010 komu fram hugmyndir um að verjast strandrofi við Vík með byggingu sandfangara þvert á ströndina. Þessar hugmyndir byggðust á skoðun á eðli sandflutninga meðfram ströndinni. Þegar höfðar á Suðurströndinni eru skoðaðir þá kemur í ljós að vestan megin við höfðana nær sandfjaran út á enda en að austan er ströndin töluvert inndregin. Þetta sést vel á myndum 5 og 6. Það rímar einnig vel þá staðreynd að fyrir Suðurströndinni er suðvestan aldan að jafnaði mun orkumeiri en suðaustan aldan og flutningsgeta öldunnar til austurs mun meiri. Það eru öldurnar, stefna þeirra upp við ströndina og straumar sem myndast þegar öldur brotna á sandströndinni sem eru orsök sandflutninga.

Með öldufarsreikningum var sýnt fram á að við austurströnd Reynisfjalls framan við Vík er stefna öldunnar ávallt til norðurs með fjallinu sama hver stefna öldunnar á hafi er, sjá Fannar Gíslason 2011. Mynd 7 sýnir sveigju suðaustan öldu upp að ströndinni við Vík. Þar sem stefna öldunnar er til norðurs þá er ómögulegt að nokkur sandflutningur eigi sér stað suður með fjallinu og síðan til vesturs fram hjá því. Í suðaustan öldu hleðst sandur upp í krikanum upp við Reynisfjall, framan við Vík, hann kemst ekki fram hjá og fyrir fjallið. Í suðvestan öldu aftur á móti flyst sandur til austurs og þar sem suðvestan aldan er ríkjandi þá verður rof framan við Vík.

Með byggingu sandfangara þvert á ströndina framan við Vík má því halda í sandfjöruna milli sandfangarans og Reynisfjalls. Austan sandfangarans er hins vegar ekkert sem kemur í veg fyrir áframhaldandi rof.

Við strönd fer megnið af sandflutningum fram á dýpi sem er innan við svokallað „depth of closure“ sem metin er út frá ölduhæð sem að jafnaði varir í um 12 klukkustundir á ári og kennisveiflutíma þeirrar öldu. Framan við Víkurá hefur þessi ölduhæð verið metin um 4 m með kennisveiflutíma um 15 s. Það gefur að megnið af sandflutningum er á minna dýpi en 8,6 m. Miðað við að aldan hafi verið metin á sjávarstöðu +3,0 m þá svarar það til -5,6 m sjávardýpis.

Með því að sandfangarinn nái út á um 5 til 6 m dýpi þá er megnið af sandflutningunum á áhrifasvæði sandfangarans, en þar fyrir utan er ekkert sem stöðvar mögulegt rof. Vert er að merkja að ströndin í Vik er eins langt frá því að vera í jafnvægi sem verið getur. Því er töluverð óvissa um það hvort eða hvar ströndin nær jafnvægi eftir byggingu sandfangara. Með dýptarmælingum þarf að fylgjast reglulega með breytingum á sjávardýpi framan við sandfangarana og út á að minnsta kosti 20 m dýpi.

Bygging sandfangara

Fyrsti sandfangarinn var byggður árið 2011. Hann er tæplega 300 m langur frá fjörukambi út í fjöruborð á enda garðs. Fyrir byggingu var dýpi við enda garðs um 5 til 6 m, miðað við sjávarkerfi. Á þessum stað er dýpið breytilegt bæði milli árstíma og milli ára.

Hönnun garðsins miðaðist við að keyrður væri út vegur úr sprengdum grjótsalla sem síðan væri varin með grjótkápu. Miðað var við að hæð vegarins væri rétt yfir meðalstórstraumsflóði. Næst landi samastendur grjótkápan af varnarlagi úr tveimur lögum af 0,8 til 3 tonna flokkuðu grjóti ofan á síulagi úr smærra grjóti. Utar á garðinum stækkar varnarlagið í tvö lög af 3 til 8 tonna grjóti, en fremstu 20 metrarnir og endi garðsins eru varðir með 8 til 20 tonna stórgrýti. Allt efni í garðinn sem var um 50 þúsund rúmmetrar var unnið í grjótnámu á Eystri-Sólheimaheiði.

Hönnunarálag garðsins er metið út frá dýpisháðum brjótandi öldum. Því ræður annars vegar sjávardýpi og hins vegar sjávarstaða því ölduálagi sem garðurinn verður fyrir. Sjávarföll framan við Vík hafa ekki verið ákvörðuð en gert er ráð fyrir að þau séu heldur minni en í Vestmannaeyjum og að meðalstórstraumsflóð í Vík sé í um +2,6 m í sjókerfi. Hæstu stjarnfræðilegu-sjávarföll með 1 til 10 ára endurkomutíma eru metin um +3,0 m. Við ákvörðun á hönnunarsjávarstöðu þarf að leggja áhlaðanda vegna loftþrýstings, vinds og öldu og var hún gróft metin á bilinu +3,6 til +4,0 m.

Lengd sandfangarans ræðst því að hluta til af því hvað mögulegt er að takast á við háar öldur. Eftir því sem farið er út á meira dýpi komast hærri öldu upp að enda sandfangarans og álag verður meira. Grjótnáman hefur ákveðnar takmarkanir, þ.e. hve stórt grjót er hægt að ná úr klöppinni í ásættanlegum hlutföllum. Þá setja flutningsleiðir takmarkanir fyrir því hve stóra steina er hagkvæmt að flytja. Niðurstaðan var að sandfangarinn var byggður út á um 5 til 6 m dýpi en þar er hæð kenniöldu við hönnunaraðstæður milli 4,5 til 5 m.

Upp við ströndina er stefnugeiri öldu af hafi nokkuð þröngur og þrengri á minna dýpi nær landi en utar. Stefna sandfangarans er ákvörðuð frá öldufarsreikningum þannig að hann snúi beint upp í orkumestu öldurnar.

Fyrstu árin safnaðist ekki mikill sandur í fjöruna ofansjávar milli garðsins og Reynisfjalls, myndir 9 og 16 sem teknar voru 2013 og 2014. Hins vegar var stutt í grynningar eins og sjá má á brjótandi öldum á myndunum. Eftir það fór ströndin að hlaðast upp og síðastliðið sumar var næstum hægt að ganga á þurru út að garðsenda vestan við sandfangarann, myndir 22 og 23.

Eins og búist var við þá hélt rofið áfram austan garðsins þó að tímabundið gæti þar hlaðist upp sandur eftir langvarandi suðaustan áttir. Í desember 2015 gerði mikið flóð. Fjörukamburinn vestan sandfangarans stóðst fyllilega stórviðrisáhlaupið og sannaði að hægt er að verja þorpið fyrir ágangi sjávar og sands. Austan sandfangarans að Vegagerðarhúsi gekk mikið á. Sjór gekk yfir flóðvarnargarðinn inn á lóð Vegagerðarinnar og á og yfir graslendið sem byggt hefur verið upp á síðustu áratugum. Rofið í grjóðurþekjuna austan sandfangarans mældist mest um 37 m, myndir 18 og 19.

Annar sandfangari var byggður árið 2017 tæpum 800 m austan við þann fyrri, myndir 11 og 20. Hann er um 220 m langur og náði út á um 7 m dýpi við byggingu. Heildarmagn í garðinum var um 41 þúsund rúmmetrar.

Fjarlægð milli sandfangaranna og lengd sandfangarans eru háðar breytur. Eftir því sem seinni sandfangarinn er lengri því lengra er hægt að hafa á milli þeirra.

Hönnun sandfangarans miðast við annað byggingar-lag en þess fyrri. Í stað þess að keyra út veg úr sprengd-um salla sem síðan er vari með stórgrýti er garðurinn byggður upp í lögum ofan á sandbotninn, fyrst salli til að uppfylla síukröfur gagnvart sandinum með lögum af stærra grjóti ofan á. Þannig er nýji sandfangarinn efnis minni og lægri.

Í fyrstu safnaðist sandurinn aðallega austan við garðinn í suðaustan öldu, sjá mynd 21 frá því í apríl 2018. Þar heldur hins vegar ekkert í sandinn og tæpum tveimur mánuðum síðar var þessi sandsöfnun horfin, mynd 22.

Samantekt

Eftir síðasta Kötlugos gekk ströndin við Vík fram í um 50 ár, að jafnaði um 10 m á ári. Þá hófst rof sem var af sömu stærðargráðu. Árið 1994 var sett upp áætlun um varnir fyrir Vík. Í fyrstu var gert ráð fyrir að verja ströndina með grjótgarði langs eftir ströndinni en síðar var ákveðið að byggja sandfangara þvert á ströndina. Fyrsti sand-fangarinn var byggður árið 2011. Hann hefur sannað gildi sitt og ströndin vestan hans byggst upp. Eins og búist var við hélt rof áfram austan garðsins og árið 2017 var annar sandfangari byggður utan við iðnaðarhverfið austast í Vík. Mjög mikilvægt er að fylgjast með þróun strandarinnar og sérstaklega sjávarbotns utan áhrifasvæðis sandfangaranna með dýptarmælingum.

Heimildir

Fannar Gíslason 2011. Along-Shore Sediment Transport at the Coast of Vík í Mýrdal. Meistararitgerð í verkfræði frá HÍ.

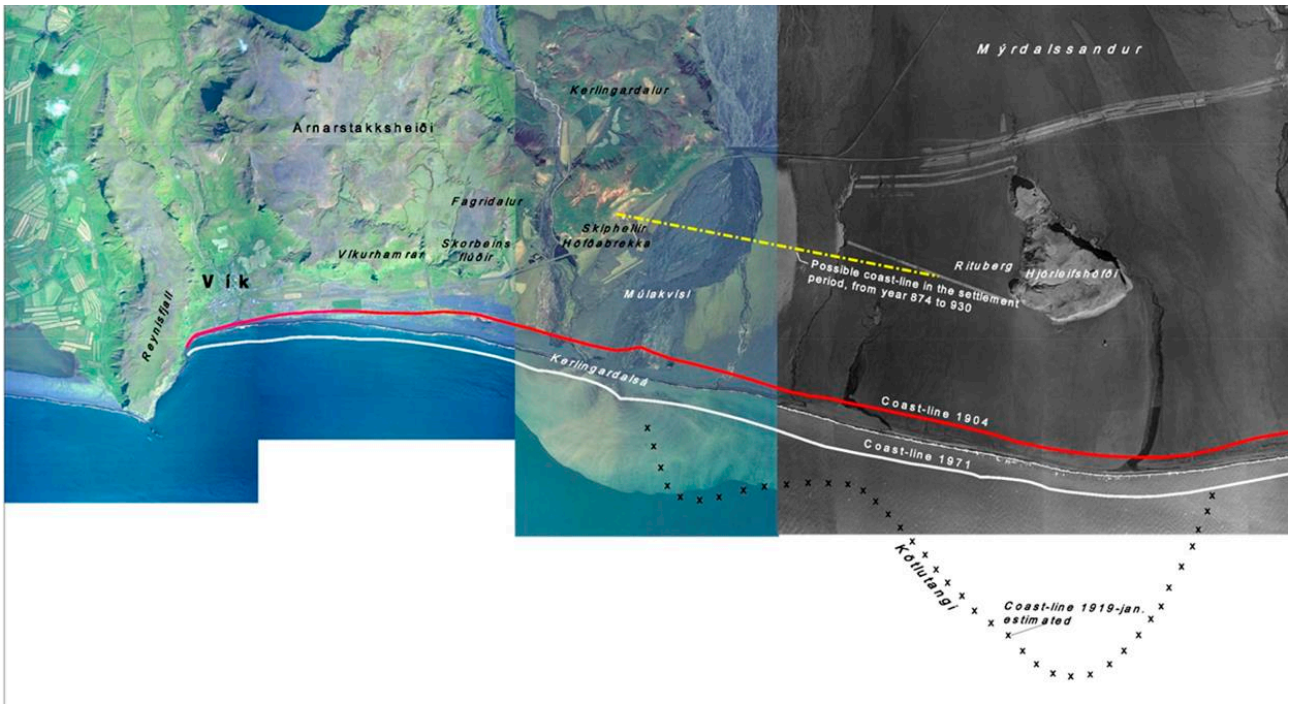
Gylfi Ísaksson 1994a. Lágsvæði – 2. áfangi. Vík í Mýrdal, landeyðing, skipulagsmat og tillögur um aðgerðir. Fjarhitun vann fyrir Vita- og hafnamálastofnun, Skipulag ríkisins, Viðlagatrygging Íslands.

Gylfi Ísaksson 1994b. Coastal Zone Management in Iceland. Proceedings of the Hornafjörður International Coastal Symposium. Editor Gísli Viggósson.

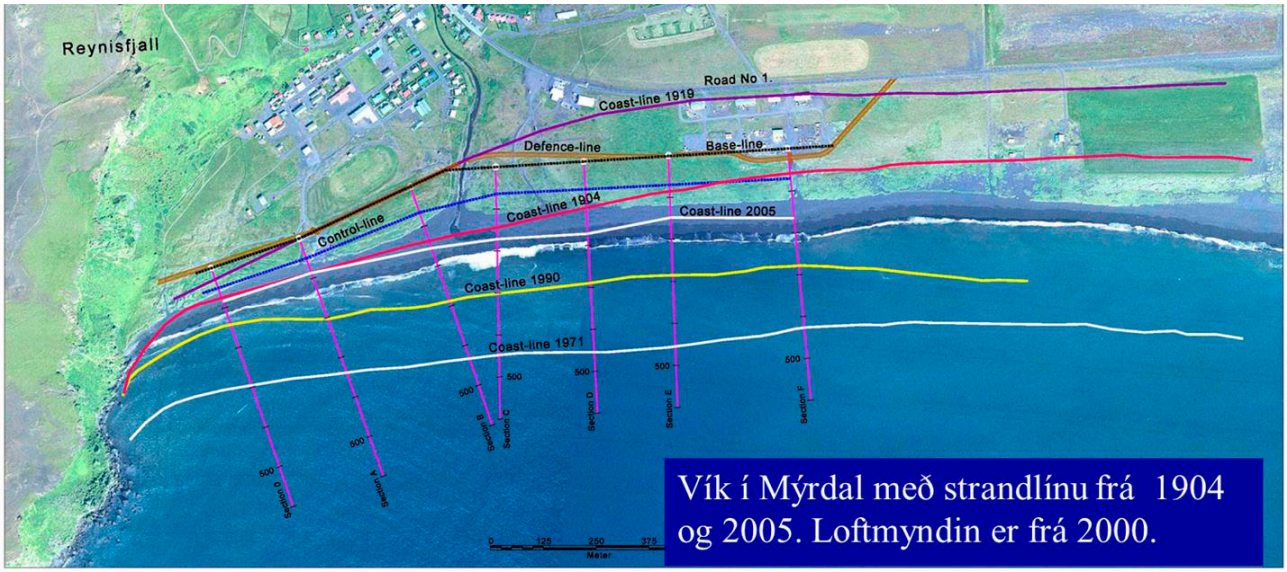
Gylfi Ísaksson, Gísli Viggósson, Helgi Jóhannesson og Sveinn Pálsson 2005. The beach in front of Vík. Proceedings Second International Coastal Symposium in Iceland. Editor Gísli Viggósson.

Veghönnunardeild Vegagerðarinnar, 2008. Hringvegur (1-b2/b4) um Mýrdal. Frumdrög. Vegagerðin

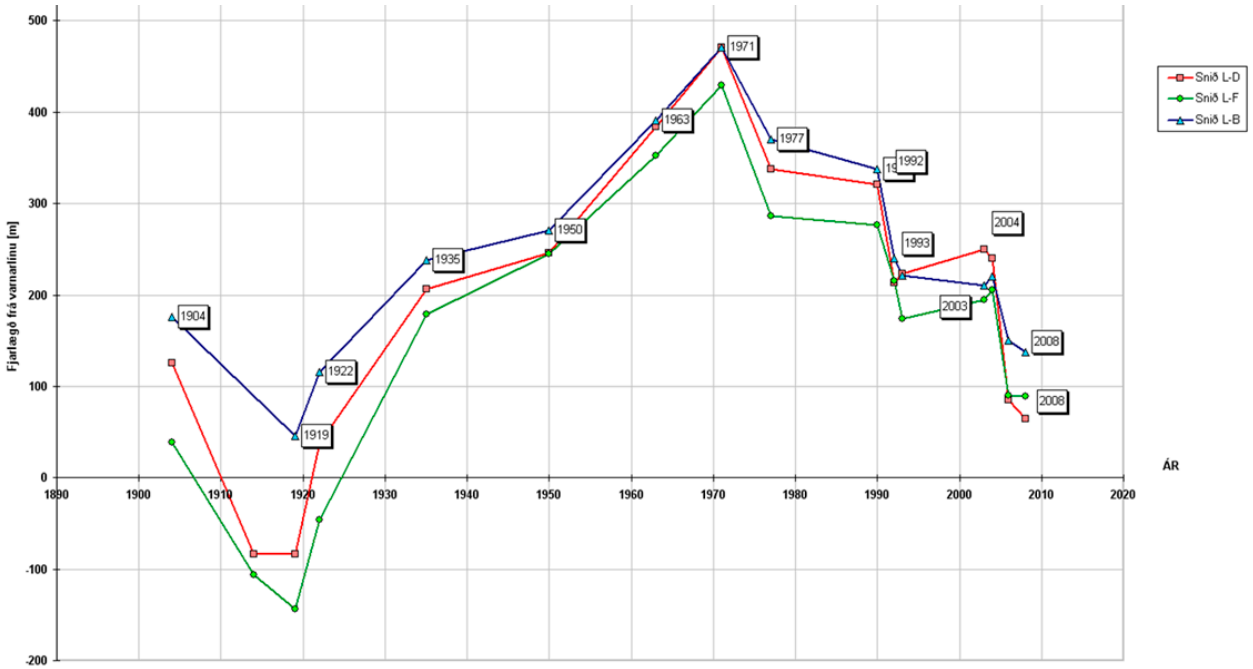
Vita og hafnamálastofnun 1995. Sjóvarnir á Íslandi. Yfirlitsskýrsla. Frumáætlun um kostnað við framkvæmdir. Unnið af Fjarhitun.



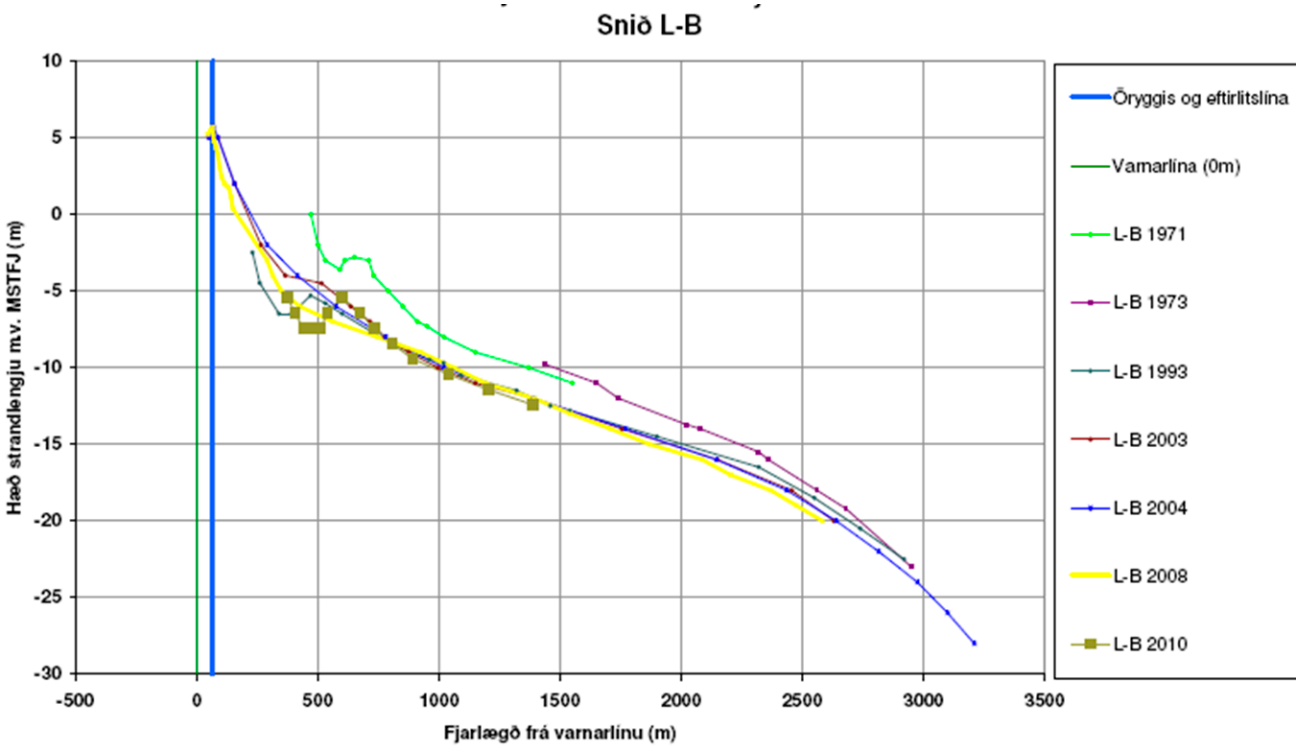
Mynd 1. Áætlaðar strandlínur við landnám, um aldamótin 1900, eftir Kötlugos 1918 og um 50 árum eftir gosið.



Mynd 2. Mældar strandlínur á tímabilinu 1904 til 2005 ásamt eftirlitslínu (blá lína, e. control-line) og varnarlínu (gubrún lína, e. defence-line) sem ákvarðaðar voru 1994.



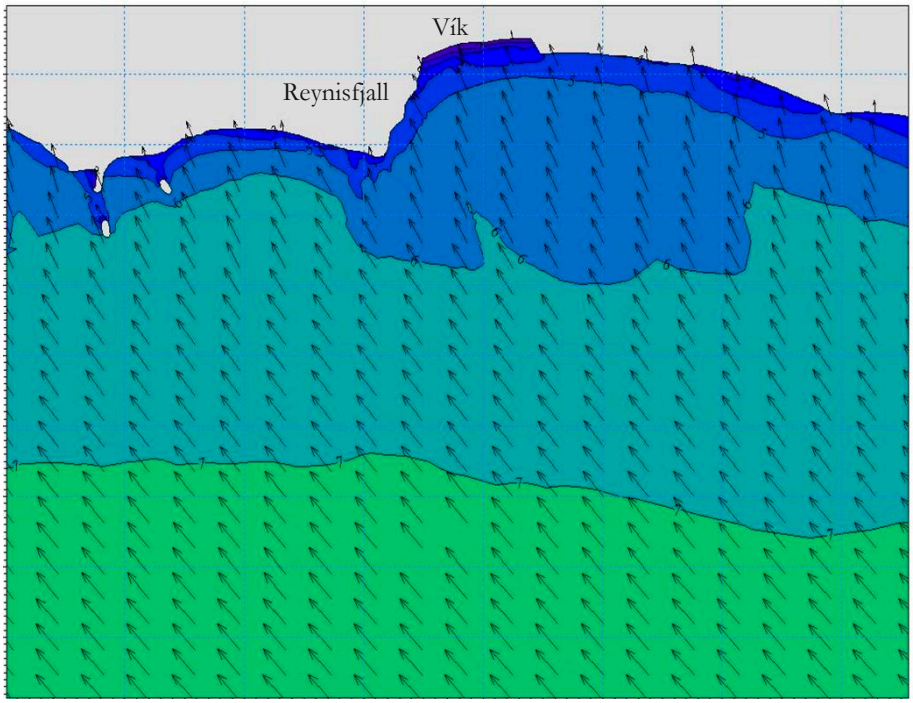
Mynd 3. Fjarlægð fjöruborðs frá varnarlínu í þremur sniðum fyrir tímabilið 1904 til 2008. Snið L-B er við Víkurá, snið L-D á móts við Víkurprjón og snið L-F um 500 m austar, framan við hús Vegagerðarinnar.



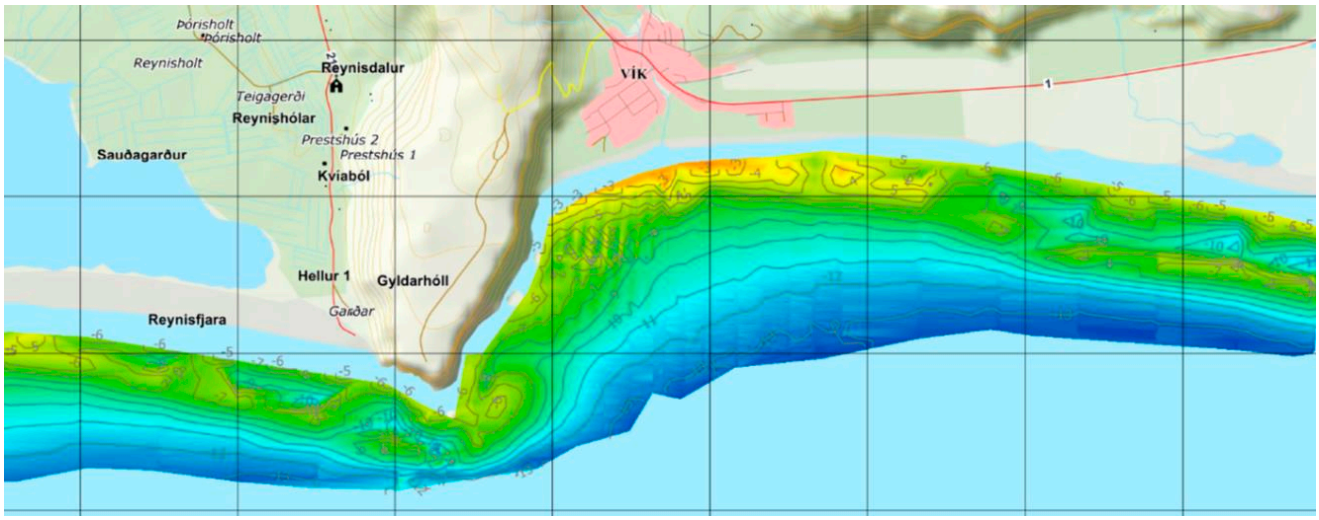
Mynd 4. Breytingar á sjávardýpi framan við Vík á árunum frá 1971 til 2010, þversnið L-B. Athugið að milli láréttra lína eru 5 m en milli lóðréttra lína eru 500 m.

Mynd 5. Horft til vesturs með ströndinni frá Vík. Að vestanverðu er sandströndin milli Reynisfjalls og Dyrhólaeyjar inndregin, en að austanverðu við Reynisfjall liggur ströndin út við ystu brún höfðans. Að sama skapi er ströndin austan við Reynisfjall inndregin. (Ljósmynd Emil Þór Sigurðsson)

Mynd 6. Horft til austurs með ströndinni. Við Dyrhólaey og Reynisfjall ná strendurnar út að ystu brún fyrirstöðu. Þannig fara efnisflutningar austur með ströndinni í gegnum gatið á Dyrhólaey. (Ljósmynd Emil Þór Sigurðsson)



Mynd 7. Öldusveigja ársöldu úr suðaustri, ölduhæð á hafi Hs=7,5 m með sveiflutíma 12,3 s. Litir sýna ölduhæð með 1 m hæðarmun, örvar sýna öldustefnu. Við austurhlið Reynisfjalls er öldustefnan til norðurs sem kemur í veg fyrir sandflutninga vestur fyrir Reynisfjall.



Mynd 8. Dýptarmæling framan við Vík og Reynisfjall frá júní 2012. Gulgræni flekkurinn austan við Reynisdranga sýnir sand sem borist hefur undan suðvestan öldu fyrir fjallið til austurs. Líklega hefur þessi sandflekkur síðan borist upp að ströndinni framan við Vík.

Mynd 9. Víkurströnd 1. janúar 2014. Þó að ekki sé sjáanleg mikil efnissöfnun vestan við fyrri sandfangarann þá brotna tiltölulega lágar öldur framan við hann, og á svæðinu milli hans og Reynisfjalls, sem sýnir að þar er dýpi takmarkað. (Ljósm. Þórir Níels Kjartansson)

Mynd 10. Ströndin framan við Vík 14. mars 2015. Um miðjan daginn mældist hæð kennileldu á Surtseyjardufli um 10 m og þá náöldubrotin út á tæplega 20 m dýpi. (Ljósmynd Þórir Níels Kjartansson)

Mynd 11. Langar öldur úr suðvestri sveigja upp að Víkurfjöru í desember 2017 þegar byggingu seinni sandfangarans er að ljúka. Hæð kennileldu á hafi er um 6 m og öldulengd á hafi um 350 m. Á minna dýpi framan við sandfangarana er öldulengdin minni. (Ljósmynd Þórir Níels Kjartansson)

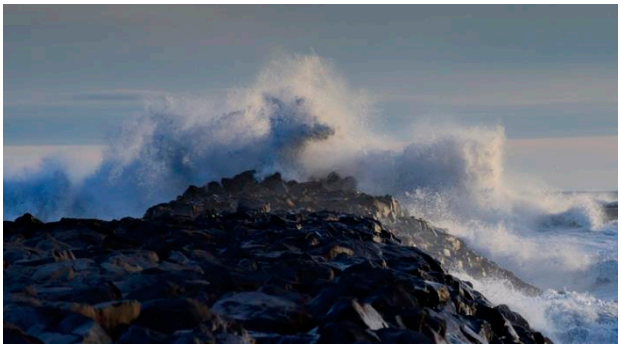
Mynd 12. Víkurfjara um 1920. Stutt er frá byggðinni til sjávar. (Ljósmynd frá Þorláki Sverrissyni)

Mynd 13. Byggðin í Vík um 1970. (Ljósmynd Sævar Halldórsson)

Mynd 14. Víkurfjara um 1970. Á þessum tíma er fjaran við Vík einna víðust. (Ljósmynd Sævar Halldórsson)

Mynd 15. Flóðvarnargarður neðan við byggðina í Vík byggður sumarið 1995. Þarna er enn langt frá fjörukambi að flóðavörn. Úr Sjóvarnarskýrslu Vita- og hafnamála-stofnunar frá 1995.

Mynd 16. Víkurfjara í apríl 2013. Lítil efnissöfnun milli fyrri sandfangara og Reynisfjalls. Næst Reynisfjalli hefur rofið náð flóðvarnarlínunni. Öldubrotin framan við ströndina sýna samfellt sandrif framan við sandfangarann og austur með ströndinni. Þá er tiltölulega grunnt á svæðinu milli sandfangarans og Reynisfjalls. (Ljósm. Þórir Níels Kjartansson)



Mynd 17. Brjótandi öldur á enda fyrri sandfangara í mars 2014. (Ljósmynd Þórir Níels Kjartansson)

Mynd 18. Víkurfjara í janúar 2016, rof í gróðurþekju austan við fyrri sandfangara. Í desember 2015 gerði mikið flóð sem olli rofi austan við sandfangarann, um 37 m. (Ljósmynd Þórir Níels Kjartansson)

Mynd 19. Rofbakki í fjörukambinum austan við fyrri sandfangarann í desember 2015.

Mynd 20. Bygging seinni sandfangarans í desember 2017. „Um borð“ í gröfunni er Kristinn Sigursteinsson gröfumaður hjá Suðurverki. (Ljósm. Þórir Níels Kjartansson)

Mynd 21. Víkurfjara í apríl 2018, eftir suðaustan öldu hefur sandur hlaðist upp austan við nýja sandfangarann. (Ljósmynd Þórir Níels Kjartansson)

Mynd 22. Víkurfjara í maí 2018. Tæpum 2 mánuðum eftir að mynd 21 var tekin er sandurinn sem hlóðst upp austan við nýja sandfangarann farinn. (Ljósm. Þórir Níels Kjartansson)

Mynd 23. Víkurfjara í ágúst 2018. Enn hefur bæst í fjöruna vestan við fyrri sandfangarann. Tæpu ári eftir byggingu seinni sandfangans er ekki sjáanleg mikil efnissöfnun milli sandfanga anna. (Ljósmynd Þórir Níels Kjartansson)

.

Kötluráðstefna – 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918
Vík í Mýrdal, 12. október 2018

Framrásarhraði jökulhlaupa á Mýrdalssandi

Tómas Jóhannesson, Matthew J. Roberts og Oddur Sigurðsson

Veðurstofa Íslands, Bústaðavegi 7–9, IS-108 Reykjavík, Iceland. Tölvupóstur: tj@vedur.is

Ágrip

Framrásarhraði jökulhlaupa skiptir miklu máli fyrir viðbragðsáætlanir við Kötlugosi. Lýsingar sjónarvotta á Kötluhlaupum hafa verið túlkaðar þannig að stórhlaupið í október 1918 hafi ruðst fram Mýrdalssand með hraða á bilinu 3–10 m/s. Mælingar og athuganir á jökulhlaupum í tengslum við gosið úr Eyjafjallajökli 2010, í Skeiðará í nóvember 1996, Jökulsá á Sólheimasandi í júlí 1999, Múlakvísl í júlí 2011 og Skaftá í ágúst 2018 eru túlkaðar í samhengi við hugsanleg miklu stærri hlaup af völdum Kötlugosa. Lagt er mat á áhrif stærðar jökulhlaupa á framrásarhraða þeirra og rædd áhrif ísjaka og framburðar á straumhraðann. Talsverð óvissa er um hraða jökulhlaupa af völdum Kötlugosa. Þau gögn sem hér eru túlkuð benda til þess að stærstu hlaup, sem hætta er talin á úr Mýrdalsjökli með rennsli upp undir milljón m³/s, geti ruðst fram sandinn með um 7–10 m/s hraða (25–35 km/klst). Hlaup á sama stærðarþrepi og 1918 kunna að fara nokkru hægar eða á um 5–7 m/s (20–25 km/klst). Slík hlaup berast frá jökuljaðri að þjóðvegi 1 eftir farvegi Múlakvíslar á um eða innan við hálfri klukkustund. Hlaupin bera fram hrönn ísjaka og mikinn aur og vöðla upp aur og sandi á leið sinni til sjávar. Þau skapa stórfellda hættu á öllum Mýrdalssandi á skammri stundu.

Abstract

Jökulhlaup propagation speed is a key factor in the initial emergency response in the event of an eruption of the Katla volcano. Eyewitness evidence of the jökulhlaup from the Katla eruption in October 1918 have been interpreted such that the flood surge advanced over the Mýrdalssandur plain with velocity in the range 3–10 m/s. Measurements and observations of jökulhlaups in connection with the eruption of Eyjafjallajökull in 2010, in Skeiðará river in November 1996, Jökulsá á Sólheimasandi river in July 1999, Múlakvísl river in July 2011 and in Skaftá river in August 2018 are interpreted in comparison with much larger jökulhlaups due to an eruption of Katla. The influence of the size of the flood on the propagation speed of the final flood front is estimated and the effect of large ice blocks in the flood path and entrained sediments on the advance of the flood are discussed. There is substantial uncertainty about the propagation speed of jökulhlaups from Katla. The measurements and observations discussed here indicate that the largest plausible jökulhlaups from Katla, with discharge on the order of a million m³/s, may advance over the sandur plain with speed in the range 7–10 m/s (25–35 km/h). Smaller floods, such as the 1918 jökulhlaup, are likely to travel somewhat slower at 5–7 m/s (20–25 km/h). Large jökulhlaups will cover the distance from the glacier margin to the ring road over Mýrdalssandur plain in less than half hour. Jökulhlaups from Katla carry huge ice blocks and large quantities of solid material. The front entrains sediments from the sandur plain as the flood propagates towards the coast. Such floods endanger the entire Mýrdalssandur shortly after the they emerge from the glacier margin.

Inngangur

Jökulhlaup eru ein helsta ógn sem frá Kötlu stafar og þau hafa á umliðnum öldum valdið miklum búsifjum í byggð í grennd við Mýrdalsjökul. Hlaupin berast hratt niður farvegi vatnsfalla frá jöklinum og skiptir framrásarhraði fyrsta hlaupfaldsins miklu máli fyrir skipulag viðbúnaðar almannavarna við Kötlugosi. Lýsingar sjónarvotta á hlaupum úr Kötlu gefa vísbendingar um framrásarhraða stórra Kötluhlaupa og hafa þær verið túlkaðar þannig að hlaupið í október 1918 hafi ruðst fram sandinn með hraða um 10 m/s (Haukur Tómasson, 1996), á bilinu 5–15 m/s (Helgi Björnsson, 2009), um 6 m/s (Guðrún Larsen, 2010) eða á bilinu 3–5 m/s (Guðrún Larsen o.fl., 2013). Þetta breiða bil er til marks um mikið svigrúm sem lýsingarnar gefa við mat á framrásarhraðanum. Engar ótvíræðar mælingar eða lýsingar eru hins vegar tiltækar á hraða hlaupsins 1918 eða annarra stórra Kötluhlaupa. Á síðari árum hafa menn átt þess kost að fylgjast með upphafi nokkurra jökulhlaupa og mælingar á dýpt og ummerkjum nokkurra hlaupa til viðbótar hafa verið túlkaðar með líkanreikningum. Einnig má túlka ummerki hlaupsins 1918 með straumfræðilegum aðferðum og leggja þannig mat á framrásarhraða þess og framrásarhraða hugsanlegra stærri hlaupa.

Lýsingar sjónarvotta á Kötluhlaupi 1918

Sjónarvottar, sem vitni urðu að framrás Kötluhlaupsins 1918 við Hjörleifshöfða og í Álftaveri, segja frá því að þeir telji hlaupið hafa farið hraðar yfir en „léttur maður“ (Jón Jónsson, 1980) og að tæpt hafi staðið fyrir ríðandi menn að forða sér undan því (Gísli Sveinsson, 1919). Haukur Tómasson (1996) túlkar þessar frásagnir og aðrar lýsingar sjónarvotta þannig að framrásarhraði hlaupsins á sandinum hafi verið um 10 m/s. Ýmsar lýsingar og vísbendingar eru um þykkt

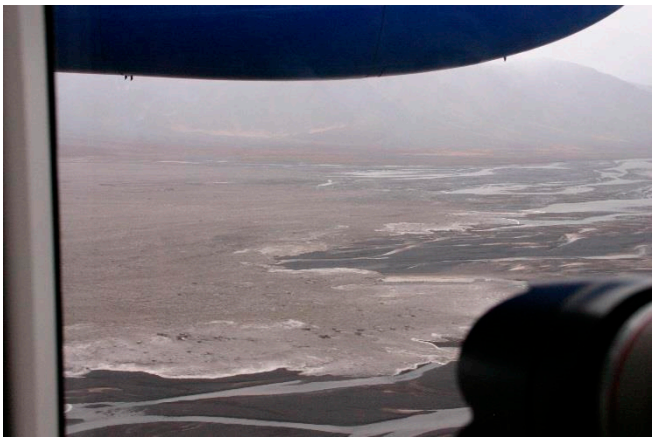
flóðbrúnarinnar þegar hlaupið ruddist fram sandinn og hámarksdýpt flóðsins, m.a. segir Þorvaldur Thoroddsen (1920) dýpt flóðsins við Hjörleifshöfða hafa verið 15–20 m (líklega hámarksdýpt en ekki upphaf hlaupsins) og réttarmenn við Skálm í Álftaveri lýsa því að „valt þá fram óðfluga geysihár veggur grásvarts jökulflóðs, með braki og gusum, sem í hafróti“ þegar þeir hleyptu hestum sínum yfir Skálm á flótta undan hlaupinu (Gísli Sveinsson, 1919). Ekki er auðvelt að túlka lýsingu réttarmanna í tölum en ljóst virðist að hlaupbrúnin hlýtur að hafa verið margra metra há og túlkun Hauks Tómassonar á hraða framrásarinnar sem nefnd er hér að framan virðist nokkuð eðlileg. Kjartan Leifur Markússon lýsir framrás flóðsins við Hjörleifshöfða þannig að fyrir því hafi farið breið jakahrönn sem ýtti á undan sér sandinum þannig að hnykluð sandgusa fór fyrir hrönninni (Einar H. Einarsson, 1993).

Hlaupið 1918 bar bjargið Kötluklett fram sandinn, líklega 15 km leið (Jón Jónsson, 1980). Kötluklettur stendur um 5 m upp úr sandinum um 1 km austan Hjörleifshöfða, er grafinn a.m.k. 2 m niður í sandinn og hefur verið metinn 1400 tonn að þyngd. Ummál hans við jörðu er um 36 m. Unnt er að nota vatna- og eðlisfræðilega greiningu til þess að meta hversu þungur straumur þarf að vera til þess að bera slíkt bjarg langar vegalengdir.

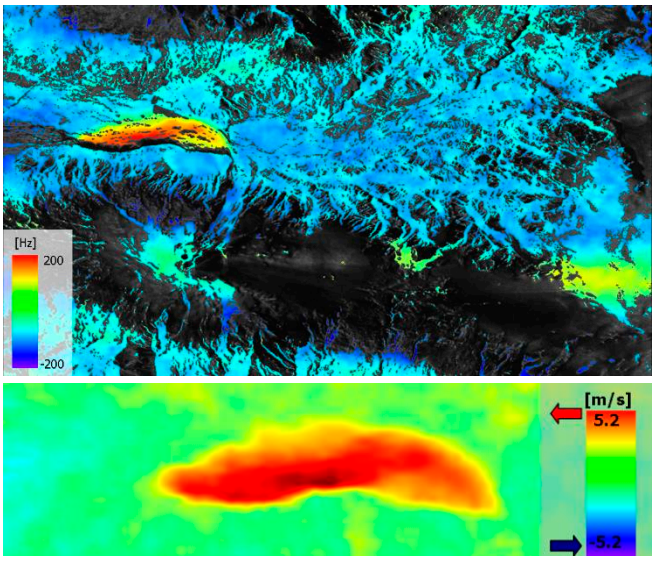
Mælingar og athuganir á framrás jökulhlaupa

Jökulhlaup féllu niður farveg Markarfljóts þann 14. og 15. apríl 2010 af völdum eldgossins í Eyjafjallajökli. Fyrra hlaupið var blanda af vatni og ís og breiddist yfir allar kvíslar og farvegi Markarfljóts ofan gömlu brúarinnar við Litla-Dímon. Hlaupið óx upp í hámarksrennsli við Gígjökul á um þremur klukkustundum en barst niður sandinn þegar neðar dró í taumum eftir grunnum farvegum kvísla Markarfljótsins. Fyrstu ummerki hlaupsins bárust niður að Markarfljótsbrú með hraða um 1,3 m/s en rennslistoppurinn ferðaðist mun hraðar eða á 2,6 m/s (Roberts o.fl., 2011). Aukning á vatnshæð við brúna við flóðið var um 2 m og má gera ráð fyrir að það sé til marks um dýpt flóðsins við brúna var um 2 m. Síðara hlaupið var blanda af heitu vatni, gosefnum og framburði af aurunum. Á jöklinum bar hlaupið fram mikið af krapa og íshröngli sem flaut ofan á vatninu. Krapinn og íshrönglið kastaðist að mestu leyti yfir skarð í um 630 m h.y.s. austan Gígjökuls og kom fram sem eins konar krapahlaup austan við Fremstahaus. Vatnsflóðið blandað gosefnum flæddi hins vegar niður Gígjökul og barst frá aurunum neðan jökulsins að gömlu brúnni á Markarfljóti sem brattur faldur með hraða um 4–4,5 m/s. Hækkun vatnsborðs við brúna mældist um 1,8 m. Hámarksrennsli hlaupanna við gömlu brúna hefur verið metið 2700 m³/s fyrir það fyrra og 1400 m³/s fyrir það síðara.

Svo vel vildi til að TerraSAR-X gervihnöttur tók myndir jökulhlaupinu þann 15. apríl sem unnt er að nota til Doppler-greiningar á yfirborðshraða þegar hlaupið var komið tæplega hálfa leið frá Gígjökli að gömlu brúnni (Rossi o.fl., 2010). Hlaupið kemur fram sem u.þ.b. 7000 m löng og 1500 m breið tunga sem ferðast á hraða um eða yfir 4–5 m/s niður Markarfljótsaura (mynd 1). Hámarkshraðinn í miðri tungunni mældist 5,2 m/s. Athyglisvert er að hlauptungan breiðist ekki yfir allan farveg fljótsins sem er >2500 m breiður á þessu svæði. Breidd þess hluta tungunnar sem hraðast fer virðist 500–800 m skv. TerraSAR-X mælingunum. Þykkt hlaupanna ofan gömlu brúarinnar kann að hafa verið 2–4 m og má gróflega meta rennsli síðara hlaupsins miðja vegu milli Gígjökuls og brúarinnar um eða yfir 4000 m³/s og rennsli á lengdareiningu þvert á hlaupstefnuna um 5–8 m³/s/m.



Mynd 1. Jökulhlaup á leið niður farveg Markarfljóts 15. apríl 2010 kl. 18:59. Mynd Matthew J. Roberts.



Mynd 2. Yfirborðshraði í jökulhlaupi í Markarfljóti 15. apríl 2010 mældur með Dopplergreiningu TerraSAR-X gervihnattagagna (Rossi o.fl., 2010, myndir 5 og 6).

Hlaupið í Markarfljóti þann 15. apríl bar fram talsvert grjót, þar á meðal bjarg sem var rúmlega 10 tonn að þyngd og um 2 m í þvermál sem strandaði þar sem hlaupið breiddi úr sér á aurunum skammt neðan við Gígjökul. Samanburður á þessu bjargi og Kötlukletti, ásamt TerraSAR-X mælingunum á straumhraða, gefur ákveðna vísbendingu um straumhraða í hlaupinu 1918.

Skeiðarárhlaupið 1996 kom mjög snögglega undan Skeiðarárjökli að morgni 5. nóvember og má meta framrásarhraða hlauptungunnar við farveg Gígjukvíslar um 3 m/s (10 km/klst) á grundvelli myndbanda sem tekin voru úr flugvél af upphafi hlaupsins. Á 6 km kafla ofan við Skeiðarárbrú var meðalhraðinn 2,2 m/s (8 km/klst). Frá Skeiðarárbrú niður að ósi var meðalhraðinn >1,5 m/s (5,5 km/klst) (Árni Snorrason o.fl., 1997). Hlaupið kom bratt fram og virðist hafa verið tiltölulega jafnþykk breiða þar sem það valt fram sandinn. Þykkt hlaupsins er ekki unnt að meta út frá myndunum en mælingar vatnshæðarmælis við Skaftafellsbrekkur benda til þess að hún kunni að hafa verið 2–3 m. Rennsli á lengdareiningu þvert á hlaupstefnuna kann því að hafa verið 5–10 $m^3/s/m$.

Snöggt hlaup úr Mýrdalsjökli kom í Múlakvísl þann 9. júlí 2011 og tók af brúna á hringveginum. Vatnshæð á mælistað við Léreftshöfuð jókst um 5 m á 6 mínútum og hlaupið barst á 50 mínútum þaðan niður að þjóðveginum sem samsvarar hraða um 2.5 m/s. Hámarksrennsli hlaupsins á aurunum neðan við Léreftshöfuð hefur verið metið um 3000 m^3/s með líkanreikningum (Gunnar Þ. Jónsson og Tinna Þórarinsdóttir, 2011). Þar er gróft mat á rennsli á lengdareiningu þvert á hlaupstefnuna um 3 $m^3/s/m$.

Hlaup í Jökulsá á Sólheimasandi 18. júlí 1999 og í Múlakvísl 9. júlí 1955 voru einnig mjög snögg og stóðu stutt yfir. Hlaupið í Jökulsá er talin hafa vaxið upp í hámarksrennsli um 1700 m^3/s á innan við klukkustund (Oddur Sigurðsson o.fl., 1999) og hlaupið í Múlakvísl er talið hafa borist frá jökuljaðri að gömlu brúnni við Léreftshöfuð á um eða innan við klukkustund og náð þar rennsli upp á 2500 m^3/s (Sigurjón Rist, 1967). Athuganir á þessum hlaupum fela ekki í sér beina mælingu á framrásarhraða á aurunum neðan jökuljaðars en hlaupið í Jökulsá hefur verið greint með líkanreikningum sem benda til þess að hámarksstraumhraði þess frá jökli að hringveginum hafi verið u.þ.b. 4–5 m/s að meðaltali (Russel o.fl., 2010). Ekki er ólíklegt að það hafi einnig verið framrásarhraði flóðbylgjunnar niður eftir farveginum. Líkanreikningarnir benda til þess að rennsli á lengdareiningu þvert á hlaupstefnuna hafi verið um 20 $m^3/s/m$ næst jökli en lækkað niður í 5–10 $m^3/s/m$ þegar nær dró hringveginum. Ef jarðskjálftaóróa, sem mældist fyrir hlaupið 1999, er til marks um upphaf rennslis frá katlinum, sem hlaupið kom úr, má meta framrásarhraða flóðbylgjunnar undir jökli um 2 m/s (7 km/klst).

Rennsli í Skaftárhlaupum við Sveinstind hefur oft verið mælt (Snorri Zóphóníasson, 2002; Gunnar Sigurðsson, óbirt gögn). Hlaupin vaxa nokkuð snöggt, oft á 20–30 klukkustundum, og bera fram mikinn aur m.a. vegna þess að þau rjúfa efni úr farvegi Skaftár sem sest hefur þar til frá síðasta hlaupi. Meðalstraumhraði í hlaupinu í ágúst 2018 mældist 3 m/s við meðaldýpt um 5 m þegar rennsli var 1494 m^3/s og rennsli á lengdareiningu þvert á hlaupstefnu um 15 $m^3/s/m$.

Túlkun

Rennsli og framrásarhraði fremstu flóðbrúnar í stórhlaupum eins og Kötluhlaupinu 1918 ræðst af nokkrum þáttum sem koma lítið við sögu í mun minni hlaupum eins og þeim sem lýst er hér að framan. Þar er einkum um að ræða framburð mjög stórra jaka, sem mynda hrannir sem halda aftur af rennslinu (Haukur Tómasson, 1996; Guðrún Larsen o.fl., 2010, 2013), og gríðarlegan framburð gosefna og aurs úr farveginum. Áhrif framburðarins koma m.a. fram í því að frambrún hlaupsins 1918 við Hjörleifshöfða „rótaði upp garði á undan sér“ og var líkari „einhvers konar leðjugraut en vatni“ (Jón Jónsson, 1980, lýsing Kjartans Leifs Markússonar skv. endurritun Einars H. Einarssonar). Jakar bárust einnig fram með sumum hlaupunum sem lýst er hér að framan en væntanlega höfðu þeir miklu minni áhrif á framrás þeirra.

Tekið hefur verið tillit til áhrifa jaka á rennsli í stórum jökulhlaupum í vatnafræðilegri greiningu með því að nota stuðla sem tilgreina mjög mikinn núning (Haukur Tómasson, 1996; Jónas Elísasson o.fl., 2007) í jöfnu Mannings ($n = 0.1$ $m^{-1/3}s$) eða Chézys ($C_b = 5.2$). Til þess að samtúlka vísbendingar úr minni jökulhlaupum, eins og lýst er hér að ofan, og stórhlaupum með háum jökum, sem standa upp úr flóðinu og mynda hrannir sem flóðið rennur í gegnum, er hér farin sú leið að reikna rennsli í gegnum op milli jaka sem standa gegn streyminu. Tekið er tillit til áhrifa jakanna á flatarmál viðnámsflatarins, flóðdýpt og hraða streymis á milli jakanna með sérstakri aðlögun jafna Mannings og Chézys og ætti þá að vera unnt að nota svipuð gildi viðnámsstuðla og fást með greiningu á minni jökulhlaupum, fyrir stærri hlaup. Til þess að gefa hugmynd um stærðarþrep þessara áhrifa er miðað við að jakar þeki annars vegar helming þverskurðarflatarmáls farvegar hlaupsins og hins vegar 2/3 flatarmálsins.

Flókna framrás jökulhlaupsbrúnar sem vöðlar upp sandi og möl á leið sinni yfir jökuláraura er ekki einfalt að greina með hefðbundnum vatnafræðilegum straumfræðireikningum. Hins vegar má færa rök fyrir því að í framrás hlaupa af þessum toga skapist tímabundið jafnvægi þar sem streymi alllangt að baki frambrúnarinnar fæðir framrás hlaupsins. Jökulhlaupsbylgjan berst þannig fram langar vegalengdir með svipaðri lögun og streymi (sem falli af fjarlægð frá frambrúninni). Slík framrás er nefnd á ensku

„translatory wave“ (Jónar Elísasson o.fl., 2007) og virðist eðlileg túlkun á athugunum og mælingum á jökulhlaupunum í Markarfljóti í apríl 2010 sem lýst er hér að ofan. Skv. þessari túlkun ræðst hraði framrásarinnar ekki af flóknu streymi í flóðbrúninni sjálfri og nágrenni hennar, þar sem öllu ægir saman, heldur af rennslinu langt þar fyrir aftan. Þar má gera ráð fyrir að halli yfirborðs flóðsins sé nærri halla undirlagsins og straumfræðileg túlkun er einfaldari en fyrir frambrúnina. Til þess að slík bylgja geti borist með lítt breyttri lögun niður farveginn þarf straumhraðinn á hverjum stað að vera svipaður og framrásarhraði flóðbrúnarinnar. Enn fremur má gera ráð fyrir að flóðbylgjan berist niður aura fjarri jökli með hraða sem samsvarar tiltölulega miklu rennsli við jökuljaðar vegna þess að flóðbylgja með miklu rennsli berst hraðar fram og fer því fram úr hægari flóðbylgjum með minna rennsli sem kunna að leggja af stað fyrr við jökuljaðar.

TerraSAR-X mælingarnar á flóðbylgjunni á Markarfljótsaurum 15. Apríl 2010 gefa athyglisverða vísbendingu um eðli jökulhlaupsflóðbylgju sem ber fram bæði stórgrýti og aur. Efnið sem flóðið ber með sér getur hrúgast upp til hliðanna þannig að straumrastir með hægara flæði á milli myndast. Gera má ráð fyrir að jakaburður í hlaupi stuðli einnig að slíkri þróun rennslisins. Sjónarvottar að ummerkjum Kötluhlaupsins 1918 lýsa einmitt djúpum tröðum í gegnum ísjakahrönnina þar sem straumurinn hafði rofið farveginn niður í sandinn (Guðgeir Jóhannsson, 1919; Haukur Tómasson, 1996). Slík straumfyrirbæri eru vel þekkt í snjóflóðum og skriðuföllum sem oft ryðjast fram í röstum með miklum straumhraða og ýta til hliðar efni sem hægar fer og heldur að stríðasta straumnum.

Þegar reynt er að meta í grófum dráttum framrásarhraða jökulhlaupa með mismunandi hámarksrennsli út frá gögnum um minni flóð, þarf að huga að tveimur atriðum sem áhrif hafa á framrásarhraðann. Annars vegar benda athuganir á hlaupinu 1918 til þess að fyrsta flóðbylgjan, þó stór væri, hafi ekki verið með mesta rennsli sem hlaupið náði. Hér verður miðað við það að fyrsta flóðbylgja Kötluhlaupa hafi á stærðarþrepinu helming rennslis á við hámarksrennsli viðkomandi hlaups. Hins vegar er líklegt að samanlagðir farvegir stórra hlaupa séu breiðari en farvegir minni hlaupa. Hér verður miðað við að breidd farvega vaxi í hlutfalli við kvaðratrót hámarksrennslis þannig rennsli á lengdareiningu þvert á straumstefnu og breidd straumsins vaxi í sama hlutfalli. Báðar þessar forsendur eru mikilli óvissu háðar en þær eru í samræmi við tilhneigingu sem ætla má að hlaupin fylgi.

Mælingar og athuganir á jökulhlaupunum sem raktar voru hér að framan gefa til kynna ákveðna núningsstuðla í rennsli hlaupvökvans þegar tekið er tillit til halla og breiddar farvegarins, núningsstuðulinn C_h í jöfnu Chézys á bilinu 7–17. Hlaupið í Markarfljóti þann 15. apríl 2010 bendir ekki til þess að ástæða sé til þess að nota lægri núningsstuðul (meiri núning) í aurríkum hlaupum en öðrum. Ef valinn er núningsstuðull nærri miðjunni á þessu bili gefa straumfræðireikningar til kynna að hlaupið 1918 kunni að hafa borist niður Mýrdalssand á hraðanum 5–7 m/s (18–25 km/klst) sem er heldur minni hraði en mat Hauks Tómassonar (1996). Stærstu hlaup, sem hætta er talin á úr Mýrdalsjökli með rennsli upp undir milljón m^3/s (Magnús T. Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir, 2006), geta hins vegar ruðst fram sandinn með um 7–10 m/s hraða (25–36 km/klst).

Víkur þá að vísbendingum sem björg framborin í jökulhlaupum geta gefið um straumhraða. Grjóturðir og stök björg sem asaflóð og jökulhlaup skilja eftir sig hafa verið notuð til þess að meta straumhraða í bæði sögulegum og forsögulegum flóðum (Costa, 1983; Williams, 1983; Alexander og Cooker, 2016). Einnig er vel þekkt að snjóflóð og önnur ofanflóð bera oft með sér stórgrýti og björg, t.d. snjóflóðið úr Traðargili í Súðavík í janúar 1995 og snjóflóð sem féll í Dýrafirði í sömu hrinu og mannskaðaflóðið á Flateyri í október 1995. Þessi flóð báru með sér björg sem vega tugi tonna (Þorsteinn Sæmundsson, 2005). Reynsluformúlur sem notaðar hafa verið til þess að meta straumhraða í flóðum út frá grjóti sem þau skilja eftir benda til þess að straumhraðinn vaxi með kvaðratrót lengdarkvarða grjótsins og er þá miðað við vatnsflóð og grjót með eðlisþyngd nærri 2,5-3 kg/m^3 og tiltölulega stöðugt rennsli (Costa, 1983; Williams, 1983). Einnig eru til formúlur sem taka tillit til eðlisþyngdar vökvans og grjótsins og breytileika rennslis með tíma (Alexander og Cooker, 2016). Þessar reynsluformúlur gefa til kynna að straumhraði sem þarf til þess að flytja Kötluklett langar vegalengdir sé um tvöfalt meiri en þarf til þess að flytja bjargið sem jökulhlaupið í Markarfljóti 15. apríl 2010 bar með sér. Það leiðir til straumhraða á bilinu 8–10 m/s fyrir Kötluhlaupið 1918 eftir því hvort miðað er við meðalhraða Markarfljótshlaupsins frá Gígjökli að Markarfljótsbrú eða hámarkshraða skv. TerraSAR mælingu. Það er nokkru hærra en niðurstaða straumfræðigreiningarinnar hér að framan. Hugsanlegt er að hlaupið 2010 hafi verið á heldur meiri hraða þar sem það skildi bjargið eftir skammt neðan Gígjökuls en mældist með TerraSAR-X greiningunni nokkru neðar í farveginum og kann það að skýra þennan mun að einhverju leyti.

Formúlur sem notaðar eru til þess að reikna straumhraða út frá stærð framborins grjóts eru mjög óvissar og talsverður munur er á stuðlum sem notaðir eru af mismunandi höfundum sem þeim hafa beitt. Sér í lagi ríkir óvissa um áhrif mismunandi eðlisþyngdar flóðvökvans og hvort upplýsingar um almenn vatnsflóð sem liggja sumum formúlanna til grundvallar eiga við um snögg flóð sem breytast hratt með tíma. Unnt er að sannreyna þessar formúlur að vissu marki með upplýsingum um grjót framborið í ofanflóðum og mati á hraða slíkra flóða en snjóflóð hafa að sjálfsögðu

aðra eðlisþyngd en vatn og skella snöggt á fyrirstöðum. Skemmst er frá því að segja að formúlurnar sem að framan eru nefndar gefa til kynna að snjóflóð geti flutt björgin í Súðavík og Dýrafirði úr stað og hraðinn sem reiknast út frá stærð bjarganna er frekar í lægri kantinum miðað við það sem búast má við fyrir viðkomandi snjóflóð. Það er rétt að ítreka að þessar vísbendingar gefa aðeins grófa hugmynd um hraða streymis sem bar fram björgin sem féllu í sumum tilvikum niður brattar hlíðar hluta farvegarins og hafa væntanlega rúllað og farið í loftköstum þegar mest gekk á.

Samantekt

Ýmsar vísbendingar eru um straumhraða í stórum Kötluhlaupum en engar beinar mælingar á hraða hlaupanna eru tiltækar eða svo ýtarlegar lýsingar að reikna megi hraða hlaupanna af nákvæmni. Lýsingar sjónarvotta hafa verið túlkaðar þannig að hraði jökulhlaupsins 1918 hafi verið um eða nokkru undir 10 m/s. Straumfræðigreining og túlkun á straumhraða sem þarf til þess að bera fram Kötluklett, sem hlaupið bar um 15 km niður Mýrdalssand, er í samræmi við þessa hefðbundnu túlkun á lýsingu sjónarvotta.

Heimildir

Alexander, Jan, Mark J. Cooker. 2016: Moving boulders in flash floods and estimating flow conditions using boulders in ancient deposits. Sedimentology, **63**, 1582–1595.

Árni Snorrason, Páll Jónsson, Svanur Pálsson, Sigvaldi Árnason, Oddur Sigurðsson, Skúli Víkingsson, Ásgeir Sigurðsson and Snorri Zóphóníasson. 1997. Hlaupið á Skeiðarársandi haustið 1996. Útbreiðsla, rennsli og aurburður. Í: Hreinn Haraldsson, ritstj., *Vatnajökull. Gos og hlaup 1996*. Vegagerðin, Reykjavík, 79–137.

Einar H. Einarsson. 1993: Eldar Mýrdalsjökuls. Kötlugosið 1918. *Saga*, **31**(1), 127–158.

Costa, J. E. 1983: Paleohydraulic reconstruction of flashflood peaks from boulder deposits in the Colorado Front Range. *Geological Society of America Bulletin*, **94**, 986–1004.

Gísli Sveinsson. 1919: *Kötlugosið 1918 og afleiðingar þess*. Reykjavík, Stjórnarráð Íslands.

Guðgeir Jóhannsson. 1919: *Kötlugosið 1918: frásagnir úr Vík og Heiðardal í Mýrdal, Hjörleifshöfða, Skaftártungu, Álftaveri, Meðallandi og Síðu* / safnað hefir og samið Guðgeir Jóhannsson. Reykjavík, Bókaverzlun Ársæls Árnasonar.

Guðrún Larsen. 2010: Katla: Tephrochronology and eruption history. Í: Schomacker, A., J. Krüger, K. H. Kjær, ritstj., *The Mýrdalsjökull ice cap, Iceland: glacial processes, sediments and landforms on an acitive volcano. Developments in Quaternary Sciences*, 13, Elsevier, Amsterdam, 23–49.

Guðrún Larsen, Magnús T. Guðmundsson, Olgeir Sigmarsson. 2013: KATLA. Í: Júlíus Sólnes, Freysteinn Sigmundsson, Bjarni Bessason, ritstj., *Náttúruvá á Íslandi – Eldgos og jarðskjálftar*, 211–233. Viðlagatrygging Íslands/Háskólaútgáfan, Reykjavík.

Gunnar Þór Jónsson, Tinna Þórarinsdóttir. 2011: *Hlaup í Múlakvísl 8.–10. júlí 2011*. Veðurstofa Íslands, greinargerð GThJ-TTh/2011-01.

Haukur Tómasson. 1996: The jökulhlaup from Katla in 1918. *Annals of Glaciology*, **22**, 249–254.

Helgi Björnsson. 2009: Jökulhlaups in Iceland: sources, release and drainage. Í: Burr, D. M., P. A. Carling, V. R. Baker. *Megaflooding on Earth and Mars*. Cambridge University Press. Cambridge, 50–62.

Jón Jónsson. 1980: Um kötluhlaup. *Náttúrufræðingurinn*, **50**(2), 81–86.

Jónas Elíasson, Snorri Páll Kjaran, Sigurdur Lárus Hólm, Magnús Tumi Guðmundsson, Guðrún Larsen. 2007: Large hazardous floods as translatory waves. *Environmental Modelling & Software*, **22**, 1392–1399.

Oddur Sigurðsson, Snorri Zóphóníasson, Erlingur Ísleifsson. 1999: Jökulhlaup úr Sólheimajökli 18. júlí 1999. *Jökull*, **49**, 75–80.

Magnús T. Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir. 2006: Ísbráðnun og upptakarennsli jökulhlaupa í Kötluöskju og austanverðum Mýrdalsjökli. Jarðvísindastofnun Háskólans, skýrsla RH-02-2006.

Roberts, M. J., Gunnar Sigurðsson, Oddur Sigurðsson, E. Pagneux, Tómas Jóhannesson, Snorri Zóphóníasson, Magnús T. Guðmundsson, A. J. Russell, Ágúst G. Gylfason, Friðrik Höskuldsson, Bogi B. Björnsson. 2011: The April 2010 eruption of Eyjafjallajökull volcano: Glacial flooding and attendant hazards, abstract V18S1-1330 presented at XXV IUGG General Assembly, Melbourne, Vic., Australia, 28 June to 7 July.

Rossi, Cristian, Hartmut Runge, Helko Breit, Thomas Fritz. 2010: Surface current retrieval from RerraSAR-X data using doppler measurements. *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS) 2010*, IEEE International. (10.1109/IGARSS.2010.5654464).

Russell, Andrew J., Fiona S. Tweed, Matthew J. Roberts, Tim D. Harris, Magnús T. Gudmundsson, Óskar Knudsen, Philip M. Marren. 2010: An unusual jökulhlaup resulting from subglacial volcanism, Sólheimajökull, Iceland. *Quaternary Science Reviews*, **29**, 1363–1381.

Sigurjón Rist. 1967: Jökulhlaups from the ice cover of Mýrdalsjökull on June 25, 1955 and January 20, 1956. *Jökull*, **17**, 243–248.

Sigurður Þórarinsson, Sigurjón Rist. 1955: Rannsókn á Kötlu og Kötluhlaupi sumarið 1955. *Jökull*, **5**, 43–46.

Snorri Zóphóníasson. 2002: *Rennsli í Skaftárhlaupum 1955–2002*. Orkustofnun, skýrsla SZ-2002/01.

Williams, G. 1983: Paleohydrological methods and some examples from Swedish fluvial environments. *Geografiska Annaler*, **65**A, 3–4.

Þorsteinn Sæmundsson. 2005: *Jarðfræðileg ummerki snjóflóða*. Náttúrufræðistofnun Íslands, skýrsla NÍ-05010.

Þorvaldur Thoroddsen. 1920: Vulkanen Katla og dens sidste Udbrud 1918. *Geografisk Tidsskrift* Bd. 25. København.

Kötlugos á þotuöld

Uta Reichardt, Guðrún Pétursdóttir og Guðmundur Freyr Úlfarsson

Stofnun Sæmundar fróða um sjálfbæra þróun og Umhverfis- og byggingarverkfræðideild, Háskóla Íslands

Ágrip

Samfélagsleg áhrif eldgosa tóku á sig nýja mynd þegar þotuhreyflar komu til sögunnar um miðja síðustu öld. Endurtekið urðu alvarleg atvik í háloftunum sem kölluðu á varúðarreglur. Í fyrstu fólust þær í því að forðast algerlega að fljúga um öskumenguð svæði. Það reyndist dýr ráðstöfun í Eyjafjallajökulsgosinu 2010 og varð til þess að flugmálayfirvöld í Evrópu settu nýjar reglur, sem miðuðu að því að draga úr kostnaði án þess að rýra öryggi. Nú er það í höndum flugrekenda að ákveða hvort þeir fljúga, að uppfylltum ströngum öryggisskilyrðum.

Í þessari rannsókn voru könnuð möguleg áhrif umfangsmikilla eldgosa á Íslandi á flugumferð. Ljóst er að þau geta orðið mikil, einkum fyrir flugtak og lendingu og skerða þar með flugsamgöngur. Settar eru fram tillögur um úrræði til að auka viðnámsþrótt samfélaga gegn slíkum náttúruhamförum.

Abstract

The societal impact of volcanic eruptions gained a new dimension with the rise of jet-engine powered aircrafts. Aircraft encounters with volcanic ash led to precautionary regulations which centered on avoiding volcanic ash contaminated airspace. The Eyjafjallajökull eruption in 2010 demonstrated the limitations of this approach, which proved to be disruptive and costly. This led to a paradigm shift aiming to reduce disruptions and cost, without jeopardizing safety. This study presents investigations of the potential impact of an eruption, similar to what can occur in Katla, on air transportation under the current regulations. While the risk management of volcanic ash has improved, an eruption could still severely disrupt aviation. This calls for extensive measures to increase societies' resilience to such events. The study stresses the need for a comprehensive long-term contingency plan, including alternative transportation should aircrafts be grounded due to volcanic ash.

Inngangur

Þess eru dæmi að eldgos á Íslandi hafi haft áhrif langt út fyrir landsteinana. Eitt það ógnvænlegasta eru Skaftáreldar (1783–1784) sem höfðu áhrif víða um heim, meðal annars á veðurfar sem leiddi til uppskerubrests í Vestur Evrópu og kunna að hafa tengst orsökum frönsku byltingarinnar (Wood, 1992). Eyjafjallajökulsgosið vorið 2010 vakti heimsathygli með miklum truflunum á flugumferð (Guðmundur Frey Úlfarsson og Unger, 2011).

Þegar Katla gaus árið 1918 var flug enn að slíta barnsskónum og þotuhreyflarnir höfðu ekki enn verið fundnir upp. Það eru áhrif ösku á þotuhreyfla sem gera flugumferð sérstaklega viðkvæma fyrir eldgosum.

Stutt saga flugs og öskugosa

Segja má að þotuöldin hafi hafist árið 1952 þegar fyrsta farþegaflugið með þotu var farið á milli Lundúna og Jóhannesarborgar (Boyne og Lopez, 1979). Sumarið 1982, 30 árum síðar, þurfti flugstjóri flugs BA009 frá Lundúnum til Auckland að tilkynna farþegum að þau ættu í smá vandræðum, það hefði nefnilega drepist á þotuhreyflunum - öllum fjórum! Enginn vissi þá hvers vegna hreyflarnir stoppuðu né hvers vegna þeir hrukku allt í einu aftur í gang um 12 mínútum síðar (Stewart, 1999). Áhöfnin sá hrævarelda, bjartan bláleitan bjarma, á framrúðu flugvélarinnar og í farþegarýminu var bæði reykur og brennisteinslykt. Útsýn um framrúðuna snarminnkaði því rúðan varð sem sandblásin, en radar sýndi heiðan himinn. Eftir nauðlendingu í Jakarta leiddi rannsókn í ljós að flugvélin hafði flogið beint í gegnum öskuský frá eldgosi í Galunggung fjalli í Indónesíu. Askan var mjög þurr og sást því ekki á veðurradar, sem greinir ský út frá raka.

Atvikið vakti athygli á þeirri hættu sem þotum stafar af gosösku (Smith, 1983; Tootell, 1985; Miller, 1994). Gosaska er blanda af hörðum gler- og steinögnum (Casadevall et al., 1996), sem sogast inn í þotuhreyflana og bráðnar þar, því bráðnunarhitastig gosösku (um 1100°C) er mun lægra en hitastig inni í þotuhreyflum (um 1400°C). Agnir í öskunni bráðna fyrst, þeytast svo inn í hreyfilinn þar sem bráðin askan safnast fyrir, þéttist og herðist og getur valdið því að hreyfillinn stöðvast. Í flugi BA009 er talið að þegar hreyflarnir drápu á sér og flugstjórinn lækkaði flugið hratt, hafi askan snöggkólnað og brotnað þannig að hreyflarnir urðu gangfærir á ný (Stewart, 1999).

Svipuð atvik hafa átt sér stað annars staðar (Guffanti et al., 2010; ICAO, 2012) meira að segja þegar flogið var

í gegnum gosösku sem hafði borist langt frá eldfjallinu. Árið 1989 slökknaði á einum hreyfli þotu á leið yfir Texas þegar hún fór í gegnum gosösku frá Redoubt eldfjallinu í Alaska, í um 5400 km fjarlægð og um 35–55 klukkustundum eftir að askan fór út í andrúmsloftið (Casadevall, 1994).

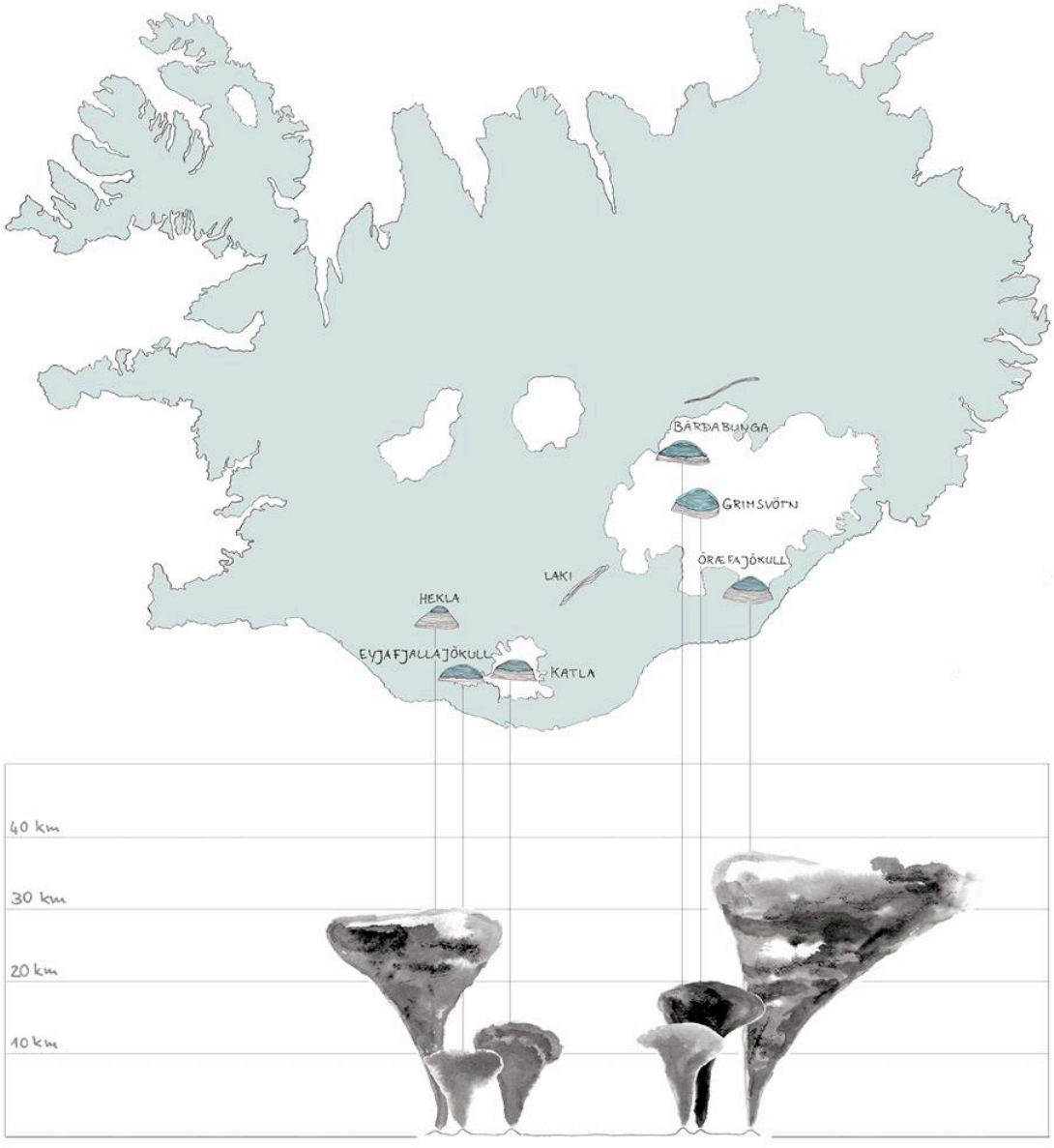
Möguleg áhrif Kötlugoss á þotuöld

Það sem ræður mestu um áhrif öskugoss á flug er stærð og kraftur gossins, efnasamsetning, stærð og þyngd agnanna í öskunni, veður og hve lengi gosið varir. Langt gos með miklu gosefni leiðir til þess að aska getur dreifst víða í andrúmsloftinu og haft mikil áhrif á flugumferð. Mikill sprengikraftur og þétt öskuský sem fer hátt upp í andrúmsloftið veldur miklum áhrifum á flug þar sem það getur dreifst víða. Veðrið skiptir miklu máli og ræður öllu um hvaða flugleiðir verða fyrir áhrifum. Í Eyjafjallajökulsgosinu voru vindáttir sérstaklega slæmar fyrir flugumferð í Evrópu (Petersen, 2010) en þessar vindáttir eru frekar sjaldgæfar (Sammonds et al., 2010).

Þrátt fyrir að Eyjafjallajökulsgosið hafi haft mikil áhrif á flugumferð þá var þetta ekki mikið gos á íslenskan mælikvarða. Við getum átt von á mun stærri eldgosum, sem standa lengur og spúa miklu meiri ösku.

Í Kötlugosinu árið 1918 komu upp um 0,7 km^3 af gjósku, sem er um sjö sinnum meira magn en í Eyjafjallajökulsgosinu 2010. Öskustrókur Kötlu 1918 var um 14 km á hæð, eða um helmingi hærri en strókur Eyjafjallajökuls 2010. Guðrún Larsen og Magnús Tumi Guðmundsson (2016) greina frá því að í stóru Kötlugosi geta öskustrókar orðið 20 km háir og jafnvel hærri.

Á mynd 1 er borin saman líkleg hæð gosstróka í nokkrum sögulegum eldgosum á Íslandi.



Mynd 1. Valdar eldstöðvar á Íslandi og möguleg hæð gosstróks miðað við söguleg eldgos. Hæð stróksins er tengd hverri eldstöð.

Eyjafjallajökulsgosið 2010 jók vitund fluggeirans um þá hættu sem flugumferð í Evrópu og yfir Norður Atlantshafi getur stafað af eldgosum á Íslandi. Áhrif þess atburðar voru víðtæk og kostnaðarsöm. Þau ollu því að yfirvöld flugmála í Evrópu urðu að endurskoða gildandi reglur um viðbrögð við öskugosi til að draga úr skaða án þess að draga úr öryggi. Helsta breytingin er sú, að fallið var frá hinni almennu reglu um að alls ekki megi fljúga þar sem loft er talið mengað af gosösku. Þess í stað var tekið upp kerfi sem getur leyft flug á svæðum sem talin eru menguð af ösku upp að vissum mörkum, sé ströngum skilyrðum um öryggi fullnægt. Frá fyrstu viðbrögðum við gosinu 2010 hafa margvíslegar breytingar verið gerðar á evrópsku regluverki til að bæta stjórn áhættu fyrir flug vegna gosösku (Reichardt et al., 2018a). Ein mikilvægasta breytingin er að ákvörðunarvald hefur verið flutt frá yfirvöldum til flugrekenda, að uppfylltum ströngum skilyrðum. Einnig var stofnað samræmingarstjórnvald fyrir fluggeirann til að stýra upplýsingaflæði og viðbrögðum í Evrópu ef öskugos verður.

Möguleg áhrif nýs eldgoss á flugumferð hafa verið rannsökuð með því að nota sviðsmyndir sem gera ráð fyrir mismunandi eldgosum, s.s. fyrir langt öskugos eða fyrir mjög kraftmikið öskugos með háum og þéttum öskustróki (Reichardt et al., 2018b). Í sviðsmyndunum var notast við sömu veðurskilyrði og voru ríkjandi í Eyjafjallajökulsgosinu 2010 þar sem þær aðstæður eru sérstaklega krefjandi fyrir evrópska flugumferð.

Rannsóknin sýnir að þrátt fyrir miklar umbætur í regluverki og áhættustjórnun fyrir öskugos, má búast við verulegri truflun á bæði farþega- og fraktflugi (Reichardt et al., 2018c). Hægt er að skoða mögulega áhrif Kötlugoss í ljósi þessara niðurstaðna.

Samkvæmt þessari rannsókn er líklegt að öskugos í Kötlu myndi hafa áhrif á lágar og miðlungsháar flugleiðir, sér í lagi flugtök og lendingar, og gæti haft áhrif á allt að helming evrópskrar flugumferðar innan fárra daga eftir að gos hefst.

Áhrifin á íslenska flugvelli sem geta þjónustað þotur byggjast mjög á ríkjandi vindátt en þar sem þessir flugvellir eru dreifðir um landið (Keflavík, Akureyri, Egilsstaðir) er ólíklegt að þeir lokist allir á sama tíma.

Öskugos í Kötlu myndi samt hafa áhrif á mikilvæga þætti íslensks efnahagslífs. Niðurfellingar og seinkanir flugferða munu draga úr ferðamennsku tímabundið og valda neikvæðum áhrifum á fyrirtæki í þeim iðnaði. Einnig má búast við neikvæðum áhrifum fyrir útflutning, m.a. á ferskum fiski með flugi. Einnig hlytist óhjákvæmilega skaði af truflunum á innflutningi mikilvægra vöruflokka. Erfitt er að segja um heildaáhrif þar sem þau fara meðal annars eftir hve lengi gosið varir og hvernig vindar blása.

Rannsóknir á áhrifum Eyjafjallajökulsgossins 2010 sýna að þótt draga megi úr mögulegum skaða eldgoss með skipulegum og góðum viðbrögðum, þá má búast við því að eldgos sem varir í nokkrar vikur geti hæglega valdið alþjóðlegu fjárhagstjóni upp á nokkra milljarða evra.

Bætt viðbrögð

Þar sem öruggt er að Katla mun gjósa fyrr eða síðar er spurningin hvernig bæta má viðbrögð og þar með auka viðnámsþol þjóða gegn slíkum atburði. Það er flókið verkefni að draga úr áhættu vegna náttúruhamfara, sem krefst skilnings og samstarfs fjölda stofnana og sérfræðinga í mörgum löndum.

Aðrir samgöngumátar en flug, þ.e. vega-, skipa-, og lestarsamgöngur, þurfa að vera til taks ef öskugos lokar flugumferð í Evrópu. Það krefst góðs undirbúnings (Mattson og Jenelius, 2015). Samgöngukerfið þolir meiri áföll ef það er sveigjanlegt (Caschili et al., 2015). Þegar flugvélar geta ekki flogið í langan tíma er nauðsynlegt að aðrir samgöngumátar geti tekið við og flutt fólk og vörur. Þetta kallar á umframflutningsgetu samgangna á sjó og landi. Til að bæta samræmingu allra samgöngumáta þurfa þessir geirar að deila þekkingu sín á milli um áhrif og viðbrögð við öskugosi. Æfingar á viðbrögðum sem innifela alla samgöngumáta myndu stuðla að bættum viðbragðsáætlunum.

Það þarf einnig að áætla fjölda farþega og magn vöru af ýmsu tagi sem þarf að senda með öðrum samgönguleiðum til þess að geta metið þörfina og svarað henni þegar á reynir.

Það myndi auðvelda skipulagningu og viðbrögð ef einni stjórnvaldsstofnun væri falið að samhæfa upplýsingar og stýra flutningum ef slíkt neyðarástand kæmi upp. Svona stjórnvald gæti tengt saman mismunandi kerfi og stórbætt upplýsingaflæði. Það yrði auðvitað ýmsum vandkvæðum háð að koma slíku stjórnvaldi á fót, vegna þess að mörg ríki ættu hlut að máli og tengja þyrfti ríkisstofnanir og fyrirtæki þvert á landamæri.

En það verður ekki undan því vikist að skipuleggja viðbrögð annarra samgöngumáta ef flugumferð lokast í langan tíma. Því er mikilvægt að allir sem hlut eiga að máli séu meðvitaðir um mögulegar náttúruhamfarir og líkleg áhrif þeirra, svo þeir geti sem best skipulagt viðbrögð sín.

Heimildir

Boyne, W. J., og D. S. Lopez (Ritstj.), 1979. *The Jet Age: Forty Years of Jet Aviation*. Smithsonian Institution Press, Washington, D.C.

Casadevall, T. J., 1994. The 1989–1990 eruption of Redoubt volcano, Alaska: Impacts on aircraft operations. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 62(1), bls. 301–316.

Casadevall, T. J., P. J. D. Reyes og D. J. Schneider, 1996. The 1991 Pinatubo eruptions and their effects on aircraft operations. Í: *Fire and Mud: Eruptions and Lahars of Mount Pinatubo, Philippines*, U.S. Geological Survey, bls. 625–636.

Caschili, S., F. R. Medda og A. Reggiani, 2015. Guest editorial: Resilience of networks. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 81, bls. 1–3.

Guðmundur Freyr Úlfarsson og E. A. Unger, 2011. A case study of Icelandic aviation impacts and responses due to the 2010 Eyjafjallajökull volcanic eruption. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, nr. 2214, bls. 144–151.

Guðrún Larsen og Magnús Tumi Guðmundsson, 2016. The Katla volcanic system. Í: E. Ilyinskaya, Guðrún Larsen og Magnús Tumi Guðmundsson (Ritstj.), *Catalogue of Icelandic Volcanoes*. Veðurstofa Íslands, Háskóli Íslands og CPD-NCIP.

Guffanti, M., T. J. Casadevall og K. E. Budding, 2010. *Encounters of Aircraft with Volcanic Ash Clouds: A Compilation of Known Incidents, 1953-2009*. US Department of Interior, US Geological Survey.

ICAO, 2012. *Flight Safety and Volcanic Ash*. International Civil Aviation Organization. http://www.icao.int/publications/documents/9974_en.pdf. Sótt 3 mars, 2015.

Mattsson, L.-G., og E. Jenelius, 2015. Vulnerability and resilience of transport systems – A discussion of recent research. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 81, bls. 16–34.

Miller, E., 1994. Volcanic ash and aircraft operations. Í: T. J. Casadevall (Ritstj.), *Volcanic Ash and Aviation Safety: Proceedings of the First International Symposium on Volcanic Ash and Aviation Safety*, U.S. Geological Survey Bulletin, 2047, bls. 203–206.

Reichardt, U., 2018a, *Ash and Aviation in Europe: A Stakeholder Analysis of Preparedness for Volcanic Ash from Iceland*, Ph.D. ritgerð, Umhverfis- og byggingarverkfræðideild, Háskóla Íslands, 114 bls.

Reichardt, U., Guðmundur Freyr Úlfarsson og Guðrún Pétursdóttir, 2018b. Developing scenarios to explore impacts and weaknesses in aviation response exercises for volcanic ash eruptions. *The 97th Annual Meeting of the Transportation Research Board*. Compendium of Papers. Washington D.C., 16 bls.

Reichardt, U., Guðmundur Freyr Úlfarsson og Guðrún Pétursdóttir, 2018c. Volcanic ash and aviation: Recommendations to improve preparedness for extreme events. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 113, bls. 101–113.

Sammonds, P., P. McSammonds, W. McGuire og S. Edwards (Ritstj.), 2010. *Volcanic Hazard from Iceland: Analysis and Implications of the Eyjafjallajökull Eruption*. UCL Institute for Risk and Disaster Reduction, London.
http://www.ucl.ac.uk/rdr/documents/docs-publications-folder/icelandreport. Sótt 27. april, 2014.

Stewart, S., 1999. *Emergency: Crisis on the Flight Deck*. Crowood Press, UK.

Smith, W. C., 1983. High-altitude conk out. *Natural History*, 92(11), bls. 26–34.

Tootell, B., 1985. *All 4 Engines Have Failed: The True and Triumphant Story of Flight BA009 and the Jakarta Incident*. Hutchinson Group, Ltd., Auckland.

Wood, C. A., 1992. Climatic effects of the 1783 Laki eruption. Í: C. R. Harrington (Ritstj.), *The Year Without a Summer: World Climate in 1816*. Canadian Museum of Nature, Ottawa, bls. 58–77.

Beðið eftir Kötlu, áskoranir í undirbúningi almannavarna í síbreytilegu samfélagi

Víðir Reynisson

Lögreglan á Suðurlandi

Ágrip

Allt frá því að lögum um almannavarnir var breytt 1967 og náttúruvá varð hluti af því sem skipulag almannavarna ná yfir hefur Katla verið reglulega áherslumál.

Fyrstu viðbragðsáætlanir vegna Kötlu voru útbúnar um 1972. Mikil pressar var á starfsmönnum almannavarna ríkisins og m.a. var fjölgað fastráðnum starfsmönnum vegna þessa. Allir töldu að nú væri Katla að koma og ekki mætti missa neinn tíma. Unnir voru langir dagar og mikil áhersla lögð á rýmingaráætlun fyrir Vík, Álftaver og Meðalland.

Á níunda áratugnum var byggt upp kerfi VHF talstöðva og bændur fengu hlutverk við lokanir þjóðvegarins, svo kallaðir hliðverðir. Björgunarsveitin Víkverji útbjó hlauparakerfi sem gengur út á að farið er í öll hús í Vík til að koma á framfæri skilaboðum um að rýma. Þetta kerfi er enn í dag hluti af viðbragðinu.

Með aukinni þekkingu á eldstöðinni og öflugu eftirlitskerfi hafa áætanir verið uppfærðar. T.d. í kringum 1999 var gerð áætlun þar sem hefja átti rýmingu ef fleiri en 3 skjálftar af stærðinni 3 yrðu í sömu vikunni. Í dag er horft til samspils fjölbreyttra mælinga og túlkunar vísindamanna.

Það er ekki bara þekking á eldstöðinni sem hefur breyst. Samfélagið sem nú stendur frammi fyrir Kötlu er allt annað en það sem var viðfangsefnið 1999. Íbúatala Mýrdalshrepps hefur sveiflast mikið og var það sveitarfélag þar sem mest fólksfjölgun var á síðasta ári eða um 11%

Stæðsta breytingin er þó tengd fjölgun ferðamanna. Ekki fyrir svo mörgum árum voru örfá hótel í Mýrdalshrepp og Skaftárhrepp en núna geta t.d. verið vel á þriðjaþúsund ferðamenn í gistinu í Mýrdalshrepp einum. Einnig hefu umferð stóraukist og gríðalegur fjöldi ferðamanna fer um hættusvæði Kötlu á hverjum degi allt árið um kring.

Menningarmunur, tungumála erfiðleikar og breytt ferðamunstur er m.a. það sem taka þarf tillit til í viðbragðsáætlunum vegna Kötlu í nútímanum. Hvernig ætlum við að koma á framfæri upplýsingum? Nútímatækni gefur okkur möguleika að koma á framfæri greinargóðum upplýsingum á mismunandi tungumálum sem íbúar og ferðmenn geta móttekið t.d. í snjallsíma og brugðist við og fylgt leiðbeiningum.

Stöðug þróun samfélagsins verður áfram áskorun á almannavarnir til og mikilvægt að ná að fylgja henni.

Kötluráðstefna – 100 ár liðin frá upphafi gossins 12. október 1918
Vík í Mýrdal, 12. október 2018

Fjarskiptasamband á rýmingarsvæði Kötlu

Þorleifur Jónasson

Póst- og fjarskiptastofnun

Ágrip

Aðgengi að fjarskipta- og upplýsingaþjónustu er það besta í heiminum að mati Alþjóðafjarskiptasambandsins (ITU). Um er að ræða einkunnalista Alþjóðafjarskiptasambandsins, svokallaðan IDI lista (ICT Development Index), sem birtur er árlega í skýrslu sambandsins um stöðu og þróun upplýsingasamfélagsins í heiminum. Viðurkenningin er m.a. tilkomin vegna mikillar útbreiðslu farsíma- og farnetsþjónustu og almennrar eignar landsmanna á farsímum og snjalltækjum. En betur má ef duga skal og enn eru svæði hér á landi sem ekki hafa nægilega gott samband til þess að tryggja megi að boð á neyðarstundu berist tímanlega til íbúa á hættusvæðum. Hér er fjallað um þróun þráðlausra farsímakerfa á Íslandi og hvernig þau hafa ollið straumhvörfum í lífi íbúa landsins, m.a varðandi boðun rýmingar á hættusvæðum.

Abstract

Iceland was appointed number one in the world by the International Telecommunications Union (ITU) 2017. This is the result of the annual IDI ICT reward of the ITU. One of the main resons for this achievement is the coverage of the mobile networks in Iceland together with the wide spread use of mobile phones. However, we can still do better as there are still areas in Iceland where coverage is not adequate to be able to secure timely evacuation messages to users in risk areas. This article is about the development of mobile systems in Iceland and how they have changed the lifes of the inhabitants, i.e. regarding the use of mobile systems for evacuation messages. .

Inngangur

Mikilvægi fjarskipta þegar kemur að almannavörnum og rýmingu almennings á hættusvæðum hefur alltaf verið mikið. Með þróun fjarskiptatækninnar hefur mikilvægið aukist jafnt og þétt og er nú svo komið að boð um rýmingu eru send með SMS skilaboðum í farsíma sem eru staðsettir innan skilgreinds rýmingarsvæðis. Það er því afar mikilvægt að þekja farsímakerfanna sé slík að tryggt sé að boð um rýmingu komist til skila tímanlega. Grein þessi fjallar í stuttu máli um sögu fjarskipta í tengslum við almannavarnir á Íslandi ásamt því sem fjallað er nánar um stöðu fjarskiptasambands á rýmingarsvæði Kötlu.

Meginmál

Mikilvægi fjarskipta

Almenn fjarskipti

Útvarp (hljóðvarp og sjónvarp)

Útvarp hefur ávallt gegnt mikilvægu hlutverki varðandi almannavarnir á Íslandi, fyrst hljóðvarp og síðar einnig sjónvarp. Hlutverk þessara miðla hefur ekki breyst í tímanna rás og ekki fyrirsjáanlegt að svo verði um ókomna tíð.

Heimasíminn

Árið 1906 var síminn fyrst tekinn í notkun á Íslandi með lagningu sæstrengs til Danmerkur um Færeyjar og Hjaltland. Þessum áfanga var náð þrátt fyrir mikil mótmæli sterkra afla hér á landi. Fáir deila í dag um mikilvægi fjarskipta og sérstaklega símans og þeirrar þróunar sem hefur orðið síðustu rúmu hundrað árin.

Eitt af því sem einkennt hefur heimasímann, og á ekki síst við þegar rætt er um almannavarnir og mikilvægi símans á neyðarstund, er að þrátt fyrir að rafmagn færi af virkaði heimasíminn því straumfæðing hans var á símalínunni. Þetta er þó brátt liðin tíð. Með þeirri þróun sem orðið hefur og á eftir að verða á næstu árum mun netsíminn taka við af hefðbundna heimasímanum. Það hefur m.a. í för með sér að fari rafmagn af þá verður netsíminn óvirkur eins og internettenging heimilisins. Sama má segja um netsjónvarp og nethljóðvarp en æ algengara er að notendur nýti sér netið til að taka við þessari þjónustu.

Farsíminn

Rekja má sögu farsímans á Íslandi til ársins 1986 þegar rekstur hins hliðræna NMT kerfis hófst hér á landi. Talað er um NMT kerfið sem fyrstu kynslóð farsíma. Önnur kynslóð farsíma, GSM kerfið hóf göngu sína hér á landi árið 1994 en það var fyrsta stafræna farsímakerfið. Samkeppni í fjarskiptum hófst svo árið 2008 og í kjölfarið varð farsíminn almenningseign. GSM kerfið er enn í rekstri hér á landi og hefur það reynst okkur vel og má leiða líkum að því að nánast hver einasti Íslendingur kominn af barnsaldri eigi farsíma í dag en virk símakort voru ríflega 460 þúsund í lok árs 2017. Í fyrstu bauð farsímaþjónustan aðeins upp á talsamband en með GSM tækninni var SMS þjónustan kynnt til sögunnar. Þessi þjónustuleið naut mikilla vinsælda, sérstaklega meðal yngri kynslóðarinnar í fyrstu

en síðar tileinkuðu flestir sér notkun hennar. Óþarfi er að rekja hér þá þróun sem síðar hefur orðið í farsímaþjónustu með tilkomu þriðju og fjórðu kynslóðar farsíma og innleiðingar netsins og gagnaflutnings í þessi tæki.

Neyðar- og öryggisfjarskipti

Neyðarlínan á og rekur Tetra fjarskiptakerfið í dag en það er stafrænt fjarskiptakerfi sem er sérsniðið að þörfum viðbragðsaðila þar sem hraði og öryggi skiptir máli. Undir flokkinn neyðar- og öryggisfjarskipti má m.a. telja eftirfarandi aðila:

- Bláljósaþjónustan, þ.e. lögregla, slökkvilið og sjúkraflutningar.
- Leit og björgun, t.d. hjálpar og björgunarsveitir og Landhelgisgæsluna.
- Almannavarnardeild Ríkislögreglustjóra (RLS) ásamt fleiri deildum RLS.

Aðrir notendur Tetra kerfisins eru aðilar sem gegna lykilhlutverki varðandi öryggi landsmanna en þeir eru t.d. rekstraraðilar mikilvægra innviða landsins. Þar má m.a. nefna orkufyrirtækin, fjarskiptafyrirtækin, heilsugæsluna og fleiri.

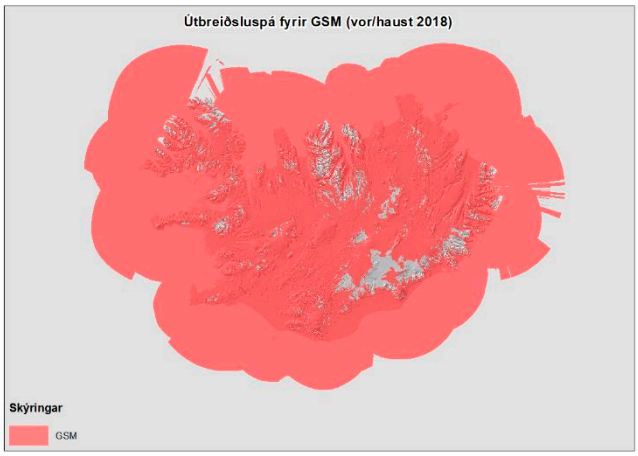
Úrræði almannavarna fyrir farsímavæðinguna

Úrræði almannavarna fyrir tíma farsíma voru takmörkuð við útvarp og heimasímann Á Höfuðborgarsvæðinu gegndu viðvörunarflautur mikilvægu hlutverki en á rýmingarsvæðum eins og undir Kötlu voru VHF talstöðvar mikilvægar en þær voru staðsettar hjá hliðvörðum á svæðinu.

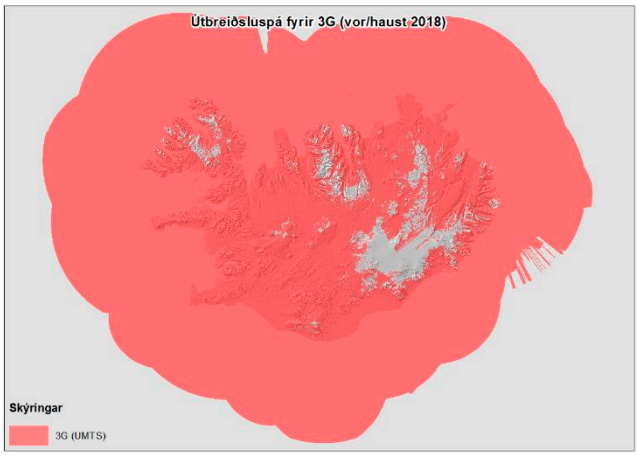
Almenn farsímakerfi byggð á markaðslegum forsendum

Eins og fram kemur hér að framan byrjuðu almenn þráðlaus fjarskiptakerfi að byggjast upp á miðjum níunda áratug síðustu aldar. Það er mikilvægt að hafa í huga að farsímakerfin eru skilgreind sem almenn fjarskiptakerfi. Fjarskiptafélögunum ber vissulega að gera áhættumat, setja upp öryggisskipulag (þ.m.t. um varaafl og uppitíma) og gera viðbragðsáætlanir en út frá forsendum um rekstur fyrir almenning og fyrirtæki. Farsímakerfin eru þannig ekki skilgreind sem öryggis- og neyðarfjarskiptakerfi og því má gera ráð fyrir því að minni kröfur séu gerðar til öryggis og útbreiðslu þeirra en t.d. má gera til Tetra kerfis Neyðarlínunnar. Við útgáfu tíðniheimilda fyrir farsímakerfi hafa verið gerðar kröfur um að þjónustan skuli ná til (Útbreiðslukröfur) 93% íbúa landsins. Útbreiðslukrafan tekur því fyrst og fremst til landssvæða sem eru í byggð. Þetta er sú uppbygging sem gert var ráð fyrir að fjarskiptafélögingætu byggt upp á markaðslegum forsendum.

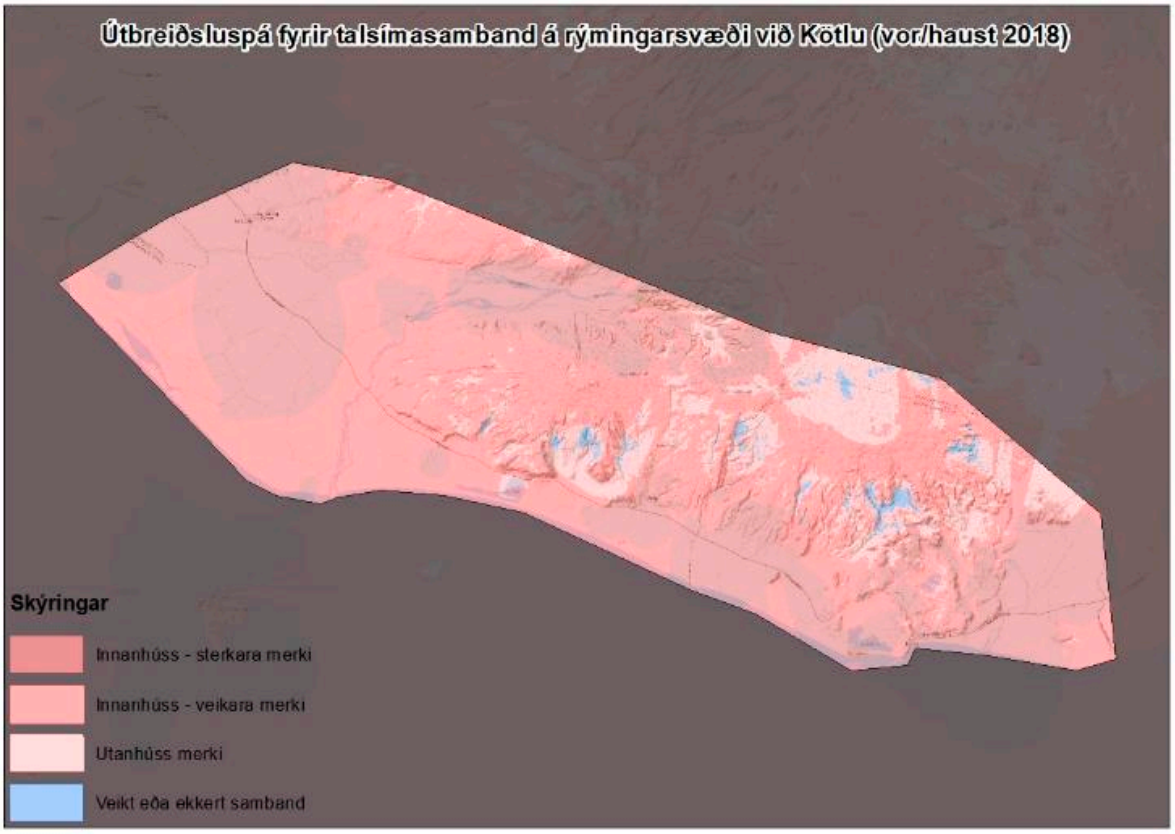
Farsímanotkun almennings óx mikið á skömmum tíma og nú er svo komið að áskriftir að farsímaþjónustu eru löngu orðnar mun fleiri en fólksfjöldi hér á landi. Þá hefur útbreiðsla farsímakerfanna fyrir löngu náð langt fram yfir þær kröfur sem voru gerðar til rekstraraðila í tíðniheimildum. Útbreiðsla GSM nær til u.þ.b. 99,6% landsmanna, þekur um 90% landmassa og þekur um 70% af 100 km út á hafsvæðið í kringum landið.



Nánar verður farið yfir útbreiðsluþekju hér að neðan. Þessi þróun er öfundsverð þegar litið er til nágrannaþjóða okkar þar sem nokkuð er í að þær þjóðir nái slíkri útbreiðslu. Þriðja kynslóð farsímakerfa er ekki langt frá því að ná sömu útbreiðslu en fjórða kynslóð á enn nokkuð í land. Það er ekki óeðlileg að eftir að farsímaeign varð svo almenn sem raun ber vitni og útbreiðsla kerfanna eins víðtæk og raun ber vitni, fóru notendur fljótlega að líta á tækin sem nokkurs konar öryggistæki enda farsíminn alltaf við höndina. Farsímarnir fóru að taka við sem boðunartæki í heilbrigðiskerfinu (af símboðunum) og á fleiri stöðum þar sem koma þurfti boðum á framfæri tímalega.



Almannavarnir sáu fljótlega að nýta mætti farsímaþjónustuna til að ná til almennings á neyðarstund og byrja að nota þjónustuna sem öryggisþjónustu fyrir almenning - m.a. fyrir rýmingu á hamfarasvæðum eins raunin er hér á rýmingarsvæði Kötlu. Í kjölfarið hafa verið þróuð kerfi fyrir almannavarnareiningar sem geta sent SMS á alla farsíma (innlenda sem erlenda) sem staddir eru á ákveðnu svæði.Þá eru farsímakerfin nú notuð við ýmsar rannsóknir af vísindasamfélaginu, s.s. veðurathuganir, eftirlit með eldgosum og jarðhræringum og eru skynjarar af ýmsu tagi tengdir við farsímakerfin.



Fjarskiptasamband á rýmingarsvæði Kötlu

Útbreiðsla farsímamerkis

Eins og áður hefur komið fram er þekja almennra farsímakerfa langt umfram þær útbreiðslukröfur sem hægt er að gera m.t.t. markaðsaðstæðna. Vissulega hafa aðstæður breyst og markaðssvæðin stækkað með auknum ferðamannastraumi og ferðum þeirra inn á svæði sem ekki voru fjölfarin áður.

En skoðum nú nánar hver staðan er á fjarskiptasambandi á landinu og í kjölfarið á rýmingarsvæði Kötlu. Stöðumyndir þær sem hér birtast eru byggðar á gögnum frá fjarskiptafélögunum en félögin skila nákvæmum gögnum til Póst- og fjarskiptastofnunar reglulega eftir því sem kerfin stækka eða breytast. Bæði er um að ræða útbreiðsluspár sem byggja á gögnunum, mælingar sem PFS gerir og samanburður á mælingum og spákortum fjarskiptafélaganna sjálfra til þess að fá sem nákvæmasta útkomu.

Á þeim stöðumyndum sem eru birtar hér að framan fyrir landið allt og miðin er rétt að hafa í huga að um er að ræða besta merkið, þ.e. kerfi fjarskiptafélaganna þriggja sem byggt hafa upp og reka kerfin eru lögð ofan á hvort annað og þannig fæst besta merkið. Ástæða þess að þetta er gert á þennan hátt er að á þeim stöðum þar sem nægilega gott merki er, geta notendur hringt í neyðarnúmerið 112, óháð því hjá hvaða farsímafélagi þeir eru með þjónustu hjá. Þá eru þær tölur sem birtast hér að neðan unnar út frá sömu forsendum, þ.e. besta merki.

2G - GSM:
- 99,96% íbúa
- 90% landmassa
- 70% hafsvæðis (100 km)

3G - UMTS:
- 99,97?% íbúa
- 80% landmassa
- 97% hafsvæðis (100 km)

4G - LTE:
- 99,3% íbúa
- 53% landmassa
- 74% hafsvæðis (100 km)

Það er nokkuð ljóst að ekki er hægt að fullyrða að nægilega tryggt samband sé alls staðar á rýmingarsvæði Kötlu. Líkur eru á að miðað við besta merki (112 símtal) sé innanhúss á svæðinu en ljóst að það þarf að gera frekari mælingar og rannsóknir til að tryggja að SMS berist tímalega til allra á svæðinu. Skoða þarf hvert kerfi fyrir sig til að átta sig á því hvar móttaka SMS er örugg.

Úttekt á fjarskiptasendastöðum

Árin 2016 - 2017 gerði PFS ítarlega úttekt á sendastöðum fjarskiptafélaganna á rýmingarsvæði Kötlu. Úttektin var tvíþætt. Annars vegar gagnaöflun, þar sem óskað var eftir upplýsingum um þær ráðstafanir sem fjarskiptafélögin gera varðandi það hvernig öryggi mikilvægu innviðanna sé tryggt á besta mögulega hátt, þ.m.t:

- vernd gegn straumrofi,
- upplýsinga- og vöktunarkerfi,
- vara tengileiðir,
- viðbragðsbúnaður,
- þjónustusamningar,
- vernd gegn öryggisatvikum,
- raunlæg vernd og
- hvernig er staðið að öryggisafritun.

Hins vegar var farið í vettvangsráðstafanir á þá sendastaði sem taldir eru mikilvægastir fyrir fjarskipti á svæðinu. Í tengslum við úttektina gerðu fjarskiptafélögin ýmsar ráðstafanir til að bæta bæði öryggi sendastaða og þá voru settir upp nýir sendastaðir til að bæta þekju.

Lokaorð

Útbreiðsla almennu farsímakerfanna á Íslandi eru í dag með því sem best þekkist í Evrópu. Sama má segja um Tetra neyðar- og öryggisfjarskiptakerfið. Það munu þó alltaf verða einhver svæði og staðir þar sem ekki næst samband eða samband er ótryggt en aðstæður hér á landi eru meðal þeirra erfiðustu sem þekkjast. Slæmt innanhússamband er ekkert einangrað tilfelli á landsbyggðinni því þó nokkuð er um það að ótryggt samband sé innanhúss á höfuðborgarsvæðinu. Þá eru þættir sem þarf að hafa í huga fyrir framtíðina eins og t.d. þróun í byggingartækni þar sem betri einangrun og umhverfissjónarmið ráða en hafa um leið neikvæð áhrif varðandi dreifingu farsímamerkis. Það verða því áfram áskoranir fyrir okkur sem störfum (stjórnvöld og rekstraraðilar) í þessum geira að tryggja sem allra besta þjónustu til notenda. Þegar um öryggisatriði er að ræða, eins og boðun rýmingar á svæði eins og hér undir Kötlu, er hugsanlegt að leita þurfi annarra leiða til að tryggja að allir á svæðinu fái rýmingarboð tímanlega. Þar má nefna leiðir eins og að setja upp sértakt viðvörunarkerfi (t.d. hljóðmerki), að staðsetja Tetra tæki á völdum stöðum eða að leggja í kostnað við það að tryggja farsímasamband alls staðar þar sem hugsanlegt er að fólk sé á ferðinn.

Útgösun brennisteins í Kötlugosum og líkleg áhrif þess á andrúmsloftið

Þorvaldur Þórðarson

Jarðvísinadeild Háskóla Íslands

Inngangur

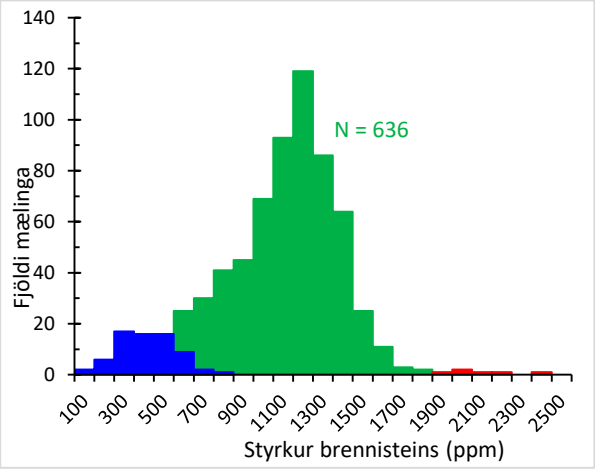
Eldstöðvarkerfið Katla er um það bil 80 km langt og tilheyrir Austurgosbeltinu (Larsen, 2000). Algengast er að Kötlugos koma upp innan ísfylltrar öskju Mýrdalsjökuls sem er næst stærsta megineldstöð landsins, á eftir Höfsjökli, og ein sú virkasta (Thordarson og Larsen, 2007; Thordarson and Höskuldsson, 2008). Sem dæmi, þá eru Kötlugosin í það minnsta 20 síðan land byggðist og á Nútíma (þ.e. síðustu 10000 ár) eru þau talin vera yfir 300. Þetta gefur til kynna að Katla gjósi að meðaltali einu sinni til þrisvar á öld (t.d. Larsen 2000, 2010; Óladóttir o.fl. 2008). Virknin innan megineldstöðvarinnar einkennist af sprengigosum sem brjóta sér leið hratt upp í gegnum ≥400 m þykka jökulhettuna sem krýnir fjallið. Þessar aðstæður óvíkjanlega leiða til samspils á milli kviku og bræðsluvatns. Hér er fjallað um áhrif þessa samspils á afgösun (e. degassing) og útgösun (e. outgassing) kviku í Kötlugosum út frá mælingum á brennisteinsmagni í hraðkældri bráð: annars vegar í smádropum af bráð sem varð innilyksa í kristöllum sem mynduðust í kvikunni á dýpi fyrir gos og hins vegar í gjóskukornum sem snöggkólnuðu við gos, þegar brennisteinninn og önnur kvikugös voru að streyma út úr kvikunni (Thordarson o.fl. 1996, 2001).

Kötlugos

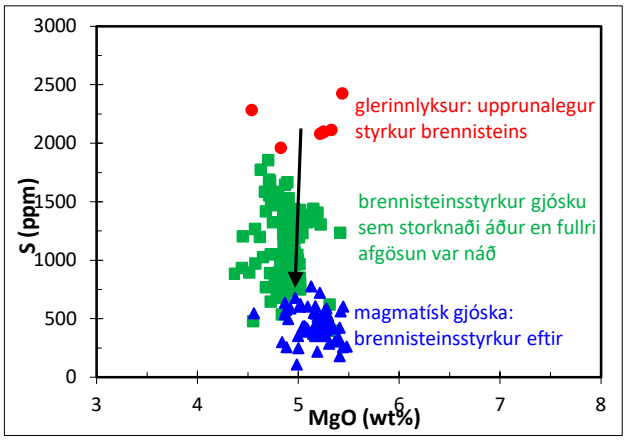
Lýsingar af sögulegum Kötlugosum sýna að mestur gangur er í gosunum í byrjun þegar gjóskuhlaðinn, gas- og gufuríkur mökkur rís 14-25 km upp frá fjallinu og er hæðin háð afli upphafsfasans. Mökkurinn leggst undan vindi og honum fylgir gjóskufall, mest næst upptökum og oft með verulegri þekju í >200 km fjarlægð frá Kötlu (Larsen 2000). Í öflugustu gosunum hefur gjóskufallið náð til Færeyja og meginlands Evrópu (Thorarinsson 1981). Stærð Kötlugosa er breytileg og rúmtak gjóskunnar er allt frá 0.01 km^3 til 1.6 km^3, reiknað sem þétt berg (Larsen 2000, 2010; Óladóttir o.fl. 2014, 2018). Kötlugosin 1625 og 1755 eru þau stærstu á sögulegum tíma, eða 0.7 km^3 (1635) og 0.9 km^3 (1755) reiknað sem þétt berg. Þetta rúmmál gosefna ásamt 15-25 km gosmakkarhæð bendir til þess að í upphafi þessara gosa hefur aflið samsvarað því sem við þekkjum frá subplínískum til plínískum (VEI, Volcanic Explosive Index,= 4) gosum (Schmith 2017; Schmidth o.fl. 2018). Til samanburðar má benda á að rúmmál gosefna í Eldgjárgosinu á fyrri hluta 10. aldar er rétt yfir 21 km^3 (hraun, 18.7 km^3 og gjóska 1.64 km^3), eða um fimm sinnum meira en samanlagt rúmmál allra sögulega Kötlugosa (Moreland 2017).

Brennisteinsmælingar

Mælingar sýna að styrkur brennisteins í gjósku frá 10 sögulegum og 99 forsögulegum Kötlugosum er mjög breytilegur, þar sem lágildin eru um 300 ppm, hágildin rétt yfir 1800 ppm og meðalgildið er 1150±265 ppm (1. Mynd). Kötlukvika er yfirleitt kristalsnauð og því hefur ekki en tekist að finna kristalla með glerinnlyksum í Kötlugjósku og því eru ekki til neinar beinar mælingar á upprunalegum styrk brennisteins í Kötlukvikum. En slíkar mælingar hafa verið gerðar á glerinnlyksum frá Eldgjargjóskunni, sem er að sama stofni og Kötlukvikurnar (Thordarson o.fl. 2001). Þessar mælingar gefa meðaltalsgildið 2160±165 ppm fyrir styrk brennisteins í Eldgjárkvikunni rétt fyrir gos (1. og 2 mynd). Þetta gildi og er besta nálgunin sem við höfum fyrir upphafsstyrk brennisteins í Kötlukvikum. Mælingar á magmatískri gjósku frá Eldgjá, mynduð í gosi á þurru og jökullausu landi, sýna lægri brennisteinsstyrk og mun minni dreifingu á mæligildum (1. og 2. mynd). Þessar mælingar (meðaltal, 460±140 ppm S) gefa til kynna styrk brennisteins í kviku sem hefur náð að afgasast eins aðstæður leyfa við gos á yfirborði jarðar. Mismunurinn á meðaltalsgildunum gefur til



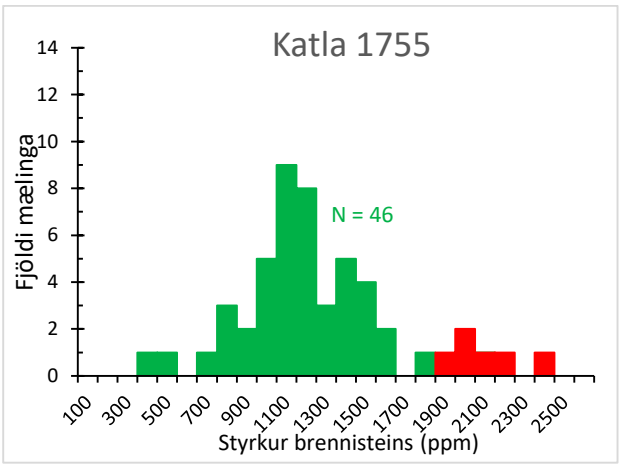
Mynd 1. Styrkur brennisteins í Kötlugjósku (grænar súlur), sem sýnir hlutfallslegt magn sem leystist ekki úr kvikunni við afgösun í gosi í gegnum jökul. N gefur til kynna fjölda mælinga sem koma frá 10 sögulegum og 99 forsögulegum gosum (Jónas Guðnason, 2007; Óladóttir o.fl. 2007; Þorvaldur Þórðarson, óbirt gögn 2018). Til samanburðar er sýndur styrkur brennisteins í glerinnlyksum (rauðar súlur), sem gefur til kynna líklegt magn brennisteins í kvikunni fyrir gos, og í magmatískri gjósku (blár súlur) frá Eldgjárgosinu, sem gefur til kynna styrk brennisteins í full afgasaðri kviku (Thordarson o.fl. 2001).



Mynd 2. Styrkur magnesíum á móti brennisteini í Kötlugjósku (grænir ferningar), glerinnlyksum (rauðir hringir) og magmatískri gjósku (bláir þríhyrningar) frá Eldgjárgosinu. Svarta örin gefur til kynna feril afgösunar á kvikunni við gos. Eldgjárgjóskan hefur tapað 80% (1700 ppm) af þeim brennisteini sem var uppleystur í kvikunni fyrir gos og telst vera full afgösuð (Thordarson o.fl. 2001). Styrkur brennisteins í Kötlugjósku spannar bilið á milli glerinnlyksanna og magmatísku gjóskunnar frá Eldgjá. Sum gildin sýna nánast fulla afgösun, en önnur svo gott sem enga afgösun og svo allt þar á milli. Storknun vegna vatnkælingar stöðvar afgösunina á mismunandi stigum.

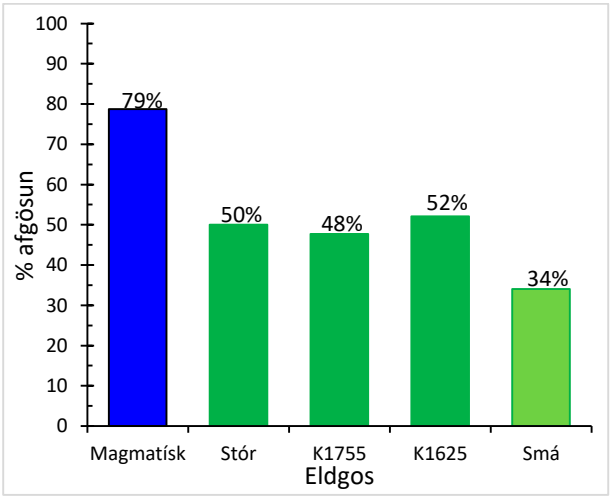
kynna að við gos losnaði 80% (1700 ppm) af uppleystum brennisteini úr kvikunni (Thordarson o.fl. 1996, 2001). Sú staðreynd að mæligildi frá Kötlugjóskum falla á milli mæligilda glerinnlyksa og magmatísku gjóskunnar frá Eldgjá bendir til þess að kvikan sem myndar gjóskuna í Kötlugosum, almennt séð, nær ekki fullri afgösun áður en hún storknar. Líklegast er að samspilið við jökulvatnið valdi hraðkælingu og storknun á kvikunni og stöðvi þannig afgösunarferlið á mismunandi stigum (2. mynd).

Brennisteinsstyrkurinn í gjósku frá einstökum Kötlugosum hefur svipaða dreifingu á mæligilum og allt brennisteinsgagnsettið fyrir Kötlugjóskur (3. mynd, berið saman við 1. mynd). Þetta bendir eindregið til þess að kvikan sem rís upp um gosrásina í einstökum gosum storknar á mismunandi stigum afgösunar, þ.e. kemst í mismikla snertingu eða missnemma í snertingu við bráðsluvatnið. Korn með háan brennisteinsstyrk eru mynduð úr kviku sem hefur storknað á byrjunarstigi afgösunar, lággildin gefa til kynna storknun á kviku eftir afgösunin og miðgildin allt þar á milli. Þetta þýðir að bráðsluvatnið hefur greiðan aðgang að hluta kvikusúlunnar, en nær aldrei að komast í snertingu við annan hluti hennar. Ef marka má tíðnidreifingu mæligilda á 1. og 3. mynd, þá er algengast að hraðkælingin (þ.e. storknunin) vegna samspils bráðsluvatns og kviku verði þegar kvikan hefur orðið fyrir 40-50% afgösun. Hvernig svo sem þetta samspil gerist er mikilvægt að taka tillit til þessara þátta við túlkun á goshegðun og mat á útgösun kvikugasa við gos.



Mynd 3. Styrkur brennisteins í gjóskunni frá gosinu 1755 (grænar súlur), sem sýnir hlutfallslegt magn sem leystist ekki úr kvikunni við afgösun í gosi í gegnum jökul. N gefur til kynna fjölda mælinga. Til samanburðar er sýndur styrkur brennisteins í glerinnlyksum (rauðar súlur), sem gefur til kynna líklegt magn brennisteins í kvikunni fyrir gos (Thordarson o.fl. 2001).

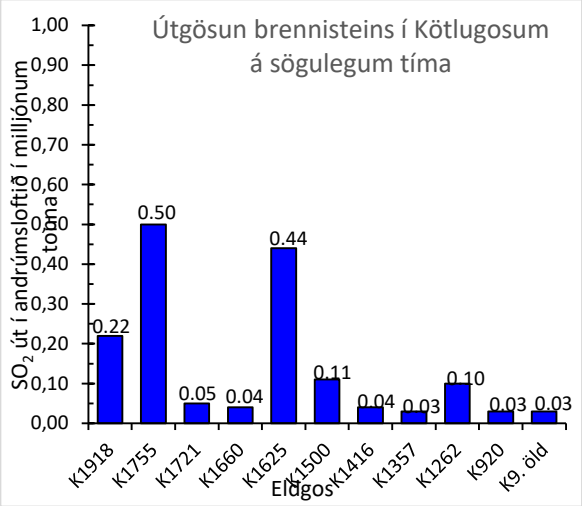
Samanburður á mældum brennisteinsstyrk í tiltölulega stórum (>0.3 km³ reiknað sem þétt berg) og litlum (<0.1 km³) Kötlugosum frá sögulegum tíma sýnir að í stórum gosum er afgösunin um 50% að meðaltali, samanborið við ~80% í tilfelli magmatískra gosa, en aðeins 35% í litlu gosunum (4. mynd). Þetta þýðir að gos í jökli setja mun (~40-60%) minna af kvikugösum út í andrúmsloftið en þau sem koma upp utan jökla og á þurru landi.



Mynd 4. Hlutfall afgösunar í litlum (ljósgræn súla) og stórum (grænar súlur) Kötlugosum. Kötlugosin 1755 og 1625 eru sýnd sem dæmi um stór gos. Afgösun í magmatískum sprengifösum Eldgjárgossins (blá súla) er sýnt sem dæmi um full afgasað tilfelli.

Þegar tekið er tillit til þessa áhrifa bráðsluvatnsins á afgösun og stuðst við rúmmál gosefna eins og það er gefið upp í Larsen (2000, 2010), Schmith (2017) og Óladóttir o.fl. (2018), þá reiknast útlosun brennisteins í einstökum sögulegum gosum vera eins og sýnt er á 5. mynd. Í öllum tilfellum er magnið ≤0.5 milljón tonn af

SO_2, sem telst vera óverulegt í samaburði við þau gos sem hafa valdið hvað mestri brennisteinsmengun hér á landi síðan land byggðist, nefilega Eldgjá 934-39, ~220 milljón tonn af SO_2, Skaftáreldar 1783-4, ~100 milljón tonn af SO_2 og hraungosið 2014-15 í Holuhrauni, ~7 milljón tonn af SO_2 (Thordarson o.fl. 1996, 2001; Grocke o.fl., 2017). Stærstu forsögulegu Kötlugosin gætu hafa sett um 1 milljón tonna af SO2 út í andrúmsloftið. Miðað við þessar tölur þá er næsta víst að brennisteinsmengun frá Kötlugosum mun hafa óveruleg áhrif á andrúmsloftið.



Mynd 5. Magn brennisteins, reiknað í milljónum tonna af SO_2, sem losnar út í andrúmsloftið í Kötlugosum á sögulegum tíma. Tölurnar ofan við súlurnar eru tölugildin fyrir einstök gos.

Samantekt

Katla gýs upp í gegnum jökul og því er losun brennisteins út í andrúmslotið um það bil helmingi af því sem er í sambærilegum gosum utan jökla og á þurru landi. Einstök söguleg gos settu 0.03 til 0.5 milljón tonn af SO_2 út í andrúmsloftið og stærstu forsögulegu gosin gætu hafa sett af sér um 1 milljón tonna af SO_2. Það er því ólíklegt að brennisteinsmengun frá Kötlugosum hafi veruleg áhrif á andrúmsloftið, nema þá helst næst gosstöðvum.

Heimildir

Grocke, S., Thordarson T., Bonny E., Wright R., Hoskuldsson Á. & Jónsdóttir I. 2017. A validation of empirically derived SO2 emissions from the 2014-2015 eruption on Dyngjusandur, North Iceland. Í: 2017 Vorráð-stefna Jarðfræðafélags Íslands, Ágrip erinda.

Jónas Guðnason 2007: Brennisteinsafgösun í fjórum íslenskum freatómagmatískum gosum og hugsanleg veðurfarsáhrif þeirra. BS ritgerð, Jarðvísindadeild Háskóla Íslands, 74 bls.

.Larsen G. 2000: Holocene eruptions within the Katla volcanic system, South Iceland: characteristics and environmental impact. Jökull 49, 1–28

Larsen G. 2010. Katla: tephrochronology and eruption history. Devel Quat Sci 13, 23–49.

Moreland W.M. 2017: Explosive activity in flood lava eruptions: A case study of the 10th century Eldgjá eruption, Iceland. PhD dissertation, Faculty of Earth Sciences, University of Iceland, 90 bls.

Óladóttir B.A., Thordarson T., Larsen G. & Sigmarsson O. 2007: Survival of the Mýrdalsjökull ice cap through the Holocene thermal maximum? Evidence from sulfur contents in Katla tephra layers (Iceland) from the last ~8400 years. Annals of Glaciology 45, 183–188

Óladóttir B.A., Sigmarsson O., Larsen G. & Thordarson T. 2008: Katla volcano, Iceland: magma composition, dynamics and eruption frequency as recorded by Holocene tephra layers. Bulletin of Volcanology 70(4), 475–493

Óladóttir B.A., Larsen G. & Sigmarsson O. 2014: Volume estimates of nine Katla tephra layers (~1860 BC-870 AD). Jökull 64:23–40.

Óladóttir B.A., Sigmarsson O. & Larsen G., 2018: Tephra productivity and eruption flux of the subglacial Katla volcano, Iceland. Bulletin of Volcanology 80, 58

Schmith J. 2017: Volcanology and hazards of phreatomagmatic basaltic eruptions Eruption source parameters and fragmentation mechanism of large eruptions from Katla volcano, Iceland, PhD Dissertation, Department of Geosciences and Natural Resource Management, University of Copenhagen, 197 bls.

Schmith J., Höskuldsson Á, Holm P.M. & Larsen G. 2018: Large explosive basaltic eruptions at Katla volcano, Iceland: Fragmentation, grain size and eruption dynamics. Journal of Volcanology and Geothermal Research 354 140–152.

Thordarson, T. & Larsen, G. 2007: Volcanism in Iceland in historical time: volcano types, eruption styles and eruptive history. Journal of Geodynamics 43 (1), 118–152.

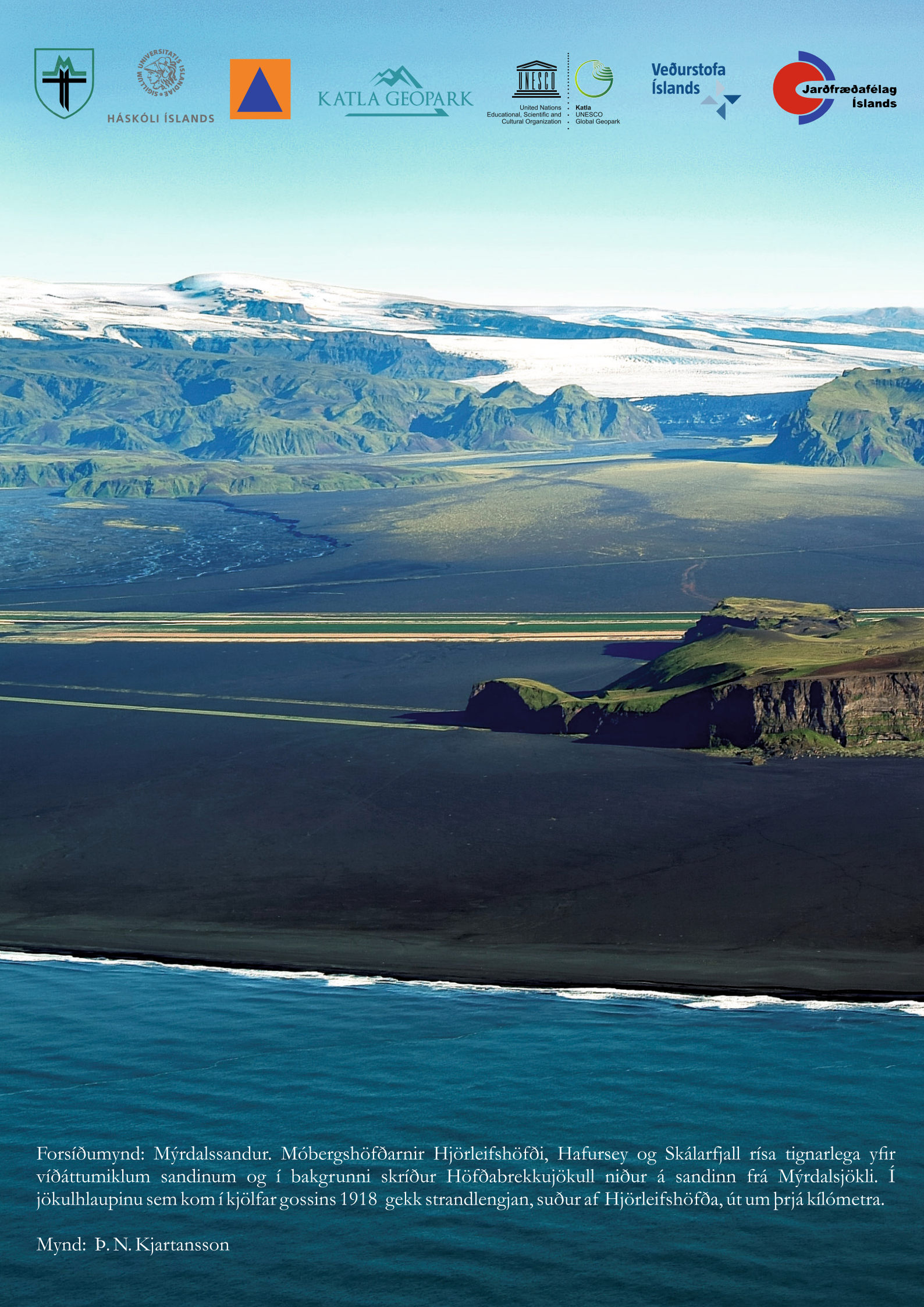
Thordarson, T. & Höskuldsson, A., 2008& Postglacial volcanismin Iceland. Jökull 58, 197–228.

Thordarson, T., Self, S., Óskarsson, N. & Hulsebosch, T., 1996: Sulfur, chlorine, and fluorine degassing and atmospheric loading by the 1783–1784A.D. Laki (Skaftár Fires) eruption in Iceland. Bull. Volcanol. 58, 205–225.

Thordarson Th., Miller D.J., Larsen G., Self S. & Sigurdsson H. 2001: New estimates of sulphur degassing and atmospheric mass-loading by the 934

AD Eldgjá eruption, Iceland. J Volcanol Geotherm Res 108, 33–54

Thorarinsson, S. 1981: Greetings from Iceland. Geografiska annaler 63A, 109, 1 18.



Forsíðumynd: Mýrdalssandur. Móbergshöfðarnir Hjörleifshöfði, Hafursey og Skálarfjall rísa tignarlega yfir víðáttumiklum sandinum og í bakgrunni skríður Höfðabrekkujökull niður á sandinn frá Mýrdalsjökli. Í jökulhlaupinu sem kom í kjölfar gossins 1918 gekk strandlengjan, suður af Hjörleifshöfða, út um þrjá kílómetra.

Mynd: Þ. N. Kjartansson