



**Vorráðstefna
Jarðfræðafélags Íslands**

Ágrip erinda

Haldin í Öskju,
Náttúrufræðahúsi Háskóla Íslands
13. mars 2015



**Vorráðstefna
Jarðfræðafélags Íslands**

Ágrip erinda

Haldin í Öskju,
Náttúrufræðahúsi Háskóla Íslands
13. mars 2015

Umsjón:

Þorsteinn Sæmundsson, Sigurlaug María Hreinsdóttir og Lúðvík E. Gústafsson

Dagskrá Vorráðstefnu JFÍ, 13. mars 2015

08:30 – 09:00 Skráning

Fundarstjóri Þorsteinn Sæmundsson

09:00 – 09:10 Setning

Sigurlaug María Hreinsdóttir

09:10 – 09:30 Stærð og rúmmál Eldhrauns rétt einn ganginn

Snorri Páll Snorrason

09:30 – 09:50 Flug yfir Heklu: Ónauðsynleg áhætta í áætlunarflugi

Páll Einarsson

09:50 – 10:10 Deformation derived from GPS geodesy associated with the 2014-2015 Bárðarbunga rifting event

Hildur María Friðriksdóttir

10:10 – 10:30 Comparison of the Bárðarbunga 2014-2015 rifting event, slow caldera collapse and the eruption in Holuhraun with the 1975-1984 Krafla and 2005-2010 Dabbahu, Afar, rifting episodes

Freysteinn Sigmundsson

10:30 – 10:50 Kaffi

10:50 – 11:10 NordMin – norrænt samstarf á sviði málma 2013–2016

Bryndís Róbertsdóttir

11:10 – 11:30 The 1973–1996 Earthquake Sequence in Bárðarbunga Volcano. Seismic Activity Leading up to Eruptions in the NW-Vatnajökull Area

Ingi P. Bjarnason

11:30 – 11:50 What is for dinner? Geochemical energy from inorganic sources feeds microbial life in geothermal waters

Hanna Sisko Kaasalainen

11:50 – 12:10 The Vonarskarð Geothermal System: an oasis in the desert

Nicole S. Keller

12:10 – 12:40 Matur

Fundarstjóri Björn S. Harðarson

12:40 – 13:00 How and why Lateglacial shoreline were formed – a geological triangle

Hreggviður Norðdahl

13:00 – 13:20 Mat á endingu auðlinda jarðar

Kristín Vala Ragnarsdóttir

13:20 – 13:40 Hvers vegna virkar Landeyjahöfn ekki? Kemur jarðfræðafélaginu það við?

Páll Ímsland

13:40 – 14:00 Kvikugangurinn og óróaheiðurnar á leið hans frá Bárðarbungu til Holuhrauns – Greining smáskjálftagagna

Kristín Vogfjörð

14:00 – 14:20 Eftirlit með jarðhræringum í Bárðarbungu

Kristín Jónsdóttir

Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
13. mars 2015

- 14:20 – 14:40 Magnetic polarity map of Akrafjall and Skarðsheiði and new ^{40}Ar - ^{39}Ar age dating from West Iceland
Jóhann Helgason
- 14:40 – 15:00 Remote sensing and real time monitoring of Nornahraun lava flow field 2014-2015
Ingibjörg Jónsdóttir
- 15:00 – 15:20 Kaffi**
- 15:20 – 15:40 The unlikelyhood of shallow lateral magma dyking during the Bárðarbunga 2014 activity
Olgeir Sigmarsson
- 15:40 – 16:00 Áhrif Kárahnjúkastíflu á framburð Jökulsár á Dal og Lagarfljóts á svifaur og uppleystum efnun.
Eydís Salóme Eiríksdóttir
- 16:00 – 16:20 Recycling of Phanerozoic crustal material by the Iceland mantle plume: new evidence from nitrogen isotopes
Sæmundur Ari Halldórsson
- 16:20 – 16:40 Nokkrir þættir úr sögu bergfræðismásjáa
Leó Kristjánsson
- 16:40 – 17:00 Sprunguhreyfingar í nágrenni gangainnskotsins undir Holuhrauni
Ásta Rut Hjartardóttir
- 17:00 – 17:10 Verndun jarðminja, ProGEO ráðstefna í Reykjavík 8-12. September 2015
Lovísa Ásbjörnsdóttir
- 17:10 - Móttaka**

Veggspjöld

Hefur gerð kvikuaðfærslukerfis áhrif á stærð eldgosa? Samanburður á rúmmáli gjósku í sögulegum og forsögulegum Kötlugosum

Bergrún Arna Óladóttir, Guðrún Larsen og Olgeir Sigmarsson

Numerical modelling of crustal deformation due to geothermal fluid extraction and re-injection in the Hengill area

Daniel Juncu, Þóra Árnadóttir, Tabrez Ali, Gunnar Gunnarsson and Andrew Hooper

Súr-ísúr gjóskulög frá Kötlu og Heklu: helstu kornastærðareinkenni og breytingar á þeim í tíma og rúmi

Edda S. Þorsteinsdóttir, Esther R. Guðmundsdóttir og Guðrún Larsen.

Deflation and Deformation of the Askja Caldera Complex, Iceland, since 1983: Strain and Stress Development on Caldera Boundaries prior to Tsunami Generating Rockslide in 2014 at Lake Öskjuvatn

Freysteinn Sigmundsson, Vincent Drouin, Michelle Parks, Stephanie Dumont, Elías Rafn Heimisson, Ásta Rut Hjartardóttir, Páll Einarsson, Ármann Höskuldsson, Bryndís Brandsdóttir, Þorsteinn Sæmundsson, Tómas Jóhannesson, Jón Kristinn Helgason, Erik C Sturkell, Rikke Pedersen, Andrew J Hooper, Karsten Spaans, Christian Minet og Magnús Tumi Guðmundsson

Jarðskjálftar á Íslandi 2014

Gunnar B. Guðmundsson, Bergþóra S. Þorbjarnardóttir og Sigprúður Ármannsdóttir

Mapping of fracture systems in the Reykjanes Peninsula Oblique Rift near Reykjavík

Páll Einarsson, Ásta Rut Hjartardóttir, Sigríður Björgvinsdóttir, and students of the course Current Crustal Movements in the Faculty of Earth Sciences, University of Iceland 2014

Grain size distribution and characteristics of the tephra from the Vatnaöldur AD 871±2 eruption, Iceland

Tinna Jónsdóttir, Guðrún Larsen og Magnús T. Guðmundsson

CarbFix: Binding koldíoxíðs í bergi á Hellsheiði

Sandra Ó. Snæbjörnsdóttir, Kiflom G. Mesfin, Ingvi Gunnarsson, Edda Sif Aradóttir, Bergur Sigfússon, Einar Gunnlaugsson, Eric Oelkers, Martin Stute, Juerg Matter og Sigurður R. Gíslason

Ore-forming processes in Reykjanes geothermal pipelines, Iceland

V Hardardóttir, JW Hedenquist, MD Hannington

Árstíðabreytingar í tíðni gróðurelda á Íslandi

Þröstur Þorsteinsson

Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
13. mars 2015

Efnisyfirlit

Dagskrá Vorráðstefnu JFÍ, 13. mars 2015	i
Efnisyfirlit	v
Ágrip	1
Sprunguhreyfingar í nágrenni gangainnskotsins undir Holuhrauni	3
Ásta Rut Hjartardóttir, Páll Einarsson, Magnús Tumi Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir	
Hefur gerð kvikuaðfærslukerfis áhrif á stærð eldgosa? Samanburður á rúmmáli gjósku í sögulegum og forsögulegum Kötlugosum	5
Bergrún Arna Óladóttir, Guðrún Larsen og Olgeir Sigmarsson	
NordMin – norrænt samstarf á sviði málma 2013–2016	6
Bryndís G. Róbertsdóttir, Hjalti Franzson, Vigdís Harðardóttir, Þorvaldur Þórðarson og Ármann Höskuldsson	
Numerical modelling of crustal deformation due to geothermal fluid extraction and re-injection in the Hengill area.....	8
Daniel Juncu, Þóra Árnadóttir, Tabrez Ali, Gunnar Gunnarsson and Andrew Hooper	
Súr-ísúr gjóskulög frá Kötlum og Heklu: helstu kornastærðareinkenni og breytingar á þeim í tíma og rúmi	9
Edda S. Þorsteinsdóttir, Esther R. Guðmundsdóttir og Guðrún Larsen.	
Áhrif Kárahnjúkastíflu á framburð Jökulsár á Dal og Lagarfljóts á svifaur og uppleystum efnum.	11
Eydís Salome Eiríksdóttir, Sigurður Reynir Gíslason og Jórunn Harðardóttir	
Comparison of the Bárðarbunga 2014-2015 rifting event, slow caldera collapse and the eruption in Holuhraun with the 1975-1984 Krafla and 2005-2010 Dabbahu, Afar, rifting episodes	13
Freysteinn Sigmundsson, Páll Einarsson, Michelle Parks, Stephanie Dumont, Benedikt G. Ófeigsson, Kristín Vogfjörð, Elías Rafn Heimisson, Vincent Drouin, Bryndís Brandsdóttir, Magnús Tumi Guðmundsson, Kristín Jónsdóttir, Andrew J Hooper, Carolina Pagli, Tim J. Wright, Erik C Sturkell, Rikke Pedersen	
Deflation and Deformation of the Askja Caldera Complex, Iceland, since 1983: Strain and Stress Development on Caldera Boundaries prior to Tsunami Generating Rockslide in 2014 at Lake Öskjuvatn.....	15
Freysteinn Sigmundsson, Vincent Drouin, Michelle Parks, Stephanie Dumont, Elías Rafn Heimisson, Ásta Rut Hjartardóttir, Páll Einarsson, Ármann Höskuldsson, Bryndís Brandsdóttir, Þorsteinn Sæmundsson, Tómas Jóhannesson, Jón Kristinn Helgason, Erik C Sturkell, Rikke Pedersen, Andrew J Hooper, Karsten Spaans, Christian Minet og Magnús Tumi Guðmundsson	
Jarðskjálftar á Íslandi 2014	16
Gunnar B. Guðmundsson, Bergþóra S. Þorbjarnardóttir og Sigprúður Ármannsdóttir	
What is for dinner? Geochemical energy from inorganic sources feeds microbial life in geothermal waters	17
Hanna Kaasalainen, Andri Stefánsson, Snædís Björnsdóttir, Guðmundur Óli Hreggvidsson, Nicole Keller, Sólveig Pétursdóttir	
Deformation derived from GPS geodesy associated with the 2014-2015 Bárðarbunga rifting event	18
Hildur M. Friðriksdóttir, Benedikt Gunnar Ófeigsson, Sigrún Hreinsdóttir, Michelle Parks, Freysteinn Sigmundsson, Stephanie Dumont, Þóra Árnadóttir, Halldór Geirsson, Andrew Hooper, Matthew Roberts, Rick Bennett, Erik Sturkell, Sigurjón Jónsson, Peter Lafemina, Þorsteinn Jónsson, Bergur Bergsson, Vilhjálmur Kjartansson, Sveinbjörn Steinþórsson, Páll Einarsson, Vincent Drouin	

Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
13. mars 2015

How and why Lateglacial shoreline were formed – a geological triangle.....	20
Hreggviður Norðdahl og Ólafur Ingólfsson	
The 1973–1996 Earthquake Sequence in Bárðarbunga Volcano. Seismic Activity Leading up to Eruptions in the NW-Vatnajökull Area.....	21
Ingi Þorleifur Bjarnason	
Remote sensing and real time monitoring of Nornahraun lava flow field 2014-2015	22
Ingibjörg Jónsdóttir, Ármann Höskuldsson, Þorvaldur Þórðarson, Morten S. Riishuus and the Volcanology and Natural Hazard group, Institute of Earth Sciences, University of Iceland	
Magnetic polarity map of Akrafjall and Skarðsheiði and new ⁴⁰ Ar- ³⁹ Ar age dating from West Iceland.....	24
Jóhann Helgason, Robert A. Duncan, Hjalti Franzson, Ágúst Guðmundsson og Morten Riishuus	
Eftirlit með jarðhræringum í Bárðarbungu.....	25
Kristín Jónsdóttir og Eftirlitsteymið á Veðurstofu Íslands, Vísindamannaráð, FutureVolc-teymið	
Mat á endingu auðlinda jarðar	27
Kristín Vala Ragnarsdóttir, Deniz Koca, og Harald Sverdrup	
Kvikugangurinn og óróahviðurnar á leið hans frá Bárðarbungu til Holuhrauns – Greining smáskjálftagagna	29
Kristín S. Vogfjörð, Gunnar B. Guðmundsson, Kristín Jónsdóttir, Martin Hensch og Sölvi Þrastarson	
Nokkrir þættir úr sögu bergfræðismásjáa.....	30
Leó Kristjánsson	
Verndun jarðminja, ProGEO ráðstefna í Reykjavík 8.-12. september 2015.....	31
Lovísa Ásbjörnsdóttir og Kristján Jónasson	
The Vonarskarð Geothermal System: an oasis in the desert.....	32
Nicole S. Keller, Andri Stefánsson, Snædís Björnsdóttir, Sólveig K. Pétursdóttir, Haukur Jóhannesson, Guðmundur Ómar Fridleifsson, Guðmundur Óli Hreggviðsson, Hanna Kaasalainen and Jóhann Gunnarsson Robin	
The unliklyhood of shallow lateral magma dyking during the Bárðarbunga 2014 activity.....	33
Olgeir Sigmarsson, Guðmundur Guðfinnsson, Sæmundur A. Halldórsson	
Flug yfir Heklu: Ónauðsynleg áhætta í áætlunarflugi.....	35
Páll Einarsson	
Mapping of fracture systems in the Reykjanes Peninsula Oblique Rift near Reykjavík	36
Páll Einarsson, Ásta Rut Hjartardóttir, Sigríður Björgvinsdóttir, and students of the course Current Crustal Movements in the Faculty of Earth Sciences, University of Iceland 2014	
Hvers vegna virkar Landeyjahöfn ekki? Kemur jarðfræðafélaginu það við?	37
Páll Imsland	
CarbFix: Binding koldíoxíðs í bergi á Hellisheiði.....	39
Sandra Ó. Snæbjörnsdóttir, Kíflom G. Mesfin, Ingi Gunnarsson, Edda Sif Aradóttir, Bergur Sigfússon, Einar Gunnlaugsson, Eric Oelkers, Martin Stute, Juerg Matter og Sigurður R. Gíslason	
Stærð og rúmmál Eldhrauns rétt einn ganginn	41
Snorri P Snorrason	
Recycling of Phanerozoic crustal material by the Iceland mantle plume: new evidence from nitrogen isotopes	45
Sæmundur A. Halldórsson, David R. Hilton, Peter H. Barry, Evelyn Füre and Karl Grönvold	

Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
13. mars 2015

Grain size distribution and characteristics of the tephra from the Vatnaöldur AD 871±2 eruption, Iceland.	47
Tinna Jónsdóttir, Guðrún Larsen, and Magnús Guðmundsson	
Ore-forming processes in Reykjanes geothermal pipelines, Iceland	48
Vigdís Hardardóttir, JW Hedenquist, MD Hannington	
Árstíðabreytingar í tíðni gróðurelda á Íslandi	54
Þröstur Þorsteinsson	

Ágrip

Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
13. mars 2015

Sprunguhreyfingar í nágrenni gangainnskotsins undir Holuhrauni

Ásta Rut Hjartardóttir, Páll Einarsson, Magnús Tumi Guðmundsson og Þórdís Högnadóttir

Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands

Í ágúst 2014 átti sér stað gangainnskot frá Bárðarbungu. Gangurinn náði að Holuhrauni, þar sem eldgos átti sér stað innan gömlu gíganna sem mynduðu Holuhraunið. Gangainnskotið varð að mestu leyti undir jökli, þar sem alla jafnan er erfitt að sjá yfirborðsummerki vegna gangsins. En norðan jökuls má sjá umtalsverð ummerki um sprunguhreyfingar, þar sem flestar sprungurnar teikna upp jaðra sigdals sem hefur hreyfst.

Sprungur voru þó ekki óþekktar á þessu svæði fyrir þessa atburði. Þannig hafa sprungur fundist í hólum sem liggja í vestanverðum sigdalnum (Hjartardóttir, 2013; Sigbjarnarson, 1993). Sprungur hafa þó ekki fundist áður í Holuhrauninu sjálfu, en það má leiða að því líkum að sprungur hafi legið undir Holuhrauninu, og hafi hreyfst síðast þegar eldsumbrotin sem mynduðu Holuhraun áttu sér stað.

Nýjar sprunguhreyfingar sást fyrst í flugi með flugvél Landhelgisgæslunnar, TF-SIF, þann 27. ágúst 2014. Ekki er ólíklegt að sprunguhreyfingar hafi verið byrjaðar nokkrum dögum fyrr, enda hafði ekki verið leitað sérstaklega að ummerkjum um sprunguhreyfingar fyrr en í þessu flugi. Þann 27. ágúst sást þannig að um 700-1000 metra breiður sigdalur hafði myndast. Sigdalurinn náði allt frá jökuljaðri, og um 5 km til norðurs. Hátt í 8 km norður af jöklinum mátti einnig sjá tvær sprungulínur með einungis um 250-450 metra bili á milli.

Næstu myndir fengust af sigdalnum þann 29. ágúst, eftir að lítið eldgos hafði átt sér stað um 6 km norður af jöklinum. Hinn 700-1000 metra breiði sigdalur leit enn svipað út, en sitt hvorum megin við hina nýju gossprungu, norðan sigdalsins sem sást 27. ágúst, sást sprungulínur. Þessar sprungulínur voru í beinu framhaldi til suðurs af sprungulínunum sem sást 8 km norður af jöklinum þann 27. ágúst. Vegalengdin milli þessara sprungulína, sem hugsanlega teikna upp lítinn sigdal, var einungis um 250-450 metrar, sú hin sama og sást milli sprunganna sem sást 27. ágúst. Þann 31. ágúst hófst síðan eldgos á ný, og stóð það til 27. febrúar 2015. Þetta eldgos varð á sömu gossprungu og áður, en gossprungan lengdist þó, hafði verið rétt rúmlega 600 metrar í gosinu 29. ágúst en varð allt að 1900 metra löng í þessu gosi. Gossprungan lengdist því um 300 m til suðurs og 1000 m til norðurs. Hraun frá þessu eldgosi hefur hulið sprungurnar sem mynduðust sitt hvorum megin við gossprunguna sem myndaðist 29. ágúst. Eldgos kom einnig upp um 2,3 km sunnan þessarar gossprungu þann 5. september. Það gos kom upp á þremur gossprungum, en var þó einungis virkt í um tvo daga. Tvær þeirra voru aðliggjandi og voru um 150 og 110 metrar að lengd. Sú þriðja liggur um 180 m suðaustan við hinar tvær gossprungurnar og var um 250 m að lengd. Sjö þversnið voru tekin yfir sigdalinn með radarmælingum þann 21. janúar 2015. Samkvæmt þeim hefur sigdalurinn sigið um ~3.5-5.5 m í þessum atburðum.

Vídd sigdala hefur verið tengd við dýpi niður á kviku í gangi (Mastin and Pollard, 1988; Pollard et al., 1983). Þannig mátti leiða að því líkum þann 27. ágúst, áður en eldgosin byrjuðu, að kvika væri innan 300 m dýpis, og jafnvel enn grynnra um 8 km norðan jökulsins, þar sem bilið milli sprungulínanna var einungis um 250-450 metrar. Sá mjói sigdalur sást lengra til suðurs þann 29. ágúst, og gossprungan sem gaus þann dag var í miðju þess sigdals. Vídd sigdala

Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
13. mars 2015

og bil milli sprungulína getur því verið góður mælikvarði á dýpi niður á kviku og þar með gefið til kynna að kvika sé að nálgast yfirborð.

Heimildir:

- Hjartardóttir, Á.R., 2013. Fissure swarms of the Northern Volcanic Rift Zone, Iceland. Faculty of Earth Sciences.
- Mastin, L.G. and Pollard, D.D., 1988. Surface Deformation and Shallow Dike Intrusion Processes at Inyo Craters, Long Valley, California. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 93(B11): 13221-13235.
- Pollard, D.D., Delaney, P.T., Duffield, W.A., Endo, E.T. and Okamura, A.T., 1983. Surface deformation in volcanic rift zones. *Tectonophysics*, 94(1): 541-584.
- Sigbjarnarson, G., 1993. Norðan Vatnajökuls: II Jarðlagaskipan og jarðfræðikort (in Icelandic). *Náttúrufræðingurinn*, 63(3-4): 201-217.

Hefur gerð kvikuaðfærslukerfis áhrif á stærð eldgosa? Samanburður á rúmmáli gjósku í sögulegum og forsögulegum Kötlugosum

Bergrún Arna Óladóttir¹, Guðrún Larsen¹ og Olgeir Sigmarsson^{1,2}

¹Jarðvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík.

²Lab. Magmas et Volcans, CNRS-Université Blaise Pascal, Clermont-Fd., France

Aðeins hluti þeirrar kviku sem leggur leið sína um kvikukerfi eldstöðvar nær til yfirborðs sem gjóska eða hraun. Hinn hlutinn verður eftir sem innskot í rótum hennar. Hlutfall gosefna á yfirborði og innskota er vafalítið breytilegt með tíma. Mögulegt er að leggja mat á rúmmál gosefna, og þá einkum gjóskuhluta eldri gosa en hraun grafast fljótlega undir yngri hraunum og verða síður aðgengileg. Kortlagning á gjóskulögum og mat á rúmmáli þeirra gefur því hugmynd um kvikuframleiðni eldstöðva í fortíð og hvort, og þá hvernig, breytingar á hegðun þeirra tengist framleiðni.

Eldvirkni Kötlu einkennist af basalt sprengigosum og á síðustu ~8400 árum hafa orðið >300 slík gos. Að auki benda kerfisbundnar breytingar á aðalefnasamsetningu gjóskunnar til þess að kvikuaðfærslukerfi undir eldstöðinni sé breytilegt og hafi þróast úr einföldu kerfi (stöðugur styrkur kvikusækna efnisins K_2O sem fall af tíma) yfir í kerfi sillna og ganga (óreglulegur styrkur K_2O) sem þróast svo yfir í kvikuþró (stöðug aukning K_2O með tíma). Þetta gerir Kötlu að ákjósanlegri eldstöð til að skoða hvort stærð eldgosa tengist gerð kvikuaðfærslukerfis.

Um 40 jarðvegsopnur voru mældar umhverfis Kötlu, flestar austan og norðaustan eldstöðvarinnar, með það fyrir augum að kortleggja og meta rúmmál átta forsögulegra gjóskulaga frá tímabili sem einkennist af virkri kvikuþró. Tímabilið afmarkast af Landnámslaginu (V-871) og Heklu-S (~1860 BC). Jarðvegsopnur voru tengdar á alls 17 gjóskuleiðarlögum, ýmist stað- eða svæðisbundnum, og eins var stuðst við aðalefnagreiningar valinna gjóskulaga. Aldur Kötlugaganna var reiknaður út frá upphleðsluhraða jarðvegs milli aldursgreindra gjóskuleiðarlaga. Rúmmál þessara átta gjóskulaga var borið saman við birt rúmmál sögulegra gjóskulaga, þ.e. gjóskulaga sem mynduðust á tímabili sem einkennist af einföldu kvikuaðfærslukerfi. Í ljós kom að um 5 sinnum meira magn af gosefnum kom upp þegar kvikuhólf er virkt (á forsögulega tímabilinu) en þegar einfalt kvikuaðfærslukerfi ríkir (á sögulegum tíma) sem bendir til þess að kvikuaðfærslukerfi hafi áhrif á stærð eldgosa, nema að hvorutveggja sé afleiða af breytilegu kvikuinnstreymi að neðan.

NordMin – norrænt samstarf á sviði málma 2013–2016

Bryndís G. Róbertsdóttir¹, Hjalti Franzson², Vigdís Harðardóttir²,
Porvaldur Þórðarson³ og Ármann Höskuldsson⁴

¹ Orkustofnun, ²Íslenskar orkurannsóknir (ÍSOR), ³Jarðvísindadeild HÍ, ⁴Jarðvísindastofnun HÍ

Frá maí 2012 hefur Orkustofnun, fyrir hönd atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneytisins, haldið utan um undirbúning og þátttöku Íslands í norræna samstarfsverkefninu *NordMin: A joint Nordic Network of Expertise for a Sustainable Mining and Mineral Industry*. Norræna ráðherranefndin leggur verkefninu til 30 millj. dkr. á tímabilinu 2013–2016, sem jafngildir um 600 millj. ísl. kr. Samhliða norrænu fjárveitingunni verður hugað að öðrum leiðum til að fjármagna starfsemi NordMin til lengri tíma. Íslenski NordMin vinnuhópurinn samanstendur af höfundum þessa ágríps, en íslenskum sérfræðingum sem koma að einstökum rannsókn- og nýsköpunarverkefnum fer fjölgandi.

Gerð vinnuáætlunar fyrir NordMin lauk í október 2013. Í þeirri áætlun er starfsemi NordMin skipt í eftirfarandi fjóra meginþætti:

1. NordMin rannsókn- og nýsköpunarverkefni. Ákveðið var að verja 60% af fjármunum NordMin, eða 18 millj. dkr., til rannsókn- og nýsköpunarverkefna. Auglýst var eftir umsóknum í október 2013. Eftir faglegt mat sérfræðinga utan Norðurlanda, ákvað stjórn NordMin í febrúar 2014, að veita styrki til fimm verkefna, þar sem hvert Norðurlanda leiðir eitt verkefni til þriggja ára. Ísland tekur þátt í eftirfarandi verkefnum:

Nýsköpunarmiðstöð Íslands leiðir verkefnið *Sustainable Fibres from Basalt Mining (GREENBAS)*, sem var styrkt um 4,83 millj. dkr., en samstarfsaðilar eru Háskólinn í Reykjavík, ÍSOR, Jarðefnaíðnaður, og rannsóknastofnanirnar SINTEF í Þrándheimi og VTT í Finnlandi. Danska og grænenska jarðfræðistofnunin (GEUS) leiðir verkefnið *Crustal Structure and Mineral Deposit System: 3D-Modeling of Base Metal Mineralization in Jamson Land and Nickel Mineralization in Disko-Nuussuaq, Greenland (CRUSMID-3D)*, sem var styrkt um 1,87 millj. dkr., en samstarfsaðilar eru ÍSOR, Tækniháskólinn í Luleå og Avannaa Resources í Danmörku. Finnsla tæknirannsóknamiðstöðin (VTT) leiðir verkefnið *Water Conscious Mining (WASCIIOUS)*, sem var styrkt um 5,0 millj. dkr., en þrettán samstarfsaðilar eru frá Finnlandi, Svíþjóð, Noregi, Íslandi (ÍSOR) og Danmörku.

2. NordMin málþing. Ákveðið var að halda eitt málþing í hverju Norðurlandanna fimm, auk Grænlands, og er undirbúningur hvers málþings á ábyrgð viðkomandi landstengiliðs.

Svíar héldu fyrsta NordMin málþingið í Kaupmannahöfn 4. september 2014, undir yfirskriftinni *Funding Possibilities for Nordic Cooperation in the Mining Industry*. Norska jarðfræðistofnunin (NGU) hélt næsta NordMin málþing í Þrándheimi 18.–19. nóvember 2014, undir heitinu *Nordic Aggregates and Stones: Information and Collaboration*. Sex þátttakendur voru frá Íslandi. Þorbjörg Hólmgeirsdóttir, jarðfræðingur hjá Mannviti, hélt fyrirlesturinn *Icelandic Aggregates: Characteristics and Production*, og Pétur Pétursson, jarðfræðingur hjá PP-ráðgjöf, hélt fyrirlesturinn *Physical Properties of Marine Aggregates in the Extraction Areas in Kollafjörður, Iceland*. Orkustofnun mun halda þriðja málþingið á Nauthóli í Reykjavík eftir rúma viku, eða 23.–24. mars. Yfirskrift málþingsins verður *On- and Offshore Exploration and Prospecting in Extreme Nordic Environments: Challenges and Benefits of Finding Exploitable Raw Materials*. Grænlandingar munu halda fjórða málþingið í Sisimiut dagana 6.–7. júní nk., en umfjöllunarefnið verður *Mining and Society in the Arctic*. Fimmta málþingið verður haldið í Danmörku í haust, en þar á að ræða um sjálfbærni á sviði málma. Norðmenn

munu halda sjötta málþingið vorið 2016, en þeir ætla að fjalla um umhverfismál á þessu sviði. Sjöunda og síðasta málþingið verður haldið í Finnlandi haustið 2016, en þar verða niðurstöður NordMin rannsókna- og nýsköpunarverkefna kynntar.

3. NordMin undirbúningsstyrkir. Í kjölfar hvers málþings auglýsir NordMin styrki til að undirbúa umsóknir um samnorræn verkefni um umfjöllunarefni málþingsins. Í framhaldi af fyrsta málþinginu veitti stjórn NordMin undirbúningsstyrk að upphæð 200.000 dkr. til verkefnisins *Spectroscopic Quantification of Critical Minerals and Applications for Exploration and Mining*, en fyrirhugað er að senda inn umsókn í H2020 áætlun ESB í apríl nk. Háskólinn í Oulu í Finnlandi leiðir verkefnið, en fjórir samstarfsaðilar eru frá Danmörku, Noregi, Svíþjóð og Finnlandi.

4. NordMin doktorsnámskeið. Ákveðið var að NordMin stæði fyrir þremur doktorsnámskeiðum. Það fyrsta var haldið við Tækniháskólann í Lulå dagana 8.–12. desember 2014, þar sem viðfangsefnið var *Minerals Industry Sustainability within a Nordic Context*. Námskeiðið sóttu 22 þátttakendur frá öllum Norðurlöndunum, en frá Íslandi komu: Arna Pálsdóttir, doktorsnemi í efnaverkfræði við Cornell háskóla í Bandaríkjunum, ásamt William Moreland og Robert Askew, doktorsnemum við Jarðvísindadeild Háskóla Íslands, en þeir síðarnefndu tóku meistaranám sitt við Háskólann í Edinborg. Ákveðið hefur verið að doktorsnámskeiðið í ár verði haldið í Finnlandi, og viðfangsefnið verður að öllum líkindum *Water Management in Mining Operations*. Umræður eru hafnar um þriðja námskeiðið sem verður haldið árið 2016, en Jarðvísindadeild Háskóla Íslands hefur sóst eftir að halda námskeiðið, og þá í samstarfi við norska, danska og grænlenka háskóla.

Norrænt öndvegissetur á sviði málma. Þegar NordMin rannsókna- og nýsköpunarverkefni voru komin af stað, var ákveðið að næsta samstarfsverkefni yrði *Nordic Mineral Centre of Excellence (NordMinCoE): Mineral Resource Management as a Driver for Responsible Arctic Development*. NordMin styrkti gerð umsóknar til NordForsk, sem var send inn í byrjun mars, þar sem sótt var um styrk að upphæð 30 millj. nkr., fyrir tímabilið 2015–2019. Rannsóknastofnunin SINTEF í Þrándheimi leiddi gerð umsóknarinnar, en samstarfsaðilar eru NordMin, Tækniháskólinn í Luleå, Háskólinn í Þrándheimi (NTNU), Háskólinn í Tromsø, Háskóli Íslands, ÍSOR, Danska og grænlenka jarðfræðistofnunin (GEUS), Háskólinn í Oulu, Háskólinn í Waterloo, Kanada og Outotec í Finnlandi.

PDAC málmleitarráðstefna. PDAC er alþjóðleg ráðstefna sem Kanadamenn halda í Toronto í byrjun mars ár hvert. Ráðstefnuna sækja á bilinu 20.000–30.000 manns sem koma að málmleit og -vinnslu, s.s. á sviði jarðfræða og viðskipta, en Kanadamenn og Ástralir eru þar stærstir á heimsvísu. NordMin verkefnið hefur verið kynnt á ráðstefnunni í sameiginlegri dagskrá Svíþjóðar, Finnlands og Noregs. Grænendingar og Danir hafa einnig verið með sérstaka dagskrá á ráðstefnunni, þar sem þeir kynna tækifæri til málmleitar á Grænlandi. Fulltrúar ÍSOR og Orkustofnunar sóttu ráðstefnuna árin 2014 og 2015, og til skoðunar er hvort kynna eigi málmleitartækifæri á Íslandi á ráðstefnunni í framtíðinni.

Numerical modelling of crustal deformation due to geothermal fluid extraction and re-injection in the Hengill area

Daniel Juncu¹, Þóra Árnadóttir¹, Tabrez Ali², Gunnar Gunnarsson³ and Andrew Hooper⁴

¹Nordic Volcanological Center, Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Reykjavík, Iceland

²Department of Geoscience, University of Wisconsin, Madison, USA

³Orkuveita Reykjavíkur, Reykjavík, Iceland

⁴University of Leeds, Leeds United Kingdom

The geothermal regions around the Hellisheiði and Nesjavellir power plants, fuelled by the Hengill volcano, are subject to surface deformation due to several processes. These include the motion of the Earth's crust due to plate spreading, co- and post seismic deformation due to earthquakes in the South Iceland Seismic Zone and deformation due to water and steam extraction and wastewater re-injection near geothermal power plants.

We measure surface displacement in the Hengill area using both GPS and InSAR data. The former are obtained from four continuous and more than 15 campaign GPS stations in the area, with time-series starting after two M6 earthquakes on 29 May 2008 in Ölfus - the westernmost part of the SISZ. The InSAR data consist of 10 images taken by the TerraSar-X mission, starting October 2009. The InSAR time-series has a temporal resolution of 1 to 3 images per year, taken at an incidence angle of approximately 30° from the vertical.

In the InSAR data we can see a clear subsidence signal in the proximity of the power plants with a maximum of ~24 mm/yr in Line-of-Sight direction (LOS) at Hellisheiði, after correcting for plate motion. The subsidence is elongated in NNE-SSW direction and possibly related to the orientation of the Hengill fissure swarm. In addition to subsidence, we observe an uplift signal of ca. 10 mm/yr in LOS west of the Hellisheiði site, potentially due to wastewater re-injection in the area. The area of maximum uplift is located close to the epicenters of two M4 earthquakes that occurred in October 2011.

We run numerical simulations using the Finite Element Method to model the poroelastic response of the crust to the fluid extraction and re-injection at the power plants, based on Biot's equations. The equations are solved implicitly using the code *Defmod*. We include the real extraction and injection rates, obtained from *Orkuveita Reykjavíkur*. These rates induce pressure change in the system and consequently drive the flow of pore fluids and the deformation. Preliminary results show that the observed surface deformation can in parts be explained by this effect. We use simulated annealing optimization to obtain constraints on the hydraulic parameters of the reservoir as well as properties of the local crust. The results will also help to verify prevalent conceptual models of the Hengill geothermal area.

Súr-ísúr gjóskulög frá Kötlu og Heklu: helstu kornastærðareinkenni og breytingar á þeim í tíma og rúmi

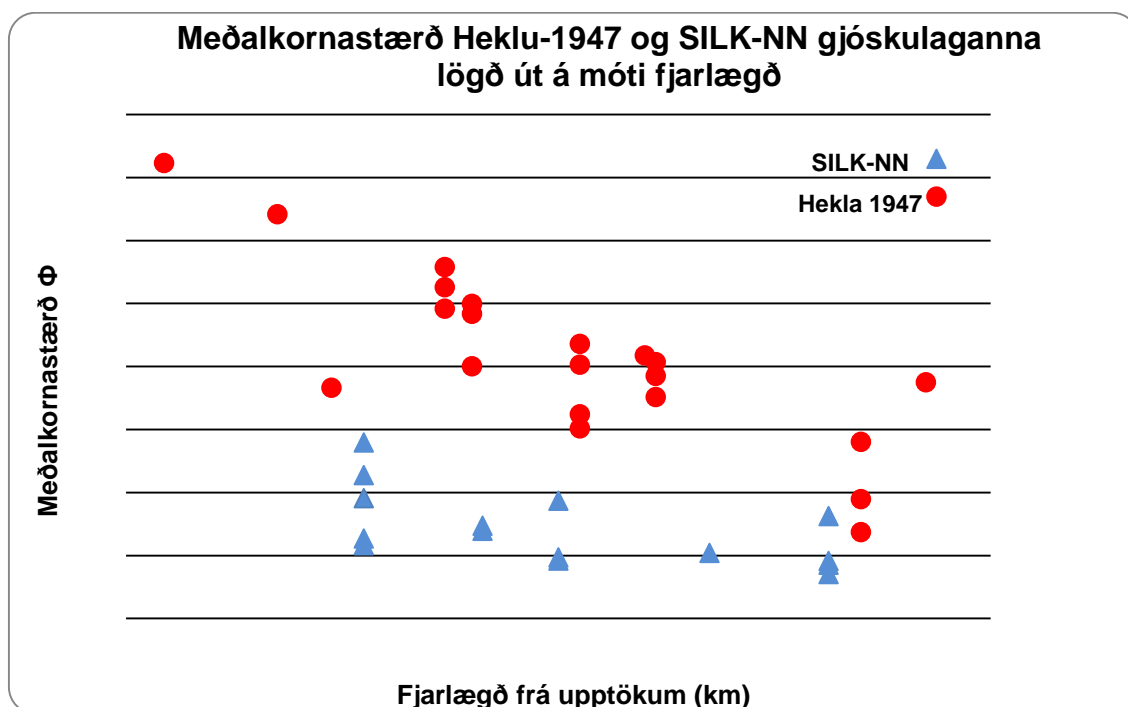
Edda S. Þorsteinsdóttir¹, Esther R. Guðmundsdóttir² og Guðrún Larsen³.

¹Jarðvísindadeild Háskóla Íslands. ²Norræna eldfjallasetrið, Jarðvísindstofnun Háskólans.

³Jarðvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík

Gjóskulagið SILK-NN er myndað í gosi í Kötlueldstöðinni fyrir um 3400 árum. Súru Kötlugjóskulögin eiga uppruna sinn í Kötluöskjunni og gosstöðvarnar voru líklega undir ís þegar gos hófst. Gjóskulagið H-1947 myndaðist í gosi í Heklu árið 1947. Gjóskulagið kom upp úr háhrygg Heklu þar sem eiginlegur jökull liggur ekki yfir þótt fannir séu í fjallinu.

Gjóska úr þessum tveim gosum var rannsökuð til að kanna mun á kornastærðardreifingu í gjóskulögum úr ólíku gosumhverfi og breytingar á henni með fjarlægð frá upptökum (Mynd 1). Sýni af SILK-NN gjóskunni voru tekin á 10 stöðum í 20 til 65 km fjarlægð frá upptökum. Alls voru tekin 21 sýni, bæði heildarsýni og sýni úr einstökum einingum gjóskulagsins. Upptök súrrar Kötlugjósku eru hér miðuð við Kötluöskjuna miðja. Sýni af H-1947 gjóskunni voru tekin á þrem stöðum í 19 til 42 km fjarlægð frá upptökum, samtals 8 sýni, en einnig er stuðst við kornastærðargreiningar af gjóskunni nýlega fallinni í 3,5 til 68 km fjarlægð (Thorarinsson 1954). Upptökin miðast við toppgíg Heklu.

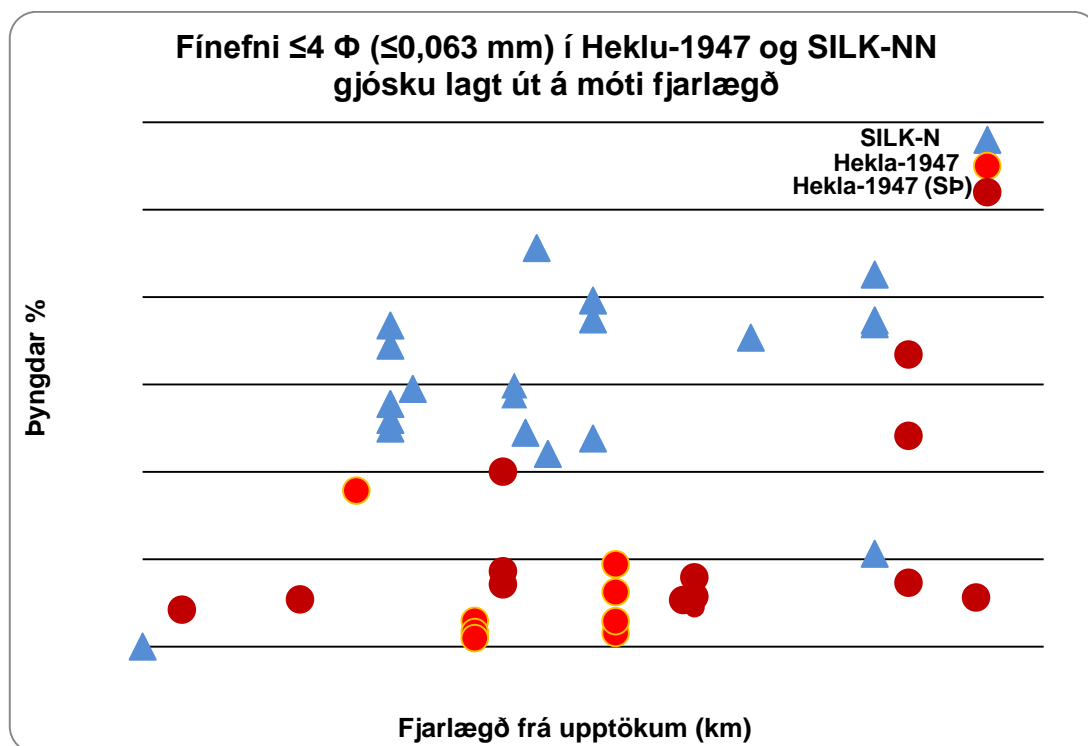


Mynd 1: Meðalkornastærð SILK-NN og Heklu-1947 lögð út á móti fjarlægð frá upptökum. Rauðir hringir: Heklugjóskan 1947. Bláir þríhyrningar: Kötlugjóskan SILK-NN.

Niðurstöðurnar sýna greinilegan mun á meðalkornastærð og hlutfalli fínefna í gjóskulögnum frá þessum tveimur eldfjöllum. Heklugjóskan er mun grófari en Kötlugjóskan miðað við svipaða fjarlægð frá upptökum (Myndir 1 og 2).

Meðalkornastærð SILK-NN gjóskunnar breytist nokkuð með fjarlægð en allmikinn breytileika má sjá innan gjóskulagsins þar sem það er lagskipt. Meðalkornastærð Heklu 1947 breytist hinsvegar meira með fjarlægð en einnig má sjá mjög svo kerfisbundinn innri breytileika þar sem neðri hluti gjóskulagsins er alltaf grófari en efri hlutinn á sama stað. Heklusýni sem tekin voru nýlega fallin eru með á kornastærðargröfum, en þau voru hins vegar aðeins sigtuð niður að 0,063 mm (4 Φ) og fínefni <0,063 mm ekki aðgreind. Það skekkir örlítið niðurstöðurnar hvað varðar meðalkornastærðina í þeim Heklusýnum og líklega mælist meðalkornastærðin þar aðeins minni en ella.

Í um 68 km fjarlægð frá upptökum er meðalkornastærð Heklu-1947 gjóskunnar 0,23 mm (2,10 Φ , heildarsýni) en í SILK-NN Kötlu gjóskunni er meðalkornastærðin 0,13 mm (2,94 Φ , heildarsýni) í 65 km fjarlægð.



Mynd 2: Hlutfall fínefnis $\le 4 \Phi$ ($\le 0,063$ mm) í gjóskulögunum Heklu-1947 og SILK-NN lagt út á móti fjarlægð frá upptökum.

Magn fínefna er mun meira í Kötlu gjóskunni en Heklu gjóskunni. Hlutfall fínefnis sem er $\le 0,063$ mm í 20-70 km fjarlægð er 22-45% af heildarþunga (breytileiki í lagskiptu gjóskulagi) í Kötlu gjóskunni en í Heklu gjóskunni er hlutfallið 1-33% af heildarþunga í sömu fjarlægðum. Í sýnum sem tekin voru af Heklu gjóskunni nýlega fallinni er hlutfallið ívið hærra. Athygli vekur að hlutfall fínefnis sem er smærra en 0,011 mm ($< 6.5 \Phi$) breytist lítið sem ekkert með fjarlægð. Í Kötlu gjóskunni er hlutfallið af heildarþunga 3-7% í 20 km fjarlægð og 1-8% í 65 km fjarlægð frá upptökum. Í Heklu gjóskunni er hlutfallið einungis um 0,15-1,5% af heildarþunga, en aðeins sýni sem safnað var vegna þessa verkefnis voru greind.

Verkefnið var styrkt af ICAO (International Civil Aviation Organization) sem hluti af samvinnuverkefni Veðurstofu Íslands og Háskóla Ísland, Úttekt íslenskra eldstöðva.

Heimild: Thorarinsson, S., 1954. The tephra-fall from Hekla on March 29th 1947. *The eruption of Hekla 1947-48*. II, 3: 1-68. Societas Scientiarum Islandica, Reykjavík.

Áhrif Kárahnjúkastíflu á framburð Jökulsár á Dal og Lagarfljóts á svifaur og uppleystum efnum.

Eydís Salome Eiríksdóttir¹, Sigurður Reynir Gíslason¹ og Jórunn Harðardóttir²

¹Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík

²Veðurstofa Íslands, Bústaðavegur 7-9, 108 Reykjavík

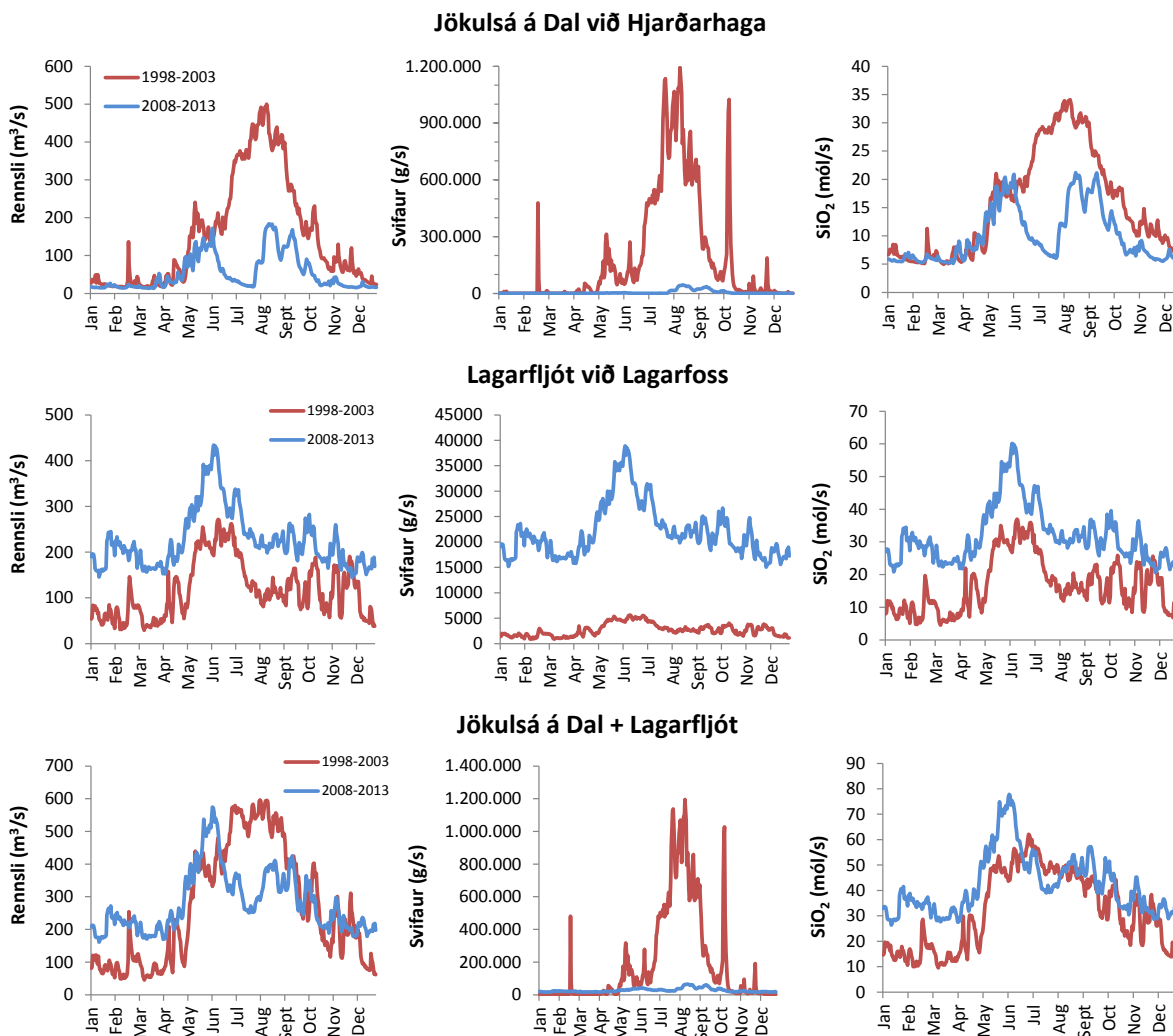
Bygging Kárahnjúkastíflu og myndun Háslóns á árunum 2003 – 2007 olli umtalsverðum breytingum á vatnasviðum Jökulsár á Dal (Jöklu) og Lagarfljóts. Vatn sem áður barst hratt til sjávar eftir farvegi Jöklu safnast nú í Háslón þar sem það dvelst þar til því er hleypt um aðrennslisgöng Fljótsdalsstöðvar. Þaðan rennur vatnið svo yfir í Lagarfljót og berst með því til sjávar.

Þessi tvö vatnsföll voru vöktuð, ásamt nokkrum öðrum, með tilliti til rennslis, styrks svifaurs og uppleystra efna í fimm ár áður en ráðist var í virkjunarframkvæmdir og í fimm ár eftir að framkvæmdum lauk og rafmagnsframleiðsla hófst (Sigurður Reynir Gíslason o.fl., 2006; 2009; Eydís Salome Eiríksdóttir o.fl. 2008; 2013; 2014). Því er hægt að meta áhrif virkjunarinnar á þá þætti sem mældir voru í vatnsföllunum. Jökla og Lagarfljót hafa sameiginlegan árófs við Héraðsflóa og til að meta heildaráhrif virkjunarinnar á framburð þeirra til sjávar þarf að líta til beggja þessara vatnsfalla.

Fyrir virkjun var Jökla eitt aurugasta jökulfljót landsins, og bar með að meðaltali 5,8 milljón tonna af svifaur á ári frá 1970 til 1999 (Svanur Pálsson o.fl., 2000). Á tímabilinu júlí til september var rennsli árinna hæst og aurburður mestur. Eftir virkjun safnast allt rennsli Jöklu í Háslón þar til það fyllist í lok ágúst – byrjun september og fer á yfirfall. Uppistaða vatnsins veldur því að mikið af jökulaur sest til í Háslóni en þó berst mikið af fíngerðum aur áfram í gegn um aðrennslisgöngin yfir í Lagarfljót. Á meðan Háslón fyllist er einnig notað vatn úr Hraunaveitu, sem er á vatnasviði Jökulsár í Fljótsdal og Lagarfljóts. Fylling Háslóns yfir sumartímanna veldur því að vatnsrennsli í farvegi Jöklu er einungis haldið uppi af dragám af heiðunum í kring. Þar af leiðandi er rennsli lítið og framburður svifaurs og uppleystra efna breytt miðað við ótruflað ástand.

Framburður Jöklu og Lagarfljóts á svifaur og uppleystum efnum var reiknaður út frá svokölluðum efna- og svifaurslyklum sem byggjast á mældum styrk uppleystra efna og svifaurs og augnabliksrennsli þegar sýnin voru tekin. Lyklarnir voru síðan notaðir ásamt meðalrennsli hvers dags á árunum 1998 – 2003 og 2008 – 2013 til að reikna styrk og framburð efnanna. Dæmi um niðurstöður þessara framburðarreikninga má sjá á mynd 1 fyrir Jöklu, Lagarfljót og svo samanlagður framburður þessara vatnsfalla.

Helstu niðurstöður eru að þó að árstíðasveiflan í rennsli og efnaframburði vatnsvallanna hafi breyst, hefur heildar ársrennsli Jöklu og Lagarfljóts haldið sér. Árlegur framburður flestra uppleystra aðalefna og margra snefilefna hefur ekki breyst mikið við virkjunina (0 – 20%). Á hinn bóginn hefur heildarframburður svifaurs minnkað úr ~5,9 milljónum tonna á ári í um 860 þúsund tonn á ári, eða um 85%. Heildarframburður leystu efnanna SiO₂, Mo, Zn, Al og Co jókst um 30 – 50%, og snefilefnanna Ti og Fe um 250% og 370%, Ti úr 4,75 tonnum á ári í 16,7 tonn á ári og Fe úr 58 tonnum á ári í 286 tonn á ári.



Mynd 1. Dagsmeðalrennsli og -framburður á svifaur og uppleystum kísli (SiO_2) Jökulsár á Dal og Lagarfljóts og svo samanlagður framburður vatnsfallanna fyrir hvern dag á árunum 1998 – 2003 og 2008 – 2013.

Heimildir:

- Eiríksdóttir E. S., Louvat P., Gíslason, S. R., Óskarsson. N. Ö. and Hardardóttir J. (2008) Temporal variation of the chemical and mechanical weathering in NE-Iceland, evaluation of a steady-state model of erosion. *Earth Planet. Sci. Lett.* **272**, 78-88.
- Eiríksdóttir E. S., Gíslason S.R. and Oelkers E.H. (2013) Does temperature or runoff control the feedback between chemical denudation and climate? Insights from NE Iceland. *Geochim. Cosmochim. Acta* **107**, 65 – 81.
- Eydís Salome Eiríksdóttir, Sigurður R. Gíslason, Árni Snorrason, Jórunn Harðardóttir, Svava B. Þorlákssdóttir, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Rebecca A. Neely (2014), Efnasamsetning, rennsli og aurburður straumvatna á Austurlandi XI. Gagnagrunnur Jarðvísindastofnunar og Veðurstofnunar. RH-05-2014, 126 bls.
- Gíslason S.R., Oelkers, E.H. and Snorrason Á., 2006. The role of river suspended material in the global carbon cycle. *Geology* **34**, 49–52.
- Gíslason S.R., Oelkers E.H., Eiríksdóttir E.S., Kardjilov M.I., Gísladóttir G., Sigfusson B., Snorrason A., Elefsen S., Hardardóttir J., Torssander P. and Óskarsson N. (2009) Direct evidence of the feedback between climate and weathering. *Earth Planet. Sci. Lett* **277**, 213–222.
- Svanur Pálsson, Jórunn Harðardóttir, Guðmundur H. Vigfússon and Árni Snorrason (2000). Reassessment of suspended sediment load of river Jökulsá á Dal at Hjarðarhagi. Report Orkustofnun OS-2000/070, Reykjavík, Iceland.

Comparison of the Bárðarbunga 2014-2015 rifting event, slow caldera collapse and the eruption in Holuhraun with the 1975-1984 Krafla and 2005-2010 Dabbahu, Afar, rifting episodes

Freysteinn Sigmundsson¹, Páll Einarsson¹, Michelle Parks¹, Stephanie Dumont¹, Benedikt G. Ófeigsson², Kristín Vogfjörð², Elías Rafn Heimisson¹, Vincent Drouin¹, Bryndís Brandsdóttir¹, Magnús Tumi Guðmundsson¹, Kristín Jónsdóttir², Andrew J Hooper³, Carolina Pagli⁴, Tim J. Wright³, Erik C Sturkell⁵, Rikke Pedersen¹

¹ Nordic Volcanological Center, Institute of Earth Sciences, University of Iceland

² Icelandic Meteorological Office, Iceland

³ Centre for the Observation and Modelling of Earthquakes and Tectonics (COMET), School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds

⁴ Department of Earth Sciences, University of Pisa

⁵ Department of Earth Sciences, University of Gothenburg

The 2014-2015 rifting event, slow caldera collapse, and eruption in the Bárðarbunga volcanic system can be compared to two instrumentally recorded rifting episodes at subaerial parts of the mid-oceanic rift system, the 1975-1984 Krafla rifting episode and the 2005-2010 Dabbahu (northern Manda Hararo) rifting episode in Afar, Ethiopia. The Krafla and Dabbahu rifting episodes show many similarities (Wright *et al.*, 2012). Magma at these spreading centres is supplied to the crust in an intermittent manner, and stored at multiple positions and depths. During the rifting episodes it was laterally intruded in dykes within the brittle upper crust releasing accumulated extensional strain. Observed ground deformation and behaviour of Krafla shows that a shallow magma chamber at about 3 km depth received continuous inflow of magma from a deeper source, at an exponentially declining rate during the rifting episode.

The shallow chamber inflated (causing surface uplift of rates of up to 6 mm day), until it reached a critical limit, which in turn triggered the rifting events. At Dabbahu, magma was delivered to a fissure swarm from multiple source regions. Cumulative extension of the ground at Krafla and Dabbahu averaged about 5 m, over 60-80 km long segments of the fissure swarms involved. Eruptions resulted in relative small volumes, mainly occurring near the end of the rifting episodes.

Seismic and geodetic observations of the recent Bárðarbunga events reveal more details of the segmented nature of lateral dyke propagation than at Krafla and Dabbahu. Geophysical observations, both of seismicity and deformation, show how dyke barriers were overcome by the build-up of pressure at the dyke tip (Sigmundsson *et al.*, 2015). The observations indicate also one location of pressure drop, under the Bárðarbunga caldera. An outstanding feature of the Bárðarbunga events is the slow caldera collapse; not observed either at Krafla or Dabbahu. The erupted volume in Holuhraun is about an order of magnitude larger than the total erupted volume during the Krafla and Dabbahu rifting episodes. The piston type slow caldera collapse at Bárðarbunga may be responsible for the larger erupted volume in the 2014-2015 events compared to the earlier instrumentally observed cases of rifting.

References:

- Freysteinn Sigmundsson, Andrew Hooper, Sigrún Hreinsdóttir, Kristín S. Vogfjörð, Benedikt Ófeigsson, Elías Rafn Heimisson, Stéphanie Dumont, Michelle Parks, Karsten Spaans, Gunnar B. Guðmundsson, Vincent Drouin, Thóra Árnadóttir, Kristín Jónsdóttir, Magnús T. Guðmundsson, Thórdís Högnadóttir, Hildur María Friðriksdóttir, Martin Hensch, Páll Einarsson, Eyjólfur Magnússon, Sergey Samsonov, Bryndís Brandsdóttir, Robert S. White, Thorbjörg Ágústsdóttir, Timothy Greenfield, Robert G. Green, Ásta Rut Hjartardóttir, Rikke Pedersen, Rick Bennett, Halldór Geirsson, Pete LaFemina, Helgi Björnsson, Finnur Pálsson, Erik Sturkell, Christopher J. Bean, Martin Möllhoff, Aoife Braiden, and Eva P.S. Eibl, Segmented lateral dyke growth in a rifting event at Bárðarbunga volcanic system, Iceland, *Nature*, 517, 191–195, doi:10.1038/nature14111, 2015 (Online 15 December 2014).
- Tim J. Wright, Freysteinn Sigmundsson, Carolina Pagli, Manahloh Belachew, Ian J. Hamling, Bryndís Brandsdóttir, Derek Keir, Rikke Pedersen, Atalay Ayele, Cindy Ebinger, Páll Einarsson, Elias Lewi and Eric Calais (2012), Geophysical constraints on the dynamics of spreading centres from rifting episodes on land, *Nature Geoscience*, 5, 242–250 (2012) doi:10.1038/ngeo1428, 2012.

Deflation and Deformation of the Askja Caldera Complex, Iceland, since 1983: Strain and Stress Development on Caldera Boundaries prior to Tsunami Generating Rockslide in 2014 at Lake Öskjuvatn

Freysteinn Sigmundsson¹, Vincent Drouin¹, Michelle Parks¹, Stephanie Dumont¹, Elías Rafn Heimisson¹, Ásta Rut Hjartardóttir¹, Páll Einarsson¹, Ármann Höskuldsson¹, Bryndís Brandsdóttir¹, Þorsteinn Sæmundsson¹, Tómas Jóhannesson², Jón Kristinn Helgason², Erik C Sturkell³, Rikke Pedersen¹, Andrew J Hooper⁴, Karsten Spaans⁴, Christian Minet⁵ og Magnús Tumi Guðmundsson¹

¹ Nordic Volcanological Center, Institute of Earth Sciences, University of Iceland

² Icelandic Meteorological Office, Iceland

³ Department of Earth Sciences, University of Gothenburg

⁴ Centre for the Observation and Modelling of Earthquakes and Tectonics (COMET), School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds

⁵ German Aerospace Center (DLR) Oberpfaffenhofen Oberpfaffenhofen Germany

The relation between ground deformation and caldera development can be studied at the Askja caldera complex at the divergent plate boundary in Iceland. The Lake Öskjuvatn caldera, 4-5 km wide and about 250 m deep, began forming shortly prior to a major explosive eruption in 1875 and continued to grow rapidly for over 2 decades. The boundaries of the caldera collapse remain unstable. A large rockslide on 21 July 2014 of the order of 30-100 million cubic meters generated a lake tsunami with run up heights of over 30 m. Geodetic measurements at the volcano since 1983 suggest that instability of the basal plane of failure of the rockslide may have steadily increased as the volcano deflated throughout this period. Deformation (subsidence and horizontal contraction) has been mapped by levelling, distance measurements, GPS and satellite radar interferometry (InSAR) using the ERS, Envisat, Radarsat, TerraSAR-X and Cosmo-SkyMed satellites. An intermediate digital elevation model has been delivered by the TanDEM-X mission. Initial subsidence rate was up to 7 cm/yr, decaying to 2-3 cm in recent years. A large part of the signal can be reproduced by a model with pressure decrease in a spherical source at 3 km depth, interpreted as a pressure drop in a magma chamber, or subsidence may occur over a structurally weak region in relation to plate spreading. The 2014 rockslide has a basal plane of failure passing through intact rock. A section of the basal plane is exhumed by the slide, revealing impressive striations and slip marks. A simple model, assuming uniform elastic halfspace with a rectangular failure plane extending to the surface, indicates that Coulomb stress on the failure plane or a deeper weakness zone under the rockslide, increased by over 2 MPa since 1983 due to the deflation, exceeding the change often associated with stress triggering of earthquakes. Furthermore, the slide occurred in an area of persistent geothermal and seismic activity. Although gravity, geothermal alteration, topography and climate factors are likely to dictate mostly the 21 July 2014 rockslide, our observations and modelling indicate the rockslide is an integral event in the development of the Öskjuvatn caldera, with deflation of the volcano in recent decades contributing to instability of the caldera boundary and failure on the basal plane of the rockslide.

Jarðskjálftar á Íslandi 2014

Gunnar B. Guðmundsson, Bergþóra S. Þorbjarnardóttir og Sigprúður Ármannsdóttir

Veðurstofu Íslands, Bústaðavegi 9, IS-108 Reykjavík

Um 50.000 jarðskjálftar mældust með jarðskjálftamælakerfi Veðurstofu Íslands árið 2014. Mesta virknin tengdist umbrotunum í Bárðarbungu. Samtals 85 jarðskjálftar urðu við öskju Bárðarbungu af stærð M_{lw} 5,0 – 5,7, en margra þeirra varð vart við Eyjafjörð. Mörg hundruð skjálftar urðu af stærð M_{lw} 4,0 – 4,9. Sig í Bárðarbungu olli þessum skjálftum, en flestir þeirra urðu við norðurbrún öskjunnar. Skjálftavirknin var þó mest í kvikuganginum á meðan kvikan braut sér leið í gegnum jarðskorpuna að eldstöðinni í Holuhrauni. Frá 16. ágúst og fram að eldgosinu 31. ágúst mældust 1000 – 1700 skjálftar á dag. Úrvinnslu er ekki fullu lokið. Umbrotin höfðu áhrif á stóru svæði. Skjálftavirkni jókst við Öskju og náði hámarki 27. ágúst, en þá mældist skjálfti af stærð M_l 4,1 undir Dreka. Skjálftavirkni við Herðubreið og Herðubreiðartögl jókst þó ekki fyrr en við upphaf eldgossins. Það dró úr skjálftavirkni á þessum svæðum eftir miðjan september. Talsverð skjálftavirkni mældist einnig við Tungnafellsjökul strax við upphaf umbrotanna og hélst út árið.

What is for dinner? Geochemical energy from inorganic sources feeds microbial life in geothermal waters

Hanna Kaasalainen¹, Andri Stefánsson¹, Snædís Björnsdóttir^{2,3},
Guðmundur Óli Hreggvidsson^{2,3}, Nicole Keller¹, Sólveig Pétursdóttir²

¹Jarðvísindastofnun, Háskóli Íslands

²Matís

³Líf- og umhverfisvísindadeild, Háskóli Íslands

Surface environments of active geothermal systems are characterized by surface temperatures ranging from ambient to 100°C, pH values between 2 and 10, and steep redox gradients. These quite extreme environments are known to host diverse microbial life that is dependent on energy from sunlight or in the form of chemical energy. Photosynthesis is limited to temperatures below 73-75°C, above which chemosynthetic processes occur with the upper temperature limit being unknown. Microorganism may utilize a vast variety of chemical energy sources available, yet the interaction between the microbial communities and the geochemical environment remains poorly understood in surface geothermal environments. The collaboration between the Icelandic microbiologists and geochemists aims to increase the understanding of the microbe-water-rock interaction processes in geothermal environments.

Chemical energy can be released by chemical reactions that move from disequilibrium towards equilibrium. Some reactions occur instantaneously and approach equilibrium, whereas others including many electron transfer (redox) reactions are slow and often found at disequilibrium in natural waters. An example includes the sulfur system (Kaasalainen and Stefánsson, 2011). The chemical potential deriving from such chemical disequilibrium may provide energy for metabolic systems and micro-organisms couple redox reactions that are thermodynamically favored but kinetically inhibited.

From a geochemical point of view, the key task is to quantify the inorganic energy sources deriving from chemical disequilibrium and potentially used by the microbes in their metabolism. For this purpose, one needs to determine the concentrations of chemical species taking part in the reactions. This, however, is not at all trivial and powerful on-site or in-situ analytical methods are required. The chemical species of importance and interest include for example H (H₂, H₂O), O₂ (O₂, H₂O), S (SO₄, S₂O₃, S_nO₆, SO₃, H₂S), C (CO₂, CH₄, DOC), N (N₂, NH₄, NO₂, NO₃), Fe (Fe^{II}, Fe^{III}), and Mn (Mn^{II} and M^{nIII}) compounds. We are working on the development and application of suitable sampling and analytical methods to determine species concentrations in geothermal waters, including ion and gas chromatographic, spectrophotometric and electrochemical methods. Chemical affinities of the hundreds of reactions of microbiological interest are calculated based on the analytical data and equilibrium constants calculated from thermodynamic data and provides a quantitative assessment of the inorganic chemical energy sources potentially utilized by microbes. The data on the geochemical energy sources are then interpreted together with the microbial metabolism known to occur in these systems.

Deformation derived from GPS geodesy associated with the 2014-2015 Bárðarbunga rifting event

Hildur M. Friðriksdóttir^{1,3}, Benedikt Gunnar Ofeigsson¹, Sigrún Hreinsdóttir², Michelle Parks³, Freysteinn Sigmundsson³, Stephanie Dumont³, Þóra Árnadóttir³, Halldór Geirsson⁴, Andrew Hooper⁵, Matthew Roberts¹, Rick Bennett⁶, Erik Sturkell⁷, Sigurjón Jónsson⁸, Peter Lafemina⁴, Þorsteinn Jónsson³, Bergur Bergsson¹, Vilhjálmur Kjartansson³, Sveinbjörn Steinþórsson¹, Páll Einarsson² & Vincent Drouin²

¹ Icelandic Meteorological Office, Iceland

² GNS Science, New Zealand

³ Nordic Volcanological Center, Institute of Earth Sciences, University of Iceland

⁴ Department of Geosciences, The Pennsylvania State University, University Park, Pennsylvania, USA

⁵ Centre for the Observation and Modelling of Earthquakes and Tectonics (COMET), School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds

⁶ Department of Geosciences, University of Arizona, Tucson, Arizona

⁷ Department of Earth Sciences, University of Gothenburg

⁸ King Abdullah University of Science and Technology, Saudi Arabia

An overview is presented of the recent rifting event in the Bárðarbunga volcanic system, focusing on GPS monitoring data. On 16 August, 2014 an intense seismic swarm started below the eastern part of Bárðarbunga caldera in the northwestern corner of the Vatnajökull ice-cap. The migration of seismicity was corroborated by ground deformation in areas outside the ice cap and on nunataks within the ice cap, suggesting a lateral propagation of magma from the Bárðarbunga caldera. The seismicity migrated out of the caldera, forming a dyke with several segments, until 28 August when the migration stopped around 10 km south of Askja Volcano and a short lived eruption occurred in Holuhraun, north of Dyngjujökull. A second fissure eruption started in Holuhraun on 31 August, which ended six months later, on 27 February 2015.

In the months prior to the onset of the activity, subtle signs of inflation were observed on continuous GPS sites around Bárðarbunga, indicating a volume increase in the roots of the volcanic system. When the large seismic swarm started on August 16th, the deformation pattern indicated a simultaneous deflation centered within the caldera and a lateral growth of a dyke, also reflected in the migration of seismicity, along segments of variable strike. Significant movements were detected on GPS sites more than 80 km away from the tip of the dyke. The GPS stations on opposite side of the dyke and closest to it are spaced 25 km apart; they recorded widening of 1.3 m. InSAR observations show that the surface widening is considerably more. Displacements indicated the fastest rate of widening at any time in the most distal segment of the dyke throughout its evolution. Deformation related to the dyke gradually slowed down with time. On September 4th, five days into the second fissure eruption, the movements associated with the dyke were no longer significant. Deflation of Bárðarbunga occurred simultaneously with the fissure eruption, with both slowing down at a decaying rate. The deflation of the Bárðarbunga central volcano was witnessed both in the piston like subsidence of the caldera floor, observed on a GPS instrument located on the ice surface within the caldera, as well as in the region around the caldera, outside and within the ice cap.

Since the middle of September, no detectable deformation measured with GPS was associated with the formed dyke or the eruptive fissure, as it seems to have been minor enough to get masked by the strong subsidence signals from Bárðarbunga. After the end of the eruption on 27 February, GPS measurements are a critical tool to evaluate if a magma body under Bárðarbunga will inflate and recharge again.

Prior to the onset of the activity, extensive GPS campaign measurements had been conducted in the area. These observations allowed us to constrain the deformation field directly associated with the rifting. This proved essential when adding new continuous sites during the active rifting and hence tracking the dyke formation as it propagated. To better constrain the deformation field in real time, 8 hour coordinate solutions were processed in real time enabling sub-daily updates to track the rapid deformation associated with the rifting. A model of volume change in Bárðarbunga caldera, independent of the GPS station on top of the caldera is presented, giving a well constrained estimate for the location of the source of magma under the Bárðarbunga caldera.

How and why Lateglacial shoreline were formed – a geological triangle

Hreggviður Norðdahl og Ólafur Ingólfsson

Institute of Earth Sciences, University of Iceland

Two sets of raised shorelines of Lateglacial age and separated by 20-40 m are found in all parts of Iceland, radiocarbon dated to the Younger Dryas and Preboreal Chronozones, respectively. In West and Northwest Iceland there is one additional and older set of shorelines at much higher elevation, dated in West Iceland to the Bølling Chronozone.

Relative sea-level changes and formation of shorelines are first and foremost controlled by two factors; eustatic and glacio-isostatic changes. Eustasy is controlled by the volume of water stored in glaciers at each time and glacio-isostasy is controlled by glacier volume (mass) at each place and time. Rate of relative sea-level (RSL) changes are on the other hand controlled by properties of an elastic lithosphere and plastic asthenosphere (viscosity), and the rate at which glaciers are melted (loss of mass) and water returned to the oceans. Lateglacial shorelines could thus only be formed when the rate of eustatic sea-level rise was equal to the rate of glacio-isostatic uplift.

Following the Last Glacial Maximum (LGM) of the Icelandic ice sheet, some 25-20,000 cal. ka. BP., relatively warm Atlantic sea-water arrived and surrounded the ice sheet at about 16.3 cal. ka. BP. This, together with the concurrent eustatic sea-level rise, caused the marine based part of the ice sheet to rapidly destabilize until it collapsed at about 15.1 cal. ka. BP. and retreated rapidly from a position on the shelf to a new position just inside the present coastline of Iceland. Subsequent to the collapse of the marine based part of the ice sheet there was a period of some 300-500 years when its oversized land-based part was slowly melting and thinning. This caused a rapid reduction in the rate of glacio-isostatic rebound so eustatic sea-level rise became temporarily equal to glacio-isostatic rebound. The earliest and highest Bølling shorelines that now are mainly found in West and Northwest Iceland were formed during this phase of equilibrium, at about 14.8 cal. ka. BP.

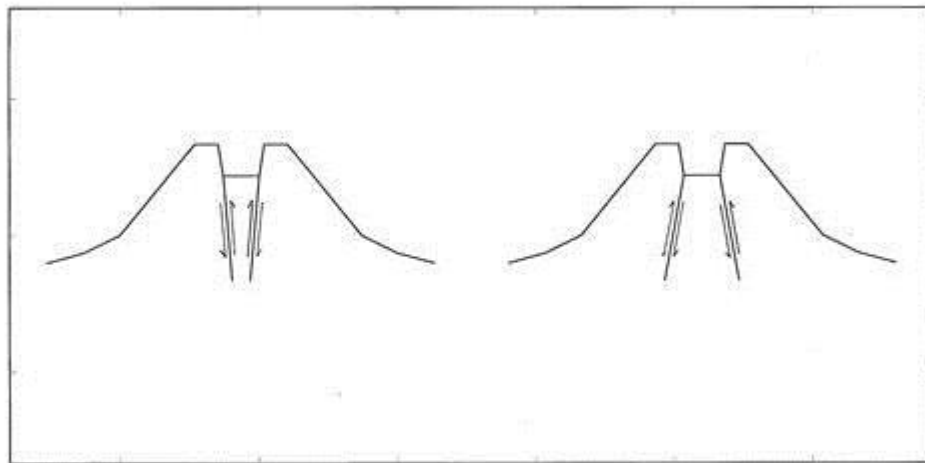
The 1973–1996 Earthquake Sequence in Bárðarbunga Volcano. Seismic Activity Leading up to Eruptions in the NW-Vatnajökull Area

Ingi Þorleifur Bjarnason

Institute of Earth Sciences –Science Institute, University of Iceland, Sturlugata 7, 101
Reykjavík, ingib@hi.is

A day and a half after the earthquake ($m_b = 5.3$, $M_S = 5.6$, $M_W = 5.6$) in the Bárðarbunga central volcano on September 29th 1996, a volcanic eruption broke out under the Vatnajökull glacier. The eruption was

located approximately 20 km SSE of the earthquake epicenter, midway between the Bárðarbunga and Grímsvötn central volcanoes. Course of events suggests a connection between earthquake and eruption and therefore a connection with a sequence of earthquakes of the same characteristics in Bárðarbunga during the years 1973–1996. The earthquakes in question are of an unusually low frequency character (corner frequency), explained by exceptionally low dynamic stress drop (< 10 bars) at shallow depth (≤ 5.0 km). The sequence which lasted for 22 years is characterized by approximately annual main events of magnitudes in the range of 4.5–5.7 (m_b). It intensified in the 1990s, with some of the largest earthquakes of the whole episode occurring at that time. Moment tensor solutions of teleseismic signals and locally recorded waveforms reveal that the main events are thrust faulting earthquakes with a significant non-double couple component. Arguments are presented that the faulting occurred on a steeply inward dipping caldera fault, with reactivated motion on a weak fault. As a consequence of this hypothesis magma inflation in Bárðarbunga is the most probable cause of the 1973–1996 events. However, the loading force (the magma) may or may not have resided at a similar shallow depth as the earthquakes. Cast in the frame of the inflation model, the Bárðarbunga 1973–1996 sequence implies a resurgent caldera of at least $0.2\text{--}0.7$ km³ for approximately a quarter of a century, exceeding its magma storage capacity in 1996. These calculations are model dependent, assuming shallow centroid depths (1.5–5.0 km) of the main events with correspondingly low rigidity (10–32 Gpa) of the upper and middle crust, and rather narrow fault width of 1 km. Seismically, Bárðarbunga and neighbouring area were relatively calm during the period mid-1997 to 2004. There was a renewed activity of small earthquakes during the years 2005–2009. From the beginning of continuous seismic recording in Iceland in 1925, all eruptions in Vatnajökull on record have been accompanied with earthquake(s) of magnitude ≥ 4.0 , within two months of the initial eruption.



Two possible fault movements of the caldera fault that are consistent with the observed focal mechanisms and moment tensors of the Bárðarbunga main events 1973–1996. To the left is an inflation model (resurgent caldera) with inward dipping caldera fault, and to the right is a deflation model with outward dipping caldera fault. Identification of the fault(s) that slip within the volcano in the Bárðarbunga main events 1973–1996 is uncertain. Highly simplified tectonic picture of a central volcano with caldera is depicted, e.g. field observations in Iceland find caldera faults with near vertical dip.

Mögulegar hreyfistefnur á aðalmisgengi Bárðarbunguöskjunnar, sem báðar geta skýrt brotlausnir og vægisþínur meginskjálfta í Bárðarbungu 1973–1996. Líklegast eiga meginskjálftar Bárðarbungu upptök á hringlagaöskjumisgengi. Tvær ólíkar túlkanir á orsökum skjálftanna koma til greina. Ef misgenginu hallar inn á við, er öskjuris líkleg orsök þeirra, en ef misgenginu hallar út, er líkleg orsök öskjusig. Athugið, að hér er dregin upp mjög einfölduð mynd af tektóník megineldstöðvar með öskju. Jarðfræðilegar athuganir á Íslandi sýna t.d. aðhalli öskjumisgengja er nærri lóðréttur.

Remote sensing and real time monitoring of Nornahraun lava flow field 2014-2015

Ingibjörg Jónsdóttir, Ármann Höskuldsson, Þorvaldur Þórðarson, Morten S. Riishuus and the Volcanology and Natural Hazard group, Institute of Earth Sciences, University of Iceland

Institute of Earth Sciences, University of Iceland

An effusive eruption began in Holuhraun, NE Iceland, on 31 August 2014, producing the Nornahraun lava flow field covering 85 km² by the end of February 2015, once the eruption came to an end.

Throughout this event, various satellite images were analysed to monitor the development; map the lava extent, identify active regions and lava channels, all in close collaboration with the field group.

From the beginning, satellite images in low geometric but high temporal resolution (NOAA AVHRR, MODIS) were used to monitor main regions of activity and position new vents to within 1 km accuracy. As they became available, multispectral images in higher resolution (LANDSAT 8, LANDSAT 7, ASTER, EO-1 ALI) were used to map the lava channels, study lava structures and classify regions of varying activity. Hyper spectral sensors (EO-1 HYPERION), though with limited area coverage, gave good indication of vent and lava temperature and effusion rates. All available radar imagery (SENTINEL-1, RADARSAT, COSMO SKYMED, TERRASAR X, TANDEM X) were used for studying lava extent, landscape and roughness. The Icelandic Coast Guard provided high resolution radar and thermal images from reconnaissance flights on a number of occasions. These data sources complemented each other well and improved analysis of events. Whilst classical TIR channels were utilized to map the temperature history of the lava, SWIR and NIR channels caught regions of highest temperature, allowing an estimate of the most active lava channels and even indicating potential changes in channel structure. Combining thermal images and radar images took this prediction a step further, improving interpretation of both image types and studying the difference between open and closed lava channels. Different methods on estimating magma discharge were tested, for use in real time as well as for understanding the different phases of the eruption.

During the eruption, these efforts supported mapping of the extent of the lava every 3-4 days on average and underpinning the time series of magma discharge calculations. Emphasis was on communicating all information to relevant authorities and the public. Collaboration with USGS and NASA proved essential for acquiring relevant data in real time.

Magnetic polarity map of Akrafjall and Skarðsheiði and new ^{40}Ar - ^{39}Ar age dating from West Iceland

Jóhann Helgason¹, Robert A. Duncan², Hjalti Franzson³, Ágúst Guðmundsson⁴ og Morten Riishuus⁵

¹Landmælingar Íslands, Akranesi, ²College of Earth, Ocean, and Atmospheric Sciences, Corvallis, USA, ³ÍSOR, Reykjavík, ⁴Geoice, Jarðfræðistofan, Hafnarfirði, ⁵University of Iceland.

Paleomagnetic data exists for stratigraphic profiles throughout Iceland. Much work, however, remains to be done on mapping the country's magnetic chrons. By correlating magnetic chrons with the Earth's geomagnetic time scale a reasonable age estimate can be obtained for vast stratigraphic sequences. Basalt lavas in Iceland amount to tens of kilometers in thickness. Thus the strata offer, through the help of paleomagnetism and radiometric dating, a detailed timing of events in the evolution of a mantle plume region.

In Iceland, various paleomagnetic studies, stratigraphic field mapping, student projects and research for potential hydroelectric dam sites, have gradually built up an extensive database during the last 60 years. This has set the stage for joining adjacent study areas through correlations and laid the foundation for large scale mapping of magnetic chrons in Iceland.

Eftirlit með jarðhræringum í Bárðarbungu

Kristín Jónsdóttir og Eftirlitsteymið á Veðurstofu Íslands,
Vísindamannaráð, FutureVolc-teymið

Veðurstofa Íslands

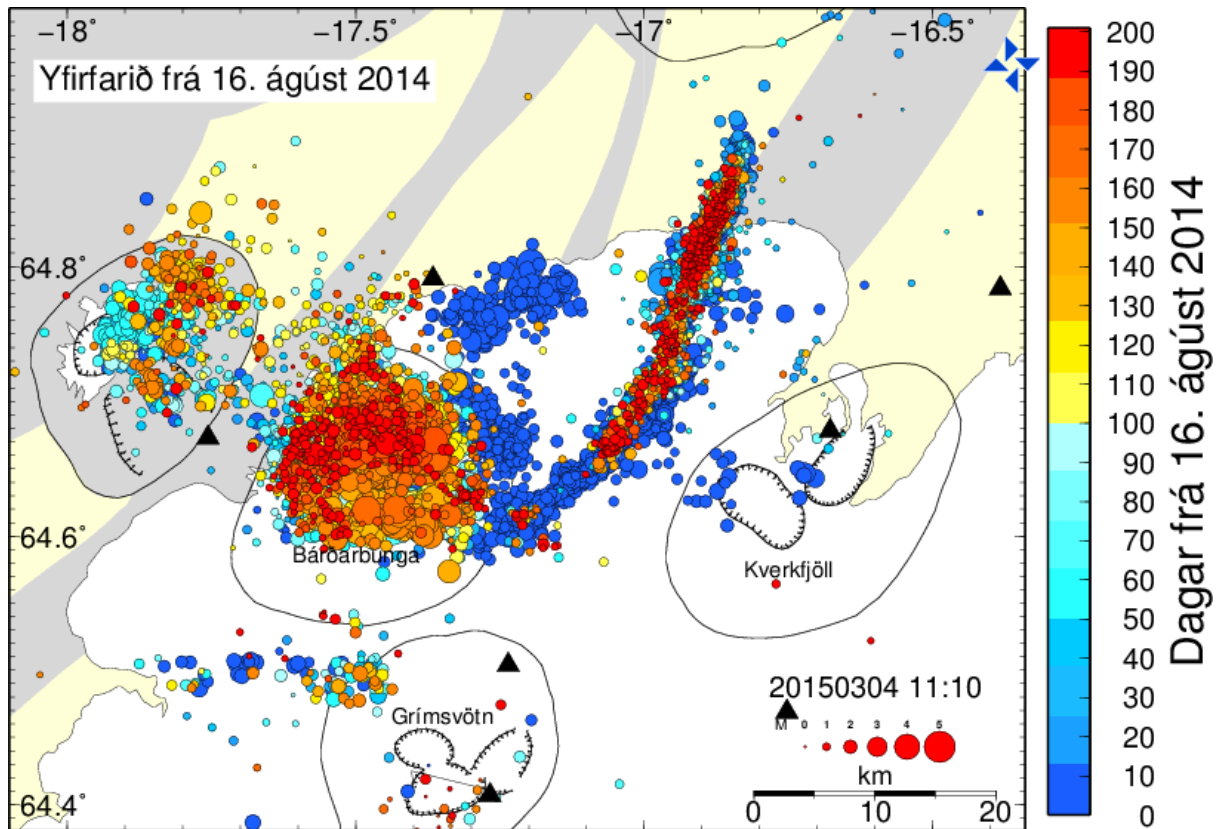
Öflug jarðskjálftahrina hófst í Bárðarbunguöskjunni þann 16. ágúst 2014. Á næstu tveimur vikum myndaðist 48 km langur kvikugangur í jarðskorpunni undir Vatnajökli, frá öskjunni í austnord austur og norður, þar sem flæðigos hófst í Holuhrauni í lok ágúst. Þetta eldgos er orðið það stærsta í yfir 200 ár á Íslandi. Framgangur gliðunarinnar gekk í lotum með misjöfnum hraða og allmörgum sinnum greindist lágtíðniórói á jarðskjálftamælum, þ.e. gosórói vegna lítilla eldgosa undir jökli. Afleiðing þeirra var m.a. myndun fjögurra sigkatla í jöklinum. Ekki löngu eftir að jarðskjálftahrinan hófst byrjaði öll askja Bárðarbungu (7x11 km) að síga og seig rúma 60 m í heildina. Hægt dró úr hraða sigsins og því lauk um sama leiti og gosið hætti, þann 27. febrúar 2015.

Þegar eldfjöll undir jökli láta á sér bæra er ávallt þörf á þverfaglegu átaki og teymisvinna skiptir höfuðmáli fyrir skilvirka vöktun. Frá því vöktun hófst með stafrænum mælitækjum, snemma á tíunda áratug síðustu aldar, hefur það gerst sex sinnum að eldvirkni hefur orðið vart undir jökli. Í hvert skipti hefur vöktunargeta, túlkun gagna, samskipti og miðlun upplýsinga tekið framförum.

Almannavarnadeild ríkislögreglustjóra kallar saman ráð sérfræðinga og vísindamanna, Vísindamannaráð, sem deilir þekkingu sinni og veitir ávallt nýjustu upplýsingar um stöðu mála; núverandi ástand eldstöðvarinnar, mögulegar hættur og líklegustu sviðsmyndirnar. Framvinda gliðunarinnar var vöktuð í rauntíma með jarðskjálftavirkni og cGPS aflögunarmælingum. Meðan gangurinn var enn í myndun, voru ný, uppfærð líkön af rúmmáli hans lögð fyrir Vísindamannaráðsfundina, oft daglega. Ör þróun gangsins kallaði á hröð viðbrögð; það varð að setja upp nýjar jarðskjálfta- og GPS-stöðvar til þess að geta fylgst betur með framgangi hans. Sig öskjunnar kallaði á frjóa hugsun sem leiddi til þeirrar nýbreytni að háhraða cGPS tæki ásamt hröðunarnema voru sett upp í miðju öskunnar, beint á jökulísinn og sendu tækin gögn í rauntíma (hefðbundin uppsetning slíkra tækja er á föstu bergi). Ennfremur voru sérstakir jöklajarðskjálftamælar, sem eru hannaðir fyrir breiðbands mælingar á jökulum, settir upp í tengslum við Futurevolc verkefnið sem á stóran þátt í að hafa bætt mælanet á svæðinu. Í reglubundnu eftirlitsflugi er fylgst með breytingum á jökulyfirborðinu og mikilvægra gagna aflað, m.a. um aflögun öskjunnar.

Niðurstöður rauntímavöktunar og túlkun jarðeðlisfræðilegra gagna var gerð aðgengileg almenningi. Bæði sjálfvirkar og yfirfarnar staðsetningar jarðskjálfta eru birtar á kortum á vef Veðurstofunnar, sem uppfærast á fimm mínútna fresti (sjá mynd). Sama gildir um tímaráðir cGPS mælinganna, svo og kort með vigrum sem sýna aflögunina ásamt jarðskjálftum en tímasetning skjálftanna er litakóðuð; þetta allt er enn aðgengilegt almenningi á vefnum.

Í erindinu verður atburðarás og eftirlitinu, í tengslum við umbrotin í Bárðarbungu veturinn 2014-2015, lýst.



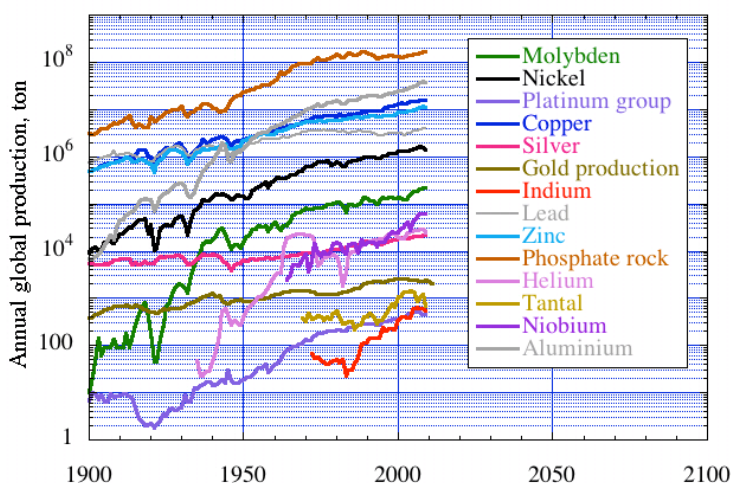
Mynd: Jarðskjálftavirgni á umbrotasvæðinu. Jarðskjálftar eru merktir með hring. Litaskalinn til hægri telur daga sem liðnir eru síðan þessir atburðir hófust, 16.09.2014. Elstu jarðskjálftarnir eru því táknadír með dökkbláum hring en yngstu jarðskjálftarnir með rauðum hring. Stærð hringjanna endurspeglar stærð skjálftanna. Þetta kort er dæmi um reglulega uppfærðar upplýsingar sem voru gerðar aðgengilegar á vef Væðurstofu Íslands.

Mat á endingu auðlinda jarðar

Kristín Vala Ragnarsdóttir¹, Deniz Koca², og Harald Sverdrup³

¹Jarðfræðistofnun Háskóla Íslands, ²Centre for Environmental and Climate Research, Lund University, ³Iðnaðarverkfræði, vélaverkfræði og tölvunarfræðideild Háskóla Íslands

Það var Thomas Robert Malthus (1766-1834) sem hóf máls á að fólksfjölgun geti leitt til hungursneyða og sjúkóma. Fáir voru að hlusta á viðvaranir hans við auðlindatakmörkum og fólksfjölgun. Tveimur öldum síðar fékk Rómaklúbburinn teymi vísindamanna við MIT háskólann í Bandaríkjunum til að vinna rannsóknir sem leiddu til skýrslunnar *Takmörk vaxtar* (Meadows og fl. 1972). Í úrvinnslunni nýttu höfundar kvik kerfislíkön til að sýna afleiðingar samspils veldisvaxtar fólksfjölgunar og takarkaðra auðlinda. Ýmsir drógu líkan höfundanna í efa, en nú 40 árum síðar reynist líkanið hafa staðist tímanna tönn (Turner 2012). Líkan Meadows og félaga var unnið með bestu tölvutækni síns tíma og í þeim er öllum auðlindum skellt saman í einn þátt, þar á meðal jarðefnaeldsneyti.



Mynd 1. Vinnsla 14 auðlinda frá árinu 1900 til 2010. Eins og sjá má þá hefur aukningin verið í veldisvexti (bein lína á lógargrafi) í sl. 110 ár. Sverdrup og fl. (2013).

Fólksfjölgun á jörð-inni hefur verið í veldisvexti síðan árið 1900 og aukist á þeim tíma frá 1.6 í 7.3 milljarða. Með fólks-fjölgun eykst nýting á auðlindum einnig með veldisvexti eins og sjá má á mynd 1. Jarðfræðingar vita að við búum á takmarkaðri jörð með takmörkuðum auðlindum. Þetta virðast flestir hagfræðingar ekki

gera sér grein fyrir og því heyrst endalaust tal um mikilvægi hagvaxtar með hverju árinu. Grunnur hagvaxtar er auðlindanýting. Spurning er því, er unnt að auka framleiðslu óendurnýjanlegra auðlinda endalaust?

Í okkar vinnu höfum við nýtt núverandi tölvutækni og gagnagrunna og yfir 40 náttúruauðlindir eru metnar hver fyrir sig. Við höfum metið hve lengi auðlindir muni nýtast á fjóra máta, sem allar aðferðirnar benda til sömu niðurstöðu: Tuttugasta og fyrsta öldin er sá tími í mannkynsögunni þar sem hámarksframleiðsla nær allra auðlinda mun verða, og auðlindaþverrun er óumflýjanleg.

Aðferðafræði

Þær aðferðir sem við höfum nýtt okkur eru: Áframhald án breytinga, tími milli hámarksfundar auðlindar og hámarksframleiðslu hennar, Húbertkúrfur, og kvik kerfislíkön. Hér að neðan er stutt lýsing á hverri aðferðinni fyrir sig. Nánari lýsingar eru að finna í Sverdrup og fl. (2013).

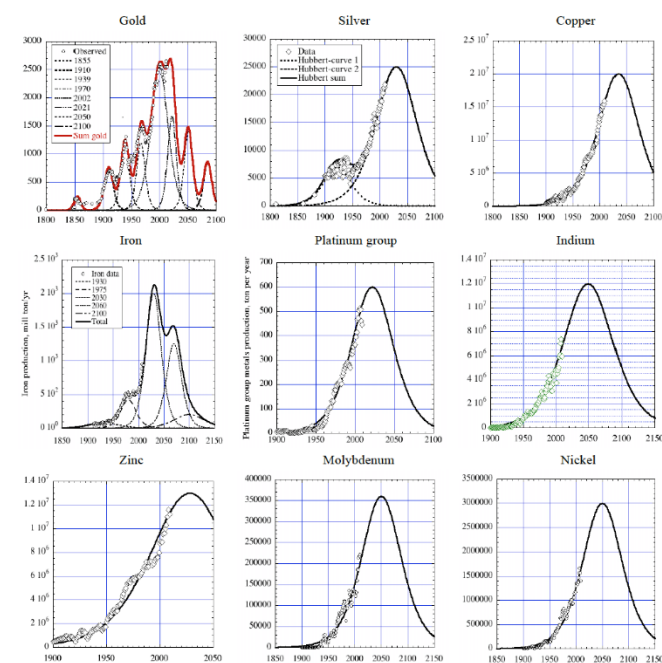
Áframhald án breytinga er aðferð þar sem gert er ráð fyrir að við nýtum þær auðlindir sem við eigum á sama máta og nú á tímum. Þannig að þá tökum við núverandi forða deilum í með núverandi notkun á ári og úr því fæst hve lengi forðinn endist. Þessi aðferðafræði er sýnir stærðargráðu vandans (Ragnarsdóttir 2008; Ragnarsdóttir og fl. 2012).

Tímabil milli hámarksfundar og hámarksframleiðslu á auðlind er söguleg athugun á því hve mörg ár séu á milli þessara atburða. Tímabilið er 40 ár.

Húbbertkúrfur eru framleiðslukúrfur auðlindar, þar sem söguleg framleiðsla er plottuð sem fall af tíma. Þessi aðferðafræði kemur frá olújarðfræðingum King Hubbert (1956) og segir til um hve lengi auðlindin endist ef framleiðsluferillinn og forðinn eru þekktar stærðir (mynd 2). Nóg er að þekkkja um 30% framleiðsluferilsins.

Kvik kerfislíkön eru byggð upp á orsaka- og afleiðingasamhengi innan ákveðins kerfis, með diffurjöfnur sem tengja hvern þátt. Þetta er sama aðferðafræðin og Donella og Dennis Meadows notuðu í sinni rannsókn (Meadows og fl. 1972).

Niðurstöður



Mynd 2. Húbbert framleiðslu-kúrfur fyrir níu málma. Sverdrup og fl. (2013).

Mynd 2 sýnir að hámarks-framleiðsla gulls var árið 2000 en hámarks-framleiðsla hinna átta málmana verður á milli 2025 og 2050. Gert er ráð fyrir að við nýtum málmana eins og nú er gert. Ólíkt um olú sem var í hámarks-framleiðslu 2006-2007 (Alekkett og fl. 2012), eru þetta endurvinnanlegir málmar þannig að ef settar eru strangar reglugerðir um endurvinnslu þá geta málmar-nir enst miklu lengur. Unnt er að sýna fram á hve mikið lengur málmur endist ef endurvinnsla er gerð, og okkar vinna bendir til þess að nauðsynlegt sé að endurvinnna yfir 90% af öllum málmu í þjóðfélaginu til þess að málmar-nir endist

fram á næstu aldir (Sverdrup og fl. 2013; Sverdrup og Ragnarsóttir 2014).

Okkar sögulega greining sýnir að það er bein tenging á milli hámarksframleiðslu náttúruauðlinda þjóðar og hámarksauðs hennar, þannig að efnahagshnignun byrjar einum til tveimur áratugum eftir hámarksframleiðslu auðlinda.

Heimildir

- Alekkett K. and Qvennerstedt O. (2012) *Peeking at Peak Oil*. Springer. Heidelberg. 335 pp.
- Hubbert M. K. (1956) *Nuclear Energy and the Fossil Fuels*. Publication no. 95, Shell Development Company. Exploration and productions research division, Houston Texas.
- Meadows D.H., Meadows D.L., Randers J. and Behrens W. (1972) *Limits to Growth*. Universe Books.
- Turner G. (2012) On the Cusp of Global Collapse? *GAIA Ecological Perspectives for Science and Society* 21(2), 116-124.
- Ragnarsdóttir K.V. (2008) Rare metals getting rarer. *Nature Geoscience* 1, 720-721.
- Ragnarsdóttir K.V., Sverdrup H.U. and Koca D. (2012) Assessing Long Term Sustainability of Global Supply of Natural Resources and Materials. In C. Ghenai (ed.) *Sustainable Development. Energy, Engineering and Technologies - Manufacturing and Environment*. Chapter 5. Pp 83-116.
- Sverdrup H.U., Koca D. and Ragnarsdóttir K.V. (2013) Peak metals, minerals, energy, wealth, food and population. Urgent policy considerations for a sustainable society. *Journal of Environmental Science and Engineering* 2 (4B), 189-222.
- Sverdrup H.U. and Ragnarsdóttir K.V. (2014) Natural resources in a planetary perspective. *Geochemical Perspectives* 3(2), í prentun.

Kvikugangurinn og óróahviðurnar á leið hans frá Bárðarbungu til Holuhrauns – Greining smáskjálftagagna

Kristín S. Vogfjörð, Gunnar B. Gudmundsson, Kristín Jónsdóttir, Martin Hensch og Sölvi Þrastarson

Veðurstofa Íslands, Reykjavík.

Bárðarbunga, eins og aðrar eldstöðvar í vestanverðum Vatnajökli hefur sýnt merki um vaxandi smáskjálftavirkni frá árinu 2005. Sú virkni hefur að mestu einskorðast við svæðið norðan öskjurimans og sprungusveiminn norður að Kistufelli og er dýpi þessarar virkni að mestu minna en 8 km. Þó hefur mælst viðvarandi virkni frá því upp úr aldamótum suðaustan öskjunnar, í lóðréttir rás frá um 20 dýpi og upp í efri skorpu. Þessi virkni náði hámarki árið 2013.

Aðfararnótt 16 ágúst árið 2014 hófst mikil smáskjálftavirkni við Bárðarbunguöskjuna norðanverða og í sprungusveimunum þar norður af. Skjálftavirknin hljóp þó fljótt út úr öskjunni til suðausturs, þar sem hún tók snögga beygju til norðausturs yfir lóðréttu rásinni. Þaðan æddi virknin áfram með skrykkjum til norðausturs, á hraða frá nokkur hundruð m/klst upp í yfir 1 km/klst. Á 11 dögum náði skjálftavirknin norður í Holuhraun, norðan Dyngjujökuls og hafði þá ferðast um 48 kílómetra þegar útbreiðslan stöðvaðist. Virknin hélt þó áfram og er enn í gagni þegar þetta er skrifað, þó dregið hafi verulega úr henni.

Skjálftavirknin endurspegladi ferð lárétts kvikugangs frá Bárðarbunguöskjunni út í Holuhraun, þar sem gos hófst á þrettánda degi, þann 29 ágúst. Það gos lifði stutt, en annað öflugra hófst nokkru norðar tveim dögum síðar, þann 31 ágúst og stóð það fram til 27. febrúar 2015. Mitt í þessari atburðarrás, eða þegar gangurinn sat tímabundið fastur á leiðinni í Holuhraun, mældust margra klukkustunda langar óróahviður á jarðskjálftamæla. Fyrsta hviðan varð 23. ágúst og önnur þann 3. september. Gerð óróans svipaði mjög til fyrri merkja sem mælst hafa á mælakerfi Veðurstofunnar þegar kvika kemst í snertingu við ís og sáust merki um það nokkrum dögum síðar þegar sigkatlar fundust yfir kvikuganginum á Dyngjujökli. Á meðan á þessu stóð var einnig mikil skjálftavirkni við öskjurima Bárðarbungu, en þar mældust einnig stærri skjálftar, eða yfir 70 skjálftar yfir 5 að stærð á fyrstu fjórum mánuðunum. Úr þeirri virkni fór að draga í desember og í mars 2015 mælast þar einungis smáskjálftar.

Háupplausnastaðsetningar (*e. relative relocations*) smáskjálfta við Bárðarbungu skerpa mjög myndina af dreifingu og hegðun skjálftavirkni undanfarinna ára fram að upphafi atburðanna 16. ágúst. Þar sést að virkni seinustu ára er öll norðan öskjurimans og einnig í lóðréttu rásinni suðaustan öskjunnar. Ferill kvikugangsins frá Bárðarbungu, eins og honum er lýst með framrás skjálftavirkinnar, er einnig kortlagður mjög nákvæmlega, þar sem hann stekkur til og tekur skarpar beygjur á leið sinni á gosstöðvarnar. Niðurstöður skjálftakortlagningarinnar og greining skjálftaóróans verða kynntar sem og túlkun þeirra.

Nokkrir þættir úr sögu bergfræðismásjáa

Leó Kristjánsson

Jarðvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík

Skautunarsmásjár (polarizing microscopes) hafa löngum verið meðal helstu rannsóknatækja raunvísindamanna. Ekki síst hafa þær gagnast jarðfræðingum við skoðun þunnisneiða af bergsýnum, og eru þá kallaðar bergfræðismásjár (petrographic microscopes). Í þær var nær ómissandi að nota prismu úr silfurbergi. Stórir silfurbergskristallar brúklegir til framleiðslu á slíkum prismum fundust ekki í umtalsverðu magni nema við Helgustaði í Reyðarfirði, fram til 1920. Námuvinnsla stóð þar frá 1850 til 1924 með hléum, og var öflugust á árunum 1863-72.

F. Arago fann 1811 að þynnur úr kristölluðum litlausum efnnum eins og maríugleri virtust litaðar, ef þær voru skoðaðar í því "skautaða" afbrigði af ljósi sem þá var nýuppötvað. Til að framkalla þessa tegund ljóss voru síðan sitt á hvað notaðir silfurbergskristallar, glerspeglar, eða þynnur af turmalini. D. Brewster sá 1813 lita-rendur og krossa birtast í plötum úr ýmsum kristöllum í samleitnu (convergent) skautuðu ljósi. Það fyrirbrigði átti eftir að hjálpa mjög við greiningu steinda; frá sjötta áratugnum voru þróaðar til þess smásjár með lítilli stækkun kenndar við J. Nörrenberg, og svonefndar kross-sjár (stauroscopes). Meðal annarra gerði A. Des Cloizeaux umfangsmiklar rannsóknir í steindafræði með þesskonar tækjum frá um 1855.

1829 lýsti W. Nicol aðferð til að fá aðeins einn skautaðan geisla úr samsettu silfurbergsprisma; það var mun þægilegra en að vera með tvo geisla sem yfirleitt sköruðust. Fyrstir til að nota ljósskautun í smásjám voru G.B. Amici og H.F. Talbot upp úr 1830, báðir með silfurbergi. Aukabúnaður úr því eða öðru til skautunar var síðan auglýstur talsvert af smásjáa-framleiðendum, og notaður af ýmsum líffræðingum og áhugamönnum. H.C. Sorby og A. Oschatz voru farnir að skoða gegnsæjar þunnisneiðar bergsýna í smásjám um 1851, en aðrir jarðfræðingar tóku lítt við sér í þeim málum fyrr en eftir 1863. Einkum hóf þá F. Zirkel að sýna fram á það í greinum og bókum, hvernig mætti verða margs vísari úr slíkum sneiðum (0,03-0,04 mm) með skautuðu ljósi. R. Fuess smíðaði líklega fyrstu smásjárnar sem sérhannaðar voru með innbyggðum Nicol-prismum gagnert til þunnisneiðarannsókna í bergfræði, fyrir P. Groth og H. Rosenbusch um 1870.

Um miðjan 8. áratuginn upphófst blómaskeið í smásjár-bergfræði, sem stóð vel fram á 20. öldina. Niðurstöður rannsókna á því sviði breyttu hugmyndum manna bæði í bergfræðinni, í jarðfræði og eðlisesnafræði almennt, jarðefnaleyti og víðar. Um og upp úr 1880 var vaxandi framboð á skautunar-smásjám frá verkstæðum í Þýskalandi (R. Fuess, Voigt & Hochgesang, C. Zeiss,...), Englandi (J. Swift & Son, R.&J. Beck,...), Frakklandi (A. Nacet,...) og Austurríki (C. Reichert). Smám saman þróuðust einnig ýmsir aukahlutir úr silfurbergi og öðrum steindum fyrir smásjárnar, upphitunarbúnaður, sýningarvélar, veltiborð og önnur flókin tæki til nákvæmra athugana á stökum kristöllum. Sitthvað er enn óljóst um vinnslu silfurbergsins eystra, útflutning þess, og höndlun með það erlendis. Framleiðendur ljóstækja og vísindamenn kvörtuðu iðulega um skort og verðhækkningar á þessum ómissandi efniviði.

Heimildir:

Greinar, skýrslur, erindi og aðrar samantektir á http://raunvis.hi.is/~leo/vef_rit_icelandspar.html

Verndun jarðminja, ProGEO ráðstefna í Reykjavík 8.-12. september 2015

Lovísa Ásbjörnsdóttir og Kristján Jónasson,

Náttúrufræðistofnun Íslands

Alþjóðleg ráðstefna um verndun jarðminja verður haldin í Reykjavík dagana 8.-12. september á þessu ári. Samtökin ProGEO standa að ráðstefnunni, en þau hafa það sem megin markmið að efla vernd jarðminja og miðla þekkingu og fróðleik um mikilvægi þess. Yfirskrift ráðstefnunnar er „**Geoconservation strategies in a changing world**“. Samtökin vinna náið með Alþjóða jarðfræðisambandinu (IUGS) og Alþjóða náttúruverndarsambandinu (IUCN), auk þess að taka þátt í útgáfu ritsins Geoheritage. Náttúrufræðistofnun Íslands hefur verið meðlimur í samtökunum síðustu þrjú ár og hefur tekið að sér að skipleggja ráðstefnuna í Reykjavík í samráði við stjórn ProGEO. Nokkrar íslenskar stofnanir og félagasamtök hafa lýst yfir stuðningi við ráðstefnuna, þar á meðal Jarðfræðifélag Íslands sem tekur þátt í undirbúningi.

Þegar jarðminjum er raskað er í flestum tilfellum um að ræða óafturkræfar aðgerðir. Á Íslandi er brýn þörf á að vekja athygli á verndun jarðminja og upplýsa almenning og stjórnvöld um mikilvægi þess. Vonast er til að ráðstefnan verði til þess að efla þessa umræðu hér á landi.

Frekari upplýsingar um ProGEO má finna á vef samtakanna <http://www.progeo.se> og þar er einnig upplýsingar um ráðstefnuna í Reykjavík 8.-12. september 2015.

The Vonarskarð Geothermal System: an oasis in the desert

Nicole S. Keller¹, Andri Stefánsson¹, Snædís Björnsdóttir², Sólveig K. Pétursdóttir², Haukur Jóhannesson, Guðmundur Ómar Fridleifsson³, Guðmundur Óli Hreggviðsson^{2,4}, Hanna Kaasalainen¹ and Jóhann Gunnarsson Robin¹.

¹Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Reykjavík, Iceland

²MATÍS, Reykjavík, Iceland

³HS Energy, Reykjanesbæ, Iceland

⁴Institute of Biology, University of Iceland, Reykjavík, Iceland

The Vonarskarð Geothermal System is nestled inside the Vonarskarð Caldera, one of Central Iceland's central volcanoes. Compared to other systems in the highlands of Iceland, there is an unusually large surface water flow, which, combined with an enhanced geothermal gradient provided by the caldera structure, gives rise to an unusually diverse and active geothermal area. The surface manifestations consist of hot (boiling and sub-boiling) springs, hot streams, steam vents and extensively altered ground. The abundance of geothermal water gives rise to rich and diverse microbial activity, with thick, colorful microbial mats in springs and streams. Here we present an overview of the geochemistry of surface geothermal waters at Vonarskarð, in relationship to the geological history of the area and in conjunction with the microbial diversity.

Samples were collected from the various surface geothermal features within the Vonarskarð caldera. Based on their chemical composition, the sampled waters can be subdivided in three broad categories: (1) alkaline waters with, high Cl, Si and Na concentrations, thought to represent the geothermal reservoir fluid that has risen to the surface and undergone depressurization boiling on its way up, (2) steam-heated acid waters, which form as the geothermal steam, rich in volatiles such as H₂S, CO₂ and H₂, condenses into surface water and in which H₂S has undergone oxidation and formed sulfuric acid, thus characterized by low pH, and (3) steam-heated neutral waters that are steam-heated waters mixed with a relatively high proportion of non-thermal water, characterized by mildly acidic to neutral pH and high H₂S, CO₂ and H₂ contents.

Vonarskarð is thought to have been active throughout the last glacial age, including sustained subglacial geothermal activity. During glacial times, the pressure from the overlying glacier gave rise to high-temperature and high-pressure geothermal alteration, characterized by extensive alteration and impermeable rock formation. Since the glacial retreat, this high grade alteration at shallow depth has resulted in an unusually high groundwater table. Thus, the Vonarskarð area displays a high volume of neutral steam-heated waters (i.e. steam-heated acid waters mixed with a large proportion of run-off), which represent a favorable environment for micro-organisms to thrive, as readily seen by an impressive overall mass of microbial mats and high diversity when compared to other Icelandic geothermal systems.

The unliklyhood of shallow lateral magma dyking during the Bárðarbunga 2014 activity

Olgeir Sigmarsson^{1,2}, Guðmundur Guðfinnsson¹, Sæmundur A. Halldórsson¹

¹Institute of Earth Sciences, University of Iceland, ²Laboratoire Magmas et Volcans, Université Blaise Pascal - CNRS Clermont Ferrand, France

Basaltic fissure eruptions occurring several tens of km away from central volcanoes in Iceland are interpreted to reflect either lateral magma migration from a shallow magma chamber beneath the central volcano, or semi-vertical dyke propagation from greater depths under the associated fissure swarm. During the Krafla Fires (1975-1984) basalts emitted, on the one hand, within the caldera of the central volcano and, on the other, within the fissure swarm north of the caldera had different composition (Grönvold et al., 2008). During the subglacial eruption at Gjálp (1996), halfway between Grímsvötn and Bárðarbunga, the erupted magma had identical isotope ratios as magmas of the former volcanic system, but different from those of the latter system (Sigmarsson et al., 2000), despite the precursor earthquakes which originated at Bárðarbunga and propagated towards the eruption site at Gjálp. Nevertheless, the geochemical fingerprints strongly suggest that lateral magma migration over tens of km is an unlikely process in these cases.

The spectacular lateral migration of seismicity from 16 August to 29 August and the associated ground deformation has been interpreted to reflect a lateral dyke injection over 45 km, from a shallow magma chamber beneath the Bárðarbunga central volcano to the eruption site forming the new Holuhraun lava (Sigmundsson et al., 2015). The isotope ratio of Sr of the new lava is identical to that of Holocene lavas and tephra produced at the Bárðarbunga Volcanic System, confirming uniform Sr isotope ratios at this volcanic system. Thermodynamic equilibrium between minerals and magmatic liquid indicates that the erupted olivine tholeiite originated from more than 10 km depth at a temperature of approximately 1180 °C. Basaltic magma this hot is not likely to have been stored in a shallow magma chamber before migrating laterally at shallow depth over 40 km beneath the fissure swarm.

Basalt magmas, crystallizing at variable depth, should have different trace element composition caused by the effect of pressure on the crystallizing mineral assemblage, with clinopyroxene proportions decreasing with decreasing depth. The parental magma of Bárðarbunga and Holuhraun is likely to have similar composition as primitive olivine tholeiites of the nearby Kistufell table mountain, argued to be close to that of a primary mantle melt (Breddam, 2002). Over two-fold increase in highly incompatible element concentrations in Holuhraun relative to Kistufell suggests that approximately 50% fractional crystallization is needed to derive the Holuhraun basalt. At low pressure, the crystallizing assemblage will be dominated by olivine and plagioclase in the approximate proportions 0.75:0.25 whereas at approximately 15 km depth olivine, plagioclase and clinopyroxene will crystallize in almost equal proportions (1/3:1/3:1/3). Shallow fractional crystallization will generate Ni/Sr in the range 0.016-0.025, whereas deep fractionation will produce a magma with an order of magnitude higher ratio, or 0.34-0.57, due to the enhanced fractionation of clinopyroxene relative to olivine. A more drastic difference is observed for the Sc/Ni, which principally reflects the change in the clinopyroxene to olivine proportion in the crystallizing assemblage. At low pressure, Sc/Ni will be in the range 19-31 whereas at higher pressure this ratio of the derived magma will be much lower or in the range 0.57-0.93. The measured Ni/Sr and Sc/Ni in

the new Holuhraun are 0.38 and 0.79, respectively, within the range generated by fractional crystallization at 15 km depth: in sharp contrast to values produced at shallow depth.

These results strongly suggest crystal fractionation at depth with substantial amount of clinopyroxene fractionation relative to that of olivine and plagioclase, and thus contradict the proposition of a shallow magma transfer during the 2014 Bárðarbunga rifting event.

References

- Breddam, K., Kistufell: primitive melt from the Iceland mantle plume. J.Pet. 2002
- Grönvold, K. et al., Isotopic systematic of magma movement in the Krafla central volcano, North Iceland. Goldschmidt Conference Abstract, 2008.
- Sigmarsson et al., The 1996 and 1998 subglacial eruptions beneath Vatnajökull glacier in Iceland: contrasting geochemical and geophysical inferences on magma migration. Bull. Volc., 2000.
- Sigmundsson, F. et al., Segmented lateral dyke growth in a rifting event at Bárðarbunga volcanic system, Iceland. Nature 2015.

Flug yfir Heklu: Ónauðsynleg áhætta í áætlunarflugi

Páll Einarsson

Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík

Vakin er athygli á áhættu sem tekin er með óvenju tíðum ferðum farþegaflugvéla beint yfir topp Heklu. Hér er ekki verið að tala um hina almennu hættu sem stafar af því að fljúga yfir virkt eldfjall. Á Íslandi eru um 30 slík og lítil áhætta við að fljúga yfir þau flest. Hekla er sérstök af þremur ástæðum:

1. Hekla er óvenju vinsæl meðal flugmanna. 10-20 stórar farþegavélar fara beint yfir fjallið á degi hverjum, sennilega varlega áætlað. Ekkert annað eldfjall nálgast þessa tíðni.

2. Hekla hefur verið að undirbúa gos síðan síðasta gosi lauk, þ.e. árið 2000. Jarðeðlisfræðilegar mælingar benda til þess að þrýstingur undir fjallinu hafi hækkað stöðugt allan þennan tíma og sé núna hærri en hann var fyrir að minnsta kosti tvö síðustu gos, 1991 og 2000. Þetta þarf ekki að þýða að gos sé alveg á næsta leiti en gera verður ráð fyrir að fjallið geti gosið áður en mörg ár líða.

3. Mælanlegur fyrirvari gosa er óvenju stuttur í Heklu, 23-79 mínútur samkvæmt reynslu frá gosunum 1970, 1980, 1991 og 2000. Flest önnur eldfjöll hafa sýnt lengri fyrirvara. Gosið 2000 er eina gos Heklu þar sem gefin var út aðvörðun áður en gosið kom upp, enda var fyrirvarinn lengstur þá, 79 mínútur. Ekki er tryggt að hægt verði að gefa út viðvörðun á undan næsta gosi. Við þetta bætist að byrjunarfasi Heklugosa er venjulega öflugur og gosstrókurinn rís hratt. Rishraði stróksins er einnig hærri við það að enginn jökull er á fjallinu til að tefja uppdrif hans. Almennar reglur og vinnulag í sambandi við flug og eldgos duga því tæpast hér, þótt þær geti verið gagnlegar við önnur eldfjöll. Hætta er á að grunlaus flugmaður geti flogið inn í gosstrókinn með skelfilegum afleiðingum. Minna má á að litlu munaði að svo færi í gosbyrjun 17. ágúst 1980.

Þegar allt þetta er skoðað í samhengi verður að telja marktækar líkur á því að næsta gosbyrjun í Heklu geti valdið flugslysi ef ekkert er að gert. Þessu er auðvelt að breyta með því að færa flugleiðina yfir Heklu um 10 km sunnar eða norðar, þannig að hún liggi ekki yfir topp fjallsins. Leiðin virðist stjórnað af leiðarpunkti við hnitakrossinn 64°N og 20°V sem staðsettur er nálægt Leirubakka í Landssveit.

Mapping of fracture systems in the Reykjanes Peninsula Oblique Rift near Reykjavík

Páll Einarsson, Ásta Rut Hjartardóttir, Sigríður Björgvinsdóttir, and students of the course Current Crustal Movements in the Faculty of Earth Sciences, University of Iceland 2014

Institute of Earth Sciences, Sturlugata 7, 101 Reykjavík

Field exercises are conducted every year in the course Current Crustal Movements at the University of Iceland. The purpose is to train students in field work, expand their experience with fault structures and evidence of crustal movements under field conditions. The field exercises in 2014 were conducted within the Krísuvík and Brennisteinsfjöll Fissure Swarms in the vicinity of Reykjavík. The objectives are twofold: 1) To produce a surface fracture map and give an overview of the different styles of faulting in the plate boundary segment of the Reykjanes Peninsula, and 2) to gather data on fault throw on as many faults as possible in this area. Numerous transects across faults were measured by carrying a GPS-receiver across the faults.

The Reykjanes Peninsula Oblique Rift is a branch of the mid-Atlantic plate boundary and has an over-all trend of 70° . The plate boundary, as defined by the zone of seismicity, is highly oblique with respect to the spreading direction, which is 104° in this region. The fissure swarms of individual volcanic systems have a NE-trend, oblique to the plate boundary. The fissure swarms therefore fade out towards the NE and SW as they extend into the plates on either side. Overprinting this pattern of fissure swarms is a system of many parallel strike-slip or oblique-slip faults with a N-S strike, so called bookshelf faults, that appear to be the source faults of the largest earthquakes in the vicinity of Reykjavík.

The field studies in 2014 were focused on the following issues:

1. Determine fault throw of normal faults of the Brennisteinsfjöll swarm in the Bláfjöll area. Throws in the range 0-6 m were measured. Many fractures were primarily fissures, i.e. with very little vertical offset.
2. Determine the vertical offset of a right-lateral and oblique Kóngsfell Fault in the Bláfjöll area. The vertical offset varies considerably along the strike of the fault but the western wall of the fault is down-thrown, in most places about 1-2 m, but occasionally reaching 6 m.
3. Determine fault throw of normal faults of the Brennisteinsfjöll swarm in the Sandskeið area. Throws in the range 3-8 m were measured on faults bounding the Sandskeið Graben on the east side.
4. Make transects across an eroded part of the Krísuvík fissure swarm in the outskirts of Reykjavík at Rauðavatn. The fractures can be located by the transects but the offset on them is difficult to estimate because of erosion.

Hvers vegna virkar Landeyjahöfn ekki? Kemur jarðfræðafélaginu það við?

Páll Imsland

Forsendur sem byggt er á

Landeyjahöfn hefur verið vandráðafyrirbæri allt frá upphafi. Hér verða raktar náttúrufarslegar ástæður þess. Meginforsendan fyrir staðsetningu hafnarinnar er sú að þarna sé ölduhæð lægst við ströndina, en engin úttekt fór fram á því hvaða strandjarðfræðileg ferli og náttúrufarsleg þróun er þarna í gangi. Forsendur þær sem ákvarðanataka um byggingu Landeyjahafnar er byggð á eru öldulíkanreikningar en jarðfræðileg þekking er með öllu sniðgengin.

Hér verður greint frá því, hver þau náttúrufarslegu ferli eru sem stýra þróun á strandsvæðinu og valda því að höfnin virkar ekki og mun ekki virki í framtíðinni.

Í framhaldi af því er spurt um hlutverk jarðfræðafélagsins í svona tilvikum.

Tvenns konar ferli ráða mestu um þróun strandarinnar

Öldusveigja

Staðsetning Vestmannaeyja úti fyrir ströndinni veldur öldusveigju. Eyjarnar draga úr ölduhraða þannig að aldan austan og vestan eyjanna fer hraðar en á styttestu leiðinni beint á milli Eyja og lands svo að aldan sveigir inn í skjólið. Suðlæggar áttir (suðaustan-suðvestan) sem eru algengustu og áhrifamestu öldustefnurnar á svæðinu bera strandsandinn því úr báðum áttum inn í ölduskjólið sem veldur því að þar safnast hann saman á ströndinni og myndar smám saman tanga út í átt til eyjanna, svokallaðan granda (tombolo). Sandburðurinn er ekki til langframa fram hjá höfninni heldur að þeim stað þar sem hún var sett niður.

Hvernig virkar þetta á höfnina? Framan við höfnina safnast upp sandur sem smátt og smátt lokar hana af.

Landálsstraumar

Strandstraumar eru meðfram ströndinni í landál innan útrifs. Áhlaðandi verður við ströndina og því stendur sjór þar hærra en utan útrifsins. Þetta setur af stað strauma meðfram ströndinni í landálnum. Þessir straumar mynda kerfi sem streyma í báðar áttir. Því kemur að því að landálsstraumarnir mætast úr andstæðum áttum og þá brjótast þeir út í gegnum útrifið. Þeir mynda sund í það sem frá fornu fari hafa kallast hlið og verið helsta siglingaleiðin að og frá ströndu á tímum ára- og seglbátaútgerðar á Suðurströnd landsins. Í hliðunum er dýpi mest og ölduhæð lægst úti fyrir sjálfri ströndinni og brotsjóir fátíðastir og lægstir. Jafnvel er það góður sjór og siglingafær þó alls staðar brjóti á útrifinu. Slíkt hlið er beint fram af Landeyjahöfn og þar er ölduhæðin lægst.

Hvernig virkar þetta á höfnina? Framan við höfnina er ölduhæð lægst og þar er minnst hafrót, minnstur setflutningur verður framhjá staðnum til lengri tíma litið en í þess stað samsöfnun á seti.

Landeyjatangi

Þessi tangi eða útbugur á ströndinni er eini tanginn á allri setströnd Suðurlands í nágrenni stórflyjóts. Allar aðrar stórar koma fram á flata ströndia ef svo má segja, hversu mikið sem þær bera af seti. Það er því ekki framburður Markarflyjóts sem veldur Landeyjatanga, heldur sú staðreynd að þarna eru öldu- og straumaskilyrði öðru vísi en annars staðar við ströndina og eru að byggja hana út. Árið 1919 strandaði þarna dönsk stálskúta, Dragör. Restarnar af flaki hennar má enn finna rúma 450 m inni í landi, stystu leið að ströndinni u.þ.b. einum km austar en höfnin er. Þetta þýðir að meðalvöxtur Landeyjatanga á 20. öldinni hefur verið tæpir 5 m á ári til suðurs.

Afsakanir og yfirlýsing

Settar hafa verið fram allskonar afsakamir fyrir þeim mistökum að setja höfnina niður þarna og tilraunir til útskýringa á vandamálum tengdum höfninni og notkun hennar, en engar af þeim, sem höfundur hefur heyrt, standast rökræna skoðun. Kostnaður við gerð og rekstur hefur farið langt fram úr öllum áætlunum og þjóðin situr uppi með enn ein ógnaardýr mistök í framkvæmdum, sem hefði verið hægt að komast hjá með faglegri vinnubrögðum og með notkun á strandjarðfræðilegri þekkingu í undirbúningi og aðdraganda.

Rúsína í pylsuenda

Þrátt fyrir ítrekuð mistök í undirbúningi ýmissa hafnamála, virðist sú opinbera stofnun sem ber ábyrgð á þeim, eftir áratuga starfsemi og röð mistaka ekki hafa áttað sig á því hvað jarðfræði er og hvers sú fræðigrein er megnug.

Hver er ábyrgð Jarðfræðafélags Íslands í svona tilviki? Eiga þau samtök ekki að tjá sig opinberlega þegar þekkingin sem félagsskapurinn snýst um er opinberlega sniðgengin, samfélaginu misboðið og ríkissjóði sendur endalaus reikningur, og það liggur fyrir að fagleg jarðfræðileg þekking hefði átt að notast við undirbúninginn? Er félagsskapurinn ekki málssvari þess að fagið sé nýtt sem víðast og sem best?

CarbFix: Binding koldíoxíðs í bergi á Hellisheiði

Sandra Ó. Snæbjörnsdóttir¹, Kiflom G. Mesfin¹, Ingvi Gunnarsson², Edda Sif Aradóttir², Bergur Sigfússon², Einar Gunnlaugsson², Eric Oelkers³, Martin Stute⁴, Juerg Matter⁴ og Sigurður R. Gíslason¹

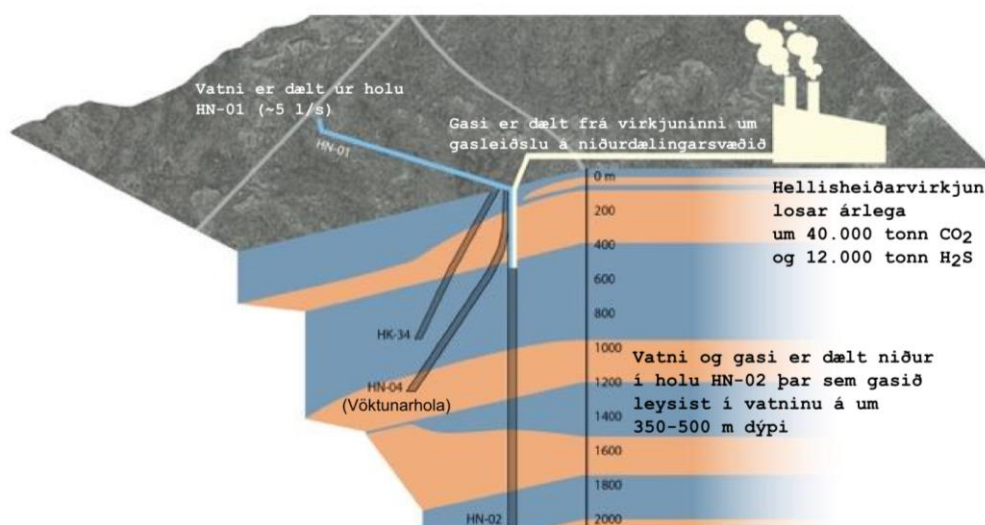
¹Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Sturlugata 7, 101 Reykjavík, Iceland

²Reykjavík Energy, Baejarhálsi 1, 110 Reykjavík, Iceland

³GET, CNRS/UMR 5563-Université Paul Sabatier, 14 rue Edouard Belin, 31400 Toulouse, France

⁴Lamont-Doherty Earth Observatory of Columbia University, 61 Route 9W, New York 10964, USA

Tilgangur CarbFix verkefnisins er að meta möguleika á bindingu koldíoxíðs (CO_2) sem karbónatsteindir í basalti í þeim tilgangi að draga úr áhrifum þess á loftslag. Koldíoxíðið er að fullu uppleyst í vatni áður en því er dælt niður í basaltlög á um 500-800 m dýpi í Svínahrauni um 3 km sunnan við Hellisheiðarvirkjun (mynd 1). Vatnið hvarfast við bergið og leysir málmjónir sem bindast koldíoxíðinu og mynda karbónatsteindir á borð við kalsít (CaCO_3), magnesít (MgCO_3) og síderít (FeCO_3). Þar með er koldíoxíðið bundið í steindir og getur verið stöðugt þar í milljónir ára [1].

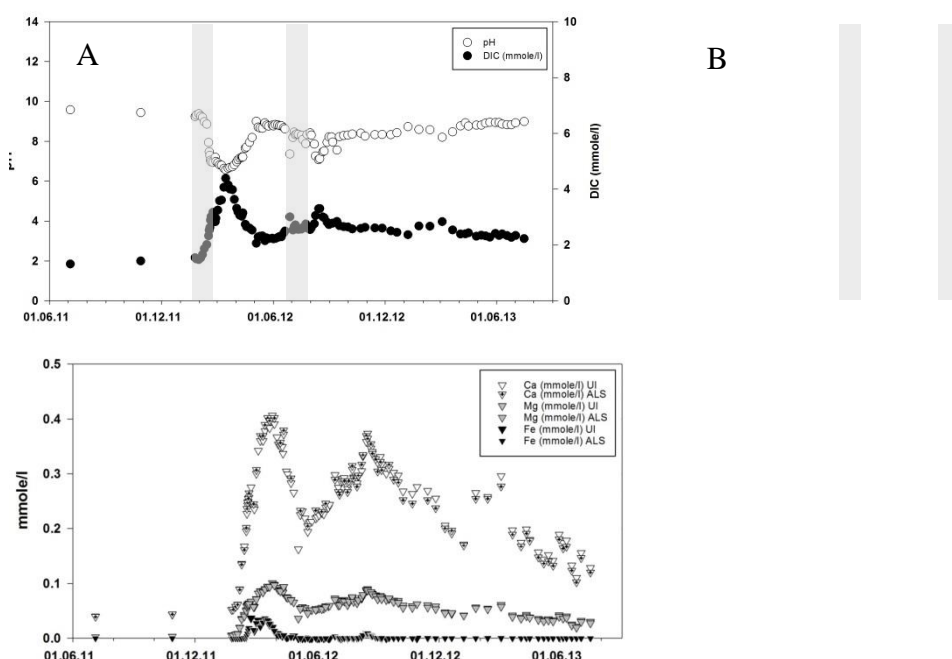


Mynd 1. Yfirlitsmynd yfir niðurdælingarsvæðið á Hellisheiði. Gasi frá Hellisheiðarvirkjun og vatni úr holu HN-01 er dælt niður í jarðlög í holu HN-02 í Svínahrauni, um 3 km sunnan virkjunarinnar. Á myndinni er einnig sýnd vöktunarholan HN-04. (Mynd byggð á Alfredsson et al., 2013 [2]).

Tvær tilraunaniðurdælingar hafa farið fram á CarbFix svæðinu í Svínahrauni. Á tímabilinu janúar til mars 2012 var 175 tonnum af koldíoxíði dælt niður í holu HN-02 og í júní til ágúst sama ár var 73 tonnum af gasblöndu (75% CO_2 , 25% H_2S og 1% H_2) frá Hellisheiðarvirkjun dælt niður á sama stað. Yfirgripsmikil efnavöktun með reglubundinni vatnssýnatöku hefur farið fram á CarbFix svæðinu fyrir, eftir og á meðan niðurdælingunum stóð, en sýnum fyrir aðal- og snefilefnagreiningu hefur verið safnað í tíu holum á svæðinu. Þá hefur Jarðfræðistofnun Columbia Háskóla séð um ferilefnavöktun í verkefninu, en óhvarfgjörn (sodium fluorescein, SF_6 og SF_5CF_3) og hvarfgjörn (^{14}C og ^{13}C) ferilefni voru notuð í báðum niðurdælingum til að

auðkenna niðurdælingarvökvann, skilgreina rennslisleiðir hans og greina á milli niðurdælingartilraunanna tveggja. Auk þess var notast við ferilefnin til að greina efnahvörf milli vökvans og bergsins [3].

Regluleg sýnataka úr holu HN-04, sem er sú vöktunarhola sem staðsett er næst niðurdælingarholunni HN-02, hefur farið fram síðan 2008. Í báðum tilraununum varð vart við breytingar í sýnum úr HN-04 um tveimur vikum eftir að niðurdæling hófst en efnagreiningar á vatnsýnum sýna hraða aukningu í Ca, Mg og Fe og hækkun á uppleystu ólífrænu kolefni (*e. dissolved inorganic carbon, DIC*) úr 1.3-1.4 mmól/l í 3.6 mmól/l í CO₂-niðurdælingunni og 3.1 mól/l í CO₂-H₂S-niðurdælingunni (mynd 2). Þá lækkaði pH gildi vatnssýna úr HN-04 úr 9.4 í 6.6 í CO₂-niðurdælingunni og í 7.1 í CO₂-H₂S-niðurdælingunni. Gildin hafa smám saman nálgast upphafsgildin eftir að niðurdælingunum lauk.



Mynd 2. A) pH og DIC greint í holu HN-4 fyrir, eftir og á meðan niðurdælingartilraununum stóð. B) Ca, Mg og Fe greiningar (ICP-OES) á sýnum úr holu HN-4 fyrir, eftir og á meðan niðurdælingu stóð. UI= Sýni greind á jarðvísindastofnun, ALS = sýni greind hjá ALS Scandinavia í Svíþjóð. Tímabilin þegar niðurdælingarnar stóðu yfir eru *skyggð*.

Líkanareikningar gerðir með PHREEQC-forritinu benda til kalsítmettnar um þremur mánuðum eftir hvora niðurdælingu. Í júlí 2013 bilaði dæla í holu HN-04 og þegar hún var tekin upp kom í ljós að hún var þakin útfellingum. XRD-greining sýndi fram á að kalsít var að falla út á dæluinni. Massajafnvægisútreikningar úr fyrri niðurdælingunni benda til þess að um 90% af því koldíoxíði sem dælt var niður hafi bundist í steindir á um tveimur árum [3]. Þessar niðurstöður benda til þess að hægt sé að binda koldíoxíð í bergi með mun áhrifaríkari hætti en áður var talið.

[1] S.R. Gislason, Eric H. Oelkers (2013). *Science*, 25 April 2014: Vol. 344 no. 6182 pp. 373-374.

[2] H.A. Alfredsson et al. (2013). *IJGGC*, January 2013: Vol. 12, pp. 399-418

[3] M. Stute et al. (2014). *American Geophysical Union Fall Meeting, December 2014: Abstract V14A-08*

Stærð og rúmmál Eldhrauns rétt einn ganginn

Snorri P Snorrason

Verkís hf.

Rannsóknir

Tilskrif þessu er ætlað að birta endurskoðun á stærðarmati Þorvaldar Þórðarsonar og Steven Self á hrauni Skaftárelda sem birt var 1993. Niðurstaða mats höfundar er birt á mynd 3 en hún hefur áður birst í grein í Náttúrufræðingnum, Víðáttumestu hraun Íslands (Árni Hjartarson 2011).

Á árunum 1999 til 2002 voru boraðar holur í Eldhraun í Skaftárhreppi. Flestar þeirra náðu í gegnum hraunið. Holurnar voru flestar boraðar til grunnvatnsrannsókna á vegum Landsvirkjunar. Staðsetning, dýpt og þykkt hraunsins í holunum er sýnd í meðfylgjandi töflu.

Hola	Staður	X	Y	Z	Dýpt m	Þykkt Eldhrauns m
SKA-1	Við Stakafell	553881	401668	594	90	17
SKA-2	Við Tjarnargíg	539832	391552	545	78	15
SKA-3	Við Skaftárdal	524956	365568	161	83	63
SKA-4	Við Brest í landi Múla	529761	356617	96	71	23
SKA-5	Við Skál á Síðu	537720	358095	83	40	31
SKA-6	Við Skál á Síðu	537727	358088	83	63	31
SKA-7	Sunnan við Holt á Síðu	541594	360812	59	24	12
SKA-8	Neðan Skaftárgljúfurs	526623	362540	122	36	32
TRK-1	Tröllhamar, Skaftáröræfi	540917	407009	612	10,25	10
TRK-2	Tröllhamar	540927	406882	617	16	16
TRK-3	Tröllhamar	540717	406928	613	13	13
TRK-4	Tröllhamar	540828	407087	611	9	9

Hola SKA 3 var boruð með loftbor og ODEX búnaði og stuðst var við svarfgreiningu í henni. Hún var boruð milli brúnna á Skaftá á veginum að Skaftárdal þar sem Eldhraunið hefur nær fyllt hin fornu Skaftárgljúfur. Holan er í 161 m hæð yfir sjávarmáli og holusniðið er eftirfarandi. Efsti hlutinn er boraður í Eldhraunið sem nær niður á 63 m dýpi í holunni. Þar fyrir neðan tekur við árset og Eldgjárrhraun tekur þar við og nær niður á holubotn á 83 m dýpi. Aðrar holur voru boraðar í byggð á Síðunni, við Tröllhamar og við Stakafell.

Gljúfrin

Í Skaftáreldum fyllti hraunið gljúfur Skaftár að mestu. Sjá má leifar gljúfranna við Skaftárdal. Þar er breidd þeirra nokkuð misjöfn eða á bilinu 180-220 m Breiddin er áætluð þar 200 m að meðaltali. Við Uxatinda sér einnig til gljúfranna. Þar er breidd þeirra misjöfn við yfirborð hraunsins eins og við Skaftárdal. Breiddin er þó minni en 100 m og minnsta bil milli gljúfurveggja um 70 m.

Í gosinu rann Eldhraunið einnig fram úr gljúfrum Hverfisfljóts og fyllti þau upp á barma. Vel mótar þó fyrir þeim á kílómetra löngum kafla milli Miklafells og Hnútu. Breidd þeirra er mest syðst eða um 200 m en einungis um 130 m nyrst.

Gljúfur Hverfisfljóts var „nærfellt svo stórt og djúpt sem Skaftárgljúfur“ (Jón Steingrímsson 1788). Hér er gert ráð fyrir því að gljúfrin sé jafndjúp Skaftárgljúfrum en notuð er breidd þeirra þar sem hún sést á yfirborði við Miklafell (160 m). Lengd gljúfranna er áætluð 15 km. Það kann að vera ofmat.

Grein Þorvaldar Þórðarsonar og Steven Self frá 1993 gerir ráð fyrir að breidd gljúfranna sé 400-500 metrar og dýpt 150-160 m. Því til stuðnings er vitnað í gömul skjöl en ekki tilgreint nákvæmlega hvaða skjöl.

Stærð Eldhrauns

Þorvaldur Þórðarson og Steven Self 1993 skiptu hrauninu í 7 hluta og byggðu það á skiptingu Þorvaldar Thoroddsen frá 1925. Höfundur þessa tilskrifts fylgdi þessari aðferð og tók mat þeirra féлага ÞP&SS frá 1993 óbreytt upp í fjórum hlutum en breytti matinu í þremur.

Einingarnar eru sem hér segir:

SD-1 Láglandið milli Skaftártungu og Síðu

SD-2 Skaftárgljúfur

SD-3 Hrauntaumur við Leiðólfsvell

SD-4 Hraun í Varmárdal

SD-5 Hraun við Skaftá við Stakafell

SD-6 Hraun á Fremri Eyrum

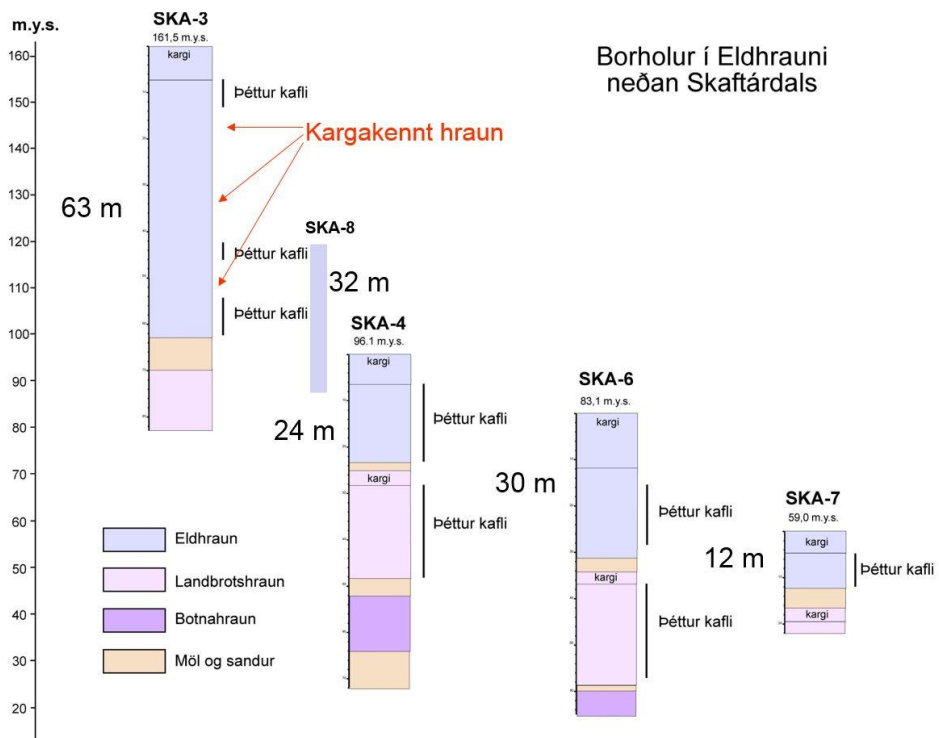
SD-7 Hraunstraumur við Miklafell og fram á Brunasand

Áður er lýst mun á stærðarmati Skaftárgljúfra en niðurstöður borana í Eldhraun á láglandinu milli Skaftártungu og Síðunnar gefa tilefni til að endurskoða stærðarmatið þar líka. Mynd 1 sýnir þykkt hraunsins í þeim holum sem boraðar hafa verið í hraunið.

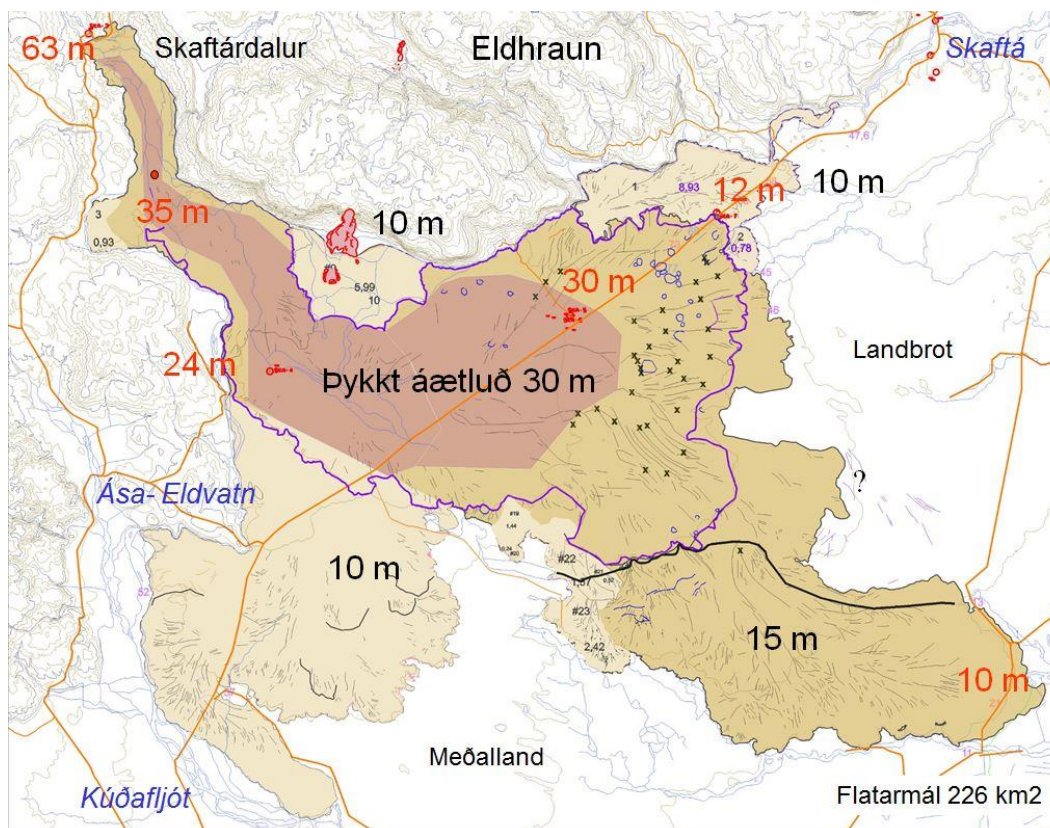
Rúmmál Eldhrauns í Skaftárgljúfrum er metið á eftirfarandi hátt (SD-2). Dýpið er metið jafnt og hraunþykktin í holu SKA-3, 63 m (frá botni upp á yfirborð), breiddin er metin 190 m. Þar er að nokkru tekið tillit til þess hve gljúfrin við Uxatinda eru þröng. Lengdin er höfð 35 km eins og ÞP&SS en það kann að vera ofmat. Ofan á gljúfrin er svo lögð 15 m þykk plata með flatarmál jafnt og flatarmál hraunsins frá Skaftárdal að Uxatindum. Ekki er átt við matið í SD-7 þar sem gljúfur Hverfisfljóts voru, að öðru leyti en því að mismunur á stærð gljúfranna er dreginn frá mati SS&ÞP.

Hraunrennsli í Skaftárgljúfrum í gosinu

Skaftáreldar byrjuðu 8. júní 1783. Hraunrennsli frá vesturhluta gossprungunnar virðist hafa dvínað mjög 20. júlí það sama sumar. Meginhluti hrauns í byggð rann því fram á 43 dögum. Jón Steingrímsson getur þess nokkrum sinnum að „nýtt eldkast“ hafi komið fram úr gljúfrunum, eins og hraunrennsli hafi aukist viðkomandi dag. Rennsli Skaftár í gosinu hefur líkast til verið áþekkt og á vorum dögum því jöklar hafa líklegast verið í svipaðri stöðu og nú og úrkomudreifing svipuð, en hitastig nokkru lægra. Meðalrennsli Skaftár við Sveinstind er nú á bilinu 130-170 m³/s yfir sumarmánuðina (Almenna verkfræðistofan 2002). Ef reiknað er með



Mynd 3: Borholur og þykkt hrauna í byggð. Lítið ber á SKA-8 en hún er þarna samt.



Mynd 4: Þykktarlíkan af Eldhrauni í byggð milli Skaftártungu og Síðu (SD-1). Dökkbrúnt er 30 m þykkt, gulbrúnt er 15 m þykkt og leirlítt er 10 m þykkt. Þykkt hraunsins í borholum merktar með rauðu. Svört x merkja óreglu á yfirborði hraunsins og er það hald höfundar að þar undir séu gervígígar í Elgjárhrauni sem mynduðu fyrirstöðu í gosinu þannig að innan við þá er hraunið þykkt og yfirborðið flatt eins og raunin er. Svört lína neðarlega til hægri markar hraunbrún Eldgjárhrauns undir Eldhrauni.

Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
13. mars 2015

Rúmmál km ³	Lágl	Gljúf	Leiðólf	Varm	Staka	F.eyr	Brun	
Einingar	SD-1	SD-2	SD-3	SD-4	SD-5	SD-6	SD-7	Alls
Þ Th 1925	3,23	4,4	0,44	1,62	0,69	0,69	0,64	11,7
ÞE&ELS 1984		3,65						11,9
ÞÞ&SS 1993	4,75	3,5	0,41	1,21	1,28	1,27	2,27	14,7
SPS&FS 2003	3,7	1,1	0,41	1,21	1,28	1,27	1,44	10,4

Mynd 5: Stærðarmat Eldhrauns. Allar tölur eru í rúmkílómetrum. Efstur er Þorvaldur Thoroddsen frá 1925, þá er Þorleifur Einarsson og Edda Lilja Sveinsdóttir frá 1984 en þau notuðu ekki sömu svæðaskiptingu og hinir. Þorvaldur Þórðarson og Steven Self eru næst neðstir frá 1993 og neðstir eru Freysteinn Sigurðsson og Snorri P Snorrason frá 2003.

150 m³/s rennsli á tímabilinu 8. júní til 20. júlí þá gætu 550 Gl hafa runnið fram niður gljúfrin við Uxatinda (hraunið sem þar er nú kemur úr norðausturhluta gossprungunnar). Ekki er neitt pláss fyrir allt þetta vatn á kaflanum frá gljúfurmunna við Uxatinda og niður að Hnútu þar sem meginstraumur Eldhraunsins rann niður í gljúfrin. Áin hlýtur að hafa hlaupið fram og út yfir glóandi hraunið sem rann þar fram og dregið úr hraunrennsli um tíma þar til hraunrennslið nær aftur yfirhöndinni. Þessi átök árinna og hraunsins skýra tvennt. Óreglu í hraunrennsli (eldköst) og einnig þá staðreynd að Eldhraunið náði að fylla gljúfrin, en Eldgjárgosið náði því ekki. Þessu til stuðnings eru ummerki um hraðkælingu hraunsins í borholunni SKA-3. Þar voru einungis þrjú þéttir kaflar bergs, allir stuttir. Afgangurinn bar merki hraðkælingar. Eldhraunið er einnig mjög lekt og sterkar vísbendingar eru um að allt að 20 m³/s grunnvatnsstraumur renni fram um hraunin í gljúfrunum (Freysteinn Sigurðsson og Snorri P Snorrason 2002).

Eldköst fram úr Skaftárgljúfrum eru notuð af ÞÞ&SS til að tímasetja framvindu í Skaftáreldum. Niðurstaðan sem lýst er hér að ofan hlýtur að setja mikið spurningamerki við goslíkan ÞÞ&SS.

Jökulhlaup úr Síðujökli í gosinu

Jökulhlaup hefur orðið í Skaftáreldum úr Síðujökli. Það má sjá á gjósku- setbunkum við Tröllhamar og Stakafell. Hlaupið hefur runnið yfir hraunið nýrunnið og gervígígar hafa gosið upp í gegnum gjóskuna og jökulker má sjá í gjóskunni. Hraunstraumur frá Lakagígum hefur svo runnið yfir hluta gjóskusetsins við Tröllhamar.

Heimildir

- Almenna verkfræðistofan 2002: Skaftárveita. Frumhönnun veitu Skaftár til Tungnaár um Langasjó Mars 2002 LV-2002/032. Unnið fyrir Landsvirkjun. 29 s. + myndir og viðaukar.
- Árni Hjartarson 2011: Víðáttumestu hraun Íslands. Náttúrufræðingurinn 81. Árg 1. hefti.
- Jón Steingrímsson 1788: Fullkomið skrif um Síðueld dagsett að Prestbakka 24. Nóvember 1788. Gefið út undir nafninu "Eldritið" í Jón Steingrímsson 1973, Ævisagan og önnur rit. Kristján Albertsson gaf út Helgafell, Reykjavík 438s.
- Freysteinn Sigurðsson og Snorri P Snorrason 2002: Skaftárveita, Grunnvatnsrannsóknir fram til 2001. Almenna verkfræðistofan og Orkustofnun 2002.
- Þorleifur Einarsson og Edda Lilja Sveinsdóttir 1984: Nýtt kort af Skaftáreldahrauni og Lakagígum. Skaftáreldar 1783-1784 ritgerðir og heimildir, Mál og Menning Reykjavík 1984.
- Þorvaldur Þórðarson & S. Self. 1993: The Laki (Skaftár Fires) and Grímsvötn eruptions. Bulletin of Volcanology. 55: 233-263.

Recycling of Phanerozoic crustal material by the Iceland mantle plume: new evidence from nitrogen isotopes

Sæmundur A. Halldórsson^{1,4}, David R. Hilton¹, Peter H. Barry^{1,2}, Evelyn Füre^{1,3} and Karl Grönvold⁴

¹ Fluids and Volatiles Laboratory, Geosciences Research Division, Scripps Institution of Oceanography, University of California, San Diego, La Jolla, CA 92093-0244, USA

² Now at Department of Earth Sciences, Oxford University, UK

³ Now at Centre de Recherches Péetrographiques et Géochimiques, CNRS-UL, 15 rue Notre-Dame des Pauvres, BP20, 54501 Vandoeuvre-lès-Nancy Cedex, France

⁴ Nordic Volcanological Center, Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Askja, Sturlugata 7, 101 Reykjavík, Iceland

Nitrogen isotopes in Ocean Island Basalt (OIB) glasses show positive values, up to +6 ‰, which has led to ideas on ancient nitrogen recycling from the surface to the deep mantle (Marty and Dauphas, 2003). If indeed the source of the N is the deep mantle, then there should be correspondence between the highest primordial noble gas signatures (i.e. the highest ³He/⁴He ratios) and the positive $\delta^{15}\text{N}$ signatures. However, the current database of $\delta^{15}\text{N}$ from high ³He/⁴He OIB is limited. Given the excellent exposure of fresh and glassy material, Iceland remains one of the few hotspot localities where this hypothesis can be tested in detail.

We report new nitrogen (N₂) abundance and isotope ($\delta^{15}\text{N}$) data for 43 subglacial basaltic glasses collected from the neovolcanic zones of Iceland, a key locality in studies of mantle plume geochemistry and crust-mantle processes. New helium and argon abundance and isotope data are also reported to supplement previous studies (Füre et al., 2010; Barry et al., 2014), allowing elemental ratios (e.g., N₂/⁴⁰Ar*) to be calculated for the present sample suite. Subglacial basaltic glasses with N₂ > 3 $\mu\text{cm}^3\text{STP/g}$ show a wide range in $\delta^{15}\text{N}$ values, from -2.91 to +11.96‰ (vs. Air), with values > 6‰ only observed at one locality in the Eastern Rift Zone. Elemental ratios involving N₂, i.e., N₂/³He, and N₂/⁴⁰Ar*, span several orders of magnitude from 2.5×10^5 to 9.0×10^7 , and 12.2 to 6780, respectively. In contrast, argon isotope ratios (⁴⁰Ar/³⁶Ar) are relatively limited, ranging from air-like (~298.6) to 1330. Glasses exhibit a wide range in helium isotope ratios (8-26 R_A), with clear distinctions between individual rift segments.

A number of processes have extensively modified original mantle source N isotope and relative abundance compositions - most significantly, shallow-level crustal interaction, however, degassing-induced fractionation and/or air interaction has also affected some samples. After filtering the entire N dataset (i.e., N₂/⁴⁰Ar* and $\delta^{15}\text{N}$) using ⁴⁰Ar/³⁶Ar and ⁴He/⁴⁰Ar* ratios to identify unmodified samples, the resulting samples (n= 22) define the Icelandic mantle N-isotope distribution ($\delta^{15}\text{N} = -2.29$ to +5.71‰).

Using the filtered dataset, we investigate simple binary mixing scenarios involving N₂/³He-N₂/⁴⁰Ar*- $\delta^{15}\text{N}$ systematics to identify mantle end-member compositions. Mixing scenarios are consistent with a recycled component in the Iceland mantle source, defined by a high and heterogeneous $\delta^{15}\text{N}$ end-member. Moreover, the high $\delta^{15}\text{N}$ end-member may be coupled to the high ³He/⁴He signature, assuming He loss prior to mixing with a depleted (DMM-like) end-member, similar to the two-step model of He depletion followed by open-system degassing (Füre et al., 2010), and/or the presence of excess N₂. The high $\delta^{15}\text{N}$ end-member needed to explain these mixing relationships strongly suggests the presence of recycled N-component(s) integrated into and/or entrained by the Iceland plume source.

These new results reveal the highly heterogeneous nature of nitrogen in a hybrid Iceland plume source consistent with models based on trace elements and radiogenic isotopes that advocate for significant heterogeneity of recycled crustal component(s) sampled by the Iceland plume. A relatively young age of the recycled crustal material (possibly Phanerozoic) is consistent with positive $\delta^{15}\text{N}$ values, high $\text{N}_2/^{40}\text{Ar}^*$ ratios, and constraints from radiogenic isotopes (e.g., Thirlwall et al., 2004), thus indicating a relatively short time-interval between subduction of crustal material and entrainment by the Iceland mantle plume.

References:

- Barry, P.H., Hilton, D.R., Füre, E., Halldórsson, S.A. and K. Grönvold (2014). Carbon isotope and abundance systematics of Icelandic geothermal gases, fluids and subglacial basalts with implications for mantle plume-related CO_2 fluxes. *Geochemica Cosmochimica Acta*, 134, 74-99.
- Füre, E., Hilton, D.R., Halldórsson, S.A., Barry, P.H., Hahn, D., Fischer, T.P. and K. Grönvold (2010). Apparent decoupling of the He and Ne isotope systematics of the Icelandic mantle: The role of He depletion, melt mixing, degassing fractionation and air interaction. *Geochemica Cosmochimica Acta*, 74, 11, 3307-3332.
- Marty, B. and N. Dauphas (2003). The nitrogen record of crust-mantle interaction and mantle convection from Archean to Present. *Earth Planetary Science Letters*, 206, 397-410.
- Thirlwall, M.F., Gee, M.A.M., Taylor, R.N., and B.J. Murton (2004). Mantle components in Iceland and adjacent ridges investigated using double-spike Pb isotope ratios. *Geochemica Cosmochimica Acta*, 68(2), 361-386.

Grain size distribution and characteristics of the tephra from the Vatnaöldur AD 871±2 eruption, Iceland.

Tinna Jónsdóttir, Guðrún Larsen, and Magnús Guðmundsson

Institute of Earth sciences, University of Iceland, Sturlugata 7, 101 Reykjavík, Iceland
(tij1@hi.is)

Basaltic explosive eruptions in Iceland are frequent and often occur from vents in regions of surface lakes, large groundwater reservoirs or within glaciers. The recent Eyjafjallajökull eruption in 2010 and Grímsvötn eruption 2011 highlighted the vulnerability of passenger jet aircraft to ash in the atmosphere. Iceland's volcanoes are the most potent producers of tephra in Europe, and the frequent occurrence of basaltic explosive eruptions is a major factor in causing this. As a step in increasing the knowledge on the tephra erupted in basaltic explosive eruptions, we study the grain size distribution of a large (~5 km³) explosive basaltic eruption that occurred in AD 871±2. The source is the 25 km long Vatnaöldur crater row in south-central Iceland. The crater row lies within the Bárðarbunga- Veidivötn volcanic system, one of the most productive volcanic systems in Iceland in recent times. Samples for grain size analysis were collected at six different locations along the broad northwest-trending dispersal axis. Sampling sites ranged in 1.5 km to 120 km distance from the largest vent Skygggnir, near the southern end of the crater row. The Vatnaöldur eruption has been classified as phreatomagmatic, erupting through fractured bedrock composed of recent lavas, hyaloclastites and pillow lava in an area characterized by a high groundwater level and surface lakes. Explosive activity dominated the ~ 25 km long discontinuous fissure, as tuff cones were formed and conduits reached under groundwater table. During the eruption the tephra layer was dispersed in all directions. The area within the 0.5 cm isopach is 50,000 km² and this tephra has also been identified in Greenland ice cores. The grain size analysis indicates that one dominant characteristic of the tephra is the scarcity of pyroclasts over 1 mm in diameter. In the ash sampled more than 4 km from source larger grain sizes are absent. The dispersion in the more distal parts, at distances of 60 - 120 km is dominated by peaks between 0.250 and 0.063 mm, with the deposit showing slight tendency for progressively higher proportion of fines with distance. In the more proximal sections different phases in the eruption have been identified.

Ore-forming processes in Reykjanes geothermal pipelines, Iceland

Vigdís Hardardóttir¹, JW Hedenquist², MD Hannington²

¹Iceland GeoSurvey, Grensásvegur 9, 108 Reykjavík, Iceland

²Department of Earth Sciences, University of Ottawa, Ottawa, K1N 6N5 Ontario, Canada

Abstract. The Reykjanes geothermal system has a reservoir liquid that originated as seawater and has reacted with the surrounding basalt at temperatures up to 340°C. As the fluid ascends in wells the pressure decreases which leads to boiling and the precipitation of sulfides. In surface pipelines the scales consist mainly of sphalerite, chalcopyrite with minor bornite, pyrrhotite, and pyrite. The bulk composition of the scales downstream of the orifice plate at ~22 bar is 45 wt% Zn, 15 wt% Cu, 3 wt% Fe, 30 wt% S, 2 wt% SiO₂, up to 950 mg/kg Au and up to 2.3 wt% Ag. The amount of scales formed in one year in three wells were up to 1.4 tonnes, consisting of 896 kg Zn, 284 kg Cu, 197 kg Fe, 22 kg Pb, ~ 5 kg Ag and 0.8 kg Au. The Reykjanes geothermal system is a subaerial analogue of high-temperature black smokers on the ocean floor, based on reservoir fluid compositions with high metal and trace element concentrations and the similar compositions of minerals that precipitate downhole and in surface pipelines.

Keywords. Reykjanes metal-rich scales, sulfide precipitation, geothermal fluids, black smoker analog

1 Introduction

The Mid-Atlantic Ridge surfaces on the Reykjanes Peninsula, SW Iceland, where it becomes a complex series of rift and transform zones as it crosses Iceland. Because the geothermal system at Reykjanes is recharged mainly by seawater, it is closely analogous to black smoker systems on the offshore ridge.

In the Reykjanes area high-temperature liquid of seawater composition up to 340°C is precipitating sulfide scales in wells utilized for geothermal power. The sulfides precipitate downhole and in surface pipelines in variable amounts depending mainly on pressure. Here we describe scales that have precipitated in surface pipelines and compare these with sulfides deposited in analogous seafloor hydrothermal systems.

2 Reykjanes Geothermal Field

Reykjanes geothermal system (Fig. 1) is located on the toe of Reykjanes peninsula, 50 km SW of the capital Reykjavík. The Reykjanes Peninsula is covered by young basaltic rocks of glacial, interglacial and post-glacial age (Jonsson 1978). Surface geothermal manifestations, mainly steam vents, mud pools and altered ground cover 1 km², but according to transient electromagnetic measurements (TEM) the extent of the thermal system is 10 km² at 800 m depth (Karlsdóttir 2005). Based on cuttings from 30 wells in the area the stratigraphy consists of hyaloclastite and breccias of reworked tuffaceous sediments to 100 m depth, all of tholeiitic composition, interbedded with basaltic lava flows, and pillow basalts at greater depths (Tómasson and Kristmannsdóttir 1972; Franzson et al. 2002).

The Reykjanes reservoir liquid, which has a seawater salinity, has reacted with the basaltic basement at elevated temperatures (270-340°C), becoming highly enriched in SiO₂, with Ca⁺² and K⁺ concentrations two to four times higher than seawater. SO₄⁻² and Mg concentrations of the reservoir liquid are two to three orders of magnitude lower than seawater. However, the concentrations of most metals in the reservoir liquid are significantly higher than in black smoker fluids with similar discharge temperatures (Hardardóttir et al., 2009): Cu ~15 mg/kg, Zn 5-25 mg/kg, Fe 10-140 mg/kg, Mn ~2.5 mg/kg, Pb 100-300 µg/kg, Ag 30-100 µg/kg and Au 1-6 µg/kg.

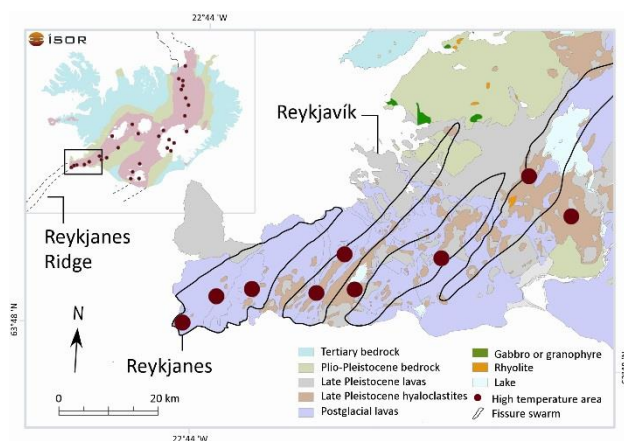


Figure 1. Location of Reykjanes geothermal system, SW Iceland (modified after Saemundsson and Jóhannesson 2004).

3 Mineralogy of the scales

Samples of scales in the surface pipelines were collected during cleaning of the pipes in 2000 and during maintenance in 2007 (Hardardóttir 2011). Scale samples were taken from the wellhead, as well as upstream and downstream of the orifice plate (with fluid-flow control valve; FFCV), in wells that had average wellhead pressures between 44 and 35 bar (257-244°C). At the orifice plates in these wells, the pressures decrease to at least 22 bar (220°C), resulting in precipitation of the sulfide scales.

Table 1. Mineralogy of scales from Reykjanes wells (RN) compared to TAG hydrothermal field

	Well RN-9			RN-12	TAG
	Well-head	4 m downst of OP	30 m downst of OP	Fluid-flow control valve	Black Smoker
Sphalerite	xxx	xxx	x	xxx	xxx
Chalcopyrite	xxx	xx	tr	x	xxx
Amorph. SiO ₂	tr	xxx	xxx	tr	x
Bornite	tr	tr		xxx	x
Digenite				xxx	
Galena	x	tr		xx	tr
Gold/silver	tr	tr		x	tr
Covellite	tr	x		x	tr
Pyrrhotite	tr			tr	x
Pyrite			tr	tr	xx
Anhydrite					xxx
Clay	tr	tr	tr		
Temp. (°C)	244	~188	~188	247-220	270-360

Downst; downstream, OP; orifice plate, TAG data are from Hannington et al. 1995 and Tivey et al. 1995



Figure 2. Photographs of scales in surface pipelines downstream of the orifice plate. The scale bar is 10 cm.

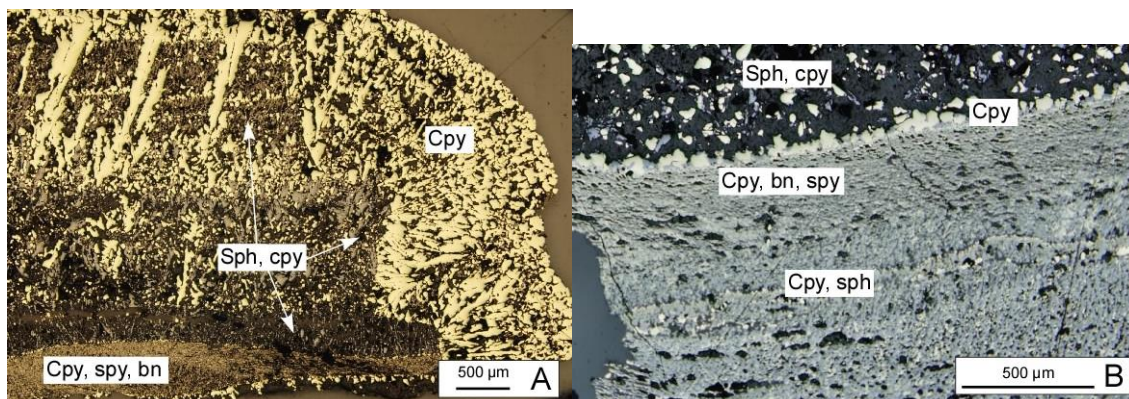


Figure 3. Reflected light photomicrograph of A) alternating bands of fine- and coarse- grained chalcopyrite (cpy yellow), sphalerite (sph gray), bornite (brownish) and galena. B) Two layers consisting mainly of sph (gray) + amorphous silica (black) and cpy (yellow) + minor bornite (brownish) with a band of mainly cpy. Samples upstream of well RN-9.

Upstream from the orifice plate, the scales are thin (<1 mm), but downstream the scales can be quite thick (Fig. 2), with the thickness depending on the pressure at wellhead. All of the scales are very fine-grained and hard, consisting mainly of sphalerite and chalcopyrite with minor bornite, digenite, galena, pyrrhotite, and pyrite (Table 1).

Chalcopyrite and sphalerite form alternating fine- and coarse- grained bands upstream of the orifice plate at high-pressure (~40 bar, 252°C) in well RN-9 (Fig. 3).

Gold occurs as interstitial grains between sulfides, as inclusions mainly in chalcopyrite, and in veins with silver in late-stage fractures seen in scales on the fluid-flow control valve (Hardardóttir et al. 2010). Where pressure decreases to 11 bar, (only well RN-9) amorphous silica is the main phase along with sphalerite and chalcopyrite. The amount of amorphous silica increases downstream of the orifice plate, reaching ~50 wt.% at distances of 4 to 30 m and ~80 wt.% at distances of 100 m.

4 Bulk composition – abundance of scales

The bulk compositions of the scales in the surface pipelines are shown for two wells in Table 2. The scales are dominated by Zn, Fe, Cu, S, and SiO₂, reflecting the major mineralogy. Zinc is the major metal deposited at all pressures. Cu concentrations are generally low at the same pressures (<5 wt%; Hardardóttir 2011) with the highest concentrations near the orifice plate (≤ 30 wt%) where the pressure decreases sharply. Iron generally ranges from 2 to 8 wt% upstream of the orifice plate but decreases sharply downstream of the orifice plate. Lead concentrations are generally highest downstream of the orifice plate and on the fluid-flow control valve, where they reach ~15 wt%.

Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
13. mars 2015

Table 2. Bulk composition of scales from Reykjanes wells (RN) compared to TAG hydrothermal field

	Well RN-9			Well RN-23			TAG
	Upstr of OP	< 1 m downst of OP	~30 m downst of OP	Upstr of OP	<1m downst of OP	~32 m downstr of OP	
Pressure	40-30	11	11	43	22	22	
Zn %	17.9	17.7	10.2	57.5	44.6	44.9	0.4
Fe %	17.3	5.2	5.4	3.3	3.1	5.1	30.5
Cu %	20.7	13.7	5.4	1.4	13.8	13.8	23.0
Pb %	0.6	8.5	3.7	0.0	0.1	0.6	0.003
S %	29.8	16.8	9.3	32.8	30.6	29.8	34.5
SiO ₂ %	4.5	24.7	50.1	2.1	1.9	2.8	<0.5
Al ₂ O ₃ %	0.6	1.9	3.2	0.3	0.2	0.6	-
MgO %	1.1	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	-
LOI %	14.9	15.0	12.2	16.3	15.6	14.2	-
mg/kg							
Ag	667	6066	2740	161	1670	1290	6
Au	121	95	79	363	116	82.4	1

Upstr; upstream, downst; downstream, OP; orifice plate, - ; not available

The highest Au and Ag concentrations also occur near the orifice plate. Just downstream from the orifice plate the Au concentrations range between 50 to 950 mg/kg. At same location the Ag concentration commonly range between 450 to 7000 mg/kg with highest concentration on the fluid-flow control valve up to 2.3 wt%.

In well RN-9 the scales nearly filled the first 8 m of the ~ 350 m long pipeline (to the separation station), probably in <2 years. Only a 10-cm opening remained. The 0.4 m diameter pipeline, with a scale thickness of ~15 cm, contained a total of ~2865 kg scale. In the first year of production, from 2006-2007, three wells produced 2.4 tonnes of scales with ~1.405 tonnes of metals (Table 3).

Table 3. The amount of precipitation formed in Reykjanes (RN) surface pipelines

	RN-11, RN-22,	
	RN-9 ⁽¹⁾	RN-23 ⁽²⁾
Cu (kg)	147	284
Zn (kg)	435	896
Fe (kg)	135	196
Pb (kg)	112	22
Ag (kg)	10	5
Au (kg)	0.3	0.70
SiO ₂ +S+Mn (kg)	2026	1017

⁽¹⁾Precipitated in < 2 years, ⁽²⁾precipitated in 1 year

5 Discussion and conclusions

Geothermal liquid compositionally similar to the Reykjanes fluid, as well as scales precipitated from that liquid, have been observed in several geothermal systems (e.g., in the Fushime geothermal system: Akaku 1990, Akaku and Reed 1995). Similar scales have been documented in the Broadlands-Ohaaki and Rotokawa geothermal systems in New Zealand, which have much lower salinity than the Reykjanes wells (Cl between 1000 and 2000 ppm: Brown 1986; Hedenquist 1990; Simmons and Browne 2000; Reyes et al. 2002). In the Broadlands-Ohaaki system the hydrothermal fluid which enters the wells undergoes a pressure

drops at >500 m depth that causes boiling, and Au (<10 to > 1,000 mg/kg) and Ag (<100 to > 10,000 mg/kg) are deposited on the back-pressure plates in surface pipelines. In Rotokawa pipelines the scales at the wellhead contain 5.6 wt.% Cu, 4.0 wt.% Ag, 3.0 wt.% Te, 1.5 wt.% Zn, 0.6 wt.% Pb, and Au 0.2 wt.% (Reyes et al. 2002). These geothermal systems are analogs of low-sulfidation epithermal systems (Simmons and Browne 2000).

The higher salinities of the reservoir liquids at Reykjanes have contributed to much higher base metal contents in the scales that more closely resemble the bulk compositions of sulfide at mid-ocean ridge black smoker vents (Table 2). Sulfide minerals in the chimneys at 21°N include, in order of abundance, sphalerite, pyrite and chalcopyrite, with minor marcasite, pyrrotite, galena, and digenite. Traces of bornite, cubanite, covellite and chalcocite have also been observed as well as amorphous silica and Mg-hydroxysulfate-hydrate (MHSH) intimately associated with anhydrite (Haymon and Kastner, 1981). In contrast to the scales in the Reykjanes pipelines, chimneys on the ocean floor typically contain abundant anhydrite formed by heating of seawater. The wells at Reykjanes are insulated from cold seawater and thus contain no anhydrite.

Acknowledgements

The permission from HS Orka HF and Iceland GeoSurvey (ISOR) to publish the data is acknowledged. This paper is financed by the National Energy Authority and GeoSurvey (ISOR).

References

- Akaku K (1990) Geochemical study on mineral precipitation from geothermal waters at the Fushime field, Kyushu, Japan. *Geothermics* 19: 455-467.
- Akaku K and Reed MH (1995) Chemical and physical processes occurring in the Fushime geothermal system, Kyushu, Japan. In: Kharaka YK, Chudaev OV (eds) *Water-Rock Interaction (WRI-8)*, AA Balkema, Rotterdam, pp. 489-492.
- Brown KL (1986) Au deposition from geothermal discharges in New Zealand. *Economic Geology* 81: 979-983.
- Franzson H, Thordarson S, Björnsson G, Gudlaugsson STh, Richter B, Fridleifsson GÓ, Thorhallsson S (2002) Reykjanes high-temperature field, SW-Iceland. *Geology and hydrothermal alteration of well RN-10. Proceedings, 27th workshop on Geothermal Reservoir Engineering*. Stanford University: 233-240.
- Hannington MD, Tivey MK, Larocque ACL, Petersen S, Rona PA (1995) The occurrence of gold in sulfide deposits of the TAG hydrothermal field, Mid-Atlantic Ridge. *Canadian Mineralogist*, 33: 1285-1310.
- Hardardóttir V (2011) Metal-rich scales in the Reykjanes geothermal system, SW Iceland: sulfide minerals in a seawater-dominated hydrothermal environment. PhD thesis, Graduate and Postdoctoral Studies, Department of Earth Science, University of Ottawa, 288 p.
- Hardardóttir V, Brown KL, Fridriksson Th, Hedenquist JW, Hannington MD, Thorhallsson S (2009) Metals in deep liquid of the Reykjanes geothermal system, southwest Iceland: Implications for the composition of seafloor black smoker fluids. *Geology*, 37: 1103-1106.
- Hardardóttir V, Hannington MD, Hedenquist JW, Kjarsgaard I, Hoal K (2010) Cu-rich scales in the Reykjanes geothermal system, Iceland. *Economic Geology*, 105: 1143-1155.
- Haymon R, Kastner M (1981) Hot spring deposits on the East Pacific Rise at 21°N: preliminary description of mineralogy and genesis. *Earth Planet. Sci. Lett.* 53: 363-381.
- Hedenquist JW (1990) The thermal and geochemical structure of the Broadlands-Ohaaki geothermal system, New Zealand. *Geothermics* 19, 151-185.
- Jonsson J (1978) Geological map of Reykjanes Peninsula. National Energy Authority Report No. OS JHD 7831: 303 p.
- Karlsdóttir R (2005) TEM-resistivity measurements at Reykjanes 2004 (in Icelandic). Iceland GeoSurvey report no. ÍSOR-2005/002, 23 p.
- Reyes AG., Trompeter WJ, Britten K, Searle (2002) Mineral deposits in the Rotokawa geothermal pipelines, New Zealand. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 119: 215-239.

Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
13. mars 2015

- Saemundsson K, Jóhannesson H (2004) Geothermal map of Iceland, Reykjavík, Iceland GeoSurvey and Icelandic Energy Authority, 1:500,000.
- Simmons SF, Browne PRL (2000) Hydrothermal minerals and precious metals in the Broadlands-Ohaaki geothermal system: Implications for understanding low-sulfidation Epithermal environments. *Economic Geology* 95: 971-999.
- Tivey MK (1995) Modeling chimney growth and associated fluid flow at seafloor hydrothermal vent sites, *in* Humphris SE et al. eds, *Geophysical Monograph 91, Seafloor hydrothermal systems, physical, chemical, biological, and geological interactions*: 158-177.
- Tivey MK, Humphris SE, Thompson G, Hannington MD, Rona PA (1995) Deducing patterns of fluid flow and mixing within the TAG active hydrothermal mound using mineralogical and geochemical data. *Journal of geophysical Research* 100: 12,527-12,555.
- Tómasson J, Kristmannsdóttir H (1972) High-temperature alteration minerals and geothermal brine, Reykjanes, Iceland. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 36: 123-134.

Árstíðabreytingar í tíðni gróðurelda á Íslandi

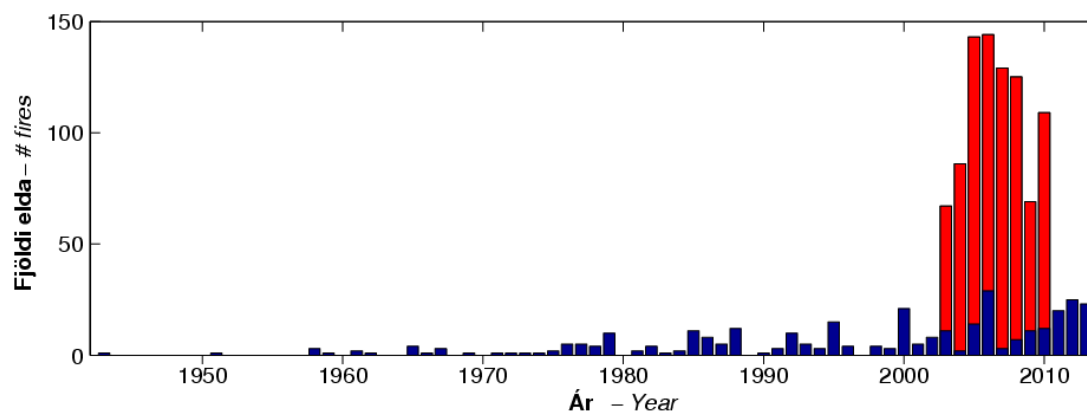
Þröstur Þorsteinsson

Jarðvísindastofnun Háskólans & Umhverfis- og auðlindafræði, Háskóli Íslands, Sturlugata 7, 101 Reykjavík (ThrosturTh@hi.is)

Á Íslandi hefur magn gróðurs víða aukist töluvert á undanförunum árum, sér í lagi á vestari helmingi landsins. Meðal ástæðna eru minnkandi beit, vaxandi skógrækt, sumarhúsabyggðir og hlýnandi veðurfar. Einnig hefur lúpína víða myndað stórar og þéttar breiður með miklum eldsmat. Samtímis hefur orðið veruleg aukning ferðamanna og útivistar allt árið. Þar sem nánast allir gróðureldar hérlandis eru af mannavöldum, 72% elda kvikna vegna íkveikju, eykst hættan á gróðureldum og tjóni. Óhætt er að fullyrða að hættan á því að gróðureldar kvikni og valdi skaða minnkar ekki með hlýnandi veðurfari og auknum gróðri, sér í lagi í þéttum sumarhúshverfum.

Opinberlega falla gróðureldar enn ekki undir skilgreiningu náttúruvár og skipulagsáætlanir eru almennt ekki unnar með hættu af gróðureldum í huga. Til að skilgreina þá hættu sem stafar af gróðureldum sem best þarf margt að koma til. Eitt af því er vitneskja um fyrri atburði, gagnagrunnur yfir gróðurelda; oft er talað um brunasögu svæðis.

Upplýsingum um gróðurelda á Íslandi var safnað a) með ítarlegri leit í rafrænum gagnasöfnum af fréttum, b) í gagnagrunni frá Mannvirkjastofnun (MVS) fyrir árin 2003–2010 og c) frá brunavörnum Borgarbyggðar (2010). Fjöldi elda sem heimildir fundust um á tímabilinu 1943 – 2012 er mjög breytilegur, en í gagnagrunni MVS eru öll útköll slökkviliða landsins skráð og því þar mun fleiri eldar en fjallað er um í fréttum (1. mynd). Hinsvegar er hlutfallsleg dreifing eftir árstíma ekki mjög frábrugðin milli fréttu og gagnagrunns MVS.

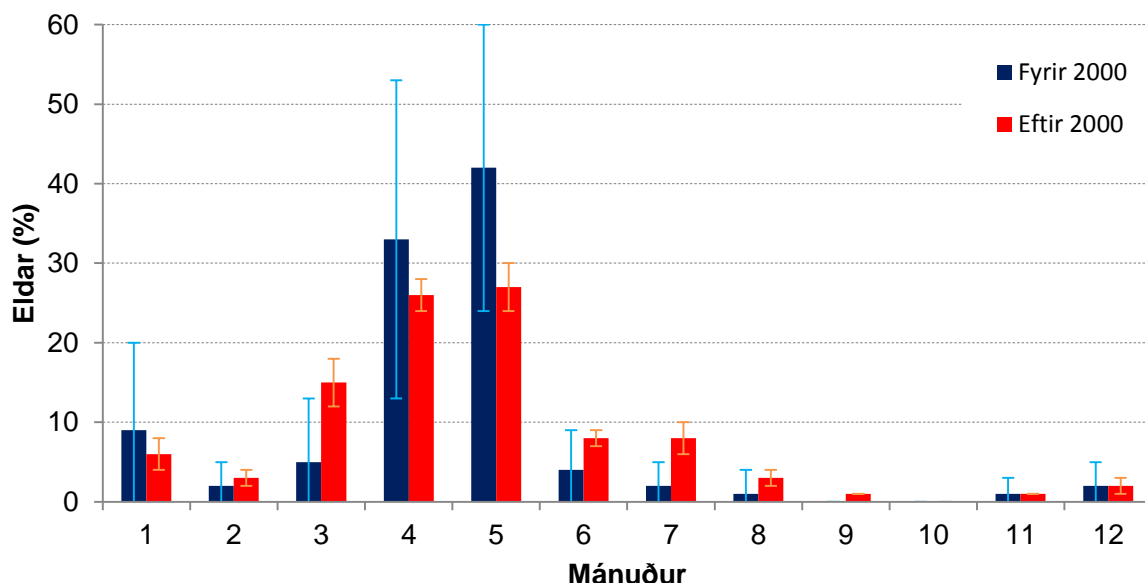


1. mynd. Fjöldi gróðurelda í fréttum og gagnagrunni MVS eftir árum. Á tímabilinu frá 18. maí 2002 til 31. desember 2010 eru gögn úr útkallsgagnagrunni MVS (rauðar súlur) inni í heildartölunni.

Flestir eldarnir eru litlir, en þó urðu tíu eldar þar sem yfir hektari lands brann á árunum 2007–2013, þar af sex stærri en 10 hektarar. Stærstir voru Mýraeldar í mars–apríl 2006 (3. mynd) þar sem 6700 hektarar af mýrum og flóum brunnu og eldur á Skarðsströnd í apríl 2008 þar sem 105 hektarar af mýrum og l yngheiði brunnu.

Greinilegur árstíðamunur er á hvenær gróðureldar kvikna hérlandis (2. mynd). Algengast er að þeir kvikni á vorin (mars–maí, 70% gróðurelda), með hámarki í maí (29% af eldum ársins) og apríl (28%) og svo í mars (13%). Í janúar verða nokkuð margir eldar (6%) og kvikna þeir oftast vegna flugeldanotkunar kringum áramót.

Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
13. mars 2015



2. mynd. Hlutfallsleg dreifing elda á mánuði árin 1943–2000 (bláar súlur; 161 atburður) og 2001–2012 (rauðar súlur; 947 atburðir) og staðalfrávik fyrir hvern mánuð.

Ekki eru til nægjanlega góð gögn til að meta nákvæmlega hvort tíðni gróðurelda hafi breyst síðustu áratugi eða hvort dreifing þeirra á árstíðir hafi breyst. Hins vegar virðist sem gróðureldar yfir sumarmánuði séu tiltölulega nýleg þróun. Hún fer saman við hnattræna hlýnun, aukna skógrækt og sumarhúsabyggð og minni beit, sem hefur aukið gróður magn víða á landinu. Þetta gefur ríka ástæðu til að fylgjast vel með, skrá á skipulegan hátt gróðurelda og undirbúa viðbragðsáætlanir og hættumat vegna þeirra.



3. mynd. Mýraeldar í lok mars 2006 (mynd Theodór Þórðarson).

Sérstakar þakkir fá Hulda Guðmundsdóttir, Skorradalshreppur, Guðmundur Guðjónsson og Borgþór Magnússon á NI.is, Trausti Jónsson og Elín Jónasdóttir á VÍ, MVS og slökkvilið Borgarbyggðar. Kristín Sverrisdóttir vann að skráningu gróðurelda í gagnagrunn til bráðabirgða. Skorradalshreppur styrkti verkefnið með fjármagni sem fékkst frá Alþingi.