



**Vorráðstefna
Jarðfræðafélags Íslands**

Ágrip erinda og veggspjalda

Haldin í Öskju
Náttúrufræðahúsi Háskóla Íslands,
15. apríl 2011

Dagskrá Vorráðstefnu JFÍ, 15. apríl 2011

Erindi

08:10 – 08:40 Skráning

Fundarstjóri Ívar Örn Benediktsson

08:40 – 08:45 Setning

Þorsteinn Sæmundsson

08:45 – 09:00 Þorleifur Jóhannes Einarsson (f. 29.8.1931, d. 22.3.1999)

Páll Ímsland

09:00 – 09:15 Eðli og nýting jarðhitaauðlindarinnar

Guðni Axelsson og Ólafur G. Flóventz

09:15 – 09:30 Jarðfræði Íslands – fræðileg verndun og varðveisla – tillaga að stefnu

Sigmundur Einarsson, Kristján Jónasson og Lovísa Ásbjörnsdóttir

09:30 – 09:45 Norðurfærsla Íslands með hliðsjón af kyrrstæðum möttulstrók undir Íslandi: rakin út frá jarðsögu, jarðhniki og landmælingu

Jóhann Helgason og Guðmundur Valsson

09:45 – 10:00 Preferred sub-horizontal dike propagation deduced from magnetic fabric analyses of the Álftafjörður dike swarm: Implications for shallow crustal magma transport in Icelandic volcanic systems

Per I. Eriksson, Morten S. Riishuus and Sten-Åke Elming

10:00 – 10:15 Myndun og þróun krákustígsása við Eyjabakkajökul

Eygló Ólafsdóttir, Ívar Örn Benediktsson, Anders Schomacker og Ólafur Ingólfsson

10:15 – 10:30 Eldgosið í Eyjafjallajökli í apríl-maí 2010

Magnús Tumi Guðmundsson, Ármann Höskuldsson, Guðrún Larsen, Þorvaldur Þórðarson, Björn Oddsson, Eyjólfur Magnússon, Þórdís Högnadóttir, Ingibjörg Jónsdóttir, Halldór Björnsson, Nína Guðrún Petersen

10:30 – 11:00 Kaffi og veggspjaldasýning

Fundarstjóri Kristín S. Vogfjörð

11:00 – 11:15 Bergsegulmælingar á Pleistósen hraunlögum á þrem stöðum suðvestan- og sunnanlands

Leó Kristjánsson

11:15 – 11:30 Skriðuannáll 2010

Skafti Brynjólfsson og Halldór G. Pétursson

11:30 – 11:45 Tephra, mass- and energy balance: the influence of the Eyjafjallajökull eruption 2010 on Icelandic ice caps

Sverrir Guðmundsson, Finnur Pálsson, Helgi Björnsson, Þröstur Þorsteinsson and Hannes H. Haraldsson

11:45 – 12:00 Sprungusveimar Norðurgosbeltisins

Ásta Rut Hjartardóttir, Páll Einarsson, Sigríður Magnúsdóttir og Bryndís Brandsdóttir

12:00 – 12:15 Arsenic Speciation in Geothermal Waters

Nicole S. Keller, Andri Stefánsson and Bergur Sigfússon

12:15 – 13:00 Aðalfundur Jarðfræðafélags Íslands

13:00 – 13:30 Matur og veggspjaldasýning

Fundarstjóri Þorsteinn Sæmundsson

- 13:30 – 13:45 Nýtt jarðfræðikort af Suðvesturlandi í mælikvarða 1:100.000
Kristján Sæmundsson, Haukur Jóhannesson, Árni Hjartarson, Sigurður Garðar Kristinsson og Magnús Á. Sigurgeirsson
- 13:45 – 14:00 Eldfell og Eyjafjallajökull: hraði kvikuþróunar undir misþroskuðum alkalískum eldfjöllum
Olgeir Sigmarsson
- 14:00 – 14:15 Gamla Ísland – a re-investigation of the geochronology of flood basalts enveloping the Selárdalur-Botn Formation in Vestfirðir
Morten S. Riisshuus, Robert Duncan and Leo Kristjansson
- 14:15 – 14:30 Merki um kvikuflutning í Eyjafjallajökli 2009-2010 kortlögð með smáskjálftum
Sigurlaug Hjaltadóttir, Kristín S. Vogfjörð, Ragnar Slunga
- 14:30 – 14:45 Gjóskulagaskipan á norðanverðu landgrunni Íslands: Tenging við gjóskulög á landi
Esther Ruth Guðmundsdóttir, Guðrún Larsen og Jón Eiríksson
- 14:45 – 15:00 Sulphur speciation at redox disequilibrium in natural geothermal waters, Iceland
Hanna Kaasalainen og Andri Stefánsson
- 15:00 – 15:15 Umhverfisbreytingar í kjölfar landsnáms við Reykholt í Borgarfirði
Guðrún Gísladóttir, Egill Erlendsson og Rattán Lal
- 15:15 – 15:30 The plumbing system of Eyjafjallajökull volcano: Comparison with dike and magma pod model for Karymsky volcano, Kamchatka, and crypto-magma chamber model for Mt. Fuji, Japan
Freysteinn Sigmundsson, A. Hooper, J. Martins, K. Spaans, Sigrún Hreinsdóttir, Thóra Árnadóttir, Rikke Pedersen, Matthew J. Roberts, Amandine Auriac, Páll Einarsson, Martin Hensch, Benedikt G. Ófeigsson, Erik Sturkell, Kurt L. Feigl, Olgeir Sigmarsson and John Eichelberger

15:30 – 16:00 Kaffi og veggspjaldasýning

Fundarstjóri Björn S. Harðarson

- 16:00 – 16:15 Hversu mikil spenna er að safnast fyrir á Húsavíkurmisgenginu?
Sabrina Metzger, Sigurjón Jónsson og Halldór Geirsson
- 16:15 – 16:30 Tectonics of South Iceland Seismic Zone at the site of three hydropower plants in Lower Þjórsá
Maryam Khodayar, Sveinbjörn Björnsson, Hjalti Franzson, Páll Einarsson
- 16:30 – 16:45 Tímabil og eðli landnýtingar við Norðtungusel í Kjarardal, Borgarfirði, greind með frjókornum, örkolum og gróum taðsveppa
Egill Erlendsson og Guðrún Gísladóttir
- 16:45 – 17:00 Áfok og rykmengun á Íslandi: helstu uppsprettur, magn og áhrif
Ólafur Arnalds
- 17:00 – 17:15 2007-2008 unrest at Upptyppingar-Álftadalsdyngja: Constraints on deep magma injection from GPS and InSAR
Benedikt Gunnar Ófeigsson, Andy Hooper, Freysteinn Sigmundsson, Björn Lund, Páll Einarsson, Halldór Geirsson, Erik C Sturkell
- 17:15 – 17:30 Órói í íslenskum eldstöðvum
Kristín S. Vogfjörð, Sigurlaug Hjaltadóttir og Ragnar Slunga
- 17:30 – 17:45 Kolefnisbúskapur Íslands
Sigurður Reynir Gíslason, Guðrún Gísladóttir, Marin I. Kardjilov og Eydís S. Eiríksdóttir

17:45 – Móttaka í boði Jarðfræðafélags Íslands

Veggspjöld

Glacio-Isostatic Adjustment around Vatnajökull ice cap, Iceland, revealed by InSAR data

Amandine Auriac, Freysteinn Sigmundsson, Andy Hooper and Karsten Spaans

Quantification of geochemical energy in geothermal ecosystems

Ásgerður K. Sigurðardóttir, Andri Stefánsson, Guðmundur Óli Hreggviðsson, Snædís Björnsdóttir and Sólveig Pétursdóttir

Crustal effects of the Hálslón water reservoir, Iceland: A three-dimensional model of the Earth's response

Baldvin Jónbjarnarson, Freysteinn Sigmundsson, Benedikt G. Ófeigsson, Páll Einarsson, Erik Sturkell, Andy Hooper, Fjóla Guðrún Sigtryggisdóttir and Halldór Geirsson

Jarðskjálftavirkni á Íslandi 2010

Bergþóra S. Þorbjarnardóttir, Gunnar B. Guðmundsson og Steinunn S. Jakobsdóttir

Petrologic and volcanologic investigations of the Grænavatn Porphyritic Group, East Iceland reveal complex fossil magma plumbing systems

Christina B. Andersen, Birgir V. Óskarsson and Morten S. Riishuus

Eðjuflóð, aurskriður og framburður gosfna niður á láglendi með vatnsföllum vegna gjósku úr Eyjafjallajökulsgosinu vorið 2010

Jón Kristinn Helgason, Esther Hlíðar Jensen og Sigurjón Einarsson

Tvö leiðarlög frá Heklu: Gjóskulögin Hekla Ö og Hekla DH

Esther Ruth Guðmundsdóttir, Guðrún Larsen og Jón Eiríksson

Influence of surface load variations on shallow magma storage zones: Application to Icelandic subglacial volcanoes

Fabien Albino, Virginie Pinel and Freysteinn Sigmundsson

Kol og kjarnviður í Þjórsárdal: Hnignun kjarr- og skóglendis í Þjórsárdal 1587-1938 og ástæður hennar

Friðþór Sófus Sigurmundsson, Guðrún Gísladóttir og Hreinn Óskarsson

Sulphur and metal transport in active geothermal systems, Iceland – surface geothermal environments

Hanna Kaasalainen og Andri Stefánsson

Stærstu jökulgarðar á Íslandi – setgerð, bygging og myndun jökulgarða við Gígjökul og Kvíárjökul

Ívar Örn Benediktsson

The inflation and deflation episodes in the Krísuvík geothermal area.

Karolina Michalczevska, Sigrún Hreinsdóttir, Amandine Auriac, Thorbjörg Ágústsdóttir, Thóra Árnadóttir, Halldór Geirsson, Andrew Hooper, Kurt L. Feigl, Rick Bennett, Páll Einarsson, Freysteinn Sigmundsson, Judicael Decriem, and Marie Keiding

Fault map of the northern part of the Krísuvík fissure swarm, SW-Iceland

Páll Einarsson, Ásta Rut Hjartardóttir, Tinna Jónsdóttir, Benedikt G. Ófeigsson, Snæbjörn Guðmundsson, Sigurlaug Hreinsdóttir, Þorbjörg Ágústsdóttir, and students of Current Crustal Movements in the Faculty of Earth Sciences, University of Iceland 2010

Mælingar á yfirborði og yfirborðsbreytingum íslenskra jökla með leysimælingum

Tómas Jóhannesson, Helgi Björnsson, Finnur Pálsson, Oddur Sigurðsson og Þorsteinn Þorsteinsson

Eldingar í gosmekki Eyjafjallajökulsgossins 2010

Þórður Arason

Hæð gosmakkar í Eyjafjallajökulsgosinu 2010

Þórður Arason, Halldór Björnsson og Guðrún Nína Petersen

High levels of particulate matter due to ash plume and ash re-suspension following the Eyjafjallajökull eruption

Throstur Thorsteinsson, Thorsteinn Johannsson and Gudrun Petursdottir

Efnisyfirlit

Dagskrá Vorráðstefnu JFÍ, 15. apríl 2011.....	i
Erindi	i
Veggspjöld	iii
Efnisyfirlit.....	v
Ágrip erinda	1
Glacio-Isostatic Adjustment around Vatnajökull ice cap, Iceland, revealed by InSAR data.....	3
<i>Amandine Auriac, Freysteinn Sigmundsson, Andy Hooper and Karsten Spaans</i>	
Quantification of geochemical energy in geothermal ecosystems	4
<i>Ásgerður K. Sigurðardóttir, Andri Stefánsson, Guðmundur Óli Hreggviðsson, Snædís Björnsdóttir and Sólveig Pétursdóttir.</i>	
Sprungusveimar Norðurgosbeltisins	6
<i>Ásta Rut Hjartardóttir, Páll Einarsson, Sigríður Magnúsdóttir og Bryndís Brandsdóttir</i>	
Crustal effects of the Háslón water reservoir, Iceland: A three-dimensional model of the Earth's response	8
<i>Baldvin Jónbjarnarson, Freysteinn Sigmundsson, Benedikt G. Ófeigsson, Páll Einarsson, Erik Sturkell, Andy Hooper, Fjóla Guðrún Sigtryggsdóttir and Halldór Geirsson</i>	
2007-2008 unrest at Upptýppingar-Álftadalsdyngja: Constraints on deep magma injection from GPS and InSAR.....	9
<i>Benedikt Gunnar Ófeigsson, Andy Hooper, Freysteinn Sigmundsson, Björn Lund, Páll Einarsson, Halldór Geirsson, Erik C Sturkell</i>	
Jarðskjálftavirkni á Íslandi 2010.....	10
<i>Bergþóra S. Þorbjarnardóttir, Gunnar B. Guðmundsson og Steinunn S. Jakobsdóttir</i>	
Petrologic and volcanologic investigations of the Grænavatn Porphyritic Group, East Iceland reveal complex fossil magma plumbing systems	12
<i>Christina B. Andersen, Birgir V. Óskarsson and Morten S. Riisshuus</i>	
Tímabil og eðli landnýtingar við Norðtungusel í Kjarardal, Borgarfirði, greind með frjókornum, örkolum og gróum taðsveppa.....	14
<i>Egill Erlendsson og Guðrún Gísladóttir</i>	
Gjóskulagaskipan á norðanverðu landgrunni Íslands: Tenging við gjóskulög á landi.....	16
<i>Esther Ruth Guðmundsdóttir, Guðrún Larsen og Jón Eiríksson</i>	
Tvö leiðarlög frá Heklu: Gjóskulögin Hekla Ö og Hekla DH*	17
<i>Esther Ruth Guðmundsdóttir, Guðrún Larsen og Jón Eiríksson</i>	
Myndun og þróun krákustígsása við Eyjabakkajökul	18
<i>Eygló Ólafsdóttir, Ívar Örn Benediktsson, Anders Schomacker og Ólafur Ingólfsson</i>	
Influence of surface load variations on shallow magma storage zones: Application to Icelandic subglacial volcanoes	20
<i>Fabien Albino, Virginie Pinel and Freysteinn Sigmundsson</i>	
The plumbing system of Eyjafjallajökull volcano: Comparison with dike and magma pod model for Karymsky volcano, Kamchatka, and crypto-magma chamber model for Mt. Fuji, Japan.....	21
<i>Freysteinn Sigmundsson, A. Hooper, J. Martins, K. Spaans, Sigrún Hreinsdóttir, Thóra Árnadóttir, Rikke Pedersen, Matthew J. Roberts, Amandine Auriac, Páll Einarsson, Martin Hensch, Benedikt G. Ófeigsson, Erik Sturkell, Kurt L. Feigl, Olgeir Sigmarsson and John Eichelberger</i>	
Kol og kjarnviður í Þjórsárdal: Hnignun kjarr- og skóglendis í Þjórsárdal 1587-1938 og ástæður hennar	23

Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
15. apríl 2011

Friðþór Sófus Sigurmundsson, Guðrún Gísladóttir og Hreinn Óskarsson

Eðli og nýting jarðhitaauðlindarinnar	24
<i>Guðni Axelsson og Ólafur G. Flóvenz</i>	
Umhverfisbreytingar í kjölfar landsnáms við Reykholt í Borgarfirði	26
<i>Guðrún Gísladóttir, Egill Erlendsson og Rattán Lal</i>	
Sulphur speciation at redox disequilibrium in natural geothermal waters, Iceland	28
<i>Hanna Kaasalainen og Andri Stefánsson</i>	
Sulphur and metal transport in active geothermal systems, Iceland – surface geothermal environments.....	30
<i>Hanna Kaasalainen og Andri Stefánsson</i>	
Stærstu jökulgarðar á Íslandi – setgerð, bygging og myndun jökulgarða við Gígjökul og Kvíárjökul	32
<i>Ívar Örn Benediktsson</i>	
Eðjuflóð, aurskriður og framburður gósefna niður á láglandi með vatnsföllum vegna gjósku úr Eyjafjallajökulsgosinu vorið 2010.....	33
<i>Jón Kristinn Helgason, Esther Hlíðar Jensen og Sigurjón Einarsson</i>	
Norðurfærsla Íslands með hliðsjón af kyrrstæðum möttulstrók undir Íslandi: rakin út frá jarðsögu, jarðhniki og landmælingu.....	35
<i>Jóhann Helgason og Guðmundur Valsson</i>	
The inflation and deflation episodes in the Krísuvík geothermal area.	37
<i>Karolina Michalczevska, Sigrún Hreinsdóttir, Amandine Auriac, Thorbjörg Águstsdóttir, Thóra Árnadóttir, Halldór Geirsson, Andrew Hooper, Kurt L. Feigl, Rick Bennett, Páll Einarsson, Freysteinn Sigmundsson, Judicael Decriem, and Marie Keiding</i>	
Órói í íslenskum eldstöðvum	39
<i>Kristín S. Vogfjörð, Sigurlaug Hjaltadóttir og Ragnar Slunga</i>	
Nýtt jarðfræðikort af Suðvesturlandi í mælikvarða 1:100.000.....	40
<i>Kristján Sæmundsson, Haukur Jóhannesson, Árni Hjartarson, Sigurður Garðar Kristinsson og Magnús Á. Sigurgeirsson</i>	
Bergsegulmælingar á Pleistósen hraunlögum á þrem stöðum suðvestan- og sunnanlands	42
<i>Leó Kristjánsson</i>	
Tectonics of South Iceland Seismic Zone at the site of three hydropower plants in Lower Þjórsá ...	43
<i>Maryam Khodayar, Sveinbjörn Björnsson, Hjalti Franzson, Páll Einarsson</i>	
Gamla Ísland – a re-investigation of the geochronology of flood basalts enveloping the Selárdalur-Botn Formation in Vestfirðir.....	45
<i>Morten S. Riishuus, Robert Duncan and Leo Kristjánsson</i>	
Eldgosið í Eyjafjallajökli í apríl-maí 2010	46
<i>Magnús Tumi Guðmundsson, Ármann Höskuldsson, Guðrún Larsen, Þorvaldur Þórðarson, Björn Oddsson, Eyjólfur Magnússon, Þórdís Högnadóttir, Ingibjörg Jónsdóttir, Halldór Björnsson, Nína Guðrún Petersen</i>	
Arsenic Speciation in Geothermal Waters.....	47
<i>Nicole S. Keller, Andri Stefánsson and Bergur Sigfússon</i>	
Eldfell og Eyjafjallajökull: hraði kvikuþróunar undir misþroskuðum alkalískum eldfjöllum.....	49
<i>Ólgeir Sigmarsson</i>	
Áfok og rykmengun á Íslandi: helstu uppsprettur, magn og áhrif	50
<i>Ólafur Arnalds</i>	
Þorleifur Jóhannes Einarsson (f. 29.8.1931, d. 22.3.1999)	52
<i>Páll Imsland</i>	
Fault map of the northern part of the Krísuvík fissure swarm, SW-Iceland.....	53

Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
15. apríl 2011

Páll Einarsson, Ásta Rut Hjartardóttir, Tinna Jónsdóttir, Benedikt G. Ófeigsson, Snæbjörn Guðmundsson, Sigurlaug Hreinsdóttir, Þorbjörg Ágústsdóttir, and students of Current Crustal Movements in the Faculty of Earth Sciences, University of Iceland 2010

Preferred sub-horizontal dike propagation deduced from magnetic fabric analyses of the Álftafjörður dike swarm: Implications for shallow crustal magma transport in Icelandic volcanic systems	54
<i>Per I. Eriksson, Morten S. Riishuus and Sten-Åke Elming</i>	
Jarðfræði Íslands – fræðileg verndun og varðveisla – tillaga að stefnu	55
<i>Sigmundur Einarsson, Kristján Jónasson og Lovísa Ásbjörnsdóttir</i>	
Merki um kvikuflutning í Eyjafjallajökli 2009-2010 kortlögð með smáskjálftum	57
<i>Sigurlaug Hjaltadóttir, Kristín S. Vogfjörð, Ragnar Slunga</i>	
Skríðuannáll 2010.....	59
<i>Skafti Brynjólfsson og Halldór G. Pétursson</i>	
Kolefnisbúskapur Íslands	60
<i>Sigurður R. Gíslason, Guðrún Gísladóttir, Marin I. Kardjilov og Eydis S. Eiríksdóttir</i>	
Tephra, mass- and energy balance: the influence of the Eyjafjallajökull eruption 2010 on Icelandic ice caps	62
<i>Sverrir Guðmundsson, Finnur Pálsson, Helgi Björnsson, Þröstur Þorsteinsson and Hannes H. Haraldsson</i>	
High levels of particulate matter due to ash plume and ash re-suspension following the Eyjafjallajökull eruption	63
<i>Throstur Thorsteinsson, Thorsteinn Johannsson and Gudrun Petursdottir</i>	
Mælingar á yfirborði og yfirborðsbreytingum íslenskra jökla með leysimælingum.....	64
<i>Tómas Jóhannesson, Helgi Björnsson, Finnur Pálsson, Oddur Sigurðsson og Þorsteinn Þorsteinsson</i>	
Eldingar í gosmekki Eyjafjallajökulsgossins 2010.....	65
<i>Þórður Arason</i>	
Hæð gosmakkar í Eyjafjallajökulsgosinu 2010	66
<i>Þórður Arason, Halldór Björnsson og Guðrún Nína Petersen</i>	
Hversu mikil spennan er að safnast fyrir á Húsavíkurmisgenginu?.....	67
<i>Sabrina Metzger, Sigurjón Jónsson og Halldór Geirsson</i>	

Umsjón: Ívar Örn Benediktsson og Þorsteinn Sæmundsson

Tilvitnun í ritið:

Esther Ruth Guðmundsdóttir, Guðrún Larsen og Jón Eiríksson. Gjóskulagaskipan á norðanverðu landgrunni Íslands: Tenging við gjóskulög á landi. Vorráðstefna JFÍ, 15. apríl 2011. Ágrip erinda og veggspjalda. Jarðfræðafélag Íslands, bls. 16.

Ágrip erinda

Glacio-Isostatic Adjustment around Vatnajökull ice cap, Iceland, revealed by InSAR data

Amandine Auriac¹, Freysteinn Sigmundsson¹, Andy Hooper² and Karsten Spaans²

¹Institute of Earth Sciences, Nordic Volcanological Center, University of Iceland, Askja, Sturlugata 7

²Delft Institute of Earth Observation and Space Systems (DEOS), Delft University of Technology, Delft, The Netherlands

Climate warming over the last decades has many effects on Nature, among which increasing melting of icecaps around the world. Vatnajökull icecap, the largest in Europe with an area of ~8100 km² and maximum thickness of ~900 m, don't make exception. Because it has lost remarkable ice mass since the end of the Little Ice Age, a significant uplift, due to Glacio-Isostatic Adjustment (GIA), can be detected at its surroundings. Previously monitored by GPS measurements, this study focuses on using satellite-borne radar interferometry (InSAR) to map out the complete extend of the uplift signal and investigate for the response of the crust to this phenomenon.

InSAR is a phase differencing technique, used extensively in crustal deformation studies to measure surface displacements. It provides a better spatial coverage than GPS data, which can only be collected at selected benchmarks. Although InSAR is only able to determine Line-Of-Sight (LOS) displacement, its superior spatial sampling greatly helps constraining the deformation patterns resulting from the GIA. This study aims at getting a better understanding of the rheology of the lithosphere in the vicinity of Vatnajökull, through the way it responds to ice unloading. This will be achieved by fitting the results from InSAR processing to (3D) models developed with the Finite Element Method (FEM). Our goal is to test if there is a spatial variation in those properties depending on the distance to the plate spreading center (i.e. from west to east). We plan also to clarify the shape and extent of the GIA signal from the edges of the icecap. To reach these objectives, a collection of summer acquisitions (to remove the loss of coherence due to snow cover in winter) from the ERS-1, ERS-2 and Envisat satellites were processed, covering the whole icecap in both ascending and descending tracks.

Using the StaMPS processing method, times series of the deformation in the vicinity of Vatnajökull were produced, clearly showing the GIA signal over a time span of ~18 years (from 1992 to 2010). Preliminary results indicate previously undetected variations in the uplift signal, most likely related to differences in melting rates at the outlet glaciers. LOS velocities are in average up to 12 mm/yr at the low-altitude outlet glaciers, over a 10-year period. The decaying rate of the signal is consistent with observations made by GPS measurements. In some areas, the signal is much more complex due to tectonic and volcanic processes also occurring in the region (e.g. plate spreading, glacial surge, magmatic intrusion). Future work includes some additional processing and development of a 3D model taking into account more detailed ice models for each outlet glacier of Vatnajökull.

Quantification of geochemical energy in geothermal ecosystems

Ásgerður K. Sigurðardóttir¹, Andri Stefánsson¹, Guðmundur Óli Hreggviðsson², Snædís Björnsdóttir² and Sólveig Pétursdóttir²

¹ Faculty of Earth Science, University of Iceland, Sturlugata 7, 101 Reykjavík, Iceland, ²Matis ohf, Vínlandsleið 12, 113 Reykjavík, Iceland

Many geothermal ecosystems utilize geochemical energy for metabolic reactions. The magnitude of chemical energy available to microbial communities in geothermal water may be assessed by combining thermodynamic calculations with analytical techniques used for direct dissolved species determination. This approach allows for the quantification and ranking of various potential sources of inorganic chemical energy that may support microbial life. In order to quantify such source of energy in Icelandic surface geothermal waters, samples were collected from five different geothermal areas including Geysir, Flúðir, Ölkelduháls, Reykholtisdalur, Torfajökull. The major and trace elements were analysed as well as direct speciation determination of N (NH₃, NO₂, NO₃), S (H₂S, S₂O₃²⁻, SO₄²⁻), H₂O (O₂, H₂, H⁺), and C (CH₄, CO₂) using combination of titrations, ion chromatography and colorimetric techniques. The pH of the water and the temperature range were 3-9 and 50–90 °C, respectively. Combined with thermodynamic calculations of the appropriate redox reactions, the non-equilibrium excess energies (chemical affinities, A_r) defined as,

$$A_r = -\Delta_r G = -RT \ln Q_r / K_{eq}$$

were calculated for over 100 reactions and these ranked according to their importance as an energy source. To determine the chemical affinity of a particular reaction, the equilibrium constant were calculated using the Supcrt92 program and slop07.dat database (Johnson et al.,

1992) and the reaction quotient, $Q_r = \prod a_i^{\nu_i}$, were calculated from the measured species concentrations and calculated activity coefficients from total water composition using the PHREEQC program (Parkhurst and Appelo, 1999).

Examples of the results are shown in Figure 1 for reactions involving sulphur species. The reactions yielding the highest energy involved oxidation or reduction of S_(s) and S₂O₃²⁻ by O₂ and H₂, respectively. Other reactions of importance involved oxidation or reduction of S_(s) and SO₄²⁻, H₂S and SO₄²⁻ and S₂O₃²⁻ and SO₄²⁻. The overall trend was found to be relatively insensitive to pH and temperature and whether the reaction was written as oxidation or reduction reaction. The energies thus obtained may be compared with known metabolisms of the geothermal ecosystems in order to identify the chemical reactions of importance for chemotrophic microbiological communities.

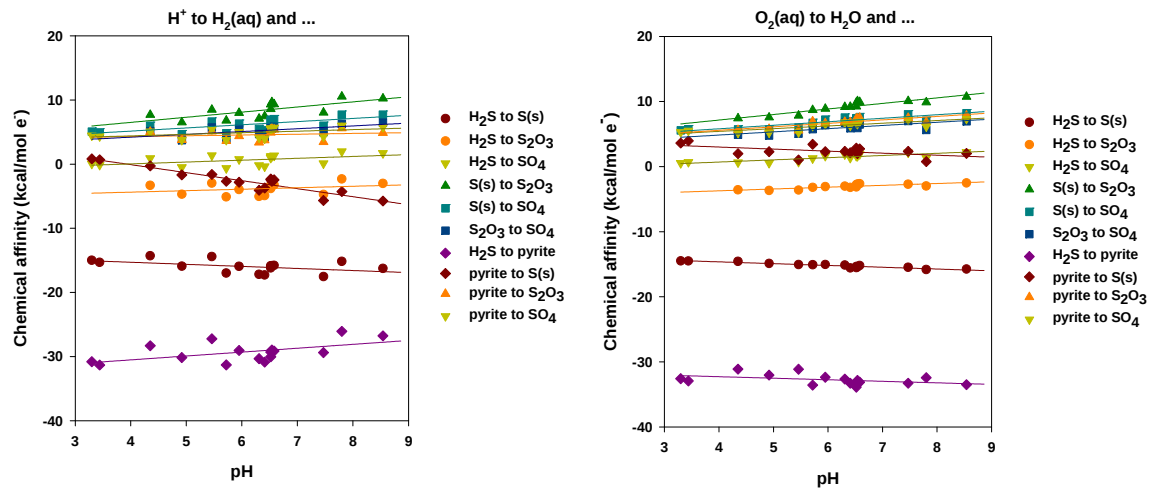


Fig. 1. The calculated chemical affinity (A_r) of reactions involving various sulphur species as a function of pH. The reactions yielding the highest positive chemical affinity are the reactions releasing most energy for possible metabolism.

Sprungusveimar Norðurgosbeltisins

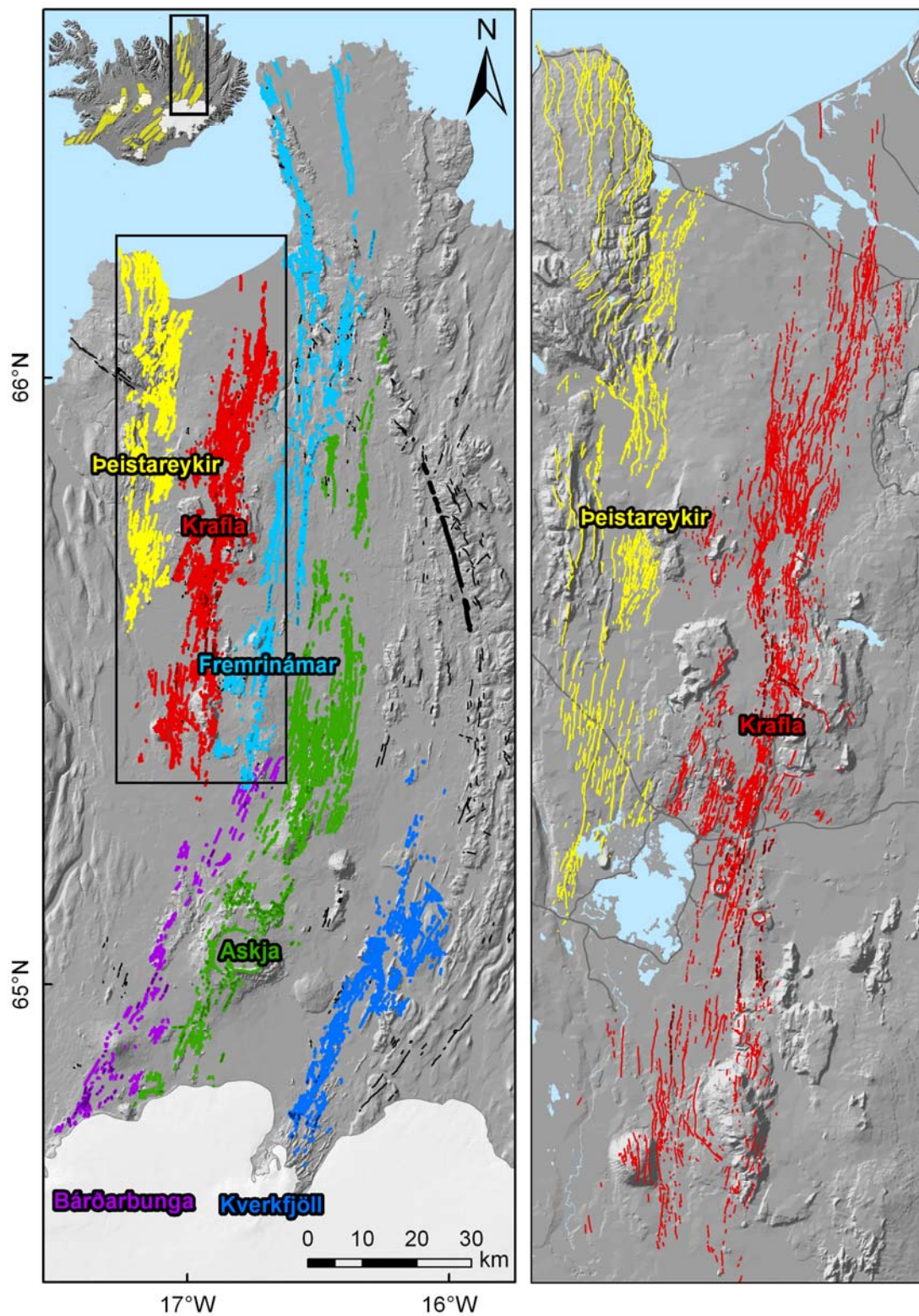
Ásta Rut Hjartardóttir^{1,2}, Páll Einarsson^{1,2}, Sigríður Magnúsdóttir^{1,2} og Bryndís Brandsdóttir¹

¹Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands, Öskju, Sturlugötu 7, ²Jarðvísindadeild Háskóla Íslands

Við höfum kortlagt sprungur frá nútíma í Norðurgosbeltinu, til þess að fá skýra mynd af þessum hluta flekaskila Norður-Ameríku og Evrasíuflekans. Sprungurnar voru kortlagðar af loftmyndum frá Landmælingum Íslands og Loftmyndum ehf. Norðurgosbeltið samanstendur af sex megineldstöðvum og sprungusveimum þeirra; Bárðarbungu, Kverkfjöllum, Öskju, Fremrinámum, Kröflu og Þeistareykjum. Bogalaga belti misgengja markar austurjaðar Norðurgosbeltisins, þar á meðal er Kerlingamisgengið, sem virðist hafa hreyfst á nútíma (mynd 1). Stór misgengi liggja einnig við norðvesturjarðar gosbeltisins, innan sprungusveims Þeistareykja og út á Tjörnesgrunn.

Í suðurhluta Norðurgosbeltisins stefna sprungusveimar til norðausturs en sveigja til norðurs eftir því sem norðar dregur. Flestar gossprungur innan hvers sprungusveims liggja næst megineldstöðvunum. Þótt hraun hylji misgengi og gliðnunasprungur næst megineldstöðvunum virðist mestur fjöldi tektónískra sprungna liggja í 10-60 km fjarlægð frá þeim.

Flestar sprungurnar liggja nokkuð samsíða hver annarri og sprungusveimum sjálfum. Þó finnast nokkrar undantekningar á því, svo sem nærri megineldstöðvum þar sem öskjur eru til staðar. Norðan Dyngjujökuls stefna sumar gossprungur í austur-vestur. Einnig sjást óvanalega fjölbreytilegar sprungustefnur í Álfadalsdyngju og nágrenni hennar og nyrst í Norðurgosbeltinu, þar sem Grímseyjarbrotabeltið mætir Norðurgosbeltinu. Sprungusveimur Þeistareykja sveigir til norðvesturs þar sem hann mætir misgengjum Húsavíkur-Flateyjar kerfisins á Reykjaheiði og til norðausturs í Kelduhverfi. Einnig er norðursprungusveimur Kröflu með breytilega norðlæga stefnu þar sem hann liggur á móts við misgengi Húsavíkurkerfisins (mynd 1). Sprungur í suðurhluta sprungusveima Kröflu og Þeistareykja eru aftur á móti nokkuð samsíða, eins og í flestum öðrum sprungusveimum Norðurgosbeltisins. Líklegt er að rekja megi hið óreglulega sprungumynstur í norðurhluta sprungusveima Þeistareykja og Kröflu til þess að þeir verði fyrir áhrifum af spennusviði Húsavíkurkerfisins. Að sama skapi er líklegt að spennusvið Grímseyjarbrotabeltisins valdi hinum óreglulegu sprungustefnum sem finnast á mörkum þess og Norðurgosbeltisins.



Mynd 1: Sprungur í sprungusveimum Norðurgosbeltisins lítaðar eftir eldstöðvakerfum. Góssprungur eru merktar með brotalínum í dekkri tón en tektónísku sprungurnar. Aðrar sprungur eru svartar, Kerlingamísgegnið er táknað með breiðum svörtum línun. Húsavíkurmísgegnið liggur í vestur frá sprungusveim Peistareykja. Mynd í bakgrunni er fengin frá IS50 gagnagrunni Landmælinga Íslands.

Crustal effects of the Háslón water reservoir, Iceland: A three-dimensional model of the Earth's response

Baldvin Jónbjarnarson¹, Freysteinn Sigmundsson¹, Benedikt G. Ófeigsson¹, Páll Einarsson¹, Erik Sturkell², Andy Hooper³, Fjóla Guðrún Sigtryggisdóttir⁴ and Halldór Geirsson⁵

¹Nordic Volcanological Center, Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Iceland, ²Department of Earth Sciences, University of Gothenburg, Sweden, ³Department of Earth Observation and Space Systems, Delft University of Technology, Netherlands, ⁴School of Science and Engineering, University of Reykjavík, Iceland, ⁵Icelandic Meteorological Office, Iceland

The response of the Earth to crustal loading can provide vital information on crustal strength. We have studied the response of the Earth to the largest man-made water reservoir in Iceland, Háslón, which was formed in 2006. We address how the Háslón water reservoir induced crustal displacement and stress changes, by comparing the predictions from a finite element model of the loading process to observed ground deformation mapped by GPS, satellite radar interferometry and extensometers.

The impoundment of the Háslón water reservoir began in September 2006. When the reservoir is full it spans an area of 57 km² and holds 2.1 km³ of water. The maximum yearly fluctuation of water level is 50 m.

The Háslón reservoir is located on the Eurasian Plate just east of divergent North American-Eurasian plate boundary where it crosses northern Iceland. The location coincides with the edge of a fissure swarm and overlies several lineaments and faults, some of which have been active during the Holocene. Other processes contributing to deformation in the area within the time span of observations include a lower crustal magma intrusion in 2007-2008, 25 km to the northwest, and unloading due to the contracting Vatnajökull icecap, south of the reservoir.

Prior to, and after, the filling of the reservoir, various measurements were made to evaluate the crustal deformation due to the load of the water. A network of 35 GPS benchmarks have been measured yearly from 2005 and eight continuous GPS stations were installed between 2004 and 2006. Satellite radar interferometric analysis (InSAR) have been conducted in the area. In addition, there are extensometers monitoring movements of faults in the Kárahnjúkar dam foundation. From these observations there is evidence for small movements due to the initial filling of the reservoir. Maximum widening across Háslón is of the order of 30-45 mm in the northern part where the reservoir is deepest and mean subsidence of the area around Háslón is of the order of 5-25 mm.

We are developing a three dimensional finite element model (with ABAQUS) of the area near Háslón, considering crustal layering, faults, pre-existing stress, and topography. The initial model is based on the available geologic and geotechnical information. Conditions before and after filling of the reservoir will be compared, to predict changes in stress and resulting deformation associated with the filling. In addition, the effects due to the annual fluctuation in the water level of the reservoir will be modeled. Model predictions will be compared to the crustal deformation data set mentioned above. The influence from Vatnajökull ice cap and the magmatic intrusion will also be considered. The aim is to gain insight in the characteristics and strength of the crust, to understand the geometry and properties of dislocations and to model the general effects of a major load on the crust.

2007-2008 unrest at Upptyppingar-Álftadalsdyngja: Constraints on deep magma injection from GPS and InSAR

Benedikt Gunnar Ofeigsson¹, Andy Hooper², Freysteinn Sigmundsson¹,
Bjorn Lund³, Pall Einarsson⁴, Halldor Geirsson⁵, Erik C Sturkell⁶

¹Nordic Volcanological Center, Institution of earth sciences, University of Iceland, ²Delft Institute of Earth Observation and Space Systems, Delft University of Technology, ³Department of Earth Sciences, Uppsala University, ⁴Institution of earth sciences, University of Iceland, ⁵Icelandic Meteorological Office, Reykjavik, Iceland, ⁶Department of Earth Sciences, University of Gothenburg, Gothenburg, Sweden

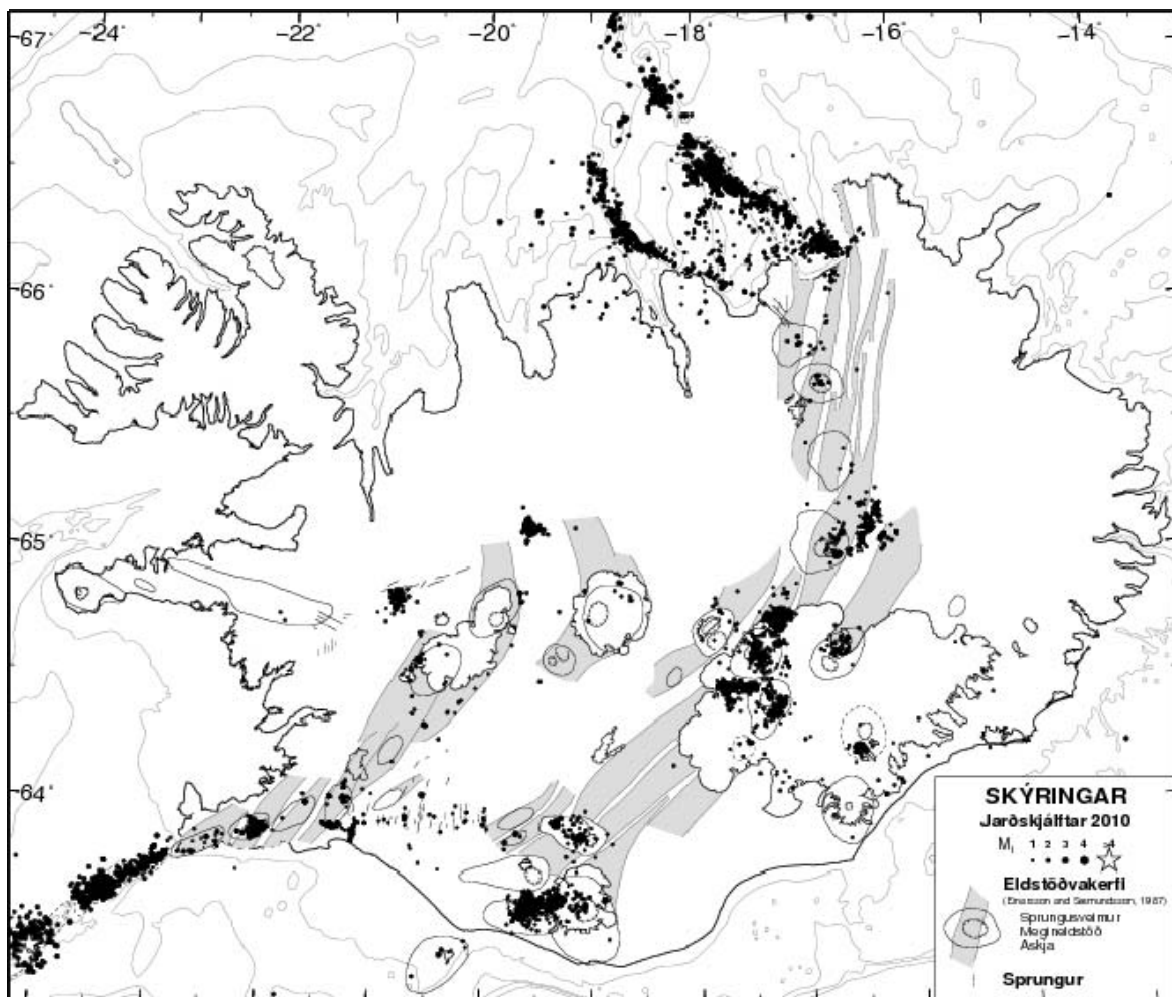
Formation of the oceanic lower crust and migration of magma within it remains enigmatic. These can be studied in subaerial exposure of the mid-oceanic rift system in Iceland, that allow geodetic observations of deformation. A unique opportunity to study magma migration in the lower crust was presented in February 2007 - April 2008 when swarms of deep earthquakes were detected in north-east Iceland. We present detailed GPS and interferometric synthetic aperture radar (InSAR) observation from the area covering the intrusion. The focal depths were concentrated in the lower ductile region of the crust at 14-22 km. The swarms were aligned on a dipping plane, decreasing in depth with time. The main activity continued until April, 2008 but since then a limited shallow activity has occurred. Deformation, associated with these events has been observed by GPS and InSAR. A mechanical boundary-element model inverted from the observed deformation and the earthquake hypocenters, using two InSAR images and data from 7 GPS stations occupied at the end of the main event, suggests an intruded material of $0.042\text{-}0.047\text{ km}^3$ aligned on a dike with strike $81\text{-}82^\circ$ and dip of $42\text{-}43^\circ$. The decreasing depth of the swarms and the brittle fracturing in what is generally ductile conditions, leads to the conclusion that magma is being intruded into the lower crust at high strain rates. Both the seismic swarms and the best fit geodetic model fit to plane with a strike and dip that implies that either the stress field in the lower crust is different to the regional stress field, or that the sheet orientation is dictated by some other factor, i.e. glacial isostatic adjustments. A follow up study of these events utilizes much larger data set, both of GPS and SAR acquisitions over the area. GPS network covering over 40 km radius area around the intrusion with over 60 GPS stations has been measured for several years to investigate various processes such as magma movements, glacial rebound, plate spreading and reservoir filling. Signal from the intrusion has been observed in most parts of the network showing a far reaching deformation field. Over 40 mm horizontal displacement is observed. Hints of deformation prior to the onset of the main activity, and after, can be seen in the GPS data suggests the need for a study of the periods before and after the main activity. Although the dike model is fairly well constrained it is still unclear how, and where from, the magma migrated from depth and the possible role of shallow faulting needs to be addressed. With more detailed study of the extensive GPS data acquired, as well as the use of InSAR and seismic data, we hope to gain more insight into the mechanics of this intrusion and better understand magma processes in the lower crust.

Jarðskjálftavirkni á Íslandi 2010

Bergþóra S. Þorbjarnaradóttir, Gunnar B. Guðmundsson og Steinunn S. Jakobsdóttir

Veðurstofu Íslands, Bústaðavegi 9

Í lok árs 2010 voru 60 jarðskjálftastöðvar í SIL-mælaneti Veðurstofu Íslands. Fimm stöðvar bættust við á árinu, allar á Eyjafjalla- og Mýrdalsjökulssvæðinu. Ein var sett upp í mars en tekin niður aftur að hausti. Hinar fjórar voru settar upp í desember. Um 23.000 jarðskjálftar mældust á árinu. Íslandskortið sýnir upptök jarðskjálfta stærri en einn (svartir punktar), sem mælst hafa á a.m.k. fjórum stöðvum. Eldstöðvarkerfi og sprungur (Páll Einarsson og Kristján Sæmundsson, 1987) eru einnig sýnd. Jarðskjálftar stærri en fjögur stig eru merktir með hvítum stjörnum. Stærsti skjálfti sem mældist var 4,8 stig (m_b , NEIC) með upptök á Reykjaneshrygg í október. Stærsti skjálfti á landi var í norðaustanverðri Bárðarbungu í febrúar, 4,0 stig. Við Grímsey varð einnig skjálfti 4,0 stig í júlí.



Helstu atburðir ársins voru eldgosin í Eyjafjallajökulseldstöðinni. Árin 1994, 1996, 1999 og 2009 mældist skjálftaórói undir jöklinum og voru þessir atburðir túlkaðir sem innskotavirkni. Í lok árs 2009 hófst skjálftavirkni á svæðinu enn á ný og jókst verulega í mars

fram að eldgosi á Fimmvörðuhálsi þann 20. Skjálftar mældust á svæðinu á meðan á gosinu stóð eða til 12. apríl, en þetta fyrra gos var sannkallað túristagos, hraungos með litla sprengivirkni. Kröftug skjálftahrina hófst svo næsta kvöld þann 13. og eldgos fylgdi stuttu síðar í toppgíg Eyjafjallajökuls. Því gosi má skipta í þrjá fasa – fyrri sprengifasa, hraunfasa og seinni sprengifasa. Lítið mældist af skjálftum samfara gosinu, en gosórói var mestur á meðan hraun rann í miðfasanum. Eldgosinu lauk um 23. maí þó smá órói hafi mælst af og til fram í júní.

Stærstu atburðir út á Reykjaneshrygg voru skjálftahrinur í febrúar og október þar sem nokkur hundruð skjálftar mældust. Í október hrinunni, sem var um 80 kílómetra frá landi, urðu nokkrir skjálftar á stærðarbilinu 4 – 5 stig, stærsti 4,8 (m_b , NEIC). Á Reykjanesskaga var mest af skjálftum á Krýsuvíkursvæðinu í nóvember og desember. Stærstu skjálftarnir voru um þrjú stig. Mesta hreyfing á Krosssprungunni (frá 29. maí 2008) var meðfram suðurhluta hennar, í Flóanum. Engar miklar hrinur urðu og skjálftar allir smáir. Á árinu mældist einnig þó nokkur smáskjálftavirkni við Raufarhólshelli, mest í hrinu í maí-júní með um 200 skjálfta. Skjálftar mældust af og til við Húsmúla vestan Hellisheiðarvirkjunar vegna niðurdælingar vatns í borholu. Fáir og dreifðir smáskjálftar mældust á Suðurlandsundirlendinu.

Í febrúar og desember mældust tugir skjálfta við Tvidægru í Borgarfirði, allir innan við þrjá að stærð. Seint í október hófst skjálftaröð við suðurenda Blöndulóns og hélst virkni þar út nóvember með hléum. Hátt í tvö hundruð skjálftar mældust, nokkrir yfir þrjá að stærð.

Stærsti skjálfti undir Vatnajökli var í norðaustanverðri Bárðarbungu í febrúar, fjögur stig, með hátt á annað hundrað eftirskjálfta. Annars var viðvarandi virkni undir norðvestanverðum Vatnajökli allt árið. Í júní hljóp úr báðum Skaftárkötllum með viku millibili, en óróahviður komu fram á skjálftamælum í seinna hlaupinu. Í október var skjálftahrina í Esjufjöllum, en síðasta hrinan á svæðinu var í október 2002. Talsverð smáskjálftavirkni og órói mældust undir Grímsvötnum í jökulhlaupi sem hófst í lok október.

Engir stórir atburðir urðu á svæðinu norðan Vatnajökuls. Nokkrar smáskjálftarhrinur mældust við Herðubreið. Smáskjálftar mældust af og til við Hlaupfell norðan Upptýppinga, aðallega á um 6 – 8 kílómetra dýpi. Hrinur djúpra jarðskjálfta, á um 15 kílómetra dýpi, mældust norðan við Öskju. Einnig mældust djúpir skjálftar norðan Vaðöldu. Á Kröflu- og Þeistareykjasvæðum mældust smáskjálftar af og til allt árið.

Virkasta svæðið í Tjörnesbrotabeltinu á árinu var austan og norðan við Grímsey, en þar urðu margar skjálftaraðir. Flestir skjálftar, hátt í 500, mældust í skjálftahrinu austan eyjarinnar í janúar. Stærsti skjálftinn á svæðinu varð þann 23. júlí, fjögur stig. Talsverð virkni var einnig í Öxarfirði og í Skjálfandadjúpi.

Petrologic and volcanologic investigations of the Grænavatn Porphyritic Group, East Iceland reveal complex fossil magma plumbing systems

Christina B. Andersen^{1,2}, Birgir V. Óskarsson¹ and Morten S. Riishuus¹

¹Nordic Volcanological Centre, Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Reykjavik, Iceland,

²Department of Earth Sciences, University of Aarhus, Aarhus, Denmark

A Neogene group of plagioclase ultraphyric basalts (PUBs) from East Iceland is subjected to a combined petrologic and volcanologic study to unravel the formation of a unique rock type in Iceland – as its precursor travelled from source through crust leading to eruption. We classify basaltic rock containing more than 25 vol% calcium-rich plagioclase macrocrysts (5-30 mm) as ‘plagioclase ultraphyric basalt’. This rock type is less common than tholeiites and olivine basalts in the flood basalt stratigraphy of Iceland. The ~10 Ma old the Grænavatn Porphyritic Group (GrVP) consists of 3-10 PUB lava flows, each being 2 to 20 m thick, and 10 to >100 m wide in outcrop. Total group thickness is 30-70 m with maximum thicknesses found west of Reyðarfjörður, while it thins out to the north and south and up-dip to the east. The group can be traced for more than 50 km north-south along strike, and underlies both the Breiðdalur and Þingmúli central volcanoes. Thus the GrVP is an important regional marker horizon. At Grænafell in Reyðarfjörður, GrVP holds 10 different PUB flows with large vertical variations in the modal proportion of plagioclase macrocrysts (12-45%), also an increase of macrocrysts from the base (25%) to the top (45%) of single lava flows are observed.

Volcanic eruptions that have extruded PUBs like GrVP have been frequent throughout the history of crustal accretion in Iceland but are little understood. In this study, detailed mapping of the flow fields with a description of the internal structure of the GrVP flows with combined stratigraphic correlations of the lava flows is being conducted. Petrographic studies of GrVP shows that plagioclase macrocrysts consist of several different populations: (1) zoned euhedral macrocrysts with overgrowth rims, (2) anhedral glomerophyric macrocrysts, and (3) lath-shaped microlites in the groundmass. Further, quantification of the petrographic observations by the crystal size distribution method confirms the presence of at least three distinct plagioclase populations. Mapping of individual zoned crystals reveals complex histories with recurrent resorption and overgrowth events, and stages with entrapment of melt inclusions. Major and minor element mineral chemistry of plagioclase macrocrysts and microliths from GrVP flows demonstrate that the macrocryst cores are considerably more primitive (An₈₀₋₈₅) than the microliths (An₅₅₋₆₅) and hence clearly not in equilibrium with the crystallized host melt. Line traverses from core to rim in the plagioclase macrocrysts show complex and oscillatory zoning, with normal zoning in the core, reverse zoning toward the rim and strong normal zoned at the outermost rim. The less abundant clinopyroxene macrocrysts (near-diopside) also have more primitive compositions (Mg# 78-82) relative to the groundmass (Mg# 70-76).

From this work valuable information on the volcanic history of the group will be obtained; i.e. the mode of the emplacement of the lava flows and the scale of the eruptions in comparison to modern volcanic eruptions. Also, the chemistry of coexisting anorthitic macrocrysts and trapped melt inclusions will provide valuable constraints on composition,

temperature and pressure conditions of the melt, dynamics of crystallization and nature on crustal plumbing systems. The plagioclase macrocrysts may represent magma staging events (antecrysts) or cumulate fragments (xenocrysts) from the underlying crust, and our preliminary observations may well suggest that the erupted products represent complex mixtures of melts and crystals with individual histories prior to marriage enroute through the crust. Studies of the GrVP and other similar flow groups will add to our understanding of the process of crustal accretion in Iceland, from lower crustal magma storage to eruption of flood basalts.

Tímabil og eðli landnýtingar við Norðtungusel í Kjarardal, Borgarfirði, greind með frjókornum, örklum og gróum taðsveppum

Egill Erlendsson¹ og Guðrún Gísladóttir¹

¹Líf- og umhverfissvísindadeild Háskóla Íslands, Öskju, Sturlugötu 7, Reykjavík

Innan verkefnisins *Seljalönd á miðöldum í Reykholti í Borgarfirði* er þáttur seljanýtingar í viðhaldi Reykholtss sem stórbýlis á miðöldum rannsakaður. Í því sambandi er mikilvægt að vita á hvaða tímum og í hvaða tilgangi selin voru nýtt. Mósnið nærri seljum hafa verið rannsökuð með greiningu frjókorna, örkla og gróa af taðsveppum með það fyrir dyrum að kanna hvort slíkar breytur sýni viðbrögð í tengslum við seljabúskap og geti þannig leitt í ljós tímabil og eðli nýtingar.

Gró taðsveppa hafa lítið verið greind áður í frjórannsóknnum á Íslandi. Þó má telja líklegt að þau geti gefið mikilsverðar upplýsingar um nýtingarsögu svæða. Þau hafa t.d. verið nýtt til að meta breytingar á þéttleika grasbíta (spendýra) á Madagaskar og í Norður-Ameríku á síðkvarter og nútíma (Burney o.fl. 2003; Gill o.fl. 2009). Á Íslandi voru engir grasbítar (spendýr) fyrir landnám norrænna manna og tilkoma húsdýra með landnámi hefur því að líkindum bætt forsendur fyrir grósku taðsveppa. Tilgáta okkar sú að á tímabilum seljanýtingar hafi aukinn þéttleiki húsdýra umhverfis sel aukið skít í umhverfinu og þannig stuðlað að aukinni framleiðni gróa af taðsveppum, og að þetta megi rekja í jarðlögum umhverfis selin.

Eitt af seljum Reykholtss var staðsett í neðri hluta Kjarardals í Borgarfirði vestra. Sýni var tekið úr lítilli hallamýri skammt frá selinu. Gögn þaðan sýna að hlutföll taðsveppagróa eru hæst á tímabilinu frá landnámi (~870 e.Kr) til um 1380. Á þessu tímabili eru gró af *Sporormiella*-gerð (HdV-113), *Sordaria*-gerð (HdV-55A) og *Cercophora*-gerð (HdV-112) algeng í hlutsýnum. Í sömu hlutsýnum má líka greina aukningu í nokkrum algengum „apohytum“ s.s. grösum (Poaceae) og mosajafna (*Selaginella selaginoides*). Undir lok 14. aldar dregur úr þéttleika taðsveppagróa og birki (*Betula*) breiðist yfir mýrina. Líklegt má telja að það hafi verið blendingur af ilmbjörk (*B. pubescens*) og fjalldrapa (*B. nana*) sem þar óx ef marka má hátt hlutfall (~10%) af afbrigðilegum birkifrjókornum (sbr. Lilja Karlsdóttir o.fl. 2008). Minni landnýting við Norðtungusel tengist eflaust tilfærslu selsins ofar í dalinn, til Reykholtssels, en þar eru neðstu mannvistarlög frá 14. öld. Um miðja 16. öld byrjar hlutfall *Betula* að falla samhliða aukningu í örklum sem bendir til aukinnar landnýtingar. Hlutfall taðsveppagróa helst þó lágt sem bendir til að þessi landnýting kunni að hafa verið í formi kolagerðar, en beit takmörkuð. Frá miðri 16. öld lækkar hlutfall birkifrjókorna nánast samfelld niður ≤5%, þrátt fyrir að blómlegur birkiskógur (Örnólfsdalsskógur) dafni vel um 600 m neðar í dalnum.

Heimildir:

Burney D, Robinson G, Pigott Burney L (2003) *Sporormiella* and the late Holocene extinctions in Madagascar. PNAS 100:10800–10805.

Gill JL, Williams JW, Jackson ST, Lininger KB, Robinson GS (2009) Pleistocene megafaunal collapse, novel plant communities, and enhanced fire regimes in North America. *Science* 326(5956): 1100–1103.

Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
15. apríl 2011

Lilja Karlsdóttir, Margrét Hallsdóttir, Aegir Th. Thórsson, Kesara Anamthawat-Jónsson (2008)
Characteristics of pollen from natural triploid *Betula* hybrids. *Grana* 47: 52-59.

Rannís, Rannsóknasjóður HÍ og Snorrastofa hafa styrkt verkefnið.

Gjóskulagaskipan á norðanverðu landgrunni Íslands: Tenging við gjóskulög á landi

Esther Ruth Guðmundsdóttir, Guðrún Larsen og Jón Eiríksson

Jarðvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7

Á norðanverðu landgrunni Íslands hefur farið fram ítarleg rannsókn á gjóskulagaskipan í borkjarna MD99-2275. Tímabil sem spannar síðustu 7050 árin hefur verið kannað með það að markmiði að byggja upp nákvæmt gjóskulagatímatál og afla upplýsinga um gossögu íslenskra eldfjalla. Borin hafa verið kennd á 66 gjóskulög til viðbótar við þau 12 sem áður hafði verið lýst. Flest þessara gjóskulaga má rekja til virkustu eldstöðvakerfa Íslands; Grímsvatna, Veiðivatna-Bárðarbungu og Kötlu. Af þessum 66 gjóskulögum hafa 27 verið rakin til Grímsvatna, 25 til Veiðivatna-Bárðarbungu, 9 til Kötlu og 5 til Heklu. Fram til þessa hafa fundist 107 gjóskulög í kjarna MD99-2275, en í heild spannar hann síðustu 15000 ár. Þar á meðal eru 19 leiðarlög sem hafa verið tímasett nákvæmlega. Borin hafa verið kennd á tvær syrpur gjóskulaga frá því fyrir um 2300 - 2600 og 5700 - 5900 árum, og þær má nota til tímasetninga og tenginga. Gjóskulagatímatál á landgrunninu norðan Íslands hefur verið tengt við gjóskulög í jarðvegssniðum á Norður- og Norðausturlandi og reyndist unnt að tengja 29 gjóskulög í sjávarsetinu við jarðvegssnið.

Sýnt hefur verið fram á að tíðni gjóskulaga gefur upplýsingar um gossögu og goshegðun eldfjalla og eldstöðvakerfa (Guðrún Larsen og Jón Eiríksson, 2008; Bergrún Óladóttir o.fl. 2008; í prentun). Dreifing gjóskulaga í kjarna MD99-2275 sýnir að á síðustu 7050 árum var gosvirkni mest fyrir um 5-7000 árum og á síðustu 2000 árum. Áberandi minni gosvirkni var fyrir 2-5000 árum. Þetta er í samræmi við niðurstöður gjóskulagarannsókna í jarðvegssniðum á landi (Bergrún Óladóttir o. fl. 2008; í prentun).

Niðurstöðurnar sýna að sjávarsetlög á norðanverðu landgrunninu geyma fjöldan allan af gjóskulögum sem nýta má til að tímasetja umhverfisbreytingar og tengja saman atburði, svo sem loftslagsbreytingar, í hafi, á landi og í ískjörnum með mikilli nákvæmni og einnig til að álykta um gossögu íslenskra eldfjalla. Sjávarset á hafsbotninum við Norðurland getur því gefið nýjar og mikilvægar upplýsingar um eldvirkni á síðjökultíma og byrjun nútíma þar sem gögn á landi eru ófullnægjandi eða ekki til staðar.

Heimildir:

- Larsen G, Eiríksson J. 2008. Late Quaternary terrestrial tephrochronology of Iceland-frequency of explosive eruptions, type and volume of tephra deposits. *Journal of Quaternary Science*, 23: 109-120.
- Óladóttir BA, Sigmarsson O, Larsen G, Thordarson T. 2008. Katla volcano, Iceland: Magma composition, dynamics and eruption frequency as recorded by tephra layers. *Bulletin of Volcanology* 70: 475-493. DOI 10.1007/s00445-007-0150-5.
- Óladóttir BA, Larsen G, Sigmarsson O. 2011: Holocene volcanic activity at Grímsvötn, Bárðarbunga and Kverkfjöll subglacial centres beneath Vatnajökull, Iceland. *Bulletin of Volcanology*. In press.

Tvö leiðarlög frá Heklu: Gjóskulögin Hekla Ö og Hekla DH*

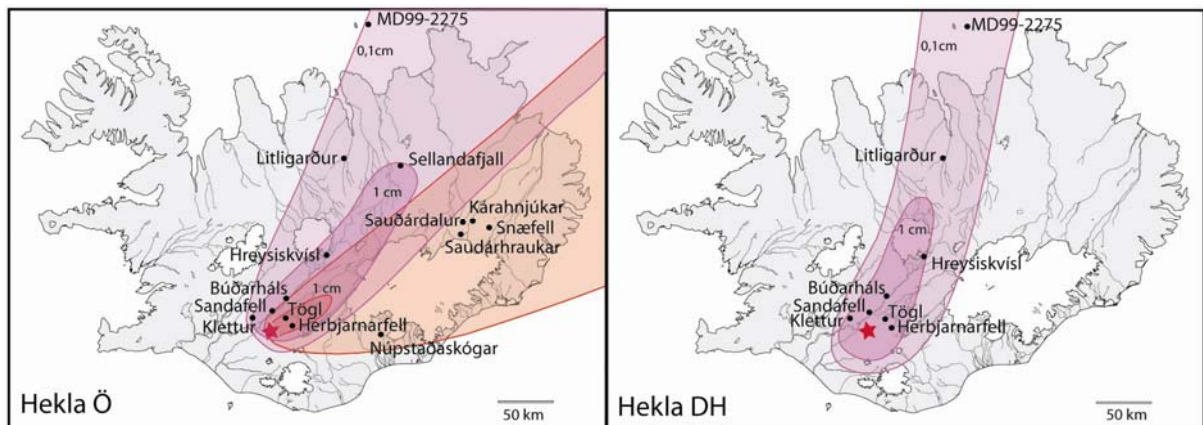
Esther Ruth Guðmundsdóttir, Guðrún Larsen og Jón Eiríksson

Jarðvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7

Tvö ný leiðarlög frá Heklu hafa fundist í setkjarna MD99-2275 á norðanverðu landgrunni Íslands. Þetta eru gjóskulögin Hekla Ö og Hekla DH (Dark Horse/Blakkur). Hekla Ö hefur fundist í 11 jarðvegssniðum og núna einnig á hafsbotninum við Norðurland (1. mynd). Hekla Ö er tvílit, með ljósan neðri part og dökkan efri part. Hlutfall SiO_2 í Heklu Ö spannar 76 til 51%. Þykktarás ljósa súra hlutans stefnir til austnorðausturs en dökki ísúri hlutinn til norðurs (1. mynd). Hekla DH hefur fundist í sjö jarðvegssniðum og í kjarna MD99-2275. Hlutfall SiO_2 í Heklu DH spannar 57 til 46%. Þykktarás Heklu DH hefur norðlæga stefnu (1. mynd). Uppruni Heklu Ö og Heklu DH var rakinn með kortlagningu og efnagreiningum. Fyrstu niðurstöður áætla að rúmmál Heklu Ö sé um 1 km^3 og Heklu DH um $0,8 \text{ km}^3$.

Hekla Ö hefur verið aldursgreind með fimm geislakolsgreiningum, þrjár aldursgreiningar eru úr jarðvegssniði við Sellandafjall og tvær úr jarðvegssniði við Sauðárdal (1. mynd). Niðurstöður greininganna gefa aldurinn 5275 ± 55 geislakolsár eða 6060 ± 115 kvörðuð ár. Aldur Heklu DH, 6650 kvörðuð ár, hefur verið reiknaður út frá jarðvegsþykknunarhraða í þremur jarðvegssniðum, Litlagarði, Búðaháls og Klett (1. mynd).

Þessi tvö leiðarlög úr Heklu eru mikilvæg viðbót við gjóskulagatímatatal á landi og í sjó við Ísland. Að auki geta þau orðið mikilvæg leiðarlög á Norður-Atlantshafssvæðinu.



1. mynd. Útbreiðslukort fyrir Heklu Ö og Heklu DH. Appelsínugulur litur á útbreiðslukorti Heklu Ö sýnir dreifingu súra hluta gjóskulagsins og fjólublár sýnir breytingu til ísúrar samsetningu. Svartir hringir sýna staðsetningu jarðvegssniða þar sem Hekla Ö og Hekla DH hafa fundist og kjarna MD999-2275 (Guðmundsdóttir o.fl., 2011).

Heimild

Guðmundsdóttir, E.R., Larsen, G., Eiríksson, J., 2011: Two new Icelandic tephra markers: The Hekla-Ö tephra layer, ~6060 cal. yr BP and Hekla-DH tephra layer, ~6650 cal. yr BP - Land-Sea correlation of Mid-Holocene markers. *The Holocene*. DOI: 10.1177/0959683610391313

*Titill á veggspjaldi: Two new Icelandic tephra markers: The Hekla Ö tephra layer and Hekla DH tephra layer - Land-sea correlation of Mid-Holocene tephra markers.

Myndun og þróun krákustígsása við Eyjabakkajökul

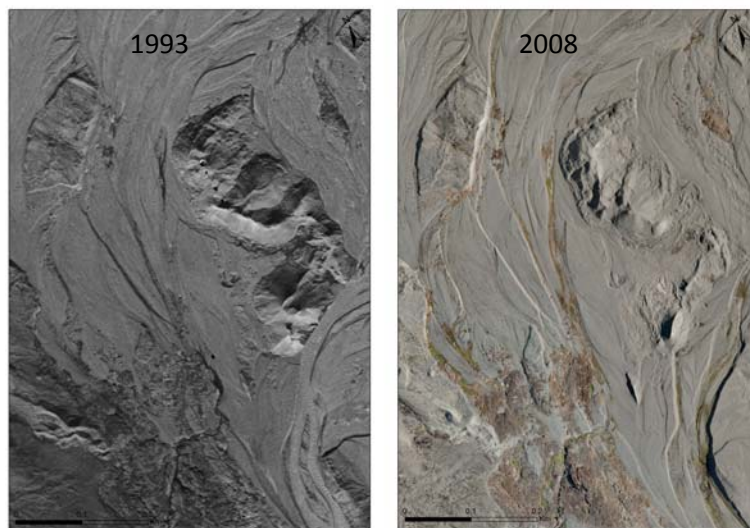
Eygló Ólafsdóttir¹, Ívar Örn Benediktsson¹, Anders Schomacker² og Ólafur Ingólfsson¹

¹Jarðvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík, ²Department of Geology, Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway

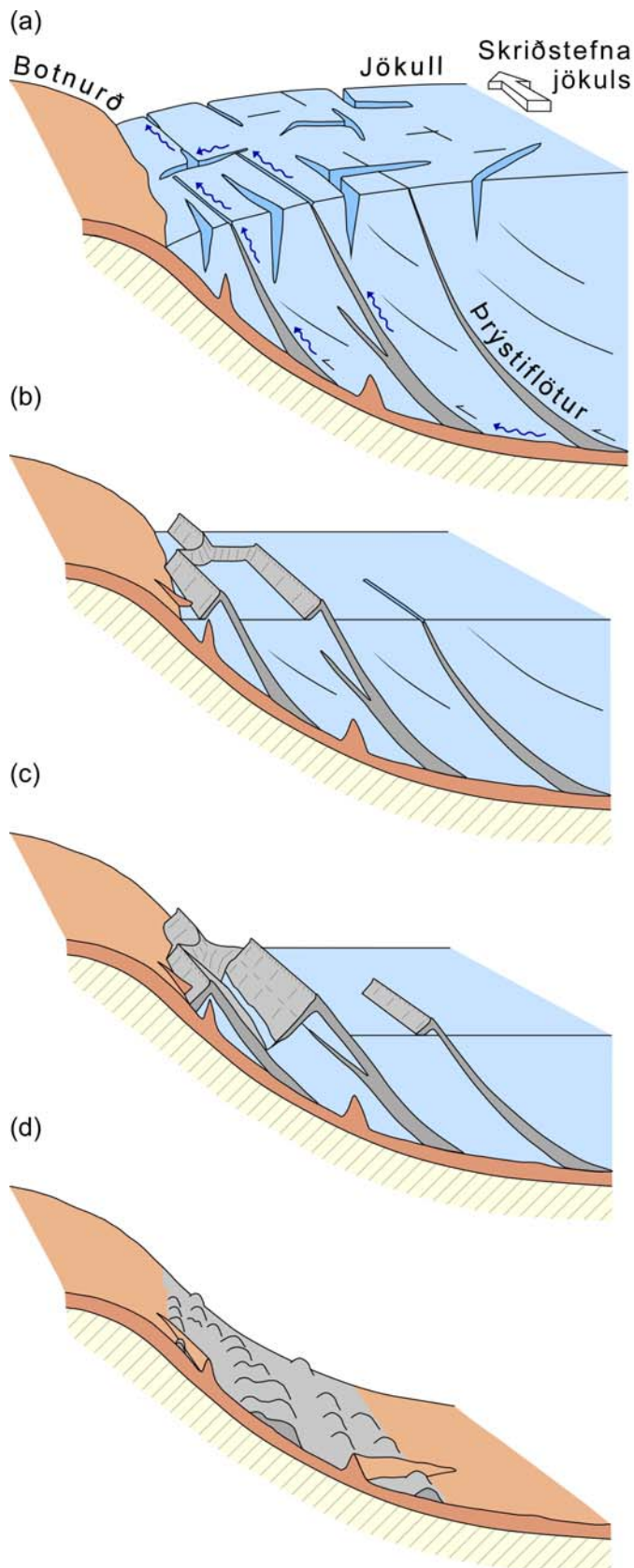
Krákustígsásar eru lítt rannsakað landform en þeim hefur verið lýst í fræðiritum sem hlykkjöttum hryggjum úr möl og sandi og dauðis (1. mynd). Landmótun, bygging og lögun krákustígsása við Eyjabakkajökul, sem er framhlaupsjökull í norðaustanverðum Vatnajökli, var rannsökuð í útivinnu 2006 og 2007, og með greiningu og samanburði loftmynda frá 1967-2008. Markmið þessarar rannsóknar er að afla gagna og setja fram líkan sem varpað getur ljósi á myndun og þróun krákustígsása svo skilja megi betur þau ferli sem leiða til myndunar þessa sérstaka landforms.

Setbygging krákustígsásanna var kortlögð, og kornastærð og ávölun korna skoðuð. Jafnframt var lögun krákustígsásanna mæld með þversniðum á völdum stöðum. Einnig var skoðað hvernig krákustígsásarnir tengjast öðrum landformum á jaðarsvæði Eyjabakkajökuls. Breytingar í formi og lögun krákustígsásanna samhliða því að dauðiskjarni þeirra bráðnaði voru kortlagðar með hjálp loftmynda og landupplýsingakerfisins ArcGIS.

Niðurstöðurnar benda til þess að krákustígsásarnir myndist þegar bræðsluvatn, sem verið hefur undir miklum þrýstingi undir jöklinum, finnur sér leið upp á yfirborð og ber aur í sprungur og þrýstifleti (2. mynd). Þetta gerist þar sem framhlaupsbylgjan hefur farið hjá og jökullinn þynnist og springur vegna tognunar. Vatnið rennur síðan eftir sprungum og þrýstiflötum niður jöklinn. Við það aðgreinist setið. Eftir stendur því hlykkjött setfylling úr sandi og möl á yfirborði jökulsins. Hinir reisulegu hryggir krákustígsásanna sem koma í ljós við bráðnun og lækun yfirborðs jökulsins varðveitast mjög illa vegna bráðnunar dauðis í kjarna þeirra (1. mynd). Því eru varðveislumöguleikar krákustígsásanna litlir til lengri tíma, en þegar allur dauðis er horfinn, mun endanleg mynd þeirra verða óreglulegir hraukar af tiltölulega vel aðgreindu straumvatnaseti (2. mynd).



1. mynd. Samanburður á hluta krákustígsáss framan við Eyjabakkajökul á loftmyndum frá 1993 (vinstri) og 2008 (hægri). Árið 1993 hefur krákustígsásinn háa hlykkjótta hryggi, en árið 2008 hefur hann lækkað verulega og jaðrar hans myndað haugaruðning. Svæðið sem myndirnar sýna er um 500 m á breidd.



Eftir að framhlaupsbylgjan hefur farið niður jökulinn þynnist hann og springur upp. Vatn, sem verið hefur undir miklum þrýstingi undir bylgjunni, finnur sér þá leið um þrýstifleti upp á yfirborð jökulsins og ber með sér botnurð sem þvæst við flutninginn. Þegar vatnið nær upp á yfirborð rennur það eftir þrýstiflötum og sprungum niður eftir jöklinum og myndar þannig hlykkjötta setfyllingu. Þetta ástand varir í stuttan tíma.

Eftir framhlaupið er lítil sem engin hreyfing í jöklinum og bráðnar hann hægt og rólega. Við það koma krákustígsásarnir sem landform í ljós. Þeir sjást sem litlir hryggir ofan á jöklinum. Þunn setkápa hylur ísinn í hryggjunum.

Við frekari bráðnun koma háir skikk-sakk hryggir í ljós. Þeir rísa upp úr jöklinum eða standa sjálfstætt utan hans. Aðaluppistaða krákustígsásanna er dauðis sem hulinn er þunnri setkákpu. Setþekjan er á sífelldri hreyfingu vegna bráðunar íssins undir.

Með tíma bráðnar allur ís og krákustígsásarnir fá á sig endanlega mynd. Eftir stendur haugaruðningur sem að mestu samanstendur af þvegnu og tiltölulega grófu straumvatnaseti.

2. mynd. Líkan fyrir myndun og þróun krákustígsása við Eyjabakkajökul.

Influence of surface load variations on shallow magma storage zones: Application to Icelandic subglacial volcanoes

Fabien Albino¹, Virginie Pinel² and Freysteinn Sigmundsson¹

¹NVC, Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Reykjavik, Iceland, ²ISTerre, IRD, Université de Savoie, Le Bourget Du Lac, France.

Many types of surface change occur at volcanoes in addition to eruptive activity, such as flank instability, ice melting and Earth tides. These events cause stress perturbations in the crust, which can perturb the shallow magma storage zone below the volcanic edifice. The resulting stress changes act on the stability of the magma chamber by promoting or preventing the initiation of magmatic intrusions from it. Here, we first investigate how unloading events at surface modify failure conditions of magma chambers. Stress perturbations induce a variation of the threshold pressure required for dyke initiation but also a magmatic pressure change inside the reservoir. Influence of surface events on chamber stability is thus determined by the interplay between these two pressure changes. In order to calculate both parameters, numerical calculations are performed for axial mechanical models where an elliptical compressible reservoir is embedded in an elastic medium. From a parametric study, we conclude that results are highly dependent on the reservoir shape as well as the surface load distribution. We apply our model to two Icelandic subglacial volcanoes: Katla and Grimsvötn. Katla is covered by the thick Myrdalsjökull icecap, which produces two temporal load variations: a seasonal change due to the annual accumulation/melt of snow and long-term ice thinning due to global warming. The results depend strongly on the shape of the magma chamber. For an oblate chamber, our model predicts that initiation of dykes is more likely in summer when the seasonal snow cover is smallest. This result appears consistent with the fact that all the nine last historical eruptions at Katla occurred during the warmer period of low seasonal load. For long-term effect associated to ice retreat, our elastic model predicts that likelihood of intrusions is reduced. However, in this case, visco-elastic, related to the relaxation of the lower crust and upper mantle in response to long-term thinning, needs to be considered. At Grimsvötn volcano, we have studied the effects of glacial outburst floods (jökulhlaups) associated with sudden discharge from the subglacial caldera. Such events have immediately preceded some eruptions, like in 2004. The unloading appears able to trigger eruptions when pressure in a shallow magma chamber under Grimsvötn is high. The most recent jökulhlaup was, however, not associated with eruption, despite inferred relatively high magma pressure in a shallow magma reservoir under Grimsvötn.

The plumbing system of Eyjafjallajökull volcano: Comparison with dike and magma pod model for Karymsky volcano, Kamchatka, and crypto-magma chamber model for Mt. Fuji, Japan

Freysteinn Sigmundsson¹, A. Hooper², J. Martins², K. Spaans², Sigrún Hreinsdóttir¹, Thóra Árnadóttir¹, Rikke Pedersen¹, Matthew J. Roberts³, Amandine Auriac¹, Páll Einarsson¹, Martin Hensch¹, Benedikt G. Ófeigsson¹, Erik Sturkell⁴, Kurt L. Feigl⁵, Olgeir Sigmarsson¹ and John Eichelberger⁶

¹Nordic Volcanological Center, Institute of Earth Sciences, University of Iceland, ²Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, ³Icelandic Meteorological Office, Reykjavík, Iceland, ⁴University of Gothenburg, Sweden, ⁵Department of Geoscience, University of Wisconsin-Madison, USA, ⁶Volcano Hazards Program, US Geological Survey, Reston Virginia, USA

The plumbing system of the Eyjafjallajökull volcano active during the 2010 eruptions and preceding 18 years of precursory activity is interpreted to consist of a series of separate basaltic intrusions and a more evolved magma source that resided at about 4-6 km depth under the summit area of the volcano. The plumbing system has been imaged through interpretation of surface deformation measurements, both GPS and InSAR. Such measurements complement seismic observations, and are capable of providing estimates of volume of magma transfer. The main magma injection episodes into the volcano roots were in 1994 and 1999, and again in 2010. The 1994 and 1999 intrusions can be modelled by sills, but GPS and InSAR data shows that prior to Fimmvörðuháls flank eruption in March 2010 a more complicated intrusion formed. The flank eruption can be considered “an upward leak” from that intrusive complex. The explosive eruption was associated with pressure drop in a source under the summit area that appears to have evolved throughout the duration of the summit eruption.

The inferred plumbing system does not resemble the ones commonly invoked at highly active volcanoes. The derived model is, however, comparable to two volcanoes with suggested similar type of complex plumbing systems: (i) The inferred plumbing system active in eruption of Karymsky Volcano, Kamchatka, that began on January 2, 1996 with essentially simultaneous eruption of andesite from Karymsky's summit and basalt from a new vent, within Academy Nauk Caldera, 6 km to the south. It is inferred that a basaltic dike erupted both directly to the surface and into a shallow Karymsky andesite “magma pod”, triggering the eruption from Karymsky's summit (Eichelberger et al., 2006). (ii) A crypto-magma chambers model beneath Mt. Fuji (Kaneko et al., 2010). Geochemical observations have there been used to argue for generation of basalts at depth, but at same time basaltic magma left behind by the previous eruption in a conduit accumulates in a shallow magma chamber, and is differentiated to more SiO₂-rich composition by fractional crystallization. Shortly before a new eruption basaltic magma rises from the deeper magma chamber and is mixed with the more SiO₂-rich magma in the shallow chamber, to generate the hybrid magma. The types of processes suggested above are comparable to those suggested for Eyjafjallajökull, with small volume of evolved magma at shallow depth, intersected by rising basaltic magma.

References:

- Kaneko, T. Yasuda, A., Fujii, T. and M. Yoshimoto, Crypto-magma chambers beneath Mt. Fuji, J. Volc. Geotherm. Res., 193, 161-170, 2010.
- Eichelberger, J. C., P. E. Izbekov and B. L. Browne, Bulk chemical trends at arc volcanoes are not liquid lines of descent, Lithos, 87, 135-154, 2006.

Kol og kjarnviður í Þjórsárdal: Hnignun kjarr- og skóglendis í Þjórsárdal 1587-1938 og ástæður hennar

Friðpór Sófus Sigurmundsson,¹ Guðrún Gísladóttir^{1,2} og Hreinn Óskarsson³

¹Land og ferðamálfraði, Líf- og Umhverfissvísindadeild, Háskóli Íslands, Öskju, Sturlugötu 7,

²Jarðvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7, ³Hekluskiógar, Gunnarsholt, 851 Hella

Mikilvægi skóga á Íslandi eftir landnám er vel þekkt. Nákvæm útbreiðsla birkiskóga varð þó ekki kunn nema á allra síðustu áratugum og fáar rannsóknir hafa verið gerðar á staðbundinni útbreiðslu þeirra gegnum aldirnar.

Meginmarkmið þessarar rannsóknar er að (1) kortleggja útbreiðslu birkiskóga og kjarrlendis í Þjórsárdal (14.000 ha) á 350 ára tímabili og (2) meta áhrif náttúrlegra, félags-, og efnahagslegra þátta á útbreiðsluna á þremur tímabilum, 1587-1708, 1708-1880, 1880-1938.

Við kortlagningu á útbreiðslu skóg- og kjarrlendis var notast við sögulegar ritheimildir, staðsetningu og útbreiðsla kolagrafa og gróðurleifar í jarðvegi, gamlar ljósmyndir og loftmyndir. Kortlagningin var unnin í landfræðilegum upplýsingakerfum (LUK). Á vettvangi var núverandi útbreiðsla skóg- og kjarrlendis kortlögð, gróðurleifar í jarðvegi kortlagðar og tímasettar með hjálp þekktra gjóskulaga auk þess sem kolagrafir voru staðsettar.

Um helmingur Þjórsárdals var vaxinn skóg- og kjarrlendi á seinni helmingi 16. aldar. Frá 1587-1938 hrundi útbreiðsla birkiskóga og kjarrlendis úr um 6200 ha í 390 ha eða um 94%. Mestar breytingar urðu á tímabilinu 1587-1708, þegar útbreiðsla dróst saman um nær 71%.

Skógurinn var nýttur til eldiviðar, kolagerðar, kýrfóðurs og beitar. Fjöldi kolagrafa á svæðinu sýna að kolagerð var mikið stunduð í Þjórsárdal. Þessi landnýting olli stórtjóni á skóg- og kjarrlendi dalsins, en að auki bættist við kólnandi veðurfar litlu ísaldar, grasmaður sem lagðist á gróður og gjóskufall vegna stórra eldgosa í Heklu. Beit ein og sér virðist ekki hafa verið ráðandi þáttur í hnignun skóg- og kjarrlendis í dalnum en þó ber að hafa í huga að vetrarþétt í vistkerfi sem stóð höllum fæti hefur haft neikvæð áhrif, sér í lagi á endurnýjun skóganna.

Eignarhald og skógarítök skiptu meginmáli við stjórnun á nýtingu skóglendis og þar með afdrifum þess. Skóg- og kjarrlendi sem féll undir almenning var fyrst ofnýtt og stóð mjög höllum fæti eða var gjöreytt í byrjun 18. aldar. Skóg- og kjarrlendi gömlu kirkjujarðanna (Skálholts og kirkjuléna) voru einnig ofnýtt, en það land sem var í einkaeigu eða undir stjórn ábúanda breyttist lítið. Þar var að finna stærstu skógarleifar Þjórsárdals í lok rannsóknartímabilsins.

Skógareyðingin leiddi til uppblásturs nær alls jarðvegs í Þjórsárdals og var allur dalbotninn eyðisandur árið 1938.

Eðli og nýting jarðhitaauðlindarinnar

Guðni Axelsson og Ólafur G. Flóvenz

Íslenskar orkurannsóknir, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Upp á síðkastið hefur töluvert verið fjallað á opinberum vettvangi um hvort flokka eigi jarðhitaauðlindina sem endurnýjanlega eða endanlega. Um það hafa verið skiptar skoðanir og talað um að leysa þurfi ágreining jarðhitamanna þar að lútandi svo hægt sé að móta farsæla stefnu um nýtingu auðlindarinnar. Ástæða þessa ágreinings er þó fyrst og fremst þörfin að fella flóknar náttúruauðlindir að ófullkomnu flokkunarkerfi mannskepnunnar. Nýtingarstefna ætti fyrst og fremst að ráðast af eðli auðlindar, ekki af slíkri flokkun. Í þessum fyrirlestri verður fjallað um endurnýjanleika jarðhitans og hvaða rannsóknir geti skilað mikilvægustu niðurstöðunum um þann þátt í eðli hans.

Alþjóðlega er jarðhitinn flokkaður sem endurnýjanleg auðlind, þó ekki séu allir því sammála. Það er vegna þess að honum er viðhaldið af samfelldum náttúrlegum varmastraumi og vegna þess hve gríðarmikill varmaforði jarðskorpunnar er, samanborðið við orkunotkun mannkyns. Auk þess losar nýting hans að öllu jöfnu mun minna af koldíoxíði en endanlegar orkulindir eins og olía og kol. Jarðhitinn á því hreinlega illa heima í flokki endanlegu orkulindanna. Ekki er heldur allskostar rétt að flokka jarðhitann með endurnýjanlegum orkulindum því hann er í eðli sínu tvíþættur, þ.e. samsettur af annars vegar varmastraumi, sem berst úr iðrum jarðar með varmaleiðingu og varmaburði með kviku eða vatni, og hinsvegar af orkuforða sem bundinn er í jarðskorpunni. Endurnýjun þessara tveggja þátta er mjög mismunandi. Sá hluti orkuforðans, sem endurnýjast með varmaleiðingu, endurnýjast svo hægt að á tímakvarða mannlegra athafna ætti hann frekar að teljast endanlegur en endurnýjanlegur. Valgarður Stefánsson (2000) og Guðni Axelsson (2010) fjalla m.a. um endurnýjanleika jarðhitans.

Vægi þessara tveggja þátta í jarðhitaorkuvinnslu er bæði háð eðli viðkomandi jarðhitakerfis og vinnsluálagi. Í sumum tilfellum er vægi orkuforðans yfirgnæfandi, en í öðrum, þ.á.m. í öflugustu háhitakerfunum í gosbeltum Íslands og lághitakerfum með litlu álagi, er vægi varmastraumsins yfirgnæfandi. Þá ber að líta til þess að við stórfella vinnslu úr jarðhitakerfum verða þau að einskonar varmaorkusvelgjum, sem valda mun meira innstreymi vökva og orku en í ótrufluðu ástandi og efla þannig endurnýjanlega þáttinn.

Til er önnur flokkun orkulinda sem er í betra samræmi við eðli þeirra. Í henni er þeim skipt í þrjá flokka; endanlegar orkulindir, langæjar orkulindir og eilífar orkulindir. Skv. þeirri flokkun flokkast orkulindir, sem eru mjög stórar og verða ekki tæmdar á mannlegum tímakvarða, sem langæjar. Það gildir vel um jarðhitann, sem flokkast þá hvorki sem endanlegur né eilífur.

Hið tvíþætta eðli jarðhitans kemur skýrt fram í því hvernig stærð hans hefur verið metin á Íslandi. Gunnar Böðvarsson (1982) mat stærð heildarvarmastraumsins neðan úr möttli upp í gegnum jarðskorpu Íslands auk þess sem vinnuhópur Orkustofnunar mat bundna varmaorku í jarðskorpu landsins (Guðmundur Pálmason o.fl., 1985). Í þessum aðskildu athugunum var því sinn hvor þáttur jarðhitans metinn, þ.e. sístæði varmastraumurinn að neðan og varmaorkan sem geymd er í skorpunni. Þó þessar athuganir hafi verið gerðar á níunda áratug síðustu aldar eru niðurstöðurnar enn taldar í megindráttum nærri lagi. Gunnar áætlaði að varmastraumurinn að neðan upp undir þann hluta Íslands sem er ofansjávar væri alls um 30

GW ($1 \text{ GW} = 10^9 \text{ W}$), og um 80% hans væri með kvikustreymi. Orkan streymir um jarðskorpuna upp í gegnum yfirborðið og áætlaði hann að varmastraumurinn skiptist í 7 GW með eldvirkni, 8 GW með vatni og gufu á jarðhitasvæðum og 15 GW með varmaleiðingu. Meginniðurstaða jarðvarmamats Orkustofnunar er sú að orkuforðinn ofan 3 km dýpis sé um 10^{14} GJ og að niður á 10 km dýpi sé hann um $12 \cdot 10^{14}$ GJ. Miðað við þessar tölur þá tæki það varmastraumurinn um 1,3 milljónir ára að endurnýja orkuforðann ofan 10 km dýpis. Til samanburðar við þessar tölur þá nam frumorkunotkun Íslendinga árið 2009 um $0,27 \cdot 10^9$ GJ, eða um 0,00027% orkuforðans. Þessi árlega frumorkunotkun svarar jafnframt til um 8,5 GW meðalafis, sem jafngildir um 28% varmastraumsins.

En hvernig er hægt að rannsaka endurnýjanleika jarðhitans og þá einkum vægi hinna tveggja eðlisþátta hans. Um tvær meginleiðir er að ræða. Annars vegar með því að túlka viðamikil gögn sem jafnan er safnað um viðbrögð jarðhitakerfa við langtímaþvinnslu, þ.e. vinnslu áratugum saman, einkum um breytingar á þrýstingi, orkuinnihaldi og efnastyrk. Hins vegar með því að samtúlka rannsóknargögn af yfirborði með vinnslueftirlitsgögnum. Þar eru þyngdarbreytinga- og landhæðarbreytingagögn talin einna gagnlegust vegna þess að þau gefa upplýsingar um heildarmassabreytingar í jarðhitakerfum vegna vinnslu. Við báðar leiðirnar eru forðafræðilíkanreikningar lykilverkfærið, einkum ef þeir eru byggðir á stórum hluta tiltækra gagna tengdum viðkomandi jarðhitakerfi.

Guðni Axelsson o.fl. (2010) birta nokkur dæmi um áratugalangar vinnslusögur íslenskra lághitakerfa, sem telja má að feli í sér mikilsverðar upplýsingar um endurnýjanleika viðkomandi jarðhitakerfa og lághitaauðlindarinnar á Íslandi almennt. Þau gögn bíða túlkunar á þeirri forsendu. Þá má nefna að viðamikil gögn um þyngdarbreytingar á jarðhitasvæðunum á utanverðum Reykjanesskaga geyma upplýsingar um massajafnvægi undirliggjandi jarðhitakerfa. Að lokum má nefna rannsóknir O'Sullivan o.fl. (2010) á jarðhitakerfinu í Wairakei á Nýja Sjálandi, sem nýtt hefur verið í meira en hálfa öld, sem dæmi um endurnýjanleikaúttekt með líkanreikningum á grundvelli gagna um viðbrögð jarðhitakerfis við langtímaþvinnslu.

Heimildir:

- Guðmundur Pálmason, Gunnar V. Johnsen, Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Karl Ragnars, Guðmundur I. Haraldsson og Gísli K. Halldórsson, 1985: *Mat á jarðvarma Íslands*. Orkustofnun, skýrsla OS-85076/JHD-10, Reykjavík, 136 s.
- Guðni Axelsson, 2010: Sustainable geothermal utilization – Case histories, definitions, research issues and modelling. *Geothermics*, **39**, 283–291.
- Guðni Axelsson, Einar Gunnlaugsson, Þorgils Jónasson og Magnús Ólafsson, 2010: Low-temperature geothermal utilization in Iceland – decades of experience. *Geothermics*, **39**, 329–338.
- Gunnar Böðvarsson, 1982: Terrestrial energy currents and transfer in Iceland. Í: Guðmundur Pálmason (ritstj.), Continental and oceanic rifts, *Geodynamic Series*, **8**, Am. Geophys. Union, 271–282.
- O'Sullivan, M., A. Yeh and W. Mannington 2010: Renewability of geothermal resources. *Geothermics*, **39**, 314–320.
- Valgarður Stefánsson, 2000: The renewability of geothermal energy. *Proceedings of the World Geothermal Congress 2000*, Kyushu-Tohoku, Japan, maí – júní, 883–888.

Umhverfisbreytingar í kjölfar landsnáms við Reykholt í Borgarfirði

Guðrún Gísladóttir¹, Egill Erlendsson¹ og Rattan Lal²

¹Líf- og umhverfisvísindadeild Háskóla Íslands, Öskju, Sturlugötu 7, Reykjavík, ²School of Environment and Natural Resources, 422B Kottman Hall, 2021 Coffey Rd., Columbus, OH USA, and Faculty of Life and Environment Sciences, University of Iceland, Askja, Sturlugata 7, Reykjavík

Landvistkerfi þróaðist í takt við loftslag á Nútíma þar til um 874 e. Kr. þegar búseta hófst og grasbítar voru fluttir til landsins. Rannsóknir hafa sýnt fram á áhrif landnýtingar frá landnámi á hnignun gróðurs og jarðvegsrofs, sem varð enn alvarlegra þegar kólnaði á Litlu-ísöld. Minna hefur verið rannsakað hver áhrif landnáms og landnýtingar voru á jarðvegsgæði.

Markmið rannsóknarinnar sem hér er kynnt er að meta þátt landnýtingar í umhverfisbreytingum með hjálp gagna unnum úr jarðvegskjarna sem nær yfir s.l. 2700 ár.

Jarðvegskjarninn var tekinn í mýri (mójörð) í Hólakoti, nærri Breiðavatni, skammt norðan við Reykholt í Borgarfirði í um 100 m h.y.s. Þekkt gjóskulög voru notuð til að aldursgreina kjarnann, sem nær frá um 665 f. Kr. til dagsins í dag. Kjarninn sýnir því tímabil þegar áhrifa mannsins gætti ekki, sem og við upphaf landnáms til dagsins í dag. Greindir voru jarðvegseiginleikar sem gefa vísbendingu um jarðvegsgæði, kolefnis- og köfnunarefnisinnihald, sýrustig, rúmþyngd, vatnsinnihald og uppsöfnun jarðvegs og kolefnisbindingu. Til að fá betra mat á umhverfisbreytingar voru gögnin borin saman við loftslags- og gróðurfarsögu sama tímabils sem fengin var með greiningu mýs og frjókorna úr setkjarna Breiðavatns (Gathorne-Hardy o.fl., 2009).

Búseta hefur verið samfelld á svæðinu frá landnámi og í dag er landið skóglaust. Mýrar eru í lögðum en annars staðar er ósamfelldur og rýr þurrlandisgróður og jarðvegsrofs er talsvert.

Megin umhverfisbreytingar áttu sér stað við landnám (~874-1200 e. Kr.) og héldust jarðvegs- og gróðurbreytingar í hendur. Gæðum mójarðvegs hnignaði verulega, kolefnisinnihald minnkaði um tæplega þriðjung og svipuð breyting átti sér stað á köfnunarefni. Þessar breytingar falla saman við skyndilega hnignum birkiskóga á vatnasviði Breiðavatns og aukningu í tegundum eins og grösum og störum sem einkenna skóglaust land. Samhliða þessu minnkaði vatnshlutfall í jarðvegi um 60%, rúmþyngd jókst um 48% og árleg uppsöfnun jarðvegs þrefaldaðist á ári. Hækkun sýrustigs hélst í hendur við lækkað kolefnisinnihald jarðvegs og minni jarðvegsraka. Breytingarnar endurspeglar landhnignun í kjölfar landnáms. Aukið áfok bendir til jarðvegsrofs umhverfis Hólakot og Breiðavatn þegar skógar minnkuðu og mýrar og stöðuvatn hafa virkað sem sveltir fyrir fokefni. Aukið áfok varð til þess að jarðvegurinn varð siltkenndari þegar nær dró 1200 e. Kr. Kolefnisbinding er háð kolefnishlutfalli, rúmþyngd og jarðvegsþykkt. Þrátt fyrir lækkun kolefnishlutfalls og jarðvegsgæða jókst kolefnisbinding jarðvegsins vegna mikillar rúmþyngdaraukningar og jarðvegsþykknunar á þessu tímabili. Gera má ráð fyrir að á rofsvæðum hafi kolefnisbinding hins vegar minnkað vegna jarðvegstaps.

Hnignun hélst áfram á tímabilinu 1200-1500 e. Kr. Umhverfisaðstæður endurspeglar áframhaldandi rof, eyðingu skóga og gróskuminni gróður. Minni uppsöfnun lífræns efni og þurrari jarðvegur ollu hraðara niðurbroti á lífrænu efni og því minna kolefnisinnihaldi.

Rannsóknir á rykmýi í seti Breiðavatns (Gathorne-Hardy o.fl., 2009) benda til þess að kólnun litlu ísaldar hafi ekki farið að gæta fyrr en um 1500 og því bendir flest til þess að umhverfisbreytingar megi rekja til búsetu og landnýtingar fremur en loftslagsbreytinga.

Heldur dró úr hnignun jarðvegs eftir 1500 þrátt fyrir eyðingu skóga og loftslagsbreytingar á litlu ísöldinni, líklega vegna þess að þá hafa helstu breytingar á gróðurfari verið um garð gengnar og sem hefur e.t.v. hægt á hröðun jarðvegseyðingar.

Heimild:

Gathorne-Hardy, F.G., Egill Erlendsson, Langdon, P., Edwards, K.J., 2009. Lake sediment evidence for climate change and landscape erosion in western Iceland. *Journal of Paleolimnology*. 42, 413-426. doi 10.1007/s10933-008-9285-4.

Verkefnið hefur verið styrkt af Rannís, Rannsóknasjóði Háskóla Íslands og Snorrastofu.

Sulphur speciation at redox disequilibrium in natural geothermal waters, Iceland

Hanna Kaasalainen^{1,2} og Andri Stefánsson²

¹Nordic Volcanological Center, Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Askja, Sturlugata 7,

²Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Askja, Sturlugata 7

General redox disequilibrium often prevails in natural waters. The redox state of geothermal fluids may largely be governed by sulphur redox chemistry, sulphur being one of the major elements in these fluids. The most common sulphur oxidation states include sulphide (ΣS^{2-}) and sulphate (SO_4^{2-}) but other species such as sulphur dioxide (SO_2) and elemental sulphur (S^0) may be associated with volcanic geothermal fluids. In contrast to thermodynamic considerations, metastable intermediate sulphur species such as sulphite (SO_3^{2-}), thiosulphate ($S_2O_3^{2-}$), polythionates ($S_xO_6^{2-}$) and polysulphides (S_x^{2-}) may also be present in measurable and sometimes significant concentrations. Sulphur redox chemistry is known to play a very important role in many geochemical and biogeochemical processes. However, the determination of true sulphur speciation is non-trivial due to changes taking place upon storage, especially in sulphide containing geothermal waters.

Sulphur speciation in geothermal waters was studied in various geothermal areas in Iceland. Samples were collected from hot springs, steam-heated surface waters, subboiling and two-phase well discharges that had discharge temperatures 4-210°C and pH_t between 2.20 and 9.30. Samples were analyzed for dissolved sulphur speciation on-site within 5 min of sampling using state-of-art analytical methods. The sulphur species determined included S^{2-} , SO_4^{2-} , SO_3^{2-} , $S_2O_3^{2-}$, SO_4^{2-} , and $S_xO_6^{2-}$.

The most important sulphur species in geothermal waters was SO_4^{2-} and with few exceptions S^{2-} that were detected in concentrations in the range of 0.02-52.7 mmol kg⁻¹ and <1-4100 µmol kg⁻¹, respectively. Intermediate sulphur species were not detected in subboiling well waters and $S_2O_3^{2-}$ only at low concentrations (1-8 µmol kg⁻¹) in two-phase well discharges. Thiosulphate was detected in most surface geothermal waters with concentrations of <1-394 µmol S-equivalents kg⁻¹, whereas SO_3^{2-} was detected in few samples. In neutral to alkaline surface hot springs, $S_2O_3^{2-}$ reached significant concentrations and reached up to >20% of sum of measured sulphur species. Steam-heated acid-sulphate waters were dominated by SO_4^{2-} (>99%). Polythionates were not detected, except in few very acidic samples close to the analytical detection limits.

The results demonstrate that intermediate sulphur species are absent in non-volcanic aquifer fluids but may be present at low concentrations in volcanic aquifers. Thiosulphate is considered to form upon ascent and mixing with oxygenated waters and dissolution of atmospheric oxygen, with reactions similar to those observed upon sulphide oxidation in alkaline solutions. Kinetics of $S_2O_3^{2-}$ oxidation to SO_4^{2-} are slow, and it may thus persist in solution for long times. Additionally, the interaction of near-neutral surface geothermal waters with elemental sulphur typically associated with steam-heated environments may lead to significant formation of $S_2O_3^{2-}$ and maybe S_x^{2-} .

Aqueous speciation of sulphur in natural geothermal waters is very dynamic and thermodynamic calculations suggest sulphur redox disequilibrium. The sulphur speciation may be both kinetically and source-controlled and thus cannot be estimated by calculations.

This has implications on applying geochemical modeling tools that rely on assumption that chemical equilibrium is reached in natural geothermal fluids. Furthermore, construction of an applicable kinetic model is hindered because of the lack of kinetic constants at concentration, pH and temperature ranges relevant to those in geothermal systems. Moreover, the major and trace elemental chemistry in the geothermal waters is largely influenced by the sulphur chemistry, both through water pH, redox state and metal-complexation. This applies to complexation, transport, precipitation and bioavailability of many elements of environmental and scientific interest including As, Sb and Hg.

Sulphur and metal transport in active geothermal systems, Iceland – surface geothermal environments

Hanna Kaasalainen^{1,2} og Andri Stefánsson²

¹Nordic Volcanological Center, Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Askja, Sturlugata 7,

²Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Askja, Sturlugata 7

Geothermal fluids are known to be capable of transporting and depositing significant amounts of sulphur and metals. The composition of geothermal fluids depends on the fluid source, extent of water-rock-gas interaction that is enhanced by the input magmatic components in volcanic areas, and processes such as depressurization boiling, cooling, phase segregation and mixing. The major elemental composition of aquifer fluids in Iceland is considered to be controlled by secondary mineral-fluid equilibria except for B and Cl that are highly mobile. This may not, however, apply to all types of geothermal waters or to trace elements. Moreover, general redox disequilibrium often prevails in natural geothermal waters and the chemistry of redox sensitive elements is considered to be kinetically or source controlled.

Fluid samples of hot springs, mud pots, acid-sulphate waters, soil-water profiles, wells and steam vent discharges were collected from various geothermal areas in Iceland. Special emphasis was put on the geothermal surface environments that are characterized by hot springs, mud pots, steam vents and acid-alteration. Water samples were collected by standard methods. For soil-water profiles and steam vent sampling, soil suction lysimeters and active condensation traps were applied. Samples of water and steam were analyzed for major and trace elemental composition.

The samples showed wide range of chemical composition with temperatures ranging from <50 to >200°C, and pH between 2.01 and 9.10. Based on the major elemental composition, three different water types could be distinguished, namely (1) NaCl-waters, (2) Acid-sulphate waters and (3) Mixed waters. NaCl-waters had neutral to alkaline pH-values with Na, Cl and SiO₂ together with SO₄, CO₂, H₂S, F, Na, and K being the major ions. Transition metal concentrations were typically <1 ppb, whereas concentrations trace alkali elements, As, Sb, W and Mo were in the upper ppb-scale. To a large extent, they represent aquifer fluids that have undergone depressurization boiling with ascent to the surface and/or mixing with shallower ground waters. Depressurization boiling of the aquifer fluids results in steam rich in volatiles like H₂S and CO₂ that may segregate from the boiled waters, rise through and condense in shallow oxidized cold ground- and/or surface waters forming steam-heated surface waters. In addition to major gases, the steam may also carry trace volatiles such as B and As. In oxidized conditions, H₂S tends to oxidize to sulphuric acid that effectively leaches the surrounding rock, enhancing metal mobility. Thus, steam-heated acid-sulphate are characterized by pH<4, with SO₄, SiO₂ and Mg, Al and Fe being the major ions with concentrations of most transition metals (e.g. Mn, Zn, Cr, V) reaching hundreds of ppb to ppm-level. Concentrations of Cl and CO₂ are low due to steam dilution and degassing, respectively. Time dependant variability in the composition of the acid-sulphate waters within an area suggested highly dynamic surface system.

Geochemical modeling by PHREEQC and WATCH programs was used to study aqueous speciation, mineral saturation state and the processes controlling the elemental

concentrations, i.e. progressive water-rock interaction in reduced aquifer conditions as well as boiling, cooling and mixing of aquifer fluids as well as steam-rock interaction, oxidation and mixing processes in surface conditions. Aqueous speciation calculations suggested metals to be present as simple ions, hydroxo-, carbonate- and sulfide-complexes in NaCl-waters, whereas simple ions and sulfate complexes dominated in steam-heated acid sulphate waters. Elemental water-rock ratios indicated that primary rock dissolution changed from incongruent in NaCl-waters towards nearly stoichiometric dissolution associated with steam-heated acid-sulfate waters. Elements often considered immobile including Al, Mg and most transition metals were mobilized with decreasing pH conditions. In case of some elements (e.g. Ca, Ba), secondary mineral formation likely controlled their concentrations in acid-sulphate waters that typically were undersaturated with respect to most secondary phases. These results relatively good agreement with known alteration mineral associated with surface geothermal environments, including silica and silicate minerals around alkaline hot springs whereas elemental sulphur, sulphides, sulphates, (hydr)oxides and simple silicates in steam-heated surface environments.

One of the main limitations in understanding metal geochemistry in geothermal fluids arises from the lack of general redox equilibrium meaning that it is not possible to calculate speciation of redox sensitive elements but the different redox states should be measured separately. Furthermore, data on aqueous complexes especially at higher temperatures is scarce. This affects the modeling results including aqueous speciation calculations, mineral saturation and progressive water-rock-interaction.

Stærstu jökulgarðar á Íslandi – setgerð, bygging og myndun jökulgarða við Gígjökul og Kvíárjökul

Ívar Örn Benediktsson

Jarðvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7

Kynnt er nýtt verkefni sem felur í sér rannsókn á byggingu og myndun jökulgarða Gígjökuls og Kvíárjökuls (1. mynd), skriðjökla sem falla úr öskjum Eyjafjallajökuls og Öræfajökuls. Þessir jökulgarðar er um 80-150 m háir og allt að 600 m breiðir, sem gerir þá að langstærstu jökulgörðum á Íslandi. Markmið verkefnisins er að kanna setgerð þeirra og innri byggingu í þeim tilgangi að skýra myndun þeirra og stærð, og auka þekkingu á virkni falljökla við rof, setmyndun og landmótun. Verkefnið verður unnið á árunum 2011 og 2012.

Litlar sem engar rannsóknir hafa farið fram á jökulgörðum Gígjökuls og Kvíárjökuls og bygging þeirra og myndun því lítt þekkt. Innviðir garðanna verða einkum rannsakaðir með þyngdarmælingum, viðnámsmælingum og jarðsjármælingum, og kannað verður sérstaklega hvort jökulís leynist í kjarna garðanna. Setgerð garðanna verður rannsökuð með hefðbundnum aðferðum í jöklajarðfræði, s.s. kornastærðar- og kornalögunarmælingum, til að fá upplýsingar um flutningsleiðir setsins. Með upplýsingum um innri byggingu og setgerð verður unnt að búa til líkan fyrir myndun garðanna og þau ferli sem eru að verki við jaðra falljökla. Niðurstöður verkefnisins munu því auka skilning á landmótun falljökla, auðvelda mönnum að þekkja og skilja menjar fornra falljökla, og auka þekkingu á einstökum náttúrumyndunum á Íslandi. Þekking úr verkefninu getur einnig nýst í tengslum við hagnýtingu jökulvatna og jökulrænna set- og landforma og áhættumat jökulhlaupa í kjölfar eldgosa.



1. mynd. Efri myndin sýnir umhverfið framan við Gígjökul. Myndin er tekin ofan af jökulgörðunum vestan megin og sýnir garðana austan megin árkeilunnar (19.4.2010). Neðri myndin sýnir umhverfið framan við Kvíárjökul. Sjá má Kambsmýrarkamb handan Kvíár. Myndin er tekin til norðausturs af Kvíármýrarkambi (12.5.2010).

Eðjuflóð, aurskriður og framburður gosefna niður á láglandi með vatnsföllum vegna gjósku úr Eyjafjallajökulsgosinu vorið 2010

Jón Kristinn Helgason¹, Esther Hlíðar Jensen¹ og Sigurjón Einarsson²

¹Veðurstofa Íslands, Bústaðavegur 9, ²Landgræðsla Ríkisins, Gunnarsholti, Helli

Mestur hluti gjóskunnar sem féll á suðurhlíðar Eyjafjallajökuls í gosinu í apríl og maí 2010 liggur enn á jöklinum og undirhlíðum hans þrátt fyrir að mikið efni hafi borist niður á láglandi með vatnsföllum (1. mynd). Stórir gjóskuflekar sem skriðu niður hlíðar jökulsins í tengslum við eðjuflóðið 19. maí hrúguðust að verulegu leyti upp neðar á jöklinum þannig að eðjuflóðið bar ekki fram nema lítinn hluta af því efni. Lítt röskuð gjóskulög eru á stórum svæðum á neðanverðum jöklinum og víðáttumikil svæði með tiltölulega lítið hreyfðri gjósku eru á heiðunum neðan við jökulinn (2. mynd).

Gjóskan á þessum svæðum er víða skorin sundur af leysingarvatni og rigningu og miklu minni hætta er á því að hún fari af stað í stórum flekum en var fyrst eftir gosið. Gjóskan fýkur þó til með vindi og safnast saman í skafla sem geta skolast hratt niður af ákveðnum svæðum með úrhellisrigningu.

Efsti hluti jökulsins er nú hulin snjó og gjóskan og snjórinn hafa frosið þannig að lítil hætta er á því að eðjuflóð eigi sér upptök ofarlega í fjallinu í vetur. Asahláka eða úrhellisrigning getur þó valdið eðjuflóðum eða mjög efnisríkum vatnsflóðum úr neðri hluta hlíðanna hvenær sem er en sú hætta er miklu minni en var í sumar.

Snjór sem liggur neðan við hjarnlínu jökulsins mun bráðna er vorar, sem gæti leitt til gjóskuríkra krapaflóða eða krapablandinna eðjuflóða. Næstu árin mun gjóska sem féll á leysingarsvæði jökulsins og undirhlíðar hans berast tiltölulega hratt fram með vatnsföllum.

Gjóska sem féll á ákomusvæði jökulsins snjóar á kaf. Hún berst á löngum tíma með hreyfingu íssins niður á leysingarsvæðið þar sem hún skolast niður með sumarleysingarvatni eftir því sem ísinn bráðnar. Þetta ferli tekur marga áratugi.



1. mynd. Ljósmyndir frá því fyrir og eftir gos. Myndin sýnir að það er ennþá gríðarlega mikið magn af gjósku eftir á vatnasviði Laugarár. Ljós.: Sigurjón Einarsson, 21.02.2010. Myndin með öskunni er tekin í janúar 2011.



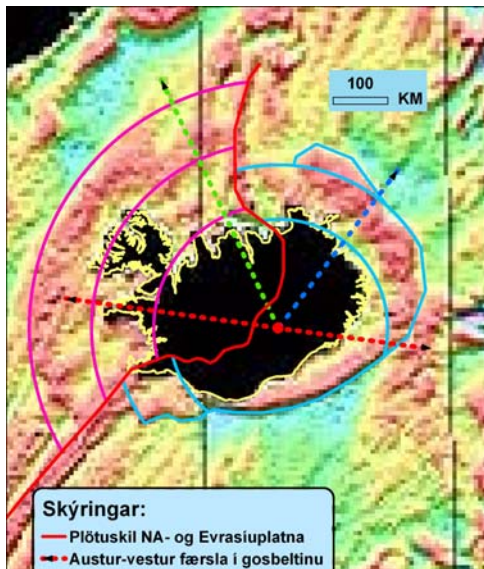
2. mynd. Gjóska ofarlega í gili á gönguleiðinni upp Svaðbælisheiði frá Seljavellalaug. Ljós.: Tómas Jóhannesson, 9. september 2010.

Norðurfærsla Íslands með hliðsjón af kyrrstæðum möttulstrók undir Íslandi: rakin út frá jarðsögu, jarðhniki og landmælingu

Jóhann Helgason og Guðmundur Valsson

Landmælingar Íslands, Stillholt 16-18, 300 Akranes

Til að mæla gliðnun um plötumótin á Íslandi er önnur platan sett kyrr og færsla hinnar mæld með hliðsjón af þeirri kyrrstæðu. Þannig fæst nákvæm mæling á innbyrðis hreyfingu platnanna er nemur 1.1 cm/ári í stefnu N84°V fyrir NA-plötuna og N96°A fyrir Evrasíu-plötuna. Aðferðin segir þó ekkert um algilda rekstefnu meginplatna NA og Evrasíu við Ísland.



1. mynd. Færsla landsins fyrir 10, 15 og 20 milljónum ára á Vesturlandi (bleikar línur) og á Austurlandi (bláar línur) út frá heitum reit á landinu suðaustanverðu. Græna línan sýnir mestu rekstefnu á Vesturlandi, (N25°V) og sú bláa á Austurlandi (N37°A). Rauða strikalínan sýnir gliðnunarstefnu

sem skilgreina hann. Færsluhraðar GNSS jarðstöðvanna REYK og HOFN í rammanum eru notaðir til viðmiðunnar í samanburðinum. Færsluhraði REYK er 19.6 mm/ár N og 9.9 mm/ár V og færsluhraði HOFN er 14.9 mm/ár N og 13.4 mm/ár A. Hámarks algildur rekhraði á Vesturlandi fyrir 1993-2004 í ITRF2000 var 23 mm/ár í stefnu N25°V en um 20 mm/ár í stefnu N37°A á Austurlandi. Færslur landsins í þessar stefnur fyrir 10, 15 og 20 M ár voru því 227 km, 340 km og 454 km á Vesturlandi en 200 km, 300 km og 400 km á Austurlandi (1. mynd).

Gosbeltaflutningar. Eldvirkni í rekbeltum landsins hefur verið breytileg sl. 20 Má og er gjarnan talað um flutninga gosbelta í því sambandi, að flutningarnir hafi orðið á mismunandi löngu tímabili og yfir mismunandi langa vegalengd. Uppbygging Austfjarðastaflans er talsvert ólík uppbyggingu á Vesturlandi og hefur upphleðsla basaltstafla

Austurlands í raun verið nær samfelld sl. 14 Má að frátaldri eyðu í upphleðslunni fyrir um 3 Má. Samt ber jarðlagastafla Austfjarða greinileg merki um minni gosbeltaflutninga, þ.e. 20-40 km færslu á um 2 Má fresti. Slíka flutninga sýnir ásýnd hraunlaga og berggerð. Megineldstöðvar í tertíera staflanum eru sýnileg dæmi um hið forna gosbelti. M.ö.o. það hverfur ekki þrátt fyrir upphleðslu og rek eins og gert hefur verið ráð fyrir. Á Vesturlandi eru ummerki upphleðslunnar frábrugðin og þar er talað um viðameiri flutninga gosbeltisins. Samt er vegalengdin frá, t.d. 8 Má gömlu bergi á Vesturlandi, sem myndaðist í Snæfellsnes-Húnaflóa rekbeltinu, til bergs af sama aldri er myndaðist í rekbelti Austfjarða, það mikil að nær er að tala um tvíhliða upphleðslu, þ.e. tvö sjálfstæð rekbelti. Virkni þessara rekbelta á Vestur- og Austurlandi, hefur skarast en mismikið gegnum tíðina.

Lega möttulstróks. Sú forsenda er gefin að undir Íslandi sé frekar kyrrstæður möttulstrókur. Erfitt hefur reynst að greina far íslenska stróksins sem hefur miðju um 50 km innan Evrasíuplötunnar. Nær samfelld upphleðsla innan basaltstafla Austfjarða bendir til þess að miðja möttulstróksins hafi verið kyrr sl. 15 Má. Lárétrar skorpuhreyfingar er sýna færslu landsins til norðurs, þ.e. vegna algildrar færslu NA- og Evrasíu-platnanna, sýna að dreifing og aldursskipting hraunlaga fer hækkandi til norðurs frekar en í austur-vestur stefnu þar sem hinn norðlægi þáttur skorpu-hreyfinga er meiri en hinn austlægi eða vestlægi. Ýmis einkenni jarðlagastaflans styðja þessa túlkun. Á Austurlandi stefna jafnaldurslínur hraunlaga ekki hornrétt á gliðnunarstefnu gosbeltisins heldur hornrétt á hina norðlægu stefnu sem Evrasíu-platan hreyfist í. Líklega er „far“ möttulstróksins undir Íslandi flókið og ógreinilegt, einkum þar sem: 1) strókurinn er amk. um 50 km innan Evrasíuplötunnar, 2) afurð eldvirkinnar á Íslandssvæðinu berst til norðurs, 3) NA-platan tekur bæði við gosafurðum frá kerfi Mið-Atlantshryggjarins og möttulstróknum fyrir austan. Dýptarlínur umhverfis Ísland benda til norðlægrar upphleðslu landsins enda hylðýpi rétt fyrir sunnan land sem, ef austlæg rekstefna væri virk, ætti að vera á grunnsævi eða ofan yfirborðs.

Heimildir:

Guðmundur Þ. Valsson, Þ. Sigurðsson, C. Völksen og M. Rennen. ISN2004. Niðurstöður úr endurmælingum grunnstöðvanets Íslands. Skýrsla með tæknilegum niðurstöðum nr. L02030012, Landmælingar Íslands, Akranesi, 2007.

Jóhann Helgason, Samspil gosbelta og heits reits undir Íslandi með hliðsjón af jarðlagagerð, rekstefnu og ójöfnun rekhraða meginfleka. Vorráðstefna JFÍ 2010.

The inflation and deflation episodes in the Krísuvík geothermal area

Karolina Michalczewska¹, Sigrún Hreinsdóttir¹, Amandine Auriac¹, Thorbjorg Águstsdóttir¹, Thóra Árnadóttir², Halldór Geirsson³, Andrew Hooper⁴, Kurt L. Feigl⁵, Rick Bennett⁶, Páll Einarsson¹, Freysteinn Sigmundsson², Judicael Decriem¹, and Marie Keiding⁷

¹Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Reykjavik, Iceland, ²Nordic Volcanological Center, Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Reykjavik, Iceland, ³Division of Processing and Research, Icelandic Meteorological Office, Reykjavik, Iceland, ⁴Delft University of Technology, Delft, The Netherlands, ⁵Department of Geoscience, University of Wisconsin-Madison, USA, ⁶University of Arizona, USA, ⁷GFZ German Research Centre for Geosciences

Krísuvík is a volcanic system with a high-temperature geothermal area located in the central part of the Reykjanes Peninsula, SW Iceland. The area is seismically very active with the largest earthquakes (M 5-6) associated with a system of N-S trending, right-lateral strike-slip faults. In early 2009 GPS measurement at a continuous station KRIV suggested inflation of the Krísuvík geothermal area, which was then confirmed by ENVISAT interferometric synthetic aperture radar (InSAR) data. The inflation continued until fall of 2009 when the area began to subside reaching the pre-inflation state in early spring 2010. In April 2010 another uplift episode started. The inflation is ongoing at present with a comparable deformation rate to the pre-deflation one.

The Krísuvík area has been closely monitored in the last year with continuous and campaign GPS measurements and InSAR interferometry. The deformation registered by the GPS stations suggests an inflation source at 4-5 km depth located beneath Sveifluháls area, with uplift rates exceeding 50 mm/yr at stations closest to the inflation center, just north of Seltún geothermal area. TerraSAR-X images have been acquired during the latest inflation period showing the extent of the inflation. In addition to geodetic data repeated gravity measurements will be used to help constraining the nature of the source and its depth. Gravity measurements on numerous sites were performed in July 2010 and in March 2011 measurements were conducted along a profile crossing the estimated inflation center.

Seismic activity in the Krísuvík area in last two years has been reflecting the ongoing deformation character, more frequent earthquakes during the inflation periods while fewer earthquakes were recorded during the deflating phase. In late February 2011 a seismic swarm occurred in Krísuvík with eight events of magnitude exceeding 3, many felt in Reykjavík. The largest (M 4.2) occurred on 27 February and was located just west of Lake Kleifarvatn. The earthquakes lineate a N-S trending structure and coseismic GPS displacements suggest right lateral rupture on a N-S trending strike-slip fault.



Fig. 1. GPS points overlaid on the Krísuvík area map (Google Earth). The points in blue represent the network of campaign GPS stations while points in yellow show continuous sites. The predicted center of inflation has been marked with a purple star.

Órói í íslenskum eldstöðvum

Kristín S. Vogfjörð¹, Sigurlaug Hjaltadóttir¹ og Ragnar Slunga²

¹Veðurstofa Íslands, Bústaðavegi 9, Reykjavík, ²QuakeLook AB, Stockholm

Algengustu merki um óróa í íslenskum eldstöðvum er aukning í jarðskjálftavirkni. Þetta átti sérstaklega við um Eyjafjallajökul, þar sem þétt net jarðskjálftamæla Veðurstofunnar leyfði háupplausna kortlagningu jarðskjálfta í endurteknum djúpum skjálftahrinum á 18 ára tímabili, frá 1992 til 2010. Í umbrotahrinunni árið 2010, gerði útbreiðsla skjálftavirkni frá botni skorpunnar og upp í efri hluta hennar kleift að kortleggja feril kvikunnar í tíma á leið hennar upp að yfirborði; fyrst að gosstöðvunum á Fimmvörðuhálsi og þrem vikum síðar upp að gosstöðvunum í toppgíg Eyjafjallajökuls.

Til að öðlast sömu næmni á mögulega djúpskjálftavirkni í Kötlu eins og náðst hefur í Eyjafjallajökli var bætt við þrem jarðskjálftastöðvum í nágrenni Mýrdalsjökuls haustið 2010. Hin aukna næmni hefur leitt til fleiri mældra skjálfta, en háupplausna staðsetningar skjálfta í Kötluöskjunni sýna að skjálftavirknin er mjög grunn og tengist jarðhita á yfirborði öskjunnar. Þó hafa, líkt og í Eyjafjallajökli, nokkrir skjálftar mælst við botn skorpunnar undir austurjaðri öskjunnar og undir Hjörleifshöfða á seinustu árum.

Mikil aukning hefur orðið í skjálftavirkni í eldstöðvum í vestanverðum Vatnajökli á seinustu árum. Seinast gaus þar í Gjalp árið 1996 og í Grímsvötnum árin 1998 og 2004. Aukin jarðskjálftavirkni mældist í aðdraganda gosanna og síðan árið 2006 hefur virkni stórlega aukist aftur: Í Grímsvötnum hefur hún fjórfaldast, á Lokahrygg, austan Hamarsins hefur virknin aukist sexfalt. Stórkostlegasta aukningin í skjálftavirkni hefur þó mælst í Bárðarbungu, þar sem virkni ársins 2010 varð 15 sinnum meiri en meðaltal fyrra áratugs. Skjálftavirkni í Kverkfjölum og Kistufelli hefur einnig aukist talsvert. Í Esjufjölum hafa orðið tvær aðalhrinur, árin 2002 og 2008. Þær ganga suðvestur frá öskjurímanum og eru frekar grunnar. Háupplausnarstaðsetningar þessara skjálfta sýna að í Grímsvatnaöskjunni og undir Skaftárkötlu tveim er skjálftavirkni mjög grunn, sem bendir til að hún tengist jarðhitavirkni. Virknin í öðrum eldstöðvum og vestan Skaftárkatlanna nær þó niður í miðja skorpuna og geta endurspeglad kvikuhreyfingar. Í Bárðarbungu er skjálftavirknin að mestu í efstu 8 kílómetrunum og að mestu einskorðuð við svæðið norðaustur af öskjurímanum og teygir sig í norðaustur frá upptökum M5.7 skjálftans sem þar varð í september 1996, en hann markaði upphaf hrinunnar sem leiddi til Gjalpargossins fáeinum dögum síðar. Dreifing skjálftavirkni í Esjufjölum liggur suðvestur frá öskjurímanum og er hún frekar grunn. Háupplausnastaðsetningar jarðskjálfta í virkustu eldfjöllunum verða sýndar og ef tími vinnst til, skjálftar sem mælst hafa á lítið færanlegt mælanet við Heklu árið 2010.

Nýtt jarðfræðikort af Suðvesturlandi í mælikvarða 1:100.000

Kristján Sæmundsson, Haukur Jóhannesson, Árni Hjartarson, Sigurður Garðar Kristinsson og Magnús Á. Sigurgeirsson

Íslenskar orkurannsóknir (ÍSOR), Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Sumarið 2010 gaf ÍSOR út nýtt jarðfræðikort af Suðvesturlandi til sölu á almennum markaði. Kortið byggir að langmestu leyti á fjölmörgum útgefnum kortum sem starfsmenn ÍSOR og áður Orkustofnunar, hafa unnið undanfarna áratugi, mest fyrir orkufyrirtæki og sveitarfélög á svæðinu. Að auki voru nokkur svæði unnin sem stúdentaverkefni eða eru afrakstur námskeiða í jarðfræðikortlagningu fyrir jarðfræðinema við HÍ, sem fyrsti höfundur kortsins annaðist. Yngstu kortin voru til á tölvutæku formi en þau eldri þurfti að hnita.

Ýmsar gloppur komu í ljós þegar farið var að fella kortin saman og var reynt að fylla í þær eftir því sem tók voru á með meðan kortið var í vinnslu. Eitt og annað hefur komið á daginn eftir útgáfu kortsins og vafalaust á margt eftir að breytast þegar fram líða stundir.

Jarðlög á jarðfræðikortinu spanna rúmlega 4 milljón ára tímabil og veita góða innsýn í meginþætti í sérstæðri jarðfræði Íslands. Elstu jarðlögin eru í undirstöðum Akrafjalls en yngstu jarðlögin eru hraun frá sögulegum tíma, þeirra yngst eru hraun frá Reykjaneseldum 1211 -1240.

Við aðgreiningu elsta bergsins á svæðinu, utan móbergs, er farið eftir berggreiningu í mörkinni og því skipt í þóleiít (sýnt blátt), ólívínbasalt (grænt), andesít (rauðbleikt) móberg og setberg (brúnt) og líparít (einnig nefnt ríólít; sýnt gult). Mörk tertíer og kvarter eru dregin við Gauss-Matuyama segulskilin (2,58 M ára) í samræmi við nýlega samþykkt INQUA-nefndar. Önnur tímamörk eru ekki sýnd í hinum forna berglagastafla. Mislægi milli hans og yngri myndana, hallalausra, eru dregin þar sem þau eru ljós. Ungur framburður hylur þau víða.

Í móbergsmyndunum var reynt að skilja á milli yngstu hryggja og eldra móbergs og farið eftir rofstigi og skörun milli myndana.

Grágrýti var skipt í þóleiít (einföld hraunlög, blátt), og ólívínbasalt (grænt). Það síðarnefnda er aðgreint með litarmun í fláka frá hlýskeiðum og hettur á móbergi. Lítið er um þóleiít í grágrýtinu á Reykjanesskaga en það kemur þó fyrir á nokkrum stöðum, s.s í Móhálsun og vestan til í Brennisteinsfjallakerfi, en ekki þótti rétt að merkja það inn heldur bíða þar til efnagreiningar eða þunnsneiðaathugun liggja fyrir.

Hraunum er skipt í dyngju- og sprunguhraun og eru rúmlega 160 sundurgreind hraun sýnd á kortinu. Dyngjurnar eru sýndar bláleitar en hraunin rauðleit. Þær elstu og stærstu eru frá síðjökultíma og ná líklega eitthvað fram á Nútíma. Aldursgreiningar liggja fyrir á Sandfellshæð og Þráinsskildi en þær dyngjur eru báðar um 14.000 ára. Skeljar undir „foresetbreksíum“ sem fram komu við boranir á Kalmanstjörn og á Auðnum á Vatnsleysuströnd voru aldursgreindar. Pikríthraunin eru líklega flest eldri, alla vega er svo þar sem þau jaðra við stóru dyngjurnar. Alllangt hlé virðist hafa orðið á myndun dyngna á Reykjanesskaga í upphafi Nútíma og þar til Hrótagjárdyngjan hlóðst upp fyrir rúmum 6000 árum. Aldurinn er byggður á öskulaginu R-6000, frá Reykjanesi, sem er klesst ofan í yfirborð hraunsins. Eftir fylgdu dyngjugos á um það bil 1000 ára fresti, öll í Brennisteinsfjallakerfinu. Yngsta dyngjuhraunið rann eftir Landnám. Það er Breiðdalshraun sem er frá 10.-11. öld.

Tvö hraun úr eldborgargígum sverja sig í ætt við dyngjuhraun bergfræðilega og að innri gerð, en eiginleg dyngjulögun er ekki á þeim og rennslishættir aðrir. Þau eru

Búrfellshraun ofan við Hafnarfjörð og eldra Eldborgarhraunið sunnan við Geitahlíð. Hér mætti einnig nefna Hellisheiðarhraun a (um 10.000 ára), en upptök þess eru stæðilegur gjall- og klepragígur (Gígahnúkur).

Sprunguhraunin eru af tvennum toga, annars vegar kleprahraun sem benda til ákafrar strókavirkni. Þau eru líklega frá síðjökultíma, eða mjög snemma á Nútíma. Þau sjást á kortinu sem gossprungur og mjóar hraunspildur (kleprabrynjur) næst þeim, utan í fellum og hæðum, umflotnum yngri hraunum. Dæmi má sjá utan í Stóra-Skógfelli og Þorbirni. Hins vegar eru sprunguhraun úr gjallgígaröðum. Þau mynda hraunbreiðurnar sem liggja út frá gígaröðum skagans. Á kortinu fer mest fyrir yngstu hrauninum frá tveim síðustu goshrinum fyrir um 2400-1900 árum og 1200-770 árum. Hraun runnin eftir landnám eru sýnd sérstaklega. Hins vegar byrjaði þetta síðasta gosskeið nokkru fyrir landnám með sprungugosum í Brennisteinsfjöllum og Móhalsadal. Hraun sem þá runnu eru einnig auðkennd á kortinu. Hæpið er að treysta því að hraunrennsli hafi verið minna á eldri góstímabilum því að yngri hraun hylja þau eldri, en víða koma fram skæklar út undan þeim eða í hólum og stundum allstórir flákar. Elstu aldursgreindu sprunguhraun skagans eru lítið yfir 8000 ára, þ.e. Hópsneshraunið í Grindavík og elstu hraunin úr Skálafelli á Reykjanesi.

Á kortinu er bent á ýmsa jarðfræðilega áhugaverða staði. Suma má telja fágætlega merkilega, svo sem risspilduna kringum hvirfil Hrútagjárdyngjunnar og setlögin í Sogum og á Höskuldarvöllum og þá sögu sem þau geyma. Einnig má nefna sprengigígana í Krýsuvík þar sem gaus á stuttum gígaröðum sem liggja í stefnu skjálftasprungna. Gervigígarnir í Selöldu niður við Krýsuvíkurborg líklega einstakir í sinni röð hér á landi. Þríhnúkagígur með hellinum undir mun vera einsdæmi um gíghelli. Gosgangarnir í Kerlingarbási á Reykjanesi eru mörgum kunnir, en færri þekkja gangana í Jórúkleif og við Jórugil en þar tengjast þeir móbergshryggjum. Á vefsíðu ÍSOR www.isor.is má lesa fróðleik um þessa staði.

Stóru dyngjurnar á Reykjaneskaga.

Dyngja	Aldur BP	Sýnilegt flatarmál	Líklegt flatarmál	Sjávarstaða
Leitin	5300	100km ²	113km ²	- 2,5 m
Hrútagjá	rúml. 6000	52km ²	96 km ²	-3 m
Heiðin há	~ 7500	136 km ²	170 km ²	-10 m
Sandfellshæð	um 13.600	103km ²	188 km ²	- 52m
Þráinsskjöldur	um 14.200	129km ²	146 km ²	-25m

Sjávarstaða markast af skilum milli hrauns og breksíu. Gæti skakkað um ± 2 m.

Bergsegulmælingar á Pleistósen hraunlögum á þrem stöðum suðvestan- og sunnanlands

Leó Kristjánsson

Jarðvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7, Reykjavík

Á árunum 1953-60 unnu Trausti Einarsson og Þorbjörn Sigurgeirsson mikið starf við kortlagningu segulstefna í hraunlögum landsins. Þær athuganir voru að mestu gerðar með áttavita í mörkinni, en Þorbjörn framkvæmdi einnig ítarlegri segulmælingar á sýnum. Sumt af niðurstöðum þeirra birtist á prenti, m.a. í ritum sem Vísindafélag Íslendinga gaf út. Einkum var þar um að ræða mælingar Trausta á Pleistósen myndunum ásamt lýsingum hans á stratígrafíu og tilurð þeirra myndana (t.d. Trausti Einarsson 1962). Hann gerði jafnframt tilraun til að rekja umsnúninga segulsviðsins aftur í tímann. Þessum rannsóknum hefur ekki mikið verið fylgt eftir síðan, en hér verður lýst stuttlega segulmælingum á um 100 hraunlögum alls á þrem stöðum suðvestan- og sunnanlands (Leó Kristjánsson 2010).

Einn staðurinn er í Þórisgili í Brynjudal í Hvalfirði, þar sem Trausti Einarsson (1962) taldi syrpu hrauna og grófra setmyndana frá segul-skeiðinu R2 liggja undir hraunlögum frá skeiði N2 í Botnssúlum. Þetta var staðfest til bráðabirgða í rannsókn bresks leiðangurs sem grein birtist um á árinu 1972, og aftur nú.

Annar staður þar sem safnað var sýnum til segulmælinga, er suður af svæði austan Hvalfjarðar sem Trausti Einarsson (1962) kortlagði. Þarna er um að ræða snið í Stóra-Sauðafelli, Hrótagili og Stóröxl við Kjósarskarðsveg. Virðist þar vera hægt að rekja R2 - N2 umsnúninginn (og ísúr lög nokkru neðan við hann) a.m.k. tvo km.

Þriðji staðurinn er í Hreppamynduninni, sunnantil á svæði í Þjórsárdal sem Trausti Einarsson (1962) kannaði. Þar hafa einnig Ágúst Guðmundsson, Áslaug Geirsdóttir og Þorvaldur Þórðarson unnið að kortlagningu, um og eftir 1990. Ýmsar óreglur eru í legu jarðmyndana á þeim slóðum, og verður hér aðeins sagt frá niðurstöðum úr samsettu sniði við bæinn Fossnes. Svo er að sjá sem þrjár þunnar rétt segulmagnaðar lagasyrpur séu þar inni í 500 m þykkum stafla sem er að mestu öfugt segulmagnaður. Trausti gaf honum staðbundna númerið r4.

Gögn úr þessum athugunum reynast meðal annars vera í samræmi við fyrri ályktun höfundar úr segulmælingum á íslenskum hraunum, um að flókt staðsetningar segulskautanna kringum heimskautin hafi farið minnkandi síðastliðin 16 milljón ár. Stundum koma mjög svipaðar segulstefnur fyrir í tveim eða fleiri lögum hverju á eftir öðru í sniðunum, sem bendir til að upphleðsla staflans hafi verið nokkuð rykkjótt.

Heimildir:

Trausti Einarsson: Upper Tertiary and Pleistocene Rocks in Iceland. Rit Vísindafélags Íslendinga 36, 1962, 196 bls. og 5 kort.

Leó Kristjánsson: Paleomagnetic observations at three locations in the Pleistocene lava sequences of southwest and south Iceland. Jökull 60, 149-164, 2010.

Tectonics of South Iceland Seismic Zone at the site of three hydropower plants in Lower Þjórsá

Maryam Khodayar¹, Sveinbjörn Björnsson², Hjalti Franzson¹, Páll Einarsson³

¹Iceland GeoSurvey (ÍSOR), Grensásvegur 9, 108, Reykjavík, Iceland, mak@isor.is, ²National Energy Authority (Orkustofnun), Grensásvegur 9, 108, Reykjavík, Iceland, ³Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Sturlugata 7, 101 Reykjavík, Iceland

As a preparation for the planned Hvammsvirkjun (Hv), Holtavirkjun (Ho) and Urriðafossvirkjun (Urr) power plants within the South Iceland Seismic Zone (SISZ) we undertook detailed field investigations for Landsvirkjun from 2006 to 2010 (Fig. 1). The construction of hydropower plants in this highly active seismic zone is a new engineering challenge in Iceland as large earthquakes (M 6.5 to 7) occur on average at 50-100 year intervals. The power plants are at the sites of the first (Hv), second (Ho), and fourth (Urr) events of the 1896 earthquake sequence. They are also at the site of the June 17th (Ho) and near the site of June 21st, 2000 earthquakes (Urr).

We covered the sites of the three power plants with a combined area of 54 km². To identify critical tectonic structures, we systematically compiled the stratigraphy when outcrops allowed, and mapped in total more than 84 basement faults, 178 dykes, 3973 joints, and 386 mineral veins. We also mapped with GPS 192 Holocene surface ruptures and 184 aligned leakages of cold and hot water along fractures. The number of the structures and the size of the mapped areas are sufficiently representative to state that:

- The mapped active faults form a six-set Riedel shear pattern within the SISZ and compensate the sinistral motion along this transform zone. The main source faults are northerly dextral strike-slips. Apparently shorter and less frequent are four sets of sinistral strike-slip faults (ENE, E-W, WNW, and NW), and one set of purely extensional fractures (NNE). However, ENE conjugate segments are clearly local ruptures of longer and widespread fractures, which control with the northerly set the courses of many major rivers in South Iceland.
- In addition to their potential for rupture during earthquakes, the northerly, ENE, WNW, E-W and NW sets are leaky, conveying cold and hot water to the surface.
- In Þjórsá lava and Holocene sediments horizontal offsets of the strike-slip faults can rarely be estimated due to lack of marker horizons but reach in few cases 1.5 m. All the strike-slip segments present extension, up to 1.5 m. Many cross-sections into the underlying Hreppar formation show that the surface fractures are reactivation of older faults and dykes rupturing during Holocene earthquakes. During their long lifetime, these fractures accumulated slips, some up to 25 m dip-slips, were injected by dykes, and created mineralised breccia zone indicating older geothermal activity.
- The risks associated with the active fractures are: (a) Ground ruptures during earthquakes, both in the source area of the event and along neighbouring fractures. (b) High ground acceleration during earthquakes, which damages components of the power plants. (b) Leakages from reservoirs through these fractures raising the groundwater level in the areas surrounding the power plants.

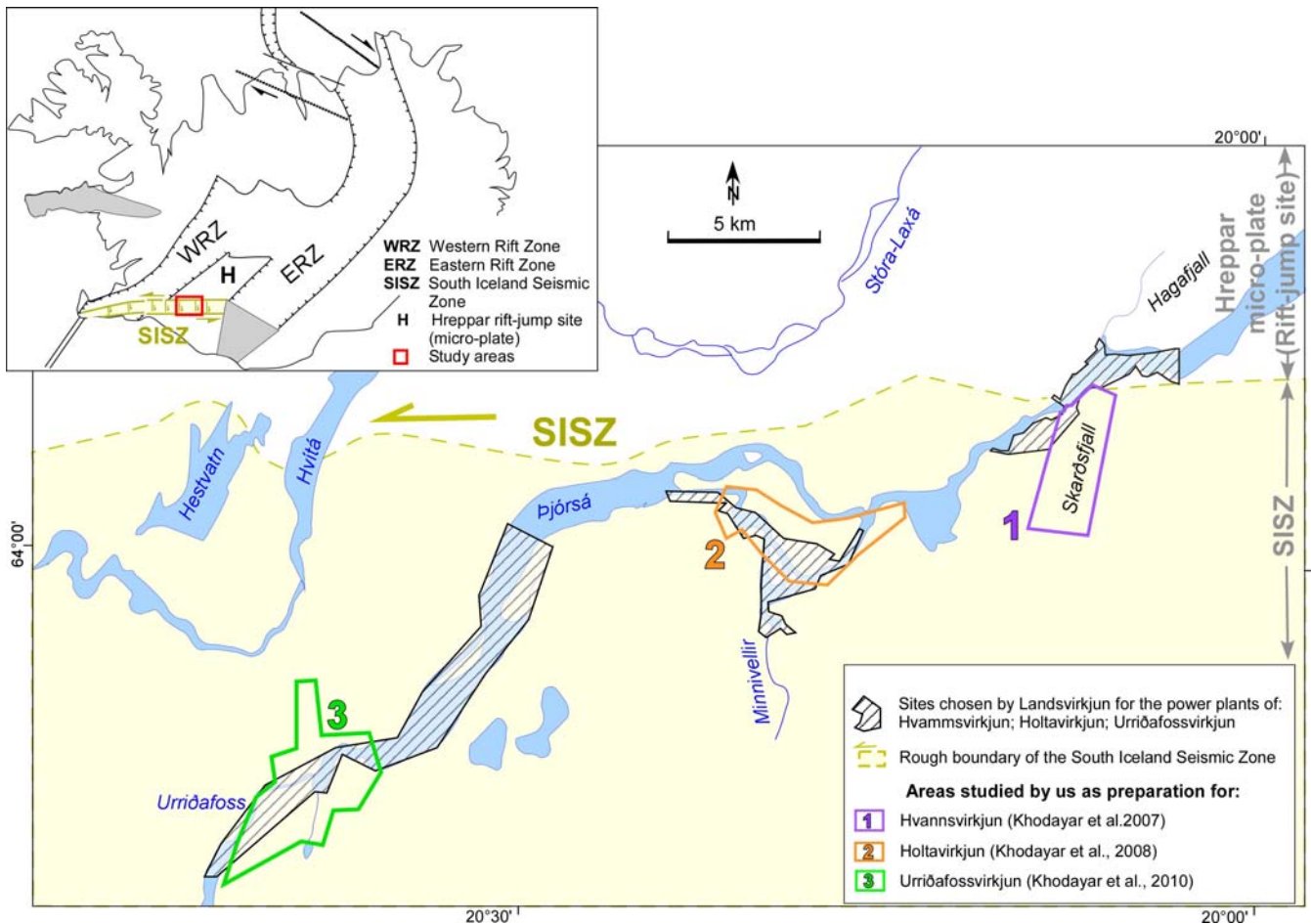


Fig. 1. Location of study areas in the South Iceland Seismic Zone

References

- Khodayar, M., Björnsson, S., and Franzson, H. 2010. Report ÍSOR-2010/054, and LV-2010/112, 51 p.
- Khodayar, M., Einarsson, P., Björnsson, S., and Franzson, H. 2008. Report ÍSOR-2008/030, and LV-2008/088, 52 p.
- Khodayar, M., Franzson, H., Einarsson, P., and Björnsson, S. 2007. Report ÍSOR-2007/017, and LV-2007/065, 39 p.

Gamla Ísland – a re-investigation of the geochronology of flood basalts enveloping the Selárdalur-Botn Formation in Vestfirðir

Morten S. Riishuus^{1*}, Robert Duncan² and Leo Kristjansson³

¹Nordic Volcanological Centre, Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Reykjavik, ²College of Oceanic and Atmospheric Sciences, Oregon State University, Oregon, USA, ³Institute of Earth Sciences, Askja, University of Iceland, Reykjavik

The active crustal accretion processes recorded in Iceland for the past 17-16 million years is complicated by repeated rift relocation to the east as a consequence of westward plate drift relative to the Icelandic mantle plume. Only the youngest products of the extinct Northwest Iceland rift zone are preserved below the lignite- and fossil-bearing lateritic Selárdalur-Botn Formation striking NE-SW in the extreme northwest. The lavas below the sediment horizon dip NW towards the paleo-rift they were erupted from, while the lavas above the horizon dip SW towards their parental Snæfellsnes-Húnaflói paleo-rift active between ~15-7 Ma. The length of time represented by this horizon has previously been examined by both K/Ar and Ar/Ar geochronology of the enclosing basalts. The dating results disagree and interpretations suggest that the hiatus could have lasted as much as 1 m.y. or as little as 200 k.y. Here, we present new Ar/Ar age results on basalts from magnetostratigraphic profiles across this unconformity. The results show that the preserved lavas below the unconformity were erupted between ~17 and ~16 Ma at a low extrusion rate of 350m/m.y. The onset of volcanism above the unconformity occurred by 14.5-15.0 Ma – and at a significantly higher extrusion rate. This suggests that the period of volcanic quiescence, during which the sediments were deposited, was long-lived (1-1.5 m.y.) rather than short-lived. A period between 17 Ma and ~15 Ma characterized by a very low lava extrusion rate ending with a prolonged time of no volcanic activity correlates remarkably well with an equally long-lasting trough in the residual depth variation across the v-shaped ridges on the Reykjanes ridge. As such, the initiation of a v-shaped ridge at ~15 Ma corresponds to a rift jump leading to initiation of the Snæfellsnes-Húnaflói paleo-rift. The older-than-previously-known ages that we here report from northwest Iceland call for reappraisal of the magnetostratigraphy of the oldest lava piles, and suggest that the interbasaltic sediments from this period are contemporaneous with the Middle Miocene Climatic Optimum.

Eldgosið í Eyjafjallajökli í apríl-maí 2010

Magnús Tumi Guðmundsson¹, Ármann Höskuldsson³, Guðrún Larsen¹, Þorvaldur Þórðarson², Björn Oddsson¹, Eyjólfur Magnússon³, Þórdís Högnadóttir¹, Ingibjörg Jónsdóttir¹, Halldór Björnsson⁴, Nína Guðrún Petersen⁴

¹Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík, ²Grant Institute, University of Edinburgh, ³Norræna Eldfjallasetrinu, Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík, ⁴Veðurstofu Íslands, Bústaðavegi 9, 150 Reykjavík

Gosið í Eyjafjallajökli ásamt undanfara þess á Fimmvörðuhálsi er með mestu umbrotum hér á landi í nokkra áratugi. Hraungosið á Fimmvörðuhálsi var meinlítið en stórfenglegt og þar gat að líta tilkomumikla hraunfossa auk þess sem hrauntaumarnir bræddu sér leið gegnum þykka hjarnskafla. Sprengigosið í öskju Eyjafjallajökuls sem hófst 14. apríl var annars eðlis. Þar kom upp ísúr kvika (trakíandesít/benmorít). Í fyrstu voru jökulhlaup helsta áhyggjuefnið en eftir að gosið náði sér vel upp úr jöklinum dró úr þeim. Við tóku margvísleg vandamál vegna gjóskufalls en það var verulegt í þessu gosi. Nánast öll gjóskan flokkast sem aska (þvermál korna < 2 mm). Svo til alla daga gossins gætti öskufalls og þegar gosvirknin var mest var það verulegt. Samfelldu gosi lauk 22. maí en minniháttar sprengivirkni var 4.-8. júní og dálítill sprenging varð eftir hádegi 17. júní. Kyrrð hefur nú færst yfir gosstöðvarnar og vetrarsnjór þekur gígana. Helstu einkenni þessa goss voru:

1. Óvenju langur tími með sprengivirkni og öskufalli.
2. Blandgos var frá 21. apríl og fram í maí. Hreyfing hraunsins var þó lítil eftir 4. maí og var hraungosi að mestu lokið frá og með þeim degi.
3. Hraunið bræddi jökulinn yfir sér og á undan sér og klauf þannig Gígjökul.
4. Aska barst óvenju víða og gætti hennar víða í Evrópu, þó í litlum mæli hafi verið. Ríkjandi vindátt meðan á gosinu stóð var úr vestri og norðvestri og skýrir það útbreiðslu öskunnar.
5. Miðað við íslensk sprengigos, varð óvenju mikið til af mjög finni ösku í gosinu. Þegar gosvirknin var mest (14.-17. apríl, 5.-6. og 13.-17. maí) var allt að þriðjungur gjóskunnar aska að kornastærð undir 30 μm . Á öðrum tímabilum var mun minna um svo fína ösku. Þetta magn fínefna í meginfösum gossins var þó ekki óvenjulegt miðað við ísúr og súr sprengigos á eyjabogum eða meginlöndum.

Gosið í Eyjafjallajökli er stærsta gjóskugos á Íslandi síðan Katla gaus 1918. Einhvers öskufalls varð vart allstaðar á landinu nema á Vestfjörðum og e.t.v. á ystu nesjum Norðanlands. Um 60% öskunnar féll á Íslandi, en 40% suður og suðaustur af landinu. Dálítill hluti þeirrar ösku sem féll utan landsteina barst með loftstraumum til Bretlands, Norðurlanda og meginlands Evrópu. Spár um dreifingu öskuskýsins orsökuðu meiri truflanir á farþegaflugi í Evrópu en áður eru dæmi um. Heildarmagn gosefna er talið jafngilda um 0,17 km³ af föstu bergi. Um 80% var gjóska, að langmestu leyti öskukorn minni en 1 mm í þvermál. Önnur gosefni eru hraunið í Gígjökli og það efni sem barst með jökulhlaupum, en meirihluti þess efnis settist til þar sem áður var Gígjökulslón.

Arsenic Speciation in Geothermal Waters

Nicole S. Keller¹, Andri Stefánsson¹ and Bergur Sigfússon²

¹Earth Science Institute, University of Iceland; ²Orkuveita Reykjavíkur

Various arsenic species have been observed or inferred in geothermal waters in recent years, in particular thio- and oxyanions. However their exact stoichiometry and their oxidation state has proved to be very challenging to establish, and has been subjected to a sustained debate over the last decade. Most of the arsenic species seen in geothermal waters are unstable under laboratory conditions, thus it is crucial that the appropriate sampling and analytical techniques are used in order to minimise post-sampling changes modifying the initial compounds.

The study presented here has three goals: 1) to determine how many arsenic species can be seen in geothermal systems, and how geochemical parameters control the number and relative abundance of the species, 2) to test whether our analytical method can be used to discriminate between the two main oxidation states of As, As^{III} and As^V and 3) to assess the stability of the arsenic-sulfur compounds after sampling, in particular whether the traditionally used flash-freezing method quantitatively preserves the species. In order to attain those goals, samples were collected at the Hellisheiði Power Plant and at the Geysir Geothermal Area in SW Iceland. The samples were analysed on-site by separating the various arsenic species by Ion Chromatography, and subsequently by quantifying each species using an arsenic-specific Hydride-Generation Atomic Fluorescence Spectrometer (HG-AFS).

Preliminary results show that analysis of the samples immediately after sampling is crucial, as sample storage and the flash-freezing method appears to modify the speciation during freezing and/or thawing of the sample. Using the retention times of the analytes through the chromatographic column, a minimum of seven arsenic species were observed. Two of the species are oxides of As^{III} and As^V, based on the comparison of their retention times with standards. The other five species have yet to be unequivocally identified, but based on prior studies (Sigfússon et al. 2011, and references therein) it is assumed that at least some of them are thioarsenic species with various S:O ratios, with longer retention times for increasing S:O.

Clear differences can be seen between samples from Hellisheiði and Geysir. In the case of the oxyanions, only As^{III} is present at Hellisheiði whereas both oxidation states can be seen in the samples from Geysir. This reflects the reduced conditions prevailing in the Hellisheiði reservoir, in contrast to Geysir where there is an input of oxygenated ground water. When looking at the thioarsenic compounds, the species found in the Hellisheiði samples typically had higher S:O ratios when compared to the Geysir samples. This is inferred to be related to the higher sulfur concentration in Hellisheiði relative to Geysir (40-50 ppm and 1-3 ppm, respectively).

Thermodynamic calculations show that the relative abundance of the various As-S-O-H species largely depend on the prevailing pH, and the species in a sample with pH 9 are likely to change in the analytical column where the prevailing pH is 13. However, the oxidation of As^{III} to As^V is slow, thus the As^{III}:As^V should remain constant over the course of the analysis. Thus, the approach suggested is to use the information obtained from the immediate analysis as a means of determining the relative abundance of the two oxidation states, and to back-calculate the species distribution with their S:O ratio at the pH of the sampling using the equilibrium constants of the reactions.

Reference

B. Sigfússon, S. R. Gislason and A. A. Meharg, 2011: A field and reactive transport model study of Arsenic in a basaltic rock aquifer. *Applied Geochemistry* 26, 553-564.

Eldfell og Eyjafjallajökull: hraði kvikuþróunar undir misproskuðum alkalískum eldfjöllum

Olgeir Sigmarsson^{1, 2}

¹Laboratoire Magmas et Volcans, CNRS – Université Blaise Pascal, 5 rue Kessler, 63038 Clermont-Ferrand, France, ² Institute of Earth Sciences, University of Iceland, 101 Reykjavik, Iceland.

Basalthraun sem runnið hafa á Vestmannaeyjum og við Eyjafjallajökul hafa samsetningu milds alkali basalts með lítið sem ekkert Ne í normi. Mjög lík basaltsamsetning kom upp í gosinu á Fimmvörðuhálsi 2010 og í fyrri hluta Surtseyjargossins. Bæði eldstöðvakerfin hafa því þroskast frá svipaðri grunnkviku en mislangt enn sem komið er. Vestmannaeyjakerfið hefur aðeins framleitt basalt ef undanskilið er síðasta gos þess í Eldfelli 1973 þar sem gaus hawaiiíti ásamt eilitlu af mugearíti í byrjun (Jakobsson o.fl., 1973; Thorarinsson o.fl., 1973). Hins vegar er aðeins þekkt mun þróaðri trakýtt og rhýólít gjóska frá Eyjafjallajökli ásamt blandkvikunni benmoríti sem gaus 2010. Seinna eldfjallið verður því að teljast mun lengra komið á þroskabrautinni.

Dýpi á kvikuhólf er erfitt að meta en virðist sömuleiðis mun meira undir Heimaey (15-20 km; Einarsson, 1991) en undir Eyjafjallajökli (5-10 km; Keiding og Sigmarsson, 2010). Við svipaðan hitastigul er eðlilegt að þróaðri kvika dveljist við lægri þrýsting í kaldara umhverfi. Efnagreiningar aðal- og snefilefna sem og samsætuhlutfall benda eindregið til að þróðu kvikurnar hafi myndast við hlutkristöllun á frumstæðari kviku og aðskilnaði steinda og vökva.

Nákvæmari mælingar á geislavirku ójafnvægi á milli ^{226}Ra og ^{210}Pb staðfesta 10 ára dvalartíma (Sigmarsson, 1996) kvikunnar sem gaus 1973 í Eldfelli. Svipað ójafnvægi mælist í Fimmvörðuhálsbasaltinu og Surtseyjarbasalti [$(^{210}\text{Pb}/^{226}\text{Ra}) = 0,70 \pm 0,04$] en fyrsta benmorítið sem gaus úr toppgígnum hefur mun hærra gildi (1,05) vegna uppsöfnunar gass (m.a. ^{222}Rn) fyrir sprengigosið. Þetta benmorít er illa blönduð kvika með þremur glergerðum basísku, súru og íssúru að samsetningu, sennilega vegna tímaskorts á fullkomnari kvikublöndun fyrir gos en eftir innskot basalts í eldri súrari kviku. Súra glerið er af sömu samsetningu og gjóska frá gosinu 1821-23. Lágmarksdvalartími súru kvikunnar er því tæp tvö hundruð ár (2010-1823), basaltið er að hámarki um áratugsgamalt en mun líklegra aðeins fárra mánaða gamalt. Ísúra blandkvikan myndaðist aftur á móti aðeins örfáum dögum eða klukkutímum áður en hún gaus.

Þessar niðurstöður sýna að þrátt fyrir svipaðar kvikurætur endurspeglar kvikuþróun þroskastig eldfjalla þar sem þróaðri kvikukerfi (eldri?) bjóða upp á flóknara og dýnamiskari kvikuferli en einfaldari og yngri eldstöðvar.

Áfok og rykmengun á Íslandi: helstu uppsprettur, magn og áhrif

Ólafur Arnalds

Landbúnaðarháskóla Íslands, Hvanneyri

Rykmengun og áfok hafa mikil áhrif á vistkerfi jarðar vegna áhrifa á loftslag, jarðvegsmyndun og fleiri þætti. Hér verður grein fyrir niðurstöðum rannsókna á upprunastöðum áfoks á Íslandi og magni áfoks á landsvísu. Niðurstöðurnar byggja á rannsóknum á útbreiðslu sandauðna á landinu, mælingum á sandfoki á ýmsum stöðum á landinu, áratugareynslu af vettvangi á sandfokssvæðum og skipulegri könnun á upprunastað sandstróka (dust plumes) á gervihnattamyndum. Ennfremur var þykkunarhraði jarðvegs notaður ásamt fleiri upplýsingum til að meta ákomu áfoks á landinu í heild. Aðferðum er nánar lýst af Ólafi Arnalds (2010).

Upprunastöðum áfoks má skipta í þrjá meginflokka: i) stór samfelld sandsvæði sem eru alls um 22.000 km²; ii) afmörkuð meginuppfokssvæði (strókasvæði); og iii) önnur svæði svo sem jarðvegstorfur, strandsvæði o.fl.

Sandsvæðin valda áfoki í tiltölulega fáum atburðum í aftakaveðrum (vindhraði t.d. >15 m s⁻¹). Strókasvæðin eru hins vegar meginuppspretta áfoks og rykmengunar á Íslandi. Rykmengun er tíðari frá strókasvæðum en sandsvæðum og mun minni vind þarf til að koma af stað vindrofi á þeim stöðum (7-10 m s⁻¹ vindhraða). Helstu strókasvæðin eru: Dyngjusandur norðan Vatnajökuls, Hagavatnsaurar, Mýrdalssandur (Múlakvísl/Leirá), Landeyjasandur (Markafljótsaurar), Mælifellssandur, Flosaskarð og Skeiðarársandur. Minni upptakasvæði eru t.d. Sandkluftavatn, árfarvegir meðfram Þjórsá, Tungná, Skaftá, Jökulsá á Fjöllum, Kreppu (og Kreppulón), ýmis strandsvæði og virkjanalón þegar lítið er í þeim. Dyngjusandur er langstærsta strókasvæðið (tugir km²) og mög líklega það langvirkasta.

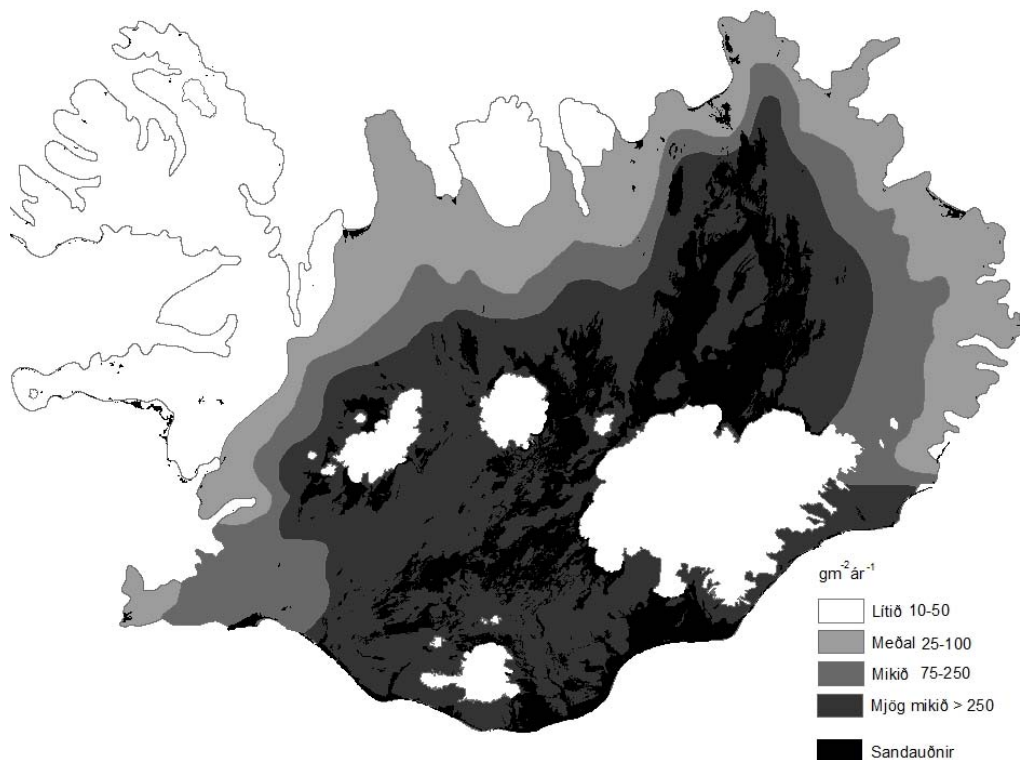
Á strókasvæðunum hagar þannig til að jökulvatn berst um flatlendi eða lægðir, eða þau eru við óstöðug lónborð. Á þessum stöðum leggst stöðugt til nýtt illa aðgreint efni sem er finkorna (silt-fínn sandur). Hlutur svífena (suspension) er fremur hár þegar fok á sér stað, en er mun lægri á öðrum sandsvæðum á borð við Ódáðahraun og Heklusanda, þar sem skokkefni (saltation) eru ráðandi. Við fokið myndast mökkur sem á sér vel skilgreindan upphafsstað.

Áfok frá samfelldum sandsvæðum og afmörkuðum strókasvæðum nær til landsins alls. Setmyndun innan gosbeltisins er >250 g m⁻² ár⁻¹ og sums staðar >500 g m⁻² ár⁻¹. Fjærst virkum áfoksuppsprettum, t.d. á Vestfjörðum og á Tröllaskaga, er áfokið <50 g m⁻² ár⁻¹. Í gosinu í Eyjafjallajökli myndaðist tímabundið stórt samfellt strókasvæði og áfok varð mjög mikið á landinu (sjá Ólafur Arnalds o.fl., 2011).

Áfoksefnin eru að mestu úr basískum gosefnum, en annars staðar á jörðinni er kvars yfirleitt ráðandi áfoksefni, t.d. efni frá Sahara. Útskýra má marga eiginleika vistkerfa á Íslandi með hliðsjón af áfoksmagninu. Þar sem áfok er minnst er jarðvegur tiltölulega súr (leysist út minna af katjónum við efnaveðrun), en lægst mælist sýrustig í votlendi á Vestfjörðum (pH < 4). Á hinn bóginn hafa votlendi á Suðurlandi tiltölulega hátt sýrustig (pH 5,5-7). Hlutfall lífrænna efna í moldinni er því hærra sem áfok er minna. Eiginleg mómmold finnst fyrst og fremst á svæðum sem fá 10-50 g m⁻² ár⁻¹ á myndinni (> 20% C í yfirborðslögum). Votlendi næst áfoksbeltinu (áfok >250 g m⁻² ár⁻¹) hafa allt niður í 1-3% C í yfirborðslögum, sem er mjög lítið þegar norðlæg lega landsins er höfð í huga. Leirmagn (allófan og ferrihydrit) verður

mest í þurrlandi þar sem áfok er ekki of mikið, en glerið er áberandi í fremur grófkorna jarðvegi á þeim svæðum þar sem áfok er mest. Kolefni, leir og kornastærð hafa ráðandi áhrif á jarðvegseiginleika almennt, ásamt grunnvatnsstöðunni.

Ísland er yfirleitt ekki nefnt meðal helstu upprunastaða ryks á jörðinni (t.d. Lawrence og Neff, 2009). Þó eru áfoksmangið og rykmengun með því mesta sem þekkist og sambærilegt við uppfok frá helstu uppsprettum í eyðimörkum jarðar, jafnvel þótt helstu uppfokssvæði á Íslandi séu hlutfallsega lítil að flatarmáli í þeim samanburði. Líklega veldur mikill vindstyrkur, sem fylgir veðrakerfum Norður-Atlantshafsins, miklu þar um. Þetta ryk hefur væntanlega áhrif langt út fyrir landsteinana, m.a. á loftslag og lífríki sjávar. Rykmengun getur einnig verið langt yfir viðmiðunarmörkum er varðar heilsufar næst helstu uppfokssvæðunum.



Ákoma áfoks á landinu á ári að meðaltali ($\text{g m}^{-2} \text{ár}^{-1}$), meðaltal u.þ.b. 500 ára. Byggt á Ólafi Arnalds (2010).

Heimildir

Lawrence, C.R. og J.C. Neff 2009. The contemporary physical and chemical flux of aeolian dust. A synthesis of direct measurements of dust deposition. *Chemical Geology* 267, 46-63.

Ólafur Arnalds 2010. Dust sources and deposition of aeolian materials in Iceland. *Icelandic Agricultural Sciences* 23:3-21.

Ólafur Arnalds, Elín Fjóra Þórarinsdóttir, Jóhann Þórsson og Anna María Ágústsdóttir 2011. Hvað varð um öskuna úr Eyjafjallajökli? *Fræðaping landbúnaðarins* 8:43-48.

Þorleifur Jóhannes Einarsson (f. 29.8.1931, d. 22.3.1999)

Páll Imsland

Menntaskólinn við Hamrahlíð, Hamrahlíð 10, 105 Reykjavík

Þorleifur Jóhannes Einarsson fæddist í Reykjavík 29. ágúst 1931 og lést í Bergisch Gladbach í Þýskalandi hinn 22. mars 1999, á 68. aldursári.

Þorleifur varð stúdent frá Menntaskólanum í Reykjavík árið 1952. Haustið '53 hélt hann til Hamborgar til náms í jarðfræði. Hann flutti sig til Erlangen-Nürnberg og nam þar '54-56 og síðan til Kölnar þar sem hann var '56-60. Þar lauk hann bæði Diplom geolog-prófi og Doktor Rerum Natura-prófi 1960

Við heimkomu árið 1961 réðst hann til rannsóknastarfa við Iðnaðardeild Atvinnudeildar Háskólans og varð síðan sérfræðingur við Raunvísindastofnun Háskólans árið 1968.

Þorleifur var á þessum árum stundakennari í náttúrufræði og eðlisfræði við Vogaskóla og í jarðfræði við Menntaskólann í Reykjavík og Tækniskóla Íslands og loks við Háskóla Íslands árið 1969 er þar var nýhafin kennsla í náttúrufræðum, haustið 1968. Hann varð síðan prófessor í jarðsögu og ísaldarfræðum við Háskólann árið 1975 og gegndi því embætti til dauðadags.

Þorleifur var varamaður í Náttúruverndarráði og sat lengi í stjórn Landverndar, var þar formaður 1979-'90. Hann sat í stjórn Hins íslenska náttúrufræðifélags og var þar af formaður 1966-'72. Hann var tvívegis í stjórn Jarðfræðafélags Íslands og formaður þess í seinni setunni. Þá var hann stjórnarnefndarmaður Norrænu eldfjallastöðvarinnar um langan tíma og stjórnarformaður Máls og menningar frá 1979-'91. Hann var virkur félagi í ýmsum öðrum félögum.

Eftir Þorleif liggur fjöldi greina um rannsóknir og fræði á ýmsum tungum og síðan árið 1968 að út kom bók hans „Jarðfræði. Saga bergs og lands“ var sú bók og margar síðari endurskoðaðar og umskrifaðar útgáfur hennar einráð sem kennslubók í jarðfræði í skólakerfi landsins, a.m.k. fram á síðasta áratug.

Í enn ófullkominni skrá yfir ritverk Þorleifs eru nú 62 tímaritsgreinar. Þar af er hann eini höfundur að 46 greinum en 16 eru ritaðar með öðrum. Þá eru ótaldar bækur hans, útdrættir, smáskrif og allar skýrslur og greinargerðir sem ekki hafa verið gefnar út á formlegu prenti. Í þessum greinahópi eru margar öndvegisritgerðir, sem hafa varpað skýru ljósi á jarðfræði landsins og bætt verulega við þekkingu okkar og skilning á landinu og þróun þess, en þar má einnig finna greinar sem varpa ljósi á heimsþróunina.

Störf Þorleifs einkennast ekki bara af kennslu og akademískum rannsóknum, þó þar sé fyrirferðin mest. Hann lagði drjúgan skerf til hagnýtra rannsókna einnig og lagði mikið af mörkum í baráttunni fyrir bættri umgengni um landið og náttúruna almennt.

Fault map of the northern part of the Krísuvík fissure swarm, SW-Iceland

Páll Einarsson, Ásta Rut Hjartardóttir, Tinna Jónsdóttir, Benedikt G. Ófeigsson, Snæbjörn Guðmundsson, Sigurlaug Hreinsdóttir, Þorbjörg Ágústsdóttir, and students of Current Crustal Movements in the Faculty of Earth Sciences, University of Iceland 2010

Institute of Earth Sciences, University of Iceland

Persistent inflation and earthquake activity in the Krísuvík area provided incentive to conduct a field exercise for students in the course Current Crustal Movements at the University of Iceland in the autumn semesters of 2009 and 2010 within the fissure swarm of the Krísuvík volcanic system in SW-Iceland. An almost complete map of the northern part of the swarm is presented here. The Krísuvík volcanic system is a part of the Reykjanes Peninsula oblique rift, a branch of the mid-Atlantic plate boundary. The fissure swarms of individual volcanic systems have a NE-trend, oblique to the plate boundary, trending 70° . The plate boundary is highly oblique with respect to the spreading direction, which is 104° in this region. The fissure swarms therefore fade out towards the NE as they extend into the North-America Plate. The main objectives of the research are to obtain a homogeneous data set on the fracture pattern at the end of a fissure swarm and to reconstruct the history of faulting in the Holocene. The research area is covered by interglacial and Holocene lavas. In the last years the Krísuvík volcanic system has received increasing attention because of potential harnessing of geothermal power there.

Faults and fractures were mapped from aerial photographs in the lab, but subsequently verified in the field by taking a GPS-instrument along and around them. Fault throws were determined by taking profiles transverse to the normal faults, as well as along them on both the footwall and hanging wall. The area was systematically searched for evidence of Holocene fracturing. Four types of fracture systems may be distinguished:

1. Fissure swarm. Most of the fractures in the area belong to the Krísuvík fissure swarm. They strike parallel to the fissure swarm itself, i.e. NE. Individual fractures may deviate from this, and parts of the swarm have a wavy appearance. The fractures are open fissures, normal faults and eruptive fissures.
2. Strike-slip fault. One array of en echelon fractures was investigated. It contained push-ups and other features characteristic for strike-slip faults. It has a trend of NNE and is located at the top plateau of Langahlíð. This array is the northernmost feature of a N-S strike-slip fault that crosses the plate boundary east of Lake Kleifarvatn.
3. Gravitational slumping features. The steep slope of Langahlíð shows a number of slumps, some of which resemble tectonic fractures.
4. Fractures associated with apex-areas of lava shields. A slightly eroded apex of a tuya at the top plateau of Langahlíð was visited. It is characterised by ring structures and faults. Also the most intriguing lava lake structure at the top of the Hrútagjá lava shield was investigated.

Preferred sub-horizontal dike propagation deduced from magnetic fabric analyses of the Álftafjörður dike swarm: Implications for shallow crustal magma transport in Icelandic volcanic systems

Per I. Eriksson¹, Morten S. Riishuus¹ and Sten-Åke Elming²

¹Nordic Volcanological Center, University of Iceland, ²Department of Chemical Engineering and Geosciences, Luleå University of Technology

Regional mafic dikes extending north of the Álftafjörður central volcano in the Neogene bedrock of east Iceland are studied with the aim of testing models for the origin of regional dikes in general. This is accomplished by using anisotropy of magnetic susceptibility to define fossilized magma flow regimes in the dikes. Samples were collected from dikes at varying lateral distance from the central volcano. Imbrication of the plane perpendicular to the minor susceptibility axis has been used as indicator of direction of flow. The regional dikes are parts of an elongated dike swarm, ~5 km in width and up to 40 km in length. Dike swarms are generally considered to be the sub-surface continuation of fissure swarms extending from central volcanoes in active volcanic systems. Flow directions could be calculated in 12 of the 24 dikes that were sampled. The magnetic fabrics from the remaining dikes are discarded due to geometries such as parallel imbrication planes and parallel relations between the minor axis and the dike attitude. These dikes tend to strike oblique to the dominant trend of the swarm as well as possessing a greater degree of magnetic anisotropy, and we interpret the observed sheared fabrics as results of transtensional dike opening. The non-sheared magnetic fabrics show predominantly sub-horizontal flow regimes with varying inclinations. The majority of the accepted magnetic fabrics, 8 of 13, show magma flow directed northeast away from the Álftafjörður central volcano. The remaining fabrics give sub-vertical (3 cases) or southwest directed subhorizontal (1 case) magma flow. The presented flow directions are inferred to support a structural-magmatic model favoring predominant lateral diking from shallow magma chambers as the origin of propagation for regional dike swarms in Icelandic volcanic systems.

Jarðfræði Íslands – fræðileg verndun og varðveisla – tillaga að stefnu

Sigmundur Einarsson, Kristján Jónasson og Lovísa Ásbjörnsdóttir

Náttúrufræðistofnun Íslands, Urriðaholtsstræti 6-8, 210 Garðabæ

Lögð er fram ný tillaga um verndun jarðminja á Íslandi sem tekur mið af markmiðum stjórnvalda um sjálfbæra þróun í íslensku samfélagi. Í áherslum umhverfisstjórnuneytisins 2010-2013 (Umhverfisstjórnuneytið 2010) segir m.a. um verndun jarðmyndana:

- Gengið verði frá skipulegu yfirliti yfir jarðmyndanir á Íslandi sem verði grunnur að markvissri verndun þeirra.
- Unnið verður að frekari viðmiðum fyrir markvissa verndun jarðmyndana fyrir gerð næstu náttúruverndaráætlunar 2014-2018.

Tillagan er í reynd breytt og bætt útfærsla á tillögu Náttúrufræðistofnunar Íslands og Náttúruverndar ríkisins (Helgi Torfason og Ingvar Atli Sigurðsson 2002) sem unnin var vegna náttúruverndaráætlunar 2002 en fékk ekki brautargengi á þeim tíma. Líkt og áður er byggt á breskum grunni um verndun jarðminja sem lagður var árið 1977 með verkefninu *Geological Conservation Review* (sbr. Ellis o.fl. 1996).

Almennt markmið:

Verndun jarðminja á Íslandi er ætlað að endurspegla allt róf og breytileika íslenskrar jarðfræði og landmótunarfræði. Varðveita skal skipulega heildarmynd af jarðfræðilegum ferlum og fyrirbærum sem í heild gefa samfellt yfirlit um jarðsögu landsins.

Grundvöllur:

Verndunin skal taka til allra þátta berggrunnsins ásamt myndun og mótun yfirborðs hans í fortíð og nútíð. Á fræðilegum grunni skal velja til verndunar nauðsynleg svæði eða staði sem endurspegla heildarmynd af jarðsögu Íslands. Sérhvert svæði eða staður sem valinn er til verndunar skal uppfylla tilteknar kröfur um fræðilegt mikilvægi. Gengið verði frá skipulegu yfirliti um jarðminjar á Íslandi sem verði grunnur að markvissri verndun.

Heildarmynd:

Til að draga fram skýra heildarmynd af viðfangsefninu er jarðminjum skipt í eftirtalda þrjá grunnflokka. Þessir flokkar geta skarast.

Berggrunnur

Berggrunnur landsins skoðast sem samfellt ferli þar sem nýmyndun jarðlaga fer fram í gosbeltum. Nýmyndun lýkur þegar jarðlögin færast út úr gosbeltunum og veðrun og rof ná yfirhöndinni. Með tímanum rekur berggrunninn út fyrir áhrifasvæði möttulstróksins, hann sekkur í sæ og verður hluti af landgrunni og síðar úthafsbotni. Þetta ferli nær einkum til eldfjallafræði, höggunar, bergfræði, steindafræði, jarðlagafræði, steingervingafræði og setlagafræði.

Landmótun ísaldarjökla

Á ísöld var landmótun ísaldarjökulsins nær einráð við mótun yfirborðs landsins. Áhrif jökulsins birtast ýmist sem rofmyndanir í berggrunni eða sem setmyndanir af ýmsum gerðum. Útbreiðsla jökulmyndana er að nokkru leyti landshlutabundin og útbreiðsla setmyndana ræðst mjög af hörfun jökulsins í ísaldarlok. Strandmyndanir frá ísaldarlokum tilheyra einnig þessum flokki. Fræðilega tilheyra þessar jarðmyndanir og landmótunarfyrirbæri einkum ísaldarjarðfræði og landmótunarfræði jökla en einnig setlaga- og steingervingafræði.

Virk ferli landmótunar á nútíma

Þessi ferli eru að mestu bundin við jökla, vatnsföll og sjávarstrendur auk frostverkana og þyngdarafls. Við þetta bætist myndun jarðvegs. Þessi flokkur jarðminja nær til landsins alls en hin ýmsu fyrirbæri eru sum hver landshlutabundin. Fræðilega tengjast þessi ferli flestum helstu þáttum landmótunarfræðinnar.

Næstu skref:

- Nauðsynlegt er að sem allra fyrst verði hafist handa við gerð skipulegs yfirlits um jarðminjar á Íslandi. Líta ber á slíkt yfirlit sem langátímaverkefni en breska verkefnið *Geological Conservation Review* hefur nú staðið í tæpan aldarfjórðung og er á lokastigi. Forgangsraða þarf þeim jarðminjum sem talið er æskilegt að vernda og eru í dag taldar í hættu.
- Kanna þarf hvort nauðsynlegt er að breyta verndarflokkum náttúruverndarlaga þannig að þeir falli sem best að verkefninu. Þetta á einkum við um tilfelli þar sem verndun snýst fyrst og fremst um fræðslu- eða vísindagildi og skarast lítið við aðra landnýtingu.
- Lagt er til að jarðminjar sem falla undir framangreind skilyrði hafi að lágmarki verndargildi á landsvísu. Samhliða vinnu við skipulegt yfirlit um jarðminjar er nauðsynlegt að fram fari endurmat á eldri friðlýsingum og þær felldar inn í nýja heildarmynd eftir því sem kostur er.

Heimildir

Ellis, N.V., D.Q. Bowen, S. Campell, J.L. Knill, A.P. McKirdy, C.D. Prosser, M.A. Vincent & R.C.L. Wilson 1996. An Introduction to the Geological Conserveation Review. Joint Nature Conservation Comittee.

Helgi Torfason og Ingvar Atli Sigurðsson 2002. Verndun jarðminja á Íslandi. Tillögur vegna náttúruverndaráætlunar 2002. NÍ02 – 019.

Umhverfissráðuneytið 2010. Velferð til framtíðar. Sjálfbær þróun í íslensku samfélagi. Áherslur 2010-2013.

Merki um kvikuflutning í Eyjafjallajökli 2009-2010 kortlögð með smáskjálftum

Sigurlaug Hjaltadóttir¹, Kristín S. Vogfjörð¹, Ragnar Slunga²

¹Veðurstofu Íslands, Bústaðavegi 9, 150 Reykjavík. ²Quakelook Stockholm AB, Stokkhólmi, Svíþjóð

Sú mikla jarðskjálftavirkni sem mældist með SIL-netinu í Eyjafjallajökli frá mars 2009 og fram yfir goslok í maí 2010 hefur verið endurstaðsett og notuð til þess að kortleggja með allmikilli nákvæmni leiðir kvikunnar í eldfjallinu, allt frá mótum möttuls og skorpu og upp að yfirborði. Í erindinu er greint frá þessari kortlagningu.

Síðan árið 1994 hefur aukin smáskjálftavirkni í Eyjafjallajökli verið ótvírætt merki um kvikufluting og innskotavirkni og þær þrjár hrinur sem mældust frá árinu 1991 og fram að nýliðnum atburðum eru allar taldar merki innskotavirkni. Hrinurnar sem mældust 1994 og 1999-2000, aðallega á 8-12 km dýpi, urðu samfara landlyftingu sem túlkuð var sem aflögun vegna silluinnskota á h.u.b. 5-6,5 km dýpi undir suðurhlíðum fjallsins. Hrinunni sem mældist árið 1996 fylgdi hins vegar engin mælanleg aflögun á yfirborðinu enda urðu þeir skjálftar á miklu dýpi, 20-25 km, þar sem mót möttuls og skorpu eru talin vera á þessum slóðum (t.d. Allen o.fl., 2002). Þó benda skjálfarnir og brotlausnir þeirra til þess að kvika hafi þrengt sér upp úr möttlinum í jarðskorpuna á þessum tíma. Mögulega hefur það efni að hluta myndað innskotin í efri hluta skorpunnar þremur árum seinna en merki eru um svipaða djúpa virkni árið 1992 en þá mældust nokkrir djúpir skjálftar undir Eyjafjallajökli og eru þeir hugsanlega fyrstu vísbendingarnar um innskotavirknina sem fylgdi árið 1992. Það má því segja að líkleg djúp innskot úr möttli 1992 séu fyrstu merki um þá auknu kvikuvirkni sem að lokum leiddi til gosanna á Fimmvörðuhálsi og í toppgíg Eyjafjallajökuls í mars og apríl 2010, 18 árum seinna.

Í lok mars/byrjun apríl 2009 mældust djúrir skjálftar enn á ný við mót möttuls og skorpu. Fjórða stóra hrinan í Eyjafjallajökli fylgdi um sumarið, flestir skjálftarnir á svipuðu dýpi og 1994 og 1999 og milli júlí og ágúst urðu skjálftar einnig á minna dýpi og suðvestan megin þyrpingarinnar sem bentu ásamt suðurfærslu GPS-stöðvarinnar á Þorvaldseyri frá maí og fram í ágúst 2009 til innskotsmyndunar í efri skorpunni. Virknin tók sig upp á ný í lok desember 2009 og mældust skjálftar enn í sömu þyrpingum og 1994, 1999 og sumarið 2009, austan toppgígsins. Um 20. febrúar breyttist mynstrið og næstu ellefu dagana fóru litlir skjálftar að mælast æ lengra til suðausturs, í átt að Kaldaklifsjökli og Raufarfelli. Flestir skjálftarnir urðu á 4-8 km dýpi og eru merki um innskotavirkni allt suður í Raufarfell, um 3 km norðan næstu bæja. 3.-4. mars stöðvaðist skjálftavirknin á þessum slóðum allsnögglega um leið og virknin færðist til austurs í átt að Fimmvörðuhálsi og jókst jafnframt gríðarlega og hundruðir eða yfir þúsund skjálftar mældust daglega. Mars-virknin myndaði gang sem grynngar til austurs og dreifing skjálfta 17. – 20. mars bendir jafnframt til þess að kvika steig upp til yfirborðs með meðalhraðanum 1,6 km/dag undir jökulhettunni, en rásin virðist sveigja til austurs í efstu kílómetrunum í átt að gosstöðvunum á Fimmvörðuhálsi. Flestir skjálftarnir sem urðu eftir að gosið hófst urðu í hnénu/beyjunni í rásinni. Gosið hófst fremur rólega, þ.e. óróaaukning var fremur hæg borið saman við önnur nýleg gos hér á landi, en þó má greina aukið útslag í kringum 1 Hz um klukkan 22:30.

Skjálftahrinan sem varð fyrir seinna gosið byrjaði frekar snögglega að kvöldi 13. apríl, greina má skjálfta allt frá klukkan hálf-ellefu en um hálf tíma síðar varð skjálfti að stærð um 2,3 og jókst skjálftavirkni mjög hratt í kjölfarið og myndaði tvær þyrpingar á 5-8 km og 0-3 km dýpi. Atburðurinn er talinn marka þann tíma þegar kvika náði að brjóta sér leið inn í ísúru-

kvikuna, sem líklega var geymd á 3-5 km dýpi og gaus síðan upp á yfirborð. Þó er einnig athyglisvert að bera saman merkin um innskotið sumarið 2009 en hluti skjálftanna sem varð í júlí-ágúst varð á svipuðum slóðum og sýnir að efnisflutningur upp undir kvikugeyminn hófst nokkru fyrir gosið, tæpu ári fyrr, en stöðvaðist svo tímabundið. Merki um gosið sáust ekki á yfirborði fyrr en um morguninn eftir en verulega dró úr skjálftavirkni milli klukkan 01:00 og 02:00 13. apríl og stöðugur og mikill órói frá kl 01:15 er talinn merki um að kvikan hafi náð yfirborði undir jöklinum á þeim tíma.

Verulega dró úr skjálftavirkni eftir upphaf toppgígsgossins en í byrjun maí mældust á ný djúpir skjálftar. Næstu daga þokaðist virknin upp á við og 5. maí breyttist gosvirknin yfir í meiri sprengivirkni og gosmökkurinn hækkaði verulega í kjölfarið. Djúpvirknin og áhrif hennar benda ótvírætt til innspýtingar nýs efnis úr möttli. Svipaðar litlar hrínur urðu einnig 10.-11. maí og 15. maí og þeim fyldu einnig tímabundin hækkun gosmakkar. Skjálftavirknin í maí myndar nær samfellda pípu upp í gegnum alla skorpuna og sveigir þessi ætlaða kvikurás til austurs í neðsta hluta skorpunnar.

Skriðuannáll 2010

Skafti Brynjólfsson¹ og Halldór G. Pétursson¹

¹Náttúrufræðistofnun Íslands, Borgum við Norðurslóð, 602 Akureyri

Að undanskildum ofanflóðum (eðjuflóðum) í tengslum við eldgosið í Eyjafjallajökli hefur árið 2010 verið með rólegasta móti hvað varðar skriðuföll. Segja má að nánast hafi aðeins verið um venjubundin smáskriðuföll og hrun að ræða í tengslum við nokkur öflug úrkomuveður og leysingar. Tvisvar urðu lítilsháttar slys á fólki. Að undanskildu talsverðu tjóni á vatnsveitu Breiðdalsvíkur var tjón vegna skriðufalla takmarkað og þá helst á vegakerfi landsins. Fjöldi skráðra skriðuatburða árið 2010 voru 39 talsins en til samanburðar voru að meðaltali skráðir 60 – 80 atburðir árlega síðastliðin 15 ár. Mest voru skráðir 192 atburðir árið 2006 en það ár voru gríðarlegar leysingar í Eyjafirði og nágrenni seint í desember orsök meira en helmings atburðanna. Þess ber að geta að skriðuföll geta verið mun fleiri en skráðir atburðir gefa til kynna því heimildir sem fást frá fjölmiðlum, vegagerðinni og ýmsum aðilum víða um land ná yfirleitt ekki út fyrir byggð og vegakerfi landsins.

Gríðarlegur fjöldi eðjuflóða hefur orðið í undirhlíðum Eyjafjallajökuls í kjölfar eldgossins árið 2010. Í flestum tilfellum teljast eðjuflóð til ofanflóða eða skriðufalla. Ekki eru til neinar ákveðnar tölur um fjölda tilfella á Eyjafjallasvæðinu enda stór hluti þeirra utan alfaraleiða og erfitt að henda reiður á slíku. Veðurstofa Íslands hefur umsjón með skráningu og vöktun eðjuflóðanna en á endanum verða þekkt tilfelli skráð í sameiginlegan gagnagrunn Náttúrufræðistofnunnar og Veðurstofunnar um ofanflóð.

Kolefnisbúskapur Íslands

Sigurður R. Gíslason, Guðrún Gísladóttir, Marin I. Kardjilov og Eydís S. Eiríksdóttir

Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 5, 101 Reykjavík.

Í þessu erindi verður lagt mat á kolefnisbúskap Íslands á landi árið 2006. Lagt er mat á bindingu CO₂ úr andrúmslofti í gegnum landvistkerfi, efnaveðrun og –rof (sýnt með neikvæðu formerki á mynd 1) og losun koltvíoxíðs (CO₂) til andrúmslofts (sýnt með jákvæðu formerki), sem berst frá eldfjöllum, lífverum og athöfnum mannsins.

Efnaveðrun og efnarof bergs á Íslandi binda árlega rúmlega 3 milljónir tonna af CO₂ (Gíslason 2008). Hraði efnaveðrunar og þ.a.l. binding koltvíoxíðs eykst með auknu afrennsli, hækkandi hitastigi og lækkandi aldri bergs. Með auknu afrennsli vatns af landinu á komandi árum og hækkandi hitastigi má gera ráð fyrir vaxandi bindingu. Til dæmis hefur binding CO₂ á vatnasviði Jökulsár í Fljótsdal vaxið um 1% á ári undanfarin 40 ár (Gíslason o. fl. 2009).

Árleg binding CO₂ vegna frumframleiðslu (GPP) gróðurs á Íslandi var að meðaltali um 66 milljónir tonna á árunum 2000 – 2006. Að fráðreginni öndun gróðursins (NPP), 28 milljónum tonna, var bindingin um 38 milljónir tonna (Kardjilov 2008). Enn sem komið eru ekki til ábyggilegar tölur um hvort og þá hve mikil kolefnisbindingi er vegna náttúrulegs ástands gróðurs á öllu Íslandi að fráðreginni öndunar lífvera sem nærast á gróðrinum og rotnunar lífræna efnisins. Hér er gert ráð fyrir að jafn mikið bindist við ljóstillífun og tapist aftur til andrúmsloft vegna öndun lífvera og rotnun lífræns efnis.

Afrennsli lífræns kolefnis í upplausn með straumvötnum, svokallað efnarof lífræns efnis, sem er einskonar sykur í upplausn sem lífverur framleiða (DOC *dissolved organic carbon*), jafngilda um 0,15 milljón tonna af bundnu CO₂ á ári. Tengsl eru milli ljóstillífunar plantna og þessarar bindingar kolefnis, og vex bindingin með hækkandi hitastigi. Flutningur lífrænna agna í gruggi með straumvötnum af Íslandi, svokallað aflrænt rof lífræns efnis, er af svipaðri stærðargráðu og lífrænt efni í upplausn (Kardjilov 2008). Þetta eru lífrænu agnirnar, sem til dæmis gera árnar mórauðar í vatnavöxtum og eru ættaðar úr jarðvegi og beint úr plöntum og bakteríum á landi og í vatni. Þessi tala er ennþá nokkuð óviss.

Binding vegna skógræktar var 0,134 milljón tonn og vegna landgræðslu 0,554 milljón tonn, eða samtals 0,687 milljón tonn (Birna S. Hallsdóttir o. fl. 2008).

Losun CO₂ um eldfjöll á Íslandi hefur verið áætlað rúmlega 1-2 milljónir tonna af CO₂ á ári, mest af því losnar milli eldgosa þó einstök stórgos eins og Skaftáreldar hafi sennilega losað um 200 milljónir á 2 árum (sjá Thordarson og Self, 2003).

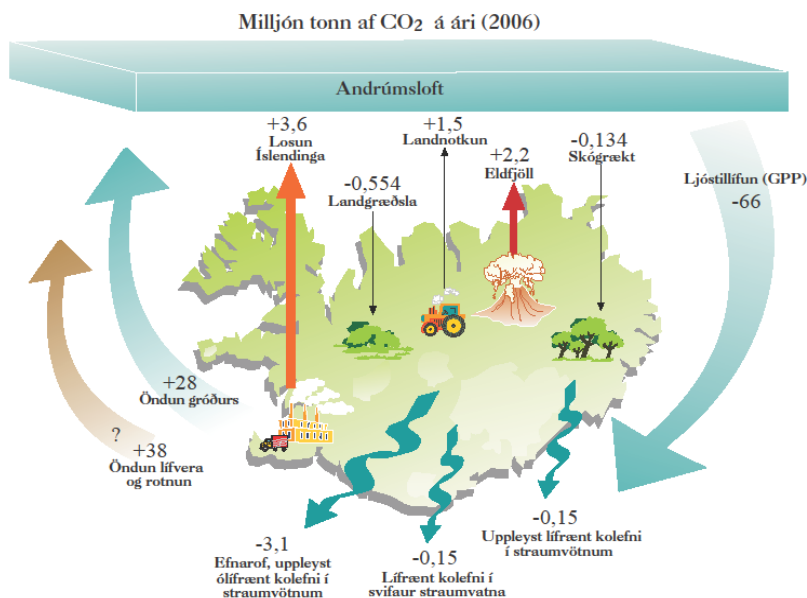
Árið 2006 var útstreymi CO₂ vegna landnotkunar Íslendinga, að mestu vegna framræslu mýra 1,480 milljónir tonna CO₂ en útstreymi hláturgass ekki tekið með í þessum tölum (Birna S. Hallsdóttir o. fl. 2008). Sé litið til bindingar vegna landgræðslu og skógræktar jafngildir nettólosun 0,792 milljón tonnum. Aðrar athafnir Íslendinga losuðu 3,571 milljónir tonna CO₂ og 22.000 tonn metans. Margfaldað með hlýnunarmætti metans jafngildir losun metans 462.000 tonna losun í CO₂-ígildum. Samtals nemur þetta 4,0 milljónum tonna í CO₂-ígildum (Birna S. Hallsdóttir o. fl. 2008), en 3,632 milljónum tonna miðað við CO₂ massa.

Ekki var lagt mat á lífrænt efni sem fýkur af landinu til sjávar. Ef allir þættir í kolefnisbúskap Íslands eru lagðir saman, náttúrulegir og mannlegir, þá er nettólosun frá Íslandi beint til andrúmslofts miðað við massa CO₂ um 3,2 milljónir tonna CO₂ á ári. Óvissan

Í þessu mati er veruleg enn sem komið er. Ef eingöngu er horft til áhrifa Íslendinga, ekki gróðurs, eldfjalla og veðrunar, losuðu Íslendingar 4,424 milljónir tonna af CO₂ þar af voru um 60,5 þúsund tonna sem metan miðað við CO₂-massa. Það er áhugavert að bera saman kolefnisbúskap Íslands og kolefnisbúskap jarðarinnar. Hlutfall tillífunar (GPP) plantna á landi og kolefnisbindingar við efnarof straumvatna er 19,3 á Íslandi en 150 fyrir þurrlendi jarðarinnar (Sigurður R. Gíslason 2011). Þetta stafar af takmarkaði gróðurþekju og lítilli afkastagetu gróðursins á Íslandi (Kardjilov 2008) og hlutfallslega mikilli efnaveðrun og efnarofi á Íslandi. Hlutfall tillífunar (GPP) plantna á landi og landnotkunar er nokkuð svipað á Íslandi og þurrlendi jarðar, 83 og 75 (Sigurður R. Gíslason 2011). Með öðrum orðum hlutfallsleg áhrif Íslendinga á kolefnisbúskap gróðurs er aðeins minni en að meðaltali á jörðinni og vegur framræsing mýrann á Íslandi þar mest.

Heimildir.

- Birna S. Hallsdóttir, Kristín Harðardóttir, Jón Guðmundsson (2008). National Inventory Report, Iceland 2008. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change. UST-2008:04, Umhverfisstofnun, Reykjavík.
- Gíslason, S.R. (2008). Weathering in Iceland. *Jökull* 58, 387–408.
- Gíslason, S. R., E. H. Oelkers, E. S. Eiríksdóttir, M. I. Kardjilov, G. Gísladóttir, B. Sigfusson, A. Snorrason, S. O. Elefsen, J. Harðardóttir, P. Torssander og N.Ö. Oskarsson (2009). Direct evidence of the feedback between climate and weathering. *Earth and Planetary Science Letters*, 277, 213–222.
- Gíslason, S. R., S. Arnórsson og H. Ármannsson (1996). Chemical weathering of basalt in SW Iceland: Effects of runoff, age of rocks and vegetative/glacial cover. *American Journal of Science* 296, 837–907.
- Kardjilov, M. I. (2008). Riverine and Terrestrial carbon fluxes in Iceland. PhD dissertation from University of Iceland, Háskóli Íslands.
- Sigurður Reynir Gíslason (2011). Kolefnishringrásin. Umhverfisrit Bókmenntafélagsins. Hið íslenska bókmenntafélag (í undirbúningi).
- Thordarson, Th. og S. Self (2003). Atmospheric and environmental effects of the 1783–1784 Laki eruption: A review and reassessment. *Journal of Geophysical Research* 108(D1), 4011, 7–29.



Mynd 1. Kolefnisbúskapur Íslands árið 2006. Gert er ráð fyrir að jafn mikið af kolefni bindist og losni vegna tillífunar gróðurs og öndunar og niðurbrots lífræns kolefnis í jarðvegi.

Tephra, mass- and energy balance: the influence of the Eyjafjallajökull eruption 2010 on Icelandic ice caps

Sverrir Guðmundsson¹, Finnur Pálsson¹, Helgi Björnsson¹, Þröstur Þorsteinsson¹ and Hannes H. Haraldsson²

¹Institute of Earth Sciences, Askja, Sturlugata 7, ²Landsvirkjun, Háaleitisbraut 68

During the eruption in the subglacial Eyjafjallajökull volcano 14 April to 22 May 2010, tephra was blown over all the major ice caps in Iceland. After the eruption, a thick insulating ash layer covered most of the Eyjafjallajökull ice cap and large part of the Mýrdalsjökull ice cap. In contrast, most of the surface of the three largest ice caps in Iceland (Vatnajökull, Hofsjökull and Langjökull) was covered with a thin non-insulating tephra layer.

The mass balance has been observed at 40-50 locations of stakes on Vatnajökull since 1992 and at 22-23 stakes on Langjökull since 1996. The mass balance observations have been supplemented with automatic weather stations (AWSs) at 2-10 locations on Vatnajökull since 1994 and 2-3 stations on Langjökull since 2001, observing during the summers at 10 minutes interval all the weather parameters needed to calculate the surface energy balance.

We present the mass- and energy balance observations on Langjökull and Vatnajökull during the exceptional circumstances 2010. The results are compared to the more climatically driven mass- and energy balance of the years 1992-2009. The results show that the tephra highly reduced the albedo of Langjökull and Vatnajökull, and significantly magnified the melting within the accumulation areas where up to three years of accumulation was melted away. The specific balance was -2.8 m a^{-1} w.e. on Langjökull in 2010, or more than twofold the average loss of -1.3 m a^{-1} w.e. of the warm years 1996-2009. For Vatnajökull, the specific balance was -2.1 m a^{-1} w.e. in 2010, also more than two times the average loss of -0.8 m a^{-1} w.e. from 1996-2009.

High levels of particulate matter due to ash plume and ash re-suspension following the Eyjafjallajökull eruption

Throstur Thorsteinsson¹, Thorsteinn Johannsson² and Gudrun Petursdottir³

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

(ThrosturTh@gmail.com), ²The Environment Agency of Iceland, Sudurlandsbraut 24, 108 Reykjavík,

³Institute for Sustainability Studies, University of Iceland, Gimli v/ Háskólatorg, 107 Reykjavík

The dangers to people living near a volcano due to lava and pyroclastic flow, and, on ice or snow covered volcanoes, jökulhlaup (floods) are well known. The level of risk due to ash fall is, however, not as well known.

The eruption at Eyjafjallajökull, 14 April to 20 May 2010 (last day of visible plume), produced abundant particulate matter (PM). After the volcanic activity ceased high PM concentration has been measured on several occasions, due to re-suspended ash.

The particulate matter (PM₁₀) concentration in the small town of Vík, 38 km south-east from the erupting Eyjafjallajökull volcano, reached levels that are 25 times the recommended health limit of 50 µg m⁻³ averaged over 24 hours, on 7 May 2010, with 10-min values reaching 13000 µg m⁻³. Even after the eruption, values as high as >8000 µg m⁻³ (10-min average), and >900 µg m⁻³ (24-h average), were measured.

In Reykjavík, 125 km WNW of the volcano, the PM₁₀ concentration reached over 2000 µg m⁻³ (10-min average) during an ash storm event on 4 June 2010. The annual concentration in Reykjavík is about 25 µg m⁻³, and the only previous events of comparable magnitude are peaks during New Year's Eve celebration.

The eruption at Eyjafjallajökull posed a potential health risk to the inhabitants in the regions hit by severe ash fall. However, preliminary studies indicate that the ash has had minor short term health effects. Studies show that the crystalline silica content of the ash is negligible, so that the persistence of deposited ash in the soils and environment should not present a significant silicosis hazard. During periods of PM₁₀ concentration over about 5000 µg m⁻³, most residents stayed indoors, or wore protective air filters and goggles when they had to go outside.

A study is ongoing to examine the potential long term health effects of the volcanic eruption, including the high concentration of PM₁₀ during and after the eruption due to re-suspended ash in the area.

Mælingar á yfirborði og yfirborðsbreytingum íslenskra jökla með leysimælingum

Tómas Jóhannesson¹, Helgi Björnsson², Finnur Pálsson², Oddur Sigurðsson¹ og Þorsteinn Þorsteinsson¹

¹Veðurstofa Íslands, Bústaðavegi 9, 150 Reykjavík, ²Jarðvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík

Veðurstofa Íslands og Jarðvísindastofnun Háskólans hafa síðan 2008 unnið að kortlagningu íslenskra jökla með leysimælingu (LiDAR) úr flugvél með stuðningi Rannsóknasjóðs RANNÍS, Orkurannsóknasjóðs Landsvirkjunar, Rannsóknasjóðs Vegagerðarinnar, Umhverfis- og orkurannsóknasjóðs Orkuveitu Reykjavíkur og Landmælinga Íslands, auk framlags frá Veðurstofu Íslands og umhverfisráðuneyti. Scott Polar Research Institute í Cambridge á Bretlandi og SPOT Image í Toulouse í Frakklandi hafa einnig komið að verkefninu. Gerð hafa verið nákvæm landlíkön af Hofsjökli, Langjökli, Mýrdalsjökli, Eyjafjallajökli, Snæfellsjökli, Eiríksjökli, Hornafjarðarjökli og Breiðamerkurjökli í Vatnajökli, og nokkrum öðrum skriðjökli Vatnajökuls til austurs og suðurs. Verkefnið er áfangi í kortlagningu allra helstu jökla landsins sem áformað er að ljúki á næstu þremur árum. Samtals hafa rúmlega 5500 km² verið kortlagðir í þessu átaki, þar af rúmlega 4000 km² sumarið 2010. Þannig hefur um helmingur af flatarmáli íslenskra jökla verið kortlagður með leysimælingu en jöklarnir eru í heild um 11000 km². Nýju landlíkönin auka gildi annarra mælinga vegna þess að þau er unnt að nota til samanburðar við allar aðrar mælingar, bæði fyririrgjandi mæliniðurstöður og mælingar sem gerðar verða á næstu árum.

Kortlagningin er hluti af og í framhaldi af alþjóðaheimskautarárunum 2007 til 2009 (IPY). Mikilvægt er að jöklarnir verði kortlagðir með þessum hætti nú þegar hraðar breytingar eiga sér stað á jöklum landsins vegna hlýnandi veðurfars. Nákvæm landlíkön af jöklum nýtast til margs konar rannsókna og hafa auk þess mikla hagnýta þýðingu. Með endurteknum mælingum er unnt að reikna rúmmálsbreytingar og þar með framlag jöklanna til aukins afrennslis fallvatna og hækkunar sjávarborðs heimshafanna. Nákvæm kort eru nauðsynleg til þess að að meta rennslisleiðir vatns og vatnasvið á jöklum. Kortin eru mikilvæg til rannsókna á framhlaupum jökla og landlyftingu vegna minnkunar jöklanna og veita upplýsingar um eðli ísflæðis.

Landlíkönin hafa þegar verið tekin í notkun í margvíslegum verkefnum, m.a. við mat á rúmmálsbreytingum jökla síðustu 10–20 árin út frá eldri kortum, við túlkun á ýmsum gervihnattamælingum, við jarðfræðirannsóknir og við gerð sprungukorta af jöklum fyrir ferðamenn og aðra sem leið eiga um jökla.

Eldingar í gosmekki Eyjafjallajökulsgossins 2010

Pórður Arason

Veðurstofu Íslands, Bústaðavegi 9, Reykjavík

Ljósmyndir af eldingum í gosmekkinum yfir Eyjafjallajökli fóru víða 2010 og vöktu mikla athygli. Eldingavirkni í eldgosum hefur verið þekkt um aldir, en hún er mismikil frá einu gosi til annars. Í yfir tvö hundruð ár hafa vísindamenn velt upp ýmsum hugmyndum til að útskýra rafhleðsluaðskilnað í gosmökkum sem gæti valdið eldingavirkninni. Meðal hugmynda um slíkan hleðsluaðskilnað má nefna: þegar vatn kemst í snertingu við kviku og hvelsýður; þegar gasrík kvika rifnar og tættist í ösku; þegar öskukorn núast í gosmekkinum; og þegar gufudropar í mekkinum stíga upp í fimbulkulda háloftanna og frjósa. Nokkuð hefur skort á mælingar sem gætu gert upp á milli fjölbreyttra hugmynda og ekki má útiloka að fleiri en eitt fyrirbæri valdi eldingum og neistaflugi í gosmökkum. Mælingar á eldingum í eldgosum á síðari árum hafa yfirleitt verið gerðar í stuttum eldgosum.

Mælingar í Eyjafjallajökulsgosinu gáfu nýja sýn á rafhleðsluaðskilnað í gosmekki. Gosið stóð í nær sex vikur og tók ýmsum breytingum og á meðan breyttust aðstæður í lofthjúpnunum umhverfis gosmökkinn. Í eldgosinu sást athyglisverð fylgni milli eldingavirkni og þess að gosmökkurinn náði upp í fimbulkulda þar sem búast má við að gufudropar frjósi.

Í veðurtengdum þrumuskýjum stígur loft og kólnar og tengist rafhleðsluaðskilnaður frýstingu skýjadropa, en vegna smæðar frjósa þeir þó ekki fyrr en við -10° til -20°C . Þannig eru þrumuský almennt með neikvæða hleðslu fyrir neðan -20°C hitaflöt en jákvæða hleðslu þar fyrir ofan.

Í gosinu var eldingavirknin fyrst og fremst bundin við 14.-18. apríl og 11.-20. maí, en þá var mikill kraftur í gosinu. Það kom á óvart að ekki mældust eldingar 3.-10. maí, þrátt fyrir allnokkurn kraft í gosinu. Á þeim tíma var lofthjúpurinn tiltölulega hlýr þannig að gosmökkurinn náði ekki upp í nægilega kalt loft (-20°C) til að hleðsluaðskilnaður yrði við skýjadropafrýstingu.

Mælingar í Eyjafjallajökulsgosinu styðja því þá kenningu að stórar goseldingar myndist á svipaðan hátt og eldingar í veður-þrumuskýjum og að hleðsluaðskilnaðurinn tengist frýstingu gufudropa í gosmekkinum. Ástand lofthjúpsins umhverfis gosmökkinn skiptir þá lykilmáli við myndun goseldinga.

Hæð gosmakkar í Eyjafjallajökulsgosinu 2010

Pórður Arason, Halldór Björnsson og Guðrún Nína Petersen

Veðurstofu Íslands, Bústaðavegi 9, Reykjavík

Eldgosið í toppgíg Eyjafjallajökuls stóð í 39 daga. Útlit og hæð gosmakkarins var breytilegt vegna breytileika í goshegðun en einnig vegna hita- og vindafars í veðrahvolfinu. Gosmökkurinn náði 9 km hæð yfir sjávarmáli á fyrsta degi goss, 14. apríl en mældist hæstur í 10 km hæð að kvöldi 5. maí. Eldgosið hafði tvo sprengifasa, 14.–18. apríl og 3.–23. maí, með makkarhæð oft á bilinu 4–7 km yfir sjávarmáli. Á tímabilinu 18. apríl til 3. maí var mun minni sprengivirkni og þar af leiðandi lágur mökkur. Oft var mökkurinn það lágur að hann sást ekki á veðursjá Veðurstofunnar á Miðnesheiði, eða undir um 3 km hæð.

Mikilvægt var að meta hæð makkarins þar sem hæðin gefur vísbendingar um framleiðslu ösku, auk þess sem nauðsynlegt er að meta í hvaða hæð mest aska berst áfram með vindi. Gosmökkurinn var því stöðugt vaktaður meðan á gosinu stóð. Veðursjá Veðurstofu Íslands var nýtt við vöktunina en að auki voru flugathuganir á hæð gosmakkar og útliti hans mikilvægar. Þær voru einkum gerðar úr eftirlitsflugi með Landhelgisgæslunni og með hjálp vefmyndavéla á svæðinu.

Veðursjáin hefur verið nýtt við vöktun á gosmökkum frá því hún var tekin í notkun 1991 og gefið góða raun. Meðan á eldgosinu í Eyjafjallajökli stóð mældi veðursjáin endurvarp í allt að 240 km fjarlægð 10–12 sinnum á klukkustund en tvisvar á klukkustund frá 29. apríl voru gerðar vindmælingar í allt að 120 km fjarlægð frá veðursjánni.

Gagnaröð yfir hæð gosmakkarins hefur verið unnin úr veðursjargögnunum með tímaupplausn upp á 5 mínútur og inniheldur hún hæðarmælingar í 45% tilvika. Að auki sýndi veðursjáin í 27% tilvika að mökkurinn var undir um 3 km. Veðursjáin nýttist því til vöktunar á gosinu í 72% tilvika. Nokkrar ástæður eru fyrir því að athuganir vantar: gosmökkurinn var hulinn af úrkomuskýjum í 11% tilvika; veðursjáin var notuð til að mæla vindafar í 10% tilvika sem hluta af veðurvöktun á minna svæði; og mælingu vantar vegna tæknilegra vandamála í 7% tilvika. Til samanburðar má nefna að eingöngu er hægt að meta hæð gosmakkarins á myndum frá vefmyndavél Mílu ehf. á Hvolsvelli, 34 km frá eldfjallinu, í 20% tilvika. Oftast nýttist vefmyndavélin illa vegna skýjafars eða lélegs skyggis.

Vegna fjarlægðar milli veðursjárinnar og Eyjafjallajökuls, 155 km, er hæðarnákvæmni í einstökum mælingum einungis um 1 km. Með því að taka meðaltöl yfir lengri tíma fæst betri upplausn í hæðarbreytingar. Samanburður við vefmyndavél, með mun betri hæðarupplausn, sýnir að veðursjáin gefur nokkuð rétta hæð að meðaltali.

Gagnaröðin frá veðursjánni telst mjög heildstæð og ljóst er að hún er mikilvægt framlag Íslands til rannsókna á eldgosum og þróunar á dreifilíkönunum.

Hversu mikil spenna er að safnast fyrir á Húsavíkurmisgenginu?

Sabrina Metzger¹, Sigurjón Jónsson² og Halldór Geirsson³

¹Institute of Geophysics, ETH Zürich, Sviss; ²King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), Sádi Arabía; ³Pennsylvania State University, Bandaríkin

Tjörnesbrotabeltið tengir norðurgosbeltið við Kolbeinseyjarhrygg og samanstendur aðallega af tveimur virkum samsíða skjálftabeltum, Húsavíkurmisgenginu og Grímseyjarbeltinu. Á síðustu 300 árum hafa margir stórir jarðskjálftar átt sér stað fyrir norðan land, m.a. árin 1755 og 1872 á Húsavíkurmisgenginu. Árið 2006 bættum við 10 síritandi GPS mælitækjum við þau fjögur sem voru á svæðinu með því markmiði að fá betri mynd af aflögun jarðskorpunnar í Tjörnesbrotabeltinu og til þess að ákvarða hversu hratt spenna er að safnast fyrir á Húsavíkurmisgenginu. Flest eru mælitækin staðsett á Tjörnesi og sunnan Húsavíkur.

GPS mælingarnar sýna greinilega að stöðvar austan Tjörnesbrotabeltisins, t.d. á Raufarhöfn, færast jafnt of þétt til austurs um 1.8 sentimetra á ári, miðað við stöðvar vestan megin (t.d. á Akureyri), líkt og líkön af flekahreyfingum (t.d. NUVEL-1A) gera ráð fyrir. Að auki mælist greinilegt ris á Þeistareykjasvæðinu í Envisat bylgjuvíxlmyndum, sérstaklega á tímabilinu 2007-2008, en þá nam landrисиð um 3 sm/ári. Þessi þensla hefur áhrif á GPS mælingar í grennd við Húsavík sem taka þarf með í reikninginn þegar aflögun við Húsavíkurmisgengið er skoðuð.

Til að skýra út mælda aflögun í Tjörnesbrotabeltinu, þá notum við fjaðrandi líkan af hreyfingum milli stórra jarðskjálfta (e. interseismic back-slip model). Líkanið samanstendur af fjaðrandi hálfrúmi ásamt misgengjum og hryggjarstykkjum til að líkja eftir plötuskilunum á Norðurlandi. Misgengin og hryggjarstykkinn hreyfast neðan ákveðins dýpis (e. locking depth) en ofan þess dýpis hreyfast þau bara í stórum jarðskjálftum og gliðnunar-atburðum. Við beitungu ólínulegrar bestun til að ákvarða gildi breyta sem stýra aflögunarmynstri líkansins. Þessar breytur eru m.a. hvernig hlutfall heildarfærslunnar skiptist á milli Húsavíkurmisgengisins og Grímseyjarbeltisins, og neðan hvaða dýpis misgengin hreyfast.

Bestu gildin sem við fáum eru m.a. að $34 \pm 3\%$ af plötufærslunni milli norðurgosbeltisins og Kolbeinseyjarhryggs eigi sér stað um Húsavíkurmisgengið, á meðan $66 \pm 3\%$ af henni er um Grímseyjarbeltið. Þetta þýðir að meðalfærslan um Húsavíkurmisgengið er um 6.9 ± 0.7 mm/ári. Að auki fáum við að misgengið sé læst niður á um 6.8 ± 1.6 km dýpi. Ef við gefum okkur að spennusöfnunin á Húsavíkurmisgenginu hafi verið stöðug frá 1872, þá jafngildir spennusöfnunin 6.8 ± 0.1 stiga jarðskjálfta.