Vorráðstefna
Jarðfræðafélags Íslands

Ágrip erinda og veggspjalda

Haldin í Öskju
Náttúrufræðahúsi Háskóla Íslands,
22. mars 2013

Umsjón:

Þorsteinn Sæmundsson og Lúðvík E. Gústafsson

Vorráðstefna
Jarðfræðafélags Íslands

Ágrip erinda og veggspjalda

Haldin í Öskju
Náttúrufræðahúsi Háskóla Íslands,
22. mars 2013

Umsjón:

Þorsteinn Sæmundsson og Lúðvík E. Gústafsson

Dagskrá Vorráðstefnu JFÍ, 22. mars 2013

Erindi

11:00 – 11:30 Skráning

11:30 – 12:40 Matur og veggspjaldasýning

Fundarstjóri Þorsteinn Sæmundsson

12:40 – 12:45 Setning
Þorsteinn Sæmundsson

12:45 – 13:00 Mechanics of volcanic systems: Role of deep accumulation of boyant magma in viscoelastic surroundings
Freysteinn Sigmundsson

13:00 – 13:15 Eem hlýskeiðið í NEEM djúpkjarnanum á NV-Grænlandi
Árný Erla Sveinbjörnsdóttir

13:15 – 13:30 Jarðfræðikort af Norðurgosbelti 1:100.000. Nýtt kort frá ÍSOR–
Kristján Sæmundsson, Árni Hjartarson, Ingibjörg Kaldal, Magnús Á. Sigurgeirsson, Sigurður G. Kristinsson og Skúli Víkingsson

13:30 – 13:45 Grímsvötn 2011 og stærð Grímsvatnagosa
Olgeir Sigmarsson og Baptiste Haddadi

13:45 – 14:00 Samfelldar GPS mælingar á Íslandi
Sigrún Hreinsdóttir, Benedikt G. Ófeigsson, Þóra Árnadóttir, Christof Völksen, Erik Sturkell, Freysteinn Sigmundsson, Guðmundur Valsson, Halldór Geirsson, Páll Einarsson, Peter C. LaFemina, Richard A. Bennett, Sigurður Fjalar Sigurðsson, Sigurjón Jónsson og Thierry Villemin

14:15 – 14:30 Jarðskorpuhreyfingar í kjölfar Ölfusskjálfta 2008
Þóra Árnadóttir Sigrún Hreinsdóttir, Karolina Michalczewska, Ingvar Þ. Magnússon, Benedikt G. Ófeigsson

14:30 – 14:45 NordMin – norrænt samstarf á sviði málma og málmvinnslu
Bryndís G. Róbertsdóttir, Vigdís Harðardóttir, Þorvaldur Þórðarson, Hjalti Franzson, Guðmundur Heiðar Guðfinnsson, Birgir Jónsson, Kristján Jónasson, Skúli Thoroddsen, Erla María Hauksdóttir og Sigurður Ásbjörnsson

14:45 – 15:00 Hversu langt ná gangar eldstöðvakerfanna á Reykjanesskaga?
Kristján Sæmundsson

15:00 – 15:30 Kaffi og veggspjaldasýning

Fundarstjóri Lúðvík E. Gústafsson

15:30 – 15:45 Þrívíð túlkun MT viðnámsmælinga frá háhitasvæðinu í Krýsuvík
Gylfi Páll Hersir, Knútur Árnason og Arnar Már Vilhjálmsson

15:45 – 16:00 EPOS – European Plate Observing System: Samevrópskt netverk jarðvísindalegra innviða.
Kristín S. Vogfjörð

16:00 – 16:15 Jarðfræði Hafrafells í Öræfum – segulstefna bergs, aldursgreiningar, rofsaga og bergbrot af völdum jökla
Jóhann Helgason og Robert A. Duncan

16:15 – 16:30 Kolefnishringrásin
Sigurður Reynir Gíslason

16:30 – 16:45 Um mælingar á bergsýnum til að finna styrk forn-jarðsegulsviða
Leó Kristjánsson

16:45 – 17:00 Skriðan í Móafellshyrnu í Fljótum 20. september2012
Þorsteinn Sæmundsson, Jón Kristinn Helgason og Halldór G. Pétursson

17:00 – 17:15 Botngerð Öskjuvatns
Ármann Höskuldsson

17:00 - Móttaka í boði Jarðfræðafélags Íslands

Veggspjöld

Uppruni díla og gabbró-hnyðlinga í Henglinum
Ásgeir Einarsson, Karl Grönvold og Sigurður Steinþórsson

The Northern Volcanic Rift Zone, Iceland
Ásta Rut Hjartardóttir, Páll Einarsson, Sigríður Magnúsdóttir, Þórhildur Björnsdóttir and Bryndís Brandsdóttir

Jarðskjálftar á Íslandi 2012
Gunnar B. Guðmundsson, Bergþóra S. Þorbjarnardóttir, Sigþrúður Ármannsdóttir og Sigurlaug Hjaltadóttir

Hallamæling á Búrfellsgjá
Margrét Traustadóttir Sigrún Hreinsdóttir Ásta Rut Hjartardóttir Karolina Lucja Michalczewska Halldór Ólafsson Guðrún Ósk Sæmundsdóttir Hildur María Friðriksdóttir og Telma Dís Sigurðardóttir

Lava flows assessment for Hekla volcano.
Montalvo, J., Páll Einarsson, and Eyjólfur Magnússon

Fault systems within the Reykjanes Peninsula Oblique Rift near Geitafell
Páll Einarsson, Ásta Rut Hjartardóttir, Karolina Michalczewska, Þorbjörg Ágústsdóttir, Gro Birkefeldt Møller Pedersen, Sigríður Magnúsdóttir, and students of the course Current Crustal Movements in the Faculty of Earth Sciences, University of Iceland 2012

Leysnitilraunir á kristölluðu basalti og plagíóklas við stofuhita og mismunandi pH
Snorri Guðbrandsson, Domenik Wolff-Boenisch, Sigurður Reynir Gíslason og Eric Hermann Oelkers

Vísbendingar um nýlegar sprunguhreyfingar í sprungusveim Tungnafellsjökuls
Þórhildur Björnsdóttir og Páll Einarsson

Botnskrið jökla tengt breytileika í framboði vatns á botni.
Þröstur Þorsteinsson, Sverrir Guðmundsson, Eyjólfur Magnússon, Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Helgi Björnsson og Finnur Pálsson

Efnisyfirlit

Dagskrá Vorráðstefnu JFÍ, 22. mars 2013 ..... **i**
Erindi ..... **i**
Efnisyfirlit ..... **v**
Ágrip erinda **1**
Eem hlýskeiðið í NEEM djúpkjarnanum á NV-Grænlandi. **3**
Árný Erla Sveinbjörnsdóttir

Botngerð Öskjuvatns **5**
Ármann Höskuldsson

Uppruni díla og gabbró-hnyðlinga í Henglinum. **7**
Ásgeir Einarsson, Karl Grönvold og Sigurður Steinþórsson

The Northern Volcanic Rift Zone, Iceland **8**
Ásta Rut Hjartardóttir, Páll Einarsson, Sigríður Magnúsdóttir, Þórhildur Björnsdóttir and Bryndís Brandsdóttir

NordMin – norrænt samstarf á sviði málma og málmvinnslu **9**
Bryndís G. Róbertsdóttir, Vigdís Harðardóttir, Þorvaldur Þórðarson, Hjalti Franzson, Guðmundur Heiðar Guðfinnsson, Birgir Jónsson, Kristján Jónasson, Skúli Thoroddsen, Erla María Hauksdóttir og Sigurður Ásbjörnsson

Mechanics of volcanic systems: Role of deep accumulation of boyant magma in viscoelastic surroundings **12**
Freysteinn Sigmundsson

Jarðskjálftar á Íslandi 2012 ..... **13**
Gunnar B. Guðmundsson, Bergþóra S. Þorbjarnardóttir, Sigþrúður Ármannsdóttir og Sigurlaug Hjaltadóttir

Þrívíð túlkun MT viðnámsmælinga frá háhitasvæðinu í Krýsuvík. **15**
Gylfi Páll Hersir, Knútur Árnason og Arnar Már Vilhjálmsson[1] *15*

Jarðfræði Hafrafells í Öræfum – segulstefna bergs, aldursgreiningar, rofsaga og bergbrot af völdum jökla **17**
Jóhann Helgason og Robert A. Duncan

EPOS – European Plate Observing System: Samevrópskt netverk jarðvísindalegra innviða. **18**
Kristín S. Vogfjörð

Hversu langt ná gangar eldstöðvakerfanna á Reykjanesskaga? **20**
Kristján Sæmundsson

Jarðfræðikort af Norðurgosbelti 1:100.000. Nýtt kort frá ÍSOR. **22**
Kristján Sæmundsson, Árni Hjartarson, Ingibjörg Kaldal, Magnús Á. Sigurgeirsson, Sigurður G. Kristinsson og Skúli Víkingsson

Um mælingar á bergsýnum til að finna styrk forn-jarðsegulsviða. **24**
Leó Kristjánsson

Hallamæling á Búrfellsgjá. **25**
Margrét Traustadóttir Sigrún Hreinsdóttir Ásta Rut Hjartardóttir Karolina Lucja Michalczewska Halldór Ólafsson Guðrún Ósk Sæmundsdóttir Hildur María Friðriksdóttir Telma Dís Sigurðardóttir

Lava flows assessment for Hekla volcano. **26**
Montalvo, J., Páll Einarsson, and Eyjólfur Magnússon

Grímsvötn 2011 og stærð Grímsvatnagosa **27**
Olgeir Sigmarsson og Baptiste Haddadi

Fault systems within the Reykjanes Peninsula Oblique Rift near Geitafell **29**

Páll Einarsson, Ásta Rut Hjartardóttir, Karolina Michalczewska, Þorbjörg Ágústsdóttir, Gro Birkefeldt Møller Pedersen, Sigríður Magnúsdóttir, and students of the course Current Crustal Movements in the Faculty of Earth Sciences, University of Iceland 2012

Samfelldar GPS mælingar á Íslandi 30
Sigrún Hreinsdóttir, Benedikt G. Ófeigsson, Þóra Árnadóttir, Christof Völksen, Erik Sturkell, Freysteinn Sigmundsson, Guðmundur Valsson, Halldór Geirsson, Páll Einarsson, Peter C. LaFemina, Richard A. Bennett, Sigurður Fjalar Sigurðsson, Sigurjón Jónsson og Thierry Villemin

Kolefnishringrásin 32
Sigurður Reynir Gíslason

Leysnitilraunir á kristölluðu basalti og plagíóklas við stofuhita og mismunandi pH. 34
Snorri Guðbrandsson, Domenik Wolff-Boenisch Sigurður Reynir Gíslason og Eric Hermann Oelkers

Skriðan í Móafellshyrnu í Fljótum 20. september 2012 36
Þorsteinn Sæmundsson, Jón Kristinn Helgason og Halldór G. Pétursson

Jarðskorpuhreyfingar í kjölfar Ölfusskjálfta 2008 37
Þóra Árnadóttir Sigrún Hreinsdóttir, Karolina Michalczewska, Ingvar Þ. Magnússon, Benedikt G. Ófeigsson

Vísbendingar um nýlegar sprunguhreyfingar í sprungusveim Tungnafellsjökuls 38
Þórhildur Björnsdóttir og Páll Einarsson

Botnskrið jökla tengt breytileika í framboði vatns á botni. 39
Þröstur Þorsteinsson, Sverrir Guðmundsson, Eyjólfur Magnússon, Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Helgi Björnsson og Finnur Pálsson

Tilvitnun í ritið:
Kristján Sæmundsson 2013: Hversu langt ná gangar eldstöðvakerfanna á Reykjanesskaga? Vorráðstefna JFÍ, 22. mars 2013. Ágrip erinda og veggspjalda. Jarðfræðafélag Íslands, bls. 18.

Ágrip erinda

Eem hlýskeiðið í NEEM djúpkjarnanum á NV-Grænlandi.

Árný Erla Sveinbjörnsdóttir

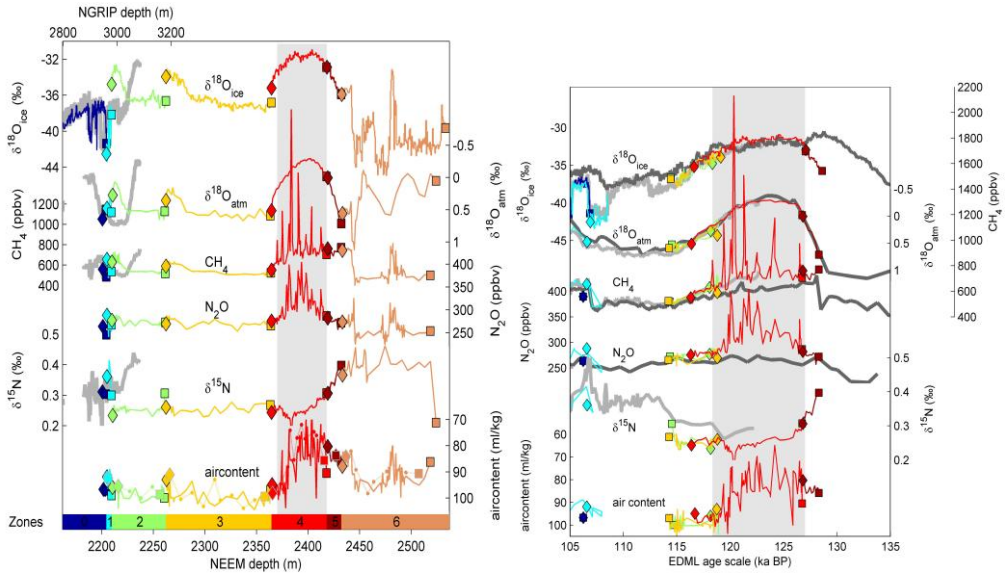
Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík

Fyrri rannsóknir hafa sýnt að Eem hlýskeiðið var nokkuð hlýrra en okkar eigið hlýskeið. Jökulís frá þessu tímabili veitir því tækifæri til að rannsaka hvaða loftslagsbreytinga við getum vænst ef hitastig jarðar heldur áfram að hækka eins og loftslagsspár gera ráð fyrir. Í tengslum við alþjóðlegt heimskautaár 2007 var þess freistað að ná upp jökulís sem endurspeglar veðurfar á öllu Eem-hlýskeiðinu. Borstaðurinn (55°N 51,6°W) sem varð fyrir valinu liggur á ísaskilum milli NGRIP og Camp Century borstaðanna á NV-Grænlandi og sumarið 2010 lauk borun 2.538 m langs kjarna (NEEM). Fyrstu niðurstöður hafa nýlega verið birtar, en þær sýna verulega röskun árlaga í neðstu u.þ.b. 300 metrum kjarnans. Með nákvæmum mælingum og miklu hugviti hefur engu að síður tekist að endurraða íslögunum þannig að lesa má úr kjörnunum nær samfellda veðurfarssögu alls Eem hlýskeiðsins (NEEM community members, 2013).

Mynd 1a sýnir niðurstöður mælinga á NEEM ískjarnanum á dýptarbilinu frá 2162m til 2537m, en þetta bil spannar m.a. Eem hlýskeiðið. Samsætumælingar í ísnum (efsti ferillinn) sýna að árlög eru ekki samfelld á 2209.6m, 2262.15m og 2364.45m dýpi. Á myndinni eru dýptarbelti númeruð en einnig sýnd í mismunandi litum til að auðvelda umfjöllun. Byrjun hvers bils er sýnt með tígli og lok með ferningi. Á dýptarbilinu frá 2370m til 2418m (4, rautt) eru breytingar í CH_4 og N_2O allt of hraðar til að hægt sé að skýra þær með breytingum í veðurfari. Á þessu bili mælist loft (air content) líka lægst í ísnum (neðsti ferillinn, viðsnúinn skali). Hvort tveggja bendir til að yfirborðsbráðnun hafi átt sér stað á þessum tíma, enda er þetta hlýjasta tímabilið samkvæmt $d^{18}O$ mælingum á ísnum.

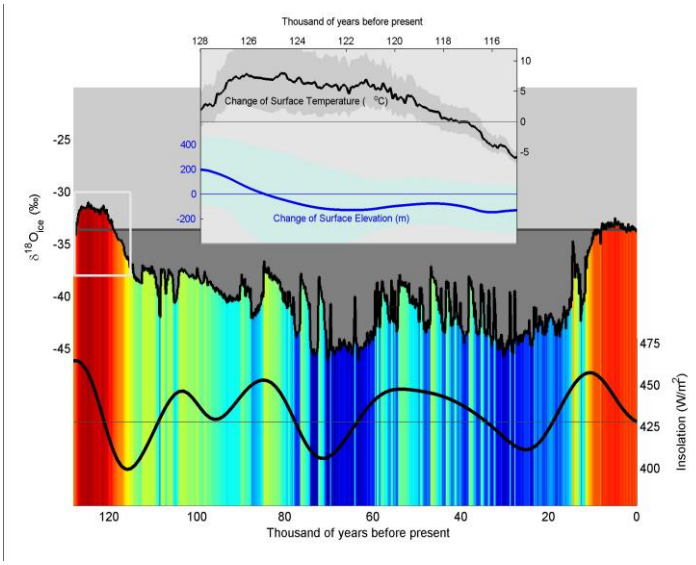
Á dýptarbilinu frá 2201.1m til 2432.19m er styrkur CH_4 og $d^{18}O_{atm}$ í sýnum sem ekki hafa orðið fyrir yfirborðsbráðnun borin saman við samskonar mælingar á öðrum ótrufluðum og vel aldursgreindum ískjörnum, þar sem styrkur þessara efna í andrúmsloftinu er sá sami alls staðar á jörðinni. Yngri hlutinn er borinn saman við NGRIP kjarnann á Grænlandi og sá eldri við EDML ískjarnann frá Suðurskautslandinu. Þessi samanburður leiðir í ljós að ljósbláa tímabilið (1) er fellt þannig að það er speglað og endurtekið. Græna og gula dýptarbilin (2 og 3) innihalda ís frá sama tíma og eru þar að auki viðsnúin. Rauða (4) og dökkrauða (5) dýptarbilin eru óhreyfð og spanna stærsta hluta Eem tímabilsins. Á mynd 1b eru mæliniðurstöður NEEM ískjarnans sýndar eftir að þær hafa verið leiðréttar fyrir fellingum og viðsnúningum. Samsvarandi mæliferlar fyrir NGRIP og EDML eru sýndir til viðmiðunar. Niðurstöður þessarar endurröðunar sýna að ís frá 114.000-108.000 árum finnst ekki í NEEM kjarnanum á meðan ísalög frá 118.000-115.000 árum finnast þrisvar sinnum (belti 2,3,4) og í tveimur tilfellum eru lögin einnig viðsnúin (belti 2,3).

Hinar nýju niðurstöður frá NEEM ískjarnanum á Norðvestur Grænlandi sýna að á Eem hlýskeiðinu var hitastig á N-Grænlandi um 8°C hærra en nú (mynd 2). Þrátt fyrir þennan mikla hita á þessu tímabili var yfirborð jökulsins við NEEM borstaðinn einungis nokkrum hundruð metrum lægra en það er í dag. Það sýnir að bráðnun Grænlandsjökuls hafi mögulega orsakað minna en helming sjávarstöðuhækkunar á þessum tíma.



1a 1b

Mynd 1a. Niðurstöður $d^{18}O_{ís}$, $d^{18}O_{atm}$, CH_4, N_2O, $d^{15}N$ og styrk lofts í Neem kjarnanum frá 2162-2537m miðað við NEEM dýptarskalann. Mælingarnar á $d^{18}O_{ís}$ (efsti ferillinn) sýna að það er ekki samfella í árlögunum á 2209.6m, 2262.15m og 2364.45m dýpi. Gráu ferlarnir sýna niðurstöður sambærilegra mælinga í NGRIP kjarnanum á Grænlandi. 1b. Niðurstöður mælinga miðað við EDML aldurskvarðann þegar búið er að leiðrétta fyrir fellingum og viðsnúningum. Til samanburðar eru sambærilegar mælingar frá NGRIP, Grænlandi (ljósgrátt) og EDML ískjarnanum, Suðurskautslandinu (dökkgrátt) sýndar. Niðurstöðurnar sýna að enginn ís finnst í NEEM ískjarnanum á tímabilinu frá 114.000-108.000 árum á meðan ísalög frá 118.000-115.000 árum finnast þrisvar sinnum (belti 2,3,4) og í tveimur tilfellum eru lögin einnig viðsnúin (belti 2,3) (NEEM community members, 2013).



Mynd 2. Samsætuferill NEEM ískjarnans og ferill inngeislunar sólar. Á innfelldu myndinni er umreiknað hitastig og hæðarbreytingar jökulsins á Eem hlýskeiðinu sýndar (Dahl-Jensen pers com.).

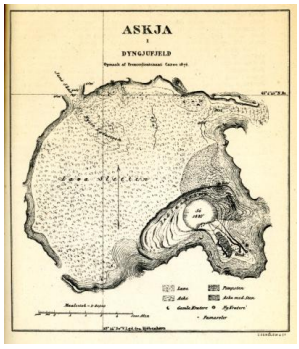
Heimild: NEEM community members, 2013. Eemian interglacial reconstructed from a Greenland folded ice core. *Nature*, 493, 489-494.

Botngerð Öskjuvatns

Ármann Höskuldsson

Nordvulk, Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands, Sturlugötu 7. armh@hi.is

Rannsóknir á gerð og lögun botns Öskjuvatns í Dyngjufjöllum. Öskjuvatn myndaðist í gliðnunarhrinu er hófst árið 1874 með mikilli aukningu í jarðskjálftavirkni innan eldstöðvarkerfis Dyngjufjalla. Eldstöðvarkerfið er eitt hið lengsta á Íslandi og nær frá Hrímöldu í suðri allt til Bleiksmýrardals á Melrakkasléttu í norðri. Fyrstu umbrota í Dyngjufjöllum varð vart 3. janúar árið 1875. Hópur bænda úr Mývatnssveit fór til Dyngjufjalla í febrúar sama ár til að athuga ummerki og eðli umbrotanna. Lýsingar þeirra benda til þess að eldvirknin í janúar hafi þegar leitt til þess að sig hafi hafist í SA-hluta Öskju (Fréttir frá Íslandi 1876). Skjálftavirkni fór stigmagnandi og eldgos hófust í Sveingjá í 18. febrúar og 10., 18. og 23. mars sama ár. Hinn 29. mars hófst eitt mesta sprengigos 19. aldar í Dyngjufjöllum. Afleiðingar sprengigossins verða ekki upptaldar hér. Í þessu sprengigosi er talið að upp hafi komið um 2 km^3 af ösku. Upptök sprengigossins er að finna á því svæði er nú heitir Öskjuvatn. Lýsingar af svæðinu er að finna hjá Watts er þar fór um sumarið 1875 og Johnstrup og Carroc eru voru þar við rannsóknir 1876 (Mynd 1). Af lýsingum þeirra að dæma var botn vatnsins tröllslegur mjög og alsettur stórum sprengigígum og sprungum. Í dag er Öskjuvatn fullt, með vatnsyfirborð í 1050 m. hæð yfir sjó. Kortlagning Vatnamælinga Orkustofnunar 1963 gefur grófa mynd af botninum en upplausn í því korti er um >250 m og því sjást ekki smærri fyrirbæri á botninum (Mynd 2) .



Mynd 1. Kort Carroc's af Dyngjufjöllum 1876. Á myndinni má greina að vatn er farið að safnast í sigdældina. Sigdældin er í laginu eins og 2 sigdalir hornréttir á hvorn annan. Í suðaustur horni kortsins koma fram gígar, sem taldir eru frá eldgosunum janúar.

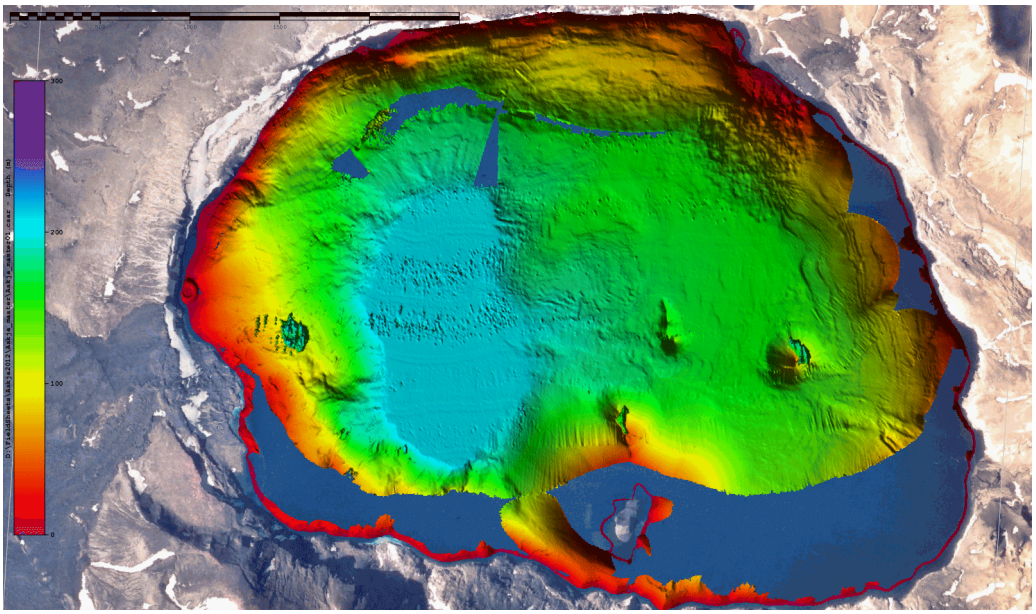
Mynd 2. Kort Vatnamælinga af Öskjuvatni. Á kortinu er ekki hægt að greina einstaka fyrirbæri á botninum, hins vega kemur nesið vel fram sem sést einnig á mynd 1. Kortið gefur til kynna að spildan með nesinu hafi sigið frá því að Carroc og félagar gerðu sitt kort.

Ekki er ljóst hvernig sigdældin í Öskju þróaðist eftir að öskugosinu mikla 29. mars 1875 lauk. Hinsvegar eru lýsingar vísindamanna er til svæðisins koma tiltölulega samhljóma hvað varðar vöxt vatnsins. En leiða má að því líkum að í öskugosinu 1875 hafi grunnvatn innan stóru Öskjunnar verið dregið inn í gosrásina og það því nær tæmst. Vatnið vex svo með úrkomu og stígandi grunnvatnsborði. Vatnið er búið að ná fullum þroska í kringum 1907 og kemur það heim og saman við mat á ársúrkomu á svæðinu (Hartley og Thordarson, 2012). Nákvæm kortlagning var ekki gerð á vatnsbotninum en sjá má á korti Johnstrup og Carrocs nokkra gíga við SE-enda sigdældarinnar. Þetta svæði er nú komið á kaf í vatn. Ekki er heldur ljóst hvernig sigdældin sjálf mótaðist, var hún fullmótuð í lok eldgossins 29. mars eða var hún að stigmagnast og stækka fram undir aldamótin? Ólafur Jónsson gerir tilraun til að skoða þróun Öskjuvatns í grein í Náttúrufræðingnum 1942. Það sem ber hæðst í þeirri greiningu er þróun vatnsyfirborðs í Öskjuvatni. Ekki verður séð af þessari greiningu hvort breytingar eru á sprungum eða botni vatnsins, Hartley og Thordarson 2012 gera tilraun til að meta sigdældina út frá kortum í grein Ólafs og hvernig hún þróast í áranna rás.

September síðastliðin var gerður leiðangur í Öskju með fjölgeislamæli. Landhelgisgæslan flaug bátnum frá öskjubarminum við Víti og út á vatnið án vandamála. Gróf mæling fór fram daginn eftir og gekk ágætlega þar til fór að hvessa. Árangur mælingarinnar má sjá á mynd 3.

Rannsókn þessi er ætluð til að greina botn Öskjuvatns með áður óþekktri nákvæmni. Til þess verður notast við Simrad EM3002 fjölgeislamæli Jarðvísindastofnunar. Með þessari aðferð munu misfellur í botni allt að 20 cm háar greinast með mikilli nákvæmni. Ennfremur verður kleift að greina jarðhitasvæði á botni vatnsins og staðsetja með mikilli nákvæmni sem og meta hita útstreymi þeirra.

Í erindi þessu þessu verður greind frá niðurstöðum fyrstu mælinga og borið saman við lýsingar þeirra jarðfræðinga er fyrstir fóru á svæðið eftir gos. Þar bera hæðst lýsingar Watts, Johnstrups og Þorvaldar Thoroddsen.



Mynd 3. Öskjuvatn eins og það kemur fram við fjölgeislamælingar. Aðeins hluti vatnsins hefur verið mældur. Fjallað verður um helstu fyrirbæri sem fram koma á vatninu og bend á áður óþekkta gíga.

Uppruni díla og gabbró-hnyðlinga í Henglinum.

Ásgeir Einarsson[1], Karl Grönvold[2] og Sigurður Steinþórsson[2]

[1]Norræna eldfjallastöðin, Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands, Öskju, Sturlugötu 7. [2]Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands, Öskju, Sturlugötu 7

Á Íslandi eru hraun sem innihalda stóra plagíóklasdíla algeng. Sum þeirra eru einnig auðug af ólivíndílum og flokkast sem pikrít. Uppruni þessara díla og samband þeirra við burðarkvikuna er grundvallar-atriði til að skilja bergfræðileg ferli í möttli og skorpu.

Tveir aðskildir móbergshryggir í Hengils-kerfinu, Mælifell og Miðfell innihalda stóra ólivín-, plagíóklas- og klínópýroxendíla. Í þeim finnast einnig gabbró-hnyðlingar með sömu steindir og finnast sem stórdílar. Efnafræðileg samsetning stórdílanna og steindanna úr hnyðlingunum er einnig mjög svipuð. Frumstæð basalt-burðarkvika flutti steindirnar upp á yfirborð. Glerjaðir bólstrabergsrimar endurspegla best samsetningu burðarkvikunnar á þeim tíma sem hún gaus. Sandfell, sem liggur upp við Mælifell, inniheldur mikið magn af plagíóklas-stórdílum. Þessir þrír hryggir, Miðfell, Mælifell og Sandfell, eru til rannsóknar í þessu verkefni.

Strontínhlutföll $^{87}Sr/^{86}Sr$ eru auðmæld í gleri og það er einnig er nægilegt Sr í plagíóklasi til að hægt sé að mæla $^{87}Sr/^{86}Sr$ hlutföll í einstökum stórdílum. $^{87}Sr/^{86}Sr$ hlutföll voru mæld í plagíóklas-stórdílum og plagíóklasi úr gabbró-hnyðlingum. Niðurstöðurnar voru bornar saman við mælingar úr bólstrabergs-rimum sem hafa áður verið birtar af Magna et al. (2011). Þar sem engir hnyðlingar finnast í Sandfelli voru einungis mæld $^{87}Sr/^{86}Sr$ hlutföll í plagíóklas-dílum.

Langur helmingunartími ^{87}Rb, móðurefnis ^{87}Sr, og lágur styrkur þess í íslensku basalti leiðir til þess að allur munur á $^{87}Sr/^{86}Sr$ hlutföllum sé ævaforn og verði ekki skýrður með neinum bergfræðilegum ferlum, heldur skýrist hann af mismunandi $^{87}Sr/^{86}Sr$ hlutföllum í möttlinum.

Niðurstöðurnar sýna að $^{87}Sr/^{86}Sr$ hlutfall glersins er talsvert frábrugðið hlutfalli bæði plagíóklas-stórdílanna og gabbró-hnyðlinganna. Hins vegar er ekki marktækur munur á stórdílunum og hnyðlingunum. Aðal niðurstaðan er því sú að stórdílarnir og hnyðlingar eiga annan uppruna en burðarkvikan.

$^{87}Sr/^{86}Sr$ hlutföll hnyðlinganna og stórdílanna endurspegla meðalsamsetningu skorpunnar á Reykjanesi ($^{87}Sr/^{86}Sr$ = 0.703099-0.703164). Uppruni þeirra er líklegast úr ólivín-þóleiít innskotum, djúpt í skorpunni.

Burðarkvikurnar hafa frumstæðari $^{87}Sr/^{86}Sr$ hlutföll ($^{87}Sr/^{86}Sr$ = 0.703007-0.703089). Þær eru samansafn bráðarhluta úr síbráðnandi (dynamic melting) súlu í rísandi möttli.

The Northern Volcanic Rift Zone, Iceland

Ásta Rut Hjartardóttir[1], Páll Einarsson[1], Sigríður Magnúsdóttir[1], Þórhildur Björnsdóttir[2] and Bryndís Brandsdóttir[1]

[1]Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands, Öskju, Sturlugötu 7, Reykjavík. [2] Menntaskólinn á Akureyri, Eyrarlandsvegi 28, Akureyri

The Northern Volcanic Rift Zone is a ~200 km long part of the Mid-Atlantic Plate boundary, extending north from the Vatnajökull glacier to the northern coast of Iceland where it joins with the Tjörnes Fracture Zone. It is about 50 km wide and consists of several volcanic systems, each with a central volcano and a fissure swarm.

We present a map of fractures and eruptive fissures, made from aerial photographs. Satellite images were used for overview, and ground observations conducted where necessary. In total, 46,611 fractures and eruptive fissures were mapped.

The fractures and eruptive fissures cluster in the fissure swarms. The density of eruptive fissures is higher closer (<20-30 km distance) to the central volcanoes, than at more distal parts of the fissure swarms. Fracture density also decreases with increased distance from the central volcanoes. This implies that deformation is greatest near the central volcanoes. An increase in fracture density is observed where fissure swarms intersect transform zones (the Húsavík transform zone and the Grímsey oblique rift). There, fracture orientations also have higher variability than elsewhere along the fissure swarms, implying stress perturbations at these junctions. A distinct belt of WNW oriented fractures was found across the Northern Volcanic Rift Zone, extending from the southern end of the Krafla fissure swarm to the northern end of the Kverkfjöll fissure swarm. This area coincides with the area where fault plane solutions indicate strike-slip faulting along several parallel NNE fractures near Mt. Herðubreið. We suggest that the WNW belt represents a transform zone of low activity, and that the NNE strike-slip faults are activated by bookshelf faulting. Other examples of unusual fracture orientations are seen near the Krafla and Askja calderas, where fractures radiate away from the calderas or are concentric around them, and in the southernmost part of the Northern Volcanic Rift Zone, where E-W oriented fractures and eruptive fissures are found. The fissure swarms are generally seismically inactive, except during rifting events, when propagating dikes generate intensive earthquake activity.

NordMin – norrænt samstarf á sviði málma og málmvinnslu

Bryndís G. Róbertsdóttir[1], Vigdís Harðardóttir[2], Þorvaldur Þórðarson[3], Hjalti Franzson[2], Guðmundur Heiðar Guðfinnsson[2], Birgir Jónsson[4], Kristján Jónasson[5], Skúli Thoroddsen[1], Erla María Hauksdóttir[6] og Sigurður Ásbjörnsson[7]

[1] Orkustofnun, [2]Íslenskar orkurannsóknir (ÍSOR), [3]Jarðvísindadeild Háskóla Íslands, [4]Umhverfis- og byggingarverkfræðideild Háskóla Íslands, [5]Náttúrufræðistofnun Íslands, [6]Nýsköpunarmiðstöð Íslands, [7]Skipulagsstofnun

Á árinu 2012 hefur Orkustofnun, fyrir Íslands hönd, unnið að undirbúningi norræns samstarfsverkefnis á sviði málma og málmvinnslu, sem á ensku hefur verið nefnt *„NordMin – A joint Nordic Network of Expertise for a sustainable mining and mineral industry“.* NordMin er flaggskipsverkefni Svía í tilefni af formennsku þeirra í Norrænu ráðherranefndinni árið 2013, og hefur Tækniháskólinn í Luleå í Svíþjóð tekið að sér yfirstjórn NordMin í umboði stjórnarnefndar. Norræna ráðherranefndin mun leggja verkefninu til 10 millj. danskra kr. á ári á tímabilinu 2013–2015, eða í heild um 665 millj. ísl. kr. Samhliða norrænu fjárveitingunni verður hugað að öðrum leiðum til að fjármagna starfsemi NordMin til lengri tíma.

Aðdragandi og undirbúningur. Verkefnið var í upphafi hugsað sem samstarfsverkefni á Barentssvæðinu, þ.e. með þátttöku Norðmanna, Svía, Finna og Rússa. Grunnurinn að NordMin byggir því á tillögu sem lögð var fyrir Barentsráðið í október 2011. Norræna ráðherranefndin setti í maí 2012 á laggirnar vinnuhóp til að undirbúa NordMin, en Norðurlöndin fimm áttu þar hvert sinn fulltrúa, og að auki fékk Grænland sérstakan fulltrúa, því mikið er horft til málmvinnslu á Grænlandi í náinni framtíð. Sérfræðinga-hópur var vinnuhópnum til ráðgjafar, en í honum voru m.a. höfundar upphaflegu tillögunnar. Eftir umfjöllun í vinnuhópnum, norrænu embættismannanefndinni um atvinnulíf og á fundi samstarfsráðherra Norðurlanda, var NordMin verkefnið samþykkt á fundi norrænna atvinnuvegaráðherra í október 2012. Á fundinum var einnig gengið frá skipun í stjórnarnefnd NordMin fyrir tímabilið 2013–2015, en löndin sex eiga hvert sinn fulltrúa í stjórnarnefndinni. Formaður hennar er Mikael Gröning, skrifstofustjóri í sænska atvinnuvegaráðuneytinu. NordMin verkefnið var síðan kynnt formlega á þingi Norður-landaráðs í Helsinki í lok október og á ráðstefnunni *„The High North – Top Mining Region of the World“,* sem norska utanríkisráðuneytið o.fl. héldu í Voksenåsen við Osló, 14.–15. nóvember 2012, en verkefnisstjóri hagnýtra jarðefna sótti ráðstefnuna fyrir hönd Orkustofnunar.

Þátttaka Íslands. Að beiðni atvinnuvega- og nýsköpunarráðuneytisins, í samstarfi við Norðurlandaskrifstofu utanríkisráðuneytisins, tók Orkustofnun að sér umsjón með þátttöku Íslands í NordMin. Sem verkefnisstjóri hagnýtra jarðefna á Orkustofnun, var Bryndís G. Róbertsdóttir, land- og jarðfræðingur, skipuð í vinnuhópinn til að undirbúa NordMin og í framhaldinu skipuð í stjórnarnefnd NordMin fyrir tímabilið 2013–2015. Á fyrsta stjórnarnefndarfundi var ákveðið að hafa varaformannsstöðu í NordMin, og að hún væri í höndum þess lands sem næst tæki við formennsku í Norrænu ráðherranefndinni. Varaformennskan er því í höndum Íslands árið 2013.

Fáir íslenskir jarðfræðingar hafa komið að rannsóknum á málmum á Íslandi og því hefur Orkustofnun reynt að sameina kraftana hérlendis á þessu sviði, og hefur í því skyni stofnað íslenskan vinnuhóp vegna NordMin. Þar sem hér er engin málmvinnsla enn sem komið er, ákvað íslenski vinnuhópurinn að leggja áherslu á styrkingu undirstöðuatriða, þ.e. menntun og rannsóknir á málmum. Með það í huga hefur Háskóli Íslands hafið þátttöku í norrænu M.S. námi á þessu sviði. Einnig hefur verið rætt um að NordMin bjóði upp á námsstyrki og sameiginleg námskeið fyrir doktorsnema, auk nokkurra vettvangs-námskeiða í jarðfræði/jarðeðlisfræði. Í því sambandi er einnig mjög mikilvægt fyrir Ísland að komast í samstarf við aðrar Norðurlandaþjóðir á sviði rannsókna á málmum, og síðan með þeim í stærri rannsóknaverkefni á vegum ESB. Uppruna töluverðs hluta málmnáma má rekja til eldvirkni og jarðhitakerfa. Ísland hefur hér sérstöðu meðal Norðurlandanna og getur boðið fram kennslu og vettvangsferðir tengdum virkum jarðhita- og eldfjalla-kerfum. Einnig má benda á sérstöðu jarðhitakerfisins á Reykjanesi sem ígildi svartra hvera („black smokers“) á hafsbotni. Íslenski vinnuhópurinn hefur einnig lagt til að skoðað verði hvaða möguleikar séu á málmvinnslu á botni N-Atlantshafsins í framtíðinni. Að auki telur vinnuhópurinn þörf á að taka umhverfismál tengd rannsóknum og málmvinnslu föstum tökum, huga að endurbótum í stjórnsýslunni á Íslandi, s.s. á lögum og reglugerðum á þessu sviði, bæði hvað varðar land og hafsbotn, og koma skipulagi á varðveislu rannsóknagagna.

Undirbúningur að vinnuáætlun. Í byrjun febrúar 2013 setti yfirstjórn NordMin á laggirnar sérfræðingahóp, sér til aðstoðar við gerð vinnuáætlunar fyrir NordMin næstu þrjú árin. Dr. Vigdís Harðardóttir, jarðefnafræðingur á ÍSOR, var tilnefnd í sérfræðinga-hópinn af Íslands hálfu, en Dr. Hjalti Franzson, jarðfræðingur á ÍSOR, og Dr. Þorvaldur Þórðarson, prófessor við Jarðvísindadeild HÍ, hafa unnið með hópnum að gerð vinnu-áætlunarinnar.

Norrænt M.S. nám – Nordic Mining School. Tækniháskólinn í Luleå í Svíþjóð og Háskólinn í Oulu í Finnlandi hafa frá árinu 2008 rekið sameiginlegt M.S. nám undir merkjum *„Nordic Mining School“*. Vorið 2012 var ákveðið að útvíkka þetta samstarf í tengslum við NordMin, en þá ákváðu Danski tækniháskólinn, Norski tækni- og náttúruvísindaháskólinn (NTNU) í Þrándheimi, Háskólinn í Tromsø og Háskóli Íslands að koma inn í samstarfið. Tækniháskólinn í Luleå, undir forystu Pär Weihed, prófessors í málmjarðfræði, tók að sér að leiða samstarfsverkefnið. Háskólarnir sex fengu fjármagn úr sjóði sem styrkir norrænt M.S. nám á ýmsum sviðum, til að undirbúa M.S. námið á árinu 2013. Fyrsti undirbúningsfundur allra háskólanna var haldinn á Hótel Heklu á Skeiðum 17.–18. janúar 2013, en Jarðvísindadeild HÍ sá um skipulagningu fundarins. Dr. Þorvaldur Þórðarson, nýskipaður prófessor, er í forsvari fyrir M.S. námið við Jarðvísindadeild HÍ, en einnig er fyrirhugað að bergtækni verði hluti af M.S. náminu og mun Birgir Jónsson, dósent við Umhverfis- og byggingaverkfræðideild HÍ verða í forsvari fyrir þeim hluta námsins. Á undirbúningsfundinum kynntu háskólarnir sex áherslur sínar varðandi sameiginlega M.S. námið. Einnig var rætt um stúdenta- og kennaraskipti, möguleika á gerð M.S. ritgerða í samstarfi við málmvinnslufyrirtæki, M.S. gráðu frá tveimur háskólum sem byði upp á aukin atvinnutækifæri á alþjóðavettvangi. Stefnt er að því að taka fyrstu stúdentana inn í M.S. námið haustið 2014. Næsti undirbúningsfundur verður haldinn í Háskólanum í Tromsø í byrjun júní, og síðan er fyrirhugað að funda í „Råstofskolen“ í Sisimiut á Grænlandi haustið 2013.

Málþing um málmvinnslu á djúpsævi. Norski tækni- og náttúruvísindaháskólinn (NTNU) og Norska jarðfræðistofnunin (NGU) héldu fyrsta málþingið um málma á hafsbotni í Þrándheimi 20.–21. nóvember 2012, en það tengist einnig verksviði NordMin. Yfirskrift málþingsins á ensku var: *„Deep sea mining in the North Atlantic?“*, en þar var m.a. fjallað um möguleikana á því að finna málma á botni N–Atlantshafsins, hvaða rannsóknir sé nauðsynlegt að gera, tæknimál, ýmsa umhverfisþætti og stjórnsýslu í kringum slíka málmvinnslu á

djúpsævi. Á málþinginu voru kynntar málmrannsóknir á hafsbotni í Kyrrahafi, þ.e. norður af Nýja Sjálandi og austur af Papúa Nýju Gíneu, en kanadíska námufyrirtækið Nautilus Minerals fyrirhugar að hefja fyrstu málmvinnslu á djúpsævi á heimsvísu við Papúa Nýju Gíneu árið 2014. Orkustofnun hafði ekki tök á að senda fulltrúa til Þrándheims, en viðfangsefnið er mjög áhugavert fyrir Ísland, staðsett á Mið–Atlantshafshryggnum og með allstóra efnahagslögsögu, auk næstu nágranna okkar á Grænlandi, í Færeyjum og Noregi.

Ráðstefna um málmrannsóknir í Uppsölum 2013. Þar sem rannsóknir á málmum á Íslandi hafa lítið verið kynntar á öðrum Norðurlöndum, ákvað Orkustofnun að hafa frumkvæði að slíkri kynningu. Ákveðið var að taka þátt í 12. ráðstefnu alþjóðasamtakanna „Society for Geology Applied to Mineral Deposits“ (SGA) sem ber enska heitið *„Mineral deposit research for a high-tech world“.* Ráðstefnan verður haldin í Uppsölum 12.–15. ágúst 2013 á vegum Sænsku jarðfræðistofnunarinnar (SGU). Orkustofnun hefur fengið Dr. Hjalta Franzson, jarðfræðing á ÍSOR, til að flytja yfirlitserindi á ráðstefnunni um rannsóknir á gulli á Íslandi, en hann hefur komið að slíkum rannsóknum frá sjónarhóli jarðhitans frá árinu 1987. Orkustofnun hefur einnig fengið Dr. Vigdísi Harðardóttur, jarðefnafræðing á ÍSOR, til að flytja tvö erindi. Það fyrra fjallar um efnasamsetningu jarðhitavökvans á Reykjanesi, sem nýttur er til raforkuframleiðslu, en málminnihald hans er sambærilegt við jarðhitavökva á sjávarbotni, eða svokallaða *„black smokers“.* Síðara erindið fjallar um útfellingar í lögnum frá borholum á Reykjanesi, en um 1,4 tonn af útfellingum fengust úr þremur háhitaholum á Reykjanesi á árunum 2006–2007, þar af um 5 kg af silfri og um 800 gr af gulli.

Mechanics of volcanic systems: Role of deep accumulation of boyant magma in viscoelastic surroundings

Freysteinn Sigmundsson

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

Improved understanding of processes leading to volcanic eruptions helps mitigate their influence. Volcano inflation associated with arrival of new magma in volcano roots is sometimes revealed by repeated geodetic measurements and the source of deformation inferred through modelling. Such observations are used to infer the dynamics of volcanic systems. Most widely used models assume elastic behaviour of host rock and ignore density difference between magma and host rock. However, these assumptions are unjustified in many cases and may lead to erroneous view of how volcanoes work. A large part of any given magmatic system lies below the brittle-ductile transition in the Earth (3-9 km depth in volcanic regions) where creep or visco-elastic deformation mechanisms may dominate for the duration of magma accumulation.

For volcanic systems in Iceland magma is as well boyant below the brittle-ductile transition; less dense than host rock. These two effects combined, viscoelasticty and magma buoyancy, are important for the behaviour of volcanic systems. Viscoelastic effects allow the deeper parts of magmatic systems to gradually accommodate large volumes of magma with limited surface deformation rates, and without significant raise in host rock deviatoric stress. When such a source is drained by magma outflow, the buoyancy of its magma may lead to the development of underpressure, which contracts the source. Rates of magma outflow from deep sources may be limited, typically to 1-10 m^3/s, orders of magnitude less than from shallow sources in elastic host rock. Interplay between magma movements and storage in shallow elastic crust and at deeper ductile levels can thus explain eruptive and volcanic unrest episodes, with the episode duration dependent on the viscoelastic contraction of the underlying deep source feeding the episode.

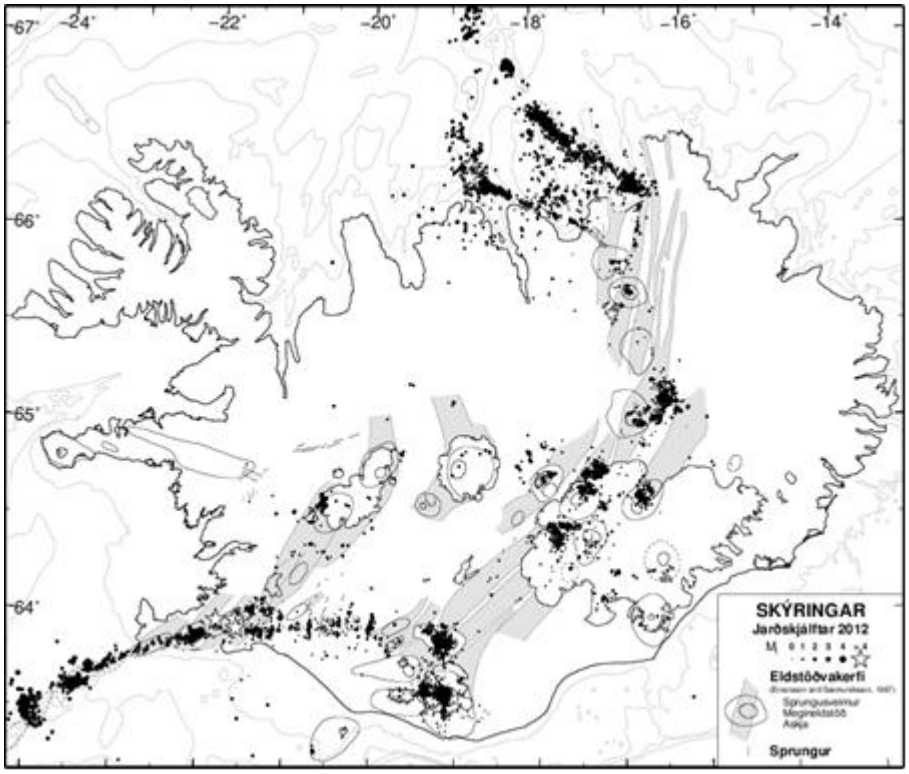
Long-duration lava shield eruptions in with relatively low effusive rates in Iceland may similarly reflect draining of magma from a source location in viscoelastic surroundings, where magma buoyancy is primary factor driving magma at low rates towards the surface.

Jarðskjálftar á Íslandi 2012

Gunnar B. Guðmundsson, Bergþóra S. Þorbjarnardóttir, Sigþrúður Ármannsdóttir og Sigurlaug Hjaltadóttir

Veðurstofu Íslands, Bústaðavegi 9, IS-150 Reykjavík

Um 16.300 jarðskjálftar mældust með jarðskjálftamælakerfi Veðurstofu Íslands árið 2012. Helstu atburðir á árinu voru skjálftaraðir syðst í Eyjafjarðarál. Þann 21. október mældust þar skjálftar M_l 5,2 og M_l 5,6 að stærð. Á annan tug skjálfta var stærri en M_l 4 í september- og októberhrinum. Annars staðar mældust þrír skjálftar yfir M_l 4 að stærð: M_l 4,2 í skjálftaröð suðaustan Helgafells 1. mars; M_l 4,6 í skjálftaröð milli Bláfjallaskála og Vífilsfells 30. ágúst; M_l 4 í skjálftaröð norðvestan við Geitafell 5. október.



Fremur lítil skjálftavirkni mældist út á Reykjaneshrygg á árinu. Á Reykjanesskaga mældist mesta skjálftavirkni austast. Skjálftaröð með upptök tveimur kílómetrum suðaustan Helgafells hófst 1. mars með jarðskjálftum M_l 3,6 og M_l 4,2. Fjöldi tilkynninga bárust um að stærsti skjálftinn hefði fundist. Á þriðja tug eftirskjálfta fylgdi í kjölfarið. Þann 30. ágúst varð jarðskjálfti M_l 4,6 með upptök á þekktri jarðskjálftasprungu milli Bláfjallaskála og Vífilsfells. Yfir 200 eftirskjálftar fylgdu í kjölfar hans, sem röðuðu sér á norður-suður línu. Skjálftaröð með meginskjálfta M_l 4 varð fyrri hluta október með upptök norðvestan við Geitafell. Um 130 jarðskjálftar mældust í allt. Meginskjálftarnir í þessum skjálftaröðum fundust víða um sunnan og suðvestanvert landið. Miðað við árið 2011, var rólegt á Krýsuvíkursvæðinu og vestan þess.

Í byrjun janúar var þó jarðskjálfti M_l 3,9 rétt vestan Krýsuvíkur með um 50 eftirskjálfta. Og í byrjun september varð skjálfti M_l 3 við Fagradalsfjall með 50 eftirskjálfta.

Fyrstu mánuði ársins var mesta skjálftavirknin á Hengilssvæðinu við Húsmúla eins og síðustu mánuði ársins 2011. Engir stórir skjálftar mældust þar, en nokkrar hrinur urðu. Nokkur virkni var í norðan-verðu Ingólfsfjalli í lok júní og byrjun júlí. Hátt í 250 skjálftar voru staðsettir, flestir smáir, en einn rúmlega M_l 3 sem fannst í nágrenninu. Rólegt var á Suðurlandsundirlendinu. Lítil skjálftahrina mældist 15. mars rétt norðaustur af Árnesi. Stærsti skjálftinn var M_l 2,5 og alls mældust 11 skjálftar. Þann 6. júní mældust 10 smáskjálftar á innan við hálftíma með upptök austast í Suðurlandsbrotabeltinu, milli Selsunds og Leirubakka. Lítið var um að vera í vestara gosbeltinu.

Það dró úr virkni innan Kötluöskju á árinu miðað við síðari hluta ársins 2011. Þó mældust skjálftahrinur af og til, sumar tengdar jökulhlaupum. Stærstu skjálftarnir voru um M_l 3 að stærð. Önnur virk svæði í Mýrdalsjökli voru við Goðabungu og Hafursárjökul, þar sem skjálftavirkni mældist fyrst um mitt ár 2011.

Fremur rólegt var undir Vatnajökli. Helstu skjálftahrinur voru við Kistufell og Kverkfjöll í október. Á sjöunda tug skjálfta mældist í hrinunni við Kistufell og tæplega 60 við Kverkfjöll. Stærstu skjálftarnir voru um M_l 3. Í nóvember hljóp úr Grímsvötnum, en það var lítið hlaup enda stutt síðan hljóp síðast úr vötnunum. Einnig var smáhlaup úr vestari Skaftárkatli í ágúst, en allmargir ísskjálftar mældust samfara því. Skjálftar mældust af og til við Fjórðungsöldu á Sprengisandi á árinu, en lítið hefur áður mælst af skjálftum á því svæði. Rúmlega 30 skjálftar mældust í hrinu við Tungnafellsjökul í apríl. Stærsti var M_l 2,9.

Stærsti atburður norðan Vatnajökuls á Dyngjufjallasvæðinu var skjálftaröð suðvestan Herðubreiðar í maí. Í upphafi varð skjálfti um M_l 3 og næstu daga mældust um 400 skjálftar. Upptök skjálftanna voru aðallega á tveimur lóðréttum samsíða brotaplönum með strikstefnur á bilinu N40° - 50°A. Minni skjálftahrinur voru við Hlaupfell, vestan við Herðubreiðartögl og við Öskju.

Virkasta svæðið í Tjörnesbrotabeltinu árið 2012 var syðst í Eyjafjarðarál, við vestari hluta Húsavíkur-Flateyjarmisgengisins. Fyrsta skjálftaröðin sem mældist þar á árinu var um mánaðamót febrúar-mars og hófst með skjálfta M_l 3,7. Eftirskjálftar voru yfir 40 talsins. Smáhrinur urðu á svæðinu næstu mánuðina, en virknin jókst til muna um miðjan september með skjálftaröð nærri 500 skjálfta. Stærstu skjálftarnir voru frá M_l 4,0 til M_l 4,5 að stærð. Þeir fundust allir víða á Norðurlandi. Í október hófst aftur kröftug skjálftaröð með skjálfta M_l 5,2 og M_l 5,6 þann 21. október, sem fundust allt að höfuðborgarsvæðinu og Vestfjörðum. Um 2000 eftirskjálftar mældust næstu daga, nærri 40 yfir M_l 3 að stærð. Skjálftavirkni á svæðinu hélt áfram út árið.

Um 200 skjálftar mældust í stærstu hrinu við Grímsey í febrúar og 160 skjálftar í hrinu í Öxarfirði í nóvember.

Í byrjun ársins mældist á annan tug jarðskjálfta við suðurbrún landgrunnsins út af Breiðamerkur-djúpi og var stærsti skjálftinn þar M_l 2,8.

Þrívíð túlkun MT viðnámsmælinga frá háhitasvæðinu í Krýsuvík.

Gylfi Páll Hersir, Knútur Árnason og Arnar Már Vilhjálmsson[1]

Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR), Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

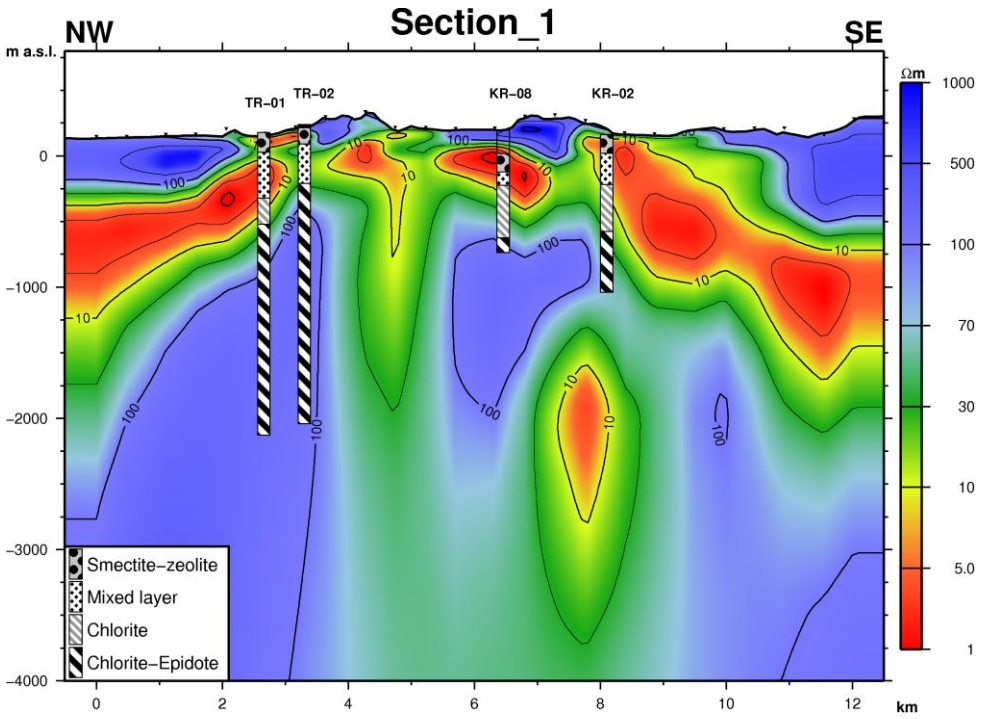
Á árunum um og upp úr 1970 voru gerðar töluverðar rannsóknir á háhitasvæðinu umhverfis Krýsuvík, m.a. voru boraðar nokkrar rannsóknarholur og fyrstu viðnáms-kortin teiknuð af svæðinu (Guðmundur Guðmundsson o.fl., 1971; Stefán Arnórsson o.fl., 1975). Þá var viðnámsmælt við Tröllladyngju með Schlumberger aðferð á árunum 1983-1985 (Ólafur G. Flóvenz o.fl., 1986). Frá þessum tíma hefur orðið mikil þróun í mælitækni, úrvinnslu og túlkun gagna.

Á síðari hluta tíunda áratugarins var viðnám mælt með TEM aðferð á svæðinu umhverfis Sandfell og milli Fagradalsfjalls og Kleifarvatns, og niðurstöður einvíðrar túlkunar birtar í tveimur skýrslum eftir Hjálmar Eysteinsson (1999 og 2001). TEM mælingum var framhaldið síðasta áratug. Íslenskar Orkurannsóknir mældu viðnám með magnetótellúrískum (MT) aðferðum á árunum 2007 og 2008 í Krýsuvík og nágrenni á vegum HS Orku. TEM og MT mæligögnin voru samtúlkuð einvítt (Gylfi Páll Hersir o.fl., 2010). Árið 2011 var nokkrum mælingum bætt við og allar 102 MT mælingarnar túlkaðar þrívítt (Gylfi Páll Hersir o.fl., 2011 og 2013).

Þrívíðir líkanreikningar eru gjarnan háðir því upphafslíkani sem forritið er matað á. Til þess að ganga úr skugga um áreiðanleika lokalíkansins var tölvan látin kljást við þrjú mismunandi upphafslíkön. Þau sýndu mjög áþekkar niðurstöður. Þrívíða líkanið sýnir mun betur fínni drætti viðnámsins en líkanið sem gert er með brúun einvíðu líkananna (í einvíðri túlkun eru líkönin jafnmörg mælingunum og svo er brúað á milli til að áætla viðnámsdreifinguna þrívítt).

Viðnám í Krýsuvík er svipað og á öðrum þekktum háhitasvæðum hér á landi sem og annars staðar í veröldinni þar sem grannbergið er basískt. Það endurspeglar háhita-ummyndun (sjá mynd). Grynnst er viðnám hátt þar sem bergið hefur ekki náð að ummyndast, þar fyrir neðan tekur við lágviðnámskápa (smektít-zeólíta ummyndun) og enn neðar háviðnámskjarni (klórít-epídót ummyndun). Háhitaummyndun byrjar við 50-100°C og breytingin úr smektít-zeólíta steindum yfir í klórít-epídót steindir gerist við u.þ.b. 230°C hita. Uppstreymi jarðhitavökvans hefur því á sínum tíma verið þar sem lágviðnámskápan og háviðnámskjarninn rísa hæst yfir sjávarmáli. Ef ummyndarhiti og berghiti eru áþekkir segir viðnám til um raunverulegt hitaástand í jörðinni. Stundum hefur kólnun átt sér stað og þá lýsir viðnám ummyndun en ekki nauðsynlega hita. Á þeim hluta Krýsuvíkursvæðisins þar sem borað hefur verið, hefur átt sér stað kólnun nema á norðvesturhlutanum næst yngstu gossprungunum.

Þrívíða túlkunin gefur til kynna að undir Móhálsadal, milli Grænavatns og Seltúns sé lágviðnámsskrokkur, um 1 km^3 í rúmmál (sjá mynd). Á sama stað mældist landris samkvæmt GPS mælingum og InSAR gögnum sem rekja má til rúmmálsbreytinga á 4-5 km dýpi. Ekki verður vart S-bylgju deyfingar smáskjálfta og því væntanlega ekki um bráðið innskotsberg að ræða. Hugsanlega á gasinnstreymi sér stað þarna.



Mynd: Þversnið NV-SA, frá Dyngjuhrauni um Sog, Móhálsadal, Sveifluháls og Seltún; viðnám og háhitaummyndun í borholum.

Heimildir:

Guðmundur Guðmundsson, Jón Jónsson, Stefán Arnórsson, Stefán G. Sigurmundsson og Sveinbjörn Björnsson (1971). *Frumrannsókn jarðhita á Krísuvíkursvæði*. Orkustofnun, maí 1971, 91 s.

Gylfi Páll Hersir, Arnar Már Vilhjálmsson, Guðni Karl Rosenkjær, Hjámar Eysteinsson og Ragna Karlsdóttir, R. (2010). *Jarðhitasvæðið í Krýsuvík. Viðnámsmælingar 2007 and 2008,* Iceland GeoSurvey, report, ÍSOR-2010/025, 263 s.

Hersir, G. P., Árnason, K., and Vilhjálmsson, A. M. (2011). *3D inversion of MT data from Krýsuvík, SW Iceland*. Iceland GeoSurvey, report, ÍSOR-2011/072, 165 pp.

Hersir, G. P., Árnason, K., and Vilhjálmsson, A. M. (2013). *3D inversion of magnetotelluric (MT) resistivity data from Krýsuvík high temperature geothermal area in SW Iceland.* PROCEEDINGS, Thirty-Eighth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering Stanford University, Stanford, California, February 11-13, 2013.

Hjálmar Eysteinsson (1999). *Viðnámsmælingar umhverfis Sandfell, Reykjanesskaga*. Orkustofnun, OS-99002, 71 s.

Hjálmar Eysteinsson (2001). *Viðnámsmælingar umhverfis Trölladyngju og Núpshlíðarháls, Reykjanesskaga*. Orkustofnun OS-2001/038, 110 s.

Ólafur G. Flóvenz, Bessi Aðalsteinsson, Björn Jónasson, Björn Harðarson, Freysteinn Sigurðsson, Kristján H. Sigurðsson, Magnús Ólafsson, Guðmundur Ó. Friðleifsson, Gunnar V. Johnsen. Hrefna Kristmannsdóttir, Lúðvík S. Georgsson, Sigmundur Einarsson, Sverrir Þórhallsson, Sæþór L. Jónsson og Verkfræðistofan Vatnaskil (1986). *Vatnsleysa-Trölladyngja. Freshwater and geothermal investigation.* Orkustofnun, OS-86032/JHD-10 B, 92 s.

Stefán Arnórsson, Guðmundur Guðmundsson, Stefán G. Sigurmundsson, Axel Björnsson, Einar Gunnlaugsson, Gestur Gíslason, Jón Jónsson, Páll Einarsson og Sveinbjörn Björnsson (1975). *Krísuvíkursvæði. Heildarskýrsla um rannsókn jarðhitans.* Orkustofnun OS-JHD-7554, 71 s.

Jarðfræði Hafrafells í Öræfum – segulstefna bergs, aldursgreiningar, rofsaga og bergbrot af völdum jökla

Jóhann Helgason[1] og Robert A. Duncan[2,3]

[1]Landmælingar Íslands, Stillholt 16-18, 300 Akranes. [2]College of Earth, Ocean, and Atmospheric Sciences, Oregon State University, Corvallis, OR 97331, USA and [3]Department of Geology and Geophysics, King Saud University, Riyadh, Saudi Arabia

Jökulrof hefur grafið yfir 2-km-djúpa dali í gosbergið hjá Hafrafelli við rætur Öræfajökuls en sjálft Hafrafellið stendur uppúr eins og forn eyja í landinu. Jarðlagastafli Hafrafells, sem er 2772-m-þykkur, varðveitir ummerki rofs sem þróast hefur frá frekar flötu landi til landslags með dalakerfi. Með kortlagningu jarðlaga, segulmælingum og aldursgreiningu bergs sýnum við fram á að elstu lög svæðisins hlóðust á Gilbert segulmund fyrir um 4 milljón árum síðan. Við finnum elstu ummerki jöklunar frá svipuðum tíma. Á neðri hluta Matuyama varð til 739-m-þykkur hraunlagastafli sem jöklar grófu lægð í, yfir 260-m-djúpa. Þetta er "Hafrafellsdalur", sem grófst á Matuyama tíma fyrir meira en 2 milljón árum. Lægðin fylltist síðan af hraunlögum á efri-Matuyama fyrir minna en 2 milljón árum. Kortlagning leiðir í ljós 12 roffleti eða rofskeið, HR1-HR12, sem mynduðust á síðustu 4 milljón árum. Við roffleti HR2 og HR3 sést mjög mikil brekksíumyndun í undirlaginu.

Mynd 1: Hér sést þóleiít hraunlag sem ber merki sprungumyndunar vegna jökulfargs. Jökull á hreyfingu hefur fergt hraunlagið og við það myndast láréttir misgengisfletir (thrust faults) þannig að hraunlagið líkist spilastokk. Allir steinar eru kantaðir. Inná milli "spila" er fínkorna breksía. Upp stigbreytist breksían og verður efst að mestu móberg sem myndaðist á jökulskeiði. Eiginlegt jökulberg er ekki til staðar né jökulrákir á yfirborði þóleiít hraunlagsins.

Við ályktum að brekksíumyndun á hraunlögunum samfara þessara rofflötum sé til komin við brot af völdum jökulfargs (glaciotectonism, **mynd 1**) og að slíkt ferli sé mikilvægt tæki til ákvörðunar á Tertíerum jökul-skeiðum. Slík ummerki brota af völdum jökla kunna að reynast sjálfstæð aðferð við greiningu fornra jökulskeiða. Með ummerkjum af þessu tagi kann að vera unnt að kortleggja Tertíer og jafnvel yngri jökulskeið hér á landi. Rofsögu Hafrafells er skipt í 5 stig þar sem fyrstu tvö urðu á Tertíer, þ.e. Gilbert og Gauss segulmundum, þegar upphleðsla hraunlaga var hæg og landslag fremur flatt. Á stigi 3, neðri-Matuyama, jókst hrauna-framleiðsla um helming. Á stigi 4, á efri-Matuyama, varð til "Hafrafellsdalur ", um 260-m-djúpur sem markar væntanlega myndun dalakerfa. Á stigi 5, Brunhes-tíma, jókst eldvirkni, einkum undir jökli og samfara þróuðust dalakerfi með dýpkun dala að 2 km.

EPOS – European Plate Observing System: Samevrópskt netverk jarðvísindalegra innviða.

Kristín S. Vogfjörð

Veðurstofu Íslands, Bústaðavegi 9, Reykjavík

Aukin áhersla hefur verið á eflingu rannsóknainnviða í Evrópu og hafa Evrópusambandið (ESB) og Evrópulönd skilgreint vegvísa til uppbyggingar mikilvægra innviða, þ.e. allrar þeirrar aðstöðu sem stendur undir úrvinnslu, rannsóknum og gangasöfnun til rannsókna. Nýjustu rammaáætlanir ESB (FP7 og Horizon 2020) taka mið af þessum vegvísum og fjöldi innviðaverkefna hafa þegar verið styrk. Eitt slíkt verkefni er EPOS (www.epos-eu.org) sem miðar að uppbyggingu samevrópsks netkerfis helstu mælakerfa, reikniklasa og rannsóknastofa álfunnar í jarðvísindum, auk gagnaþjónustu við kerfin og reksturs þeirra til framtíðar. Fjórar íslenskar stofnanir, Veðurstofa Íslands, Jarðvísindastofnun Háskólans, Landmælingar Íslands og Rannsóknarmiðstöð í jarðskjálftaverkfræði taka þátt í fjögurra ára undirbúningsfasa verkefnisins, en þátttakan er leidd af Veðurstofunni. Íslensku kerfin sem nú eru lögð inn í EPOS eru jarðskjálftamælakerfið SIL, hröðunarmælanetið ICESMN, GPS-mælanetið ISGPS, og þenslumælanet, veðursjár, gasmælar og hluti vatnshæðarmælakerfis Veðurstofunnar (www.epos-eu.org/ride). Í lok undirbúningsfasans tekur við tíu ára upp-byggingarfasi og síðan rekstur í nokkra áratugi. Þegar undirbúningsfasanum lýkur geta fleiri íslenskar stofnanir, mælikerfi og rannsóknastofur gengið inn í EPOS samstarfið.

Tilgangurinn með EPOS er efling rannsóknainnviða Evrópu í jarðvísindum með því að tengja þá í samhæfðu netverki og auðvelda þannig aðgengi að fjölþáttagögnum og afurðum til rannsókna. Verkefnið gerir ráð fyrir því að styrkja innviði á svæðum þar sem þeir eru veikir og efla þá enn frekar á mikilvægum svæðum, eins og virkum sprungu- og eldfjallasvæðum. Þátttökuléndin ábyrgjast viðhald upphaflegra innviða sinna, en þess er vænst að ESB og hagsmunaaðilar komi að frekari uppbyggingu þeirra. Dæmi um slíkt er aðkoma flugmálayfirvalda að eflingu innviða Veðurstofunnar til eldfjallaeftirlits og rannsókna í kjölfar eldgossins í Eyjafjallajökli 2010, en gosið hafði víðtæk áhrif á flugsamgöngur og olli miklu efnahagslegu tjóni. Auk uppbyggingar í eldfjallafræði getur Ísland átt möguleika á, innan EPOS að efla sérstaklega innviði við sprungusvæði Suðurlandsbrotabeltisins og fá þar byggt upp „nær-sprungu“ rannsókna-mælanet. Árangur í þeim efnum veltur á samstarfi íslensku þátttakendanna og samhæfingu núverandi mælakerfa, því íslenskar stofnanir eru litlar og ná ekki einar sér yfir breitt svið jarðvísinda. Saman mynda þær hins vegar þá öflugu heild sem þarf til grund-vallar frekari fjármögnunar íslenskra innviða og rannsókna með erlendum styrkjum. Samhæfingin getur einnig dregið fram skilgreiningu á grunneftirlitsnetum með eldgosa- og jarðskjálftavá á Íslandi og stuðlað þannig að því að tryggja þeim rekstraröryggi.

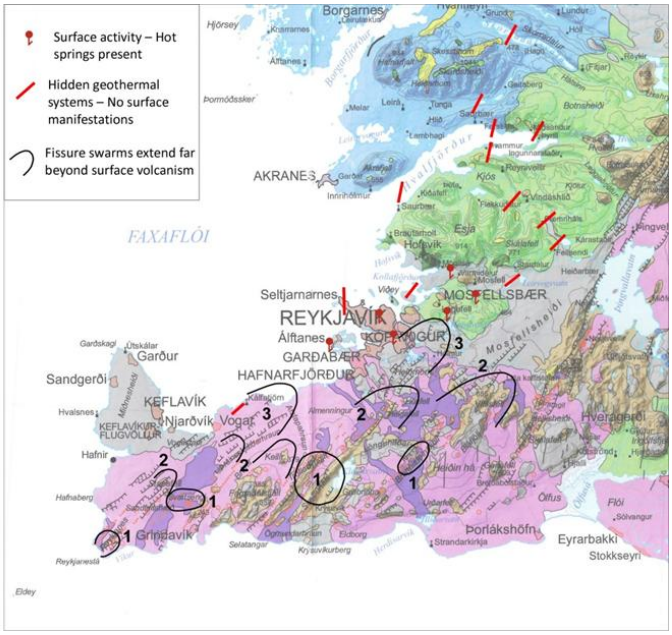
Nýja FP7-verkefnið, FutureVolc (A European volcanological supersite in Iceland: a monitoring system and network for the future) eða „Íslenska ofurstöðin í eldfjallafræði“, sem hófst síðastliðið haust er mikilvægur áfangi að því að efla stöðu Íslands innan EPOS. Verkefnið er leitt af Jarðvísindastofnun, en hún og Veðurstofan eru stærstu þátt-takendur verkefnisins. Mikil áhersla er á aðgengi að þeim fjölþáttagögnum sem munu safnast í FutureVolc, sem og á framsetningu afurða. Við lok verkefnisins mun þjónustan geta annað almennu aðgengi að gögnum frá íslensku ofurstöðinni og þar með virkað sem gagnagátt fyrir

eldfjallagögn í EPOS netverkinu. Samskipti milli upplýsingatækni-hópa EPOS og FutureVolc munu tryggja samræmi í högun, gagnaaðgengi og þjónustu.

Hversu langt ná gangar eldstöðvakerfanna á Reykjanesskaga?

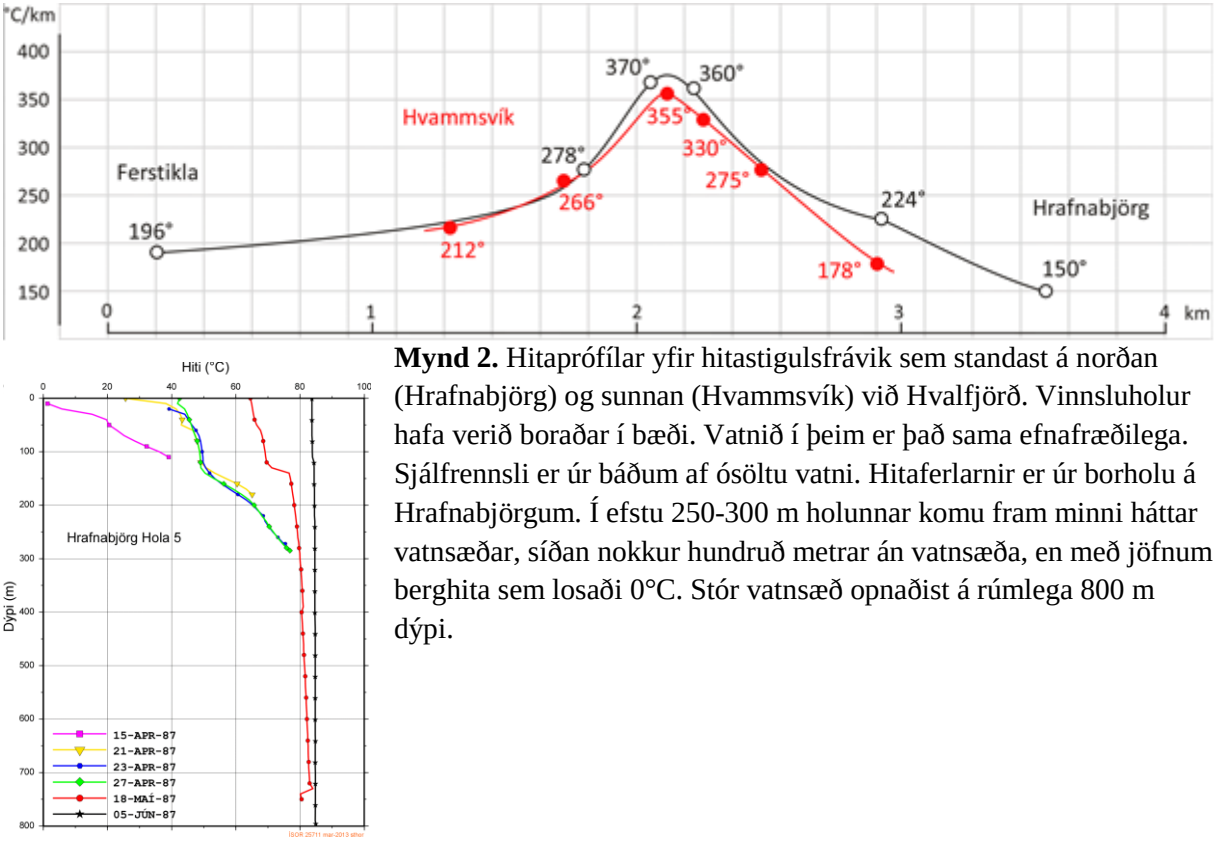
Kristján Sæmundsson
Íslenskar orkurannsóknir – ÍSOR, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Sumir vilja takmarka eldstöðvakerfin við eldvirka hluta þeirra, en aðrir telja sprungusveimana einnig til þeirra. Gosvirkni og sprungusveimar eldstöðvakerfanna skarast stundum á jöðrum og ganga jafnvel hvert inn í annað svo ekki verður alltaf skarplega aðgreint út frá yfirborðsmerkjum einum. Oft bætir bergfræðin úr ef um gosmyndanir er að ræða. Hér verður hugað að því hversu langt eldstöðvakerfin í víðasta skilningi ná, og þá ekki bara sprungusveimarnir sjálfir heldur einnig, hve langt má ætla að gangasveimarnir nái án auðsærra ummerkja á yfirborði. Sprungutengd lághitakerfi þekkjast víða um land. Einn flokkur þeirra er á jaðarsvæðum rekbeltanna eða í framhaldi eldstöðvakerfanna í þeim og ná sum hver langt inn í rofinn eldri berglagastafla. Þekkt dæmi eru jarðhitasvæðin í Mosfellssveit og í Reykjavík. Laugasvæðin í Skagafirði eru í þessum flokki, en þau eru í framhaldi af sprungusveimi Hofsjökuls. Á síðustu 25 árum hafa fundist dulin jarðhitakerfi víða um land sem mörg hver sýnast vera tengd virkum sprungusveimum, sum af þeim eru tugi km frá sýnilegum gjám og misgengjum og línulega dreifðum laugum í framhaldi þeirra.



Mynd 1. Reykjanesskagi og lághitakerfi í framhaldi af sprungusveimum eldstöðvakerfa hans. Bogalínur sýna í grófum dráttum megineldstöðina, gosvirkan hluta sprungusveimanna, gjásvæðin sem halda fram norðaustur og síðan laugasvæði í framhaldi af þeim. Rauðu strikin sýna dulin jarðhitakerfi. Þau eru línuleg og koma flest best heim við Krýsuvíkursveiminn.

Dulin jarðhitakerfi hafa flest fundist með því að bora 50-60 m djúpar leitarholur ofan í „þéttan“ berglagastafla og ákvarða hitastigul í þeim. Svæðislægt bakgrunnsgildi hitastigulsins þarf að vera þekkt. Leitað er að staðbundinni hækkun í hitastigli sem gefur til kynna undirliggjandi jarðhitakerfi. Á stóru landsvæði suðvestanlands hafa 14 slík jarðhitakerfi fundist (mynd 1). Líklegust skýring á þeim er að berggangar frá eldstöðvakerfum Reykjanesskagans nái þetta langt í norðaustur, upp í Kjós og Hvalfjörð og jafnvel Skorradal og Flókadal, og skapi þar lekt í annars „þéttum“ berglögum. Gangarnir ná yfirleitt ekki til yfirborðs með gosum nema nokkra tugi km frá megineldstöðvum sem ég leyfi mér að kalla svo á Reykjaneskaga. Þeir halda áfram miklu lengra. Það dýpkar á efra borð þeirra og gjár og misgengisstallar verða ráðandi þegar gossprungunum sleppir sem sýnir hvar grunnt myndi vera á gangana. Enn fjær þar sem gangarnir liggja dýpra eru laugalínur og „rifur“, þó ekki dýpra en svo að sprungur sem þeir valda ná til yfirborðs. Fjærst ná þær ekki til yfirborðs svo að upp úr þeim renni. Þar verða til dulin hræringarkerfi og í „heila“ berginu ofan þeirra kemur fram hár hitastigull vegna varmaleiðingar frá þeim. Hitafrávikin eru línuleg, með norð-suðlægri eða norðaust-suðvestlægri stefnu. Mynd 2 sýnir dæmi um hitastigul og hita í jarðhitakerfi af þessari gerð. Þar eru sýndir hitastigulsprófílar yfir frávik norðan og sunnan megin við Hvalfjörð. Varmaleiðingin nær niður á 250-300 m dýpi með yfir 0,3°C/m hitastigli (300°C/km) þar sem hann er hæstur en svo hefur reynst á þessum stöðum flestum. Hræringarkerfin undir eru hins vegar á bilinu 80-140°C heit. Hitastigulsfrávikin eru um 1 km á breidd og nokkurn veginn samhverf. Best hefur gefist að bora vinnsluholur beint ofan í hitatoppinn við slíkar aðstæður og er þá reiknað með að hann sé beint yfir næstum lóðréttum berggangi en ekki hallandi sprungu. Eitt dæmi er þarna um misheppnaða borholu. Hún var staðsett til hliðar við hitatopp af skipulagsástæðum og stýrt að honum, en reyndist treg.



Mynd 2. Hitaprófílar yfir hitastigulsfrávik sem standast á norðan (Hrafnabjörg) og sunnan (Hvammsvík) við Hvalfjörð. Vinnsluholur hafa verið boraðar í bæði. Vatnið í þeim er það sama efnafræðilega. Sjálfrennsli er úr báðum af ósöltu vatni. Hitaferlarnir er úr borholu á Hrafnabjörgum. Í efstu 250-300 m holunnar komu fram minni háttar vatnsæðar, síðan nokkur hundruð metrar án vatnsæða, en með jöfnum berghita sem losaði 0°C. Stór vatnsæð opnaðist á rúmlega 800 m dýpi.

Jarðfræðikort af Norðurgosbelti 1:100.000. Nýtt kort frá ÍSOR.

Kristján Sæmundsson, Árni Hjartarson, Ingibjörg Kaldal, Magnús Á. Sigurgeirsson, Sigurður G. Kristinsson og Skúli Víkingsson

Íslenskar orkurannsóknir, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík.

Í árslok 2012 gáfu Íslenskar orkurannsóknir, með stuðningi Landsvirkjunar, út nýtt jarðfræðikort af nyrðri hluta Norðurgosbeltisins til sölu á almennum markaði. Sumarið 2010 gaf stofnunin út sams konar kort af Suðvesturlandi og hefur með þessari útgáfu haslað sér völl í gerð almennra jarðfræðikorta í mælikvarðanum 1:100.000. Þrátt fyrir nafnið nær kortið nokkuð út fyrir gosbeltið til beggja handa, einkum þó vestur fyrir það, og teygir sig m.a. yfir Tjörnes. Kortið byggir að hluta til á eldri útgefnum kortum og fjölda annarra korta sem sem birst hafa í skýrslum og greinargerðum ÍSOR og Orkustofnunar á umliðnum áratugum svo og kortum jarðvísindamanna og stúdenta af Tjörnesi.

Jarðlög á svæðinu spanna rúmlega 10 milljón ár og gefa innsýn í meginþætti í jarðsögu Íslands. Elstu jarðlögin eru neðst í fjöllunum inn af Lóni í Kelduhverfi en yngstu lögin eru hraun frá lokum Kröfluelda árið 1984.

Við aðgreiningu bergs á kortinu er farið eftir aldri þess og gerð. Elsta bergið, sem er frá míósen, finnst á sunnanverðu Tjörnesi. Því er öllu skipað í einn flokk þótt þar megi finna ýmsar gerðir basalts og þunn setlög inn á milli. Næst elsti flokkurinn er berg frá plíósen (5,3-2,6 millj.ár). Það finnst á vestanverðu Tjörnesi og norðanverðri Fljótsheiði. Það fer í tvo meginflokka; ósundurgreind basaltlög og Tjörneslögin sjálf með fornskeljum sínum og surtarbrandi. Milli þessara flokka er mislægi og eyða í jarðlagastaflanum sem samsvarar mörgum milljónum ára og vitnar um rekbeltaflutning og kaflaskil í jarðsögu landsins. Þriðji flokkurinn er jarðmyndanir frá eldri hluta pleistósen (2,6-0,8 millj.ár). Þar eru grágrýtisflákar fyrirferðarmestir en móbergsmyndanir finnast einnig, en í litlum mæli. Breiðavíkur- og Furuvíkurlögin á Tjörnesi eru þar að auki í þessum flokki. Jarðmyndanir frá síðari hluta pleistósen eru áberandi á kortinu. Gríðarmiklir grágrýtisflákar eru hvor sínum megin gosbeltisins og víða á milli nútímahrauna innan þess. Þeir eru til komnir við dyngjugos á hlýskeiðum ísaldar. Þessum flokki tilheyra einnig, móbergshryggir og stapar frá jökulskeiðum ísaldar. Á kortinu er gerður greinarmunur á móbergi frá síðasta jökulskeiði og eldri jökul-skeiðum.

Nútímahraunum er skipt í hópa eftir aldri og gerð. Þau elstu eru raunar ekki frá nútíma (hólósen) heldur síðjökultíma. Gjóskulagarannsóknum var beitt við aldursgreiningu og aðgreiningu hrauna. Á kortinu eru 61 nafngreint hraun sem er sínu færra en á Suðvesturlandskortinu en þar voru þau rúmlega 160. Mörg af þessum hraunum hafa ekki verið tilgreind sérstaklega fyrr. Elstu hraunin eru lítil pikríthraun sem flest eru í grennd við Þeistareyki. Pikrít er frumstæð tegund úthafsbasalts. Kvikan er komin dýpra úr möttli jarðar en aðrar gerðir kviku.. Elstu pikríthraunin eru talin um 15.000 ára en þau yngstu um 8.000 ára. Um líkt leyti urðu mikil dyngjugos upp af Kelduhverfi og víðáttumikil hraun þöktu land sem nýkomið var undan jökulísnum. Elst þessara hrauna er svokallað Skildingahraun sem er allt að 14.500 ára. Víðáttumesta hraunið er Stóravítishraun sem kom upp efst á Þeistareykjabungu fyrir 11-12

þúsund árum. Yngsta dyngjan er Þeistareykjahraun, um 2400 ára. Við aldursgreiningu elstu hraunanna nýttust vel gjóskulögin Askja-S (um 11.000 ára) og Vedde-askan sem á upptök í Kötlu (um 12.000 ára). Önnur lykillög eru ljósu Heklulögin Hekla-3, Hekla-4, Hekla Ö og Hekla-5.

Allmörg sprunguhraun frá gígaröðum eru einnig á kortinu. Elst og lengst er Sveinagígaröðin eða Sveinasprungan, sem er um 11.000 ára. Hún er alls um 70 km að lengd og nær langleiðina yfir kortið frá Skógarmannafjöllum í suðri og norður á Öxarfjarðarheiði. Einnig má nefna Laxárhraun yngra sem kom frá Þrengslaborgum og þekkt er fyrir gervigíga sína, en það mótaði Mývatn í núverandi mynd. Mörg önnur nafnkennd sprunguhraun eru á kortinu, t.d. hið sérkennilega Búrfellshraun, hraunin frá Mývatnseldum 1727-9 og Nýjahraun frá gosinu í Sveinagjá 1874-75.

Ísaldarjarðfræði fær sinn sess því að jökulrákir, jökulkembur, jökulgarðar og fornir vatnsfarvegir eru merkt inn, einnig jarðhiti og kaldar lindir.

Á bakhlið kortsins er mikinn fróðleik að finna. Þar er til að mynda listi yfir nútímahraunin á kortinu ásamt upplýsingum um aldur þeirra og gerð. Þar eru einnig myndir og stuttar lýsingar á íslensku og ensku á 27 völdum stöðum sem fróðlegt er að skoða. Svæðið sem kortið þekur er um margt einstakt á heimsvísu og auðvelt að nefna dæmi því til staðfestingar. Mývatnssveit með sínum margbrotnu gosmyndunum, gervigígum, gjóskugígum, gjám og hverasvæðum. Megineldstöðin Krafla með öskju sinni, Víti og Gjástykki þar sem gliðnun jarðskorpunnar má öllum vera ljós. Þrípunkturinn á Reykjaheiði er lykilstaður á flekaskilum þar sem sniðgengi Tjörnesbrotabeltisins hliðrar Norðurgosbeltinu 120 km norðvestur í haf, allt að Kolbeinseyjarhrygg. Á nokkrum stöðum getur að líta fyrirbrigði sem sjaldan hafa verið kortlögð fyrr. Það eru hinar svokölluðu gjávellur. Þetta eru hraun sem runnið hafa ofan í gjár nærri gosstöðvunum og flætt langar leiðir neðanjarðar en síðan ollið upp á ný úr sprungum fjarri gígum sínum. Á vefsíðu ÍSOR www.isor.is má finna fróðleik um þessa staði.

Halarauður, ein af myndunum jarðfræðikortsins. Þetta er loftfallið, sambrætt gjóskulag sem varð til þegar Krófluaskjan myndaðist við stórgos í megineldstöðinni fyrir 110.000 árum. Lagið er kennt við Halaskógafjall en þar er lagið rauðlitað og mjög áberandi (samanber mynd).. Annars er það gráleitt og líkist straumlögóttu hraunlagi. Halarauður er úr dasíti, þar sem basalt- og líparítkvika hafa blandast. Lagið er morandi af framandsteinum úr basalti og gabbróí. Það finnst víða í kringum Krófluöskjuna og þekur allstór svæði norðan hennar.

Um mælingar á bergsýnum til að finna styrk forn-jarðsegulsviða.

Leó Kristjánsson

Jarðvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7

Mælingar á segulmögnun bergsýna til rannsókna á segulsviði jarðar fyrr í jarðsögunni hafa einkum beinst að stefnu sviðsins á hverjum stað og tíma. Ýmsir erfiðleikar verða iðulega í framkvæmd og túlkun slíkra mælinga, því að berg getur haft í sér segulmögnun af margskonar uppruna, sérlega ef það hefur hitnað og ummyndast eða aflagast síðan það varð til. Í lítið ummynduðu íslensku gosbergi eru þó yfirleitt bara tveir segulmögnunar-þættir, og er annar þeirra sá upprunalegi sem bergið tók í sig við kólnun. Stefna hans veitir oft nytsamar upplýsingar, bæði í jarðfræðilegum tilgangi og til að kanna eðli jarðsegulsviðsins gegnum tíðina. Hinn þátturinn er svonefnd seigjusegulmögnun sem byggist upp smátt og smátt í berginu. Engin not hafa fundist fyrir hana, og er auðvelt að eyða henni úr bergsýnum með tiltekinni riðstraums-meðferð.

Auk stefnu upprunalegu segulmögnunarinnar hafa vísindamenn reynt að finna styrk hins forna jarðsegulsviðs með mælingum á gosbergi (og fornminjum á borð við brennda leirmuni). Byrjað var á því um 1950, og erlendis hefur sú grein bergsegulmælinga (e. absolute paleointensity determinations) þanist mjög út undanfarin ár. Aðferðin við þetta er í grunninn mjög einföld: maður mælir styrk segulmögnunar Jo í bergsýni, hitar það svo upp fyrir Curie-hitastig segulsteindanna í því (sem er t.d. um 580°C fyrir magnetít), kælir sýnið í þekktum sviðstyrk H1 og mælir styrk nýju segulmögnunarinnar J1. Þá má setja upp þríliðu fyrir styrk fornsegulsviðsins Ho, þar sem Ho = H1. Jo/ J1.

Málið er þó ekki svona einfalt í raun, heldur hefur það sýnt sig að vera mjög snúið viðureignar. Helsta vandamálið þar eru þær breytingar (oxun o.fl.) sem yfirleitt verða á segulsteindum bergsýna við upphitun í rannsóknastofu. Önnur atriði sem geta ruglað niðurstöðu þríliðunnar eru til dæmis: upphitun og ummyndun bergsins á ævi sinni, áhrif kólnunarhraða á segulmögnunarstyrkinn, og misátta hegðun (e. anisotropy) segulsteindanna. Fjölmargar leiðir hafa verið prófaðar til að útiloka vond sýni, leiðrétta mæliniðurstöðurnar, eða komast á annan hátt framhjá þessum vandamálum.

Mögulegt er hinsvegar að finna út sitt af hverju varðandi breytileika í styrk forn-jarðsegulsviðsins, án þess að gera neinar upphitunartilraunir. Til þess þarf mikið af einsleitum gögnum um styrk upprunalegrar segulmögnunar í bergi. R.L. Wilson og félagar við Liverpool-háskóla sýndu fyrstir fram á það 1971-72, að hægt sé að finna út úr hraunasyrpum Íslands hvernig meðal-styrkur jarðsegulsviðsins hefur breyst sem fall af breiddargráðu segulskautsins. Þess konar úrvinnslu hefur höfundurinn endurtekið nokkrum sinnum frá 1982 með auknum og bættum íslenskum gögnum. Megin-niðurstaðan er orðin sú að meðaltals-styrkur sviðsins hér dofnar um faktor 4 þegar segulskautið færist frá heimskauti að miðbaug. Gögnin benda einnig til þess, að lítið sé ef til vill að marka sumar þær niðurstöður „absolut“ sviðstyrks-mælinga sem birst hafa síðustu áratugi. Það er vegna mikillar dreifingar styrkgildanna sem slíkar mælingar hafa gefið, og innbyrðis ósamræmis í þeim.

Hallamæling á Búrfellsgjá.

Margrét Traustadóttir[1] Sigrún Hreinsdóttir[1] Ásta Rut Hjartardóttir[1] Karolina Lucja Michalczewska[1] Halldór Ólafsson[1] Guðrún Ósk Sæmundsdóttir[1] Hildur María Friðriksdóttir[1] Telma Dís Sigurðardóttir[1]

[1]Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands, Öskju, Sturlugötu 7

Búrfell er nyrsti gígurinn í Krýsuvíkurkerfinu á Reykjanesskaga. Hraunið frá gígnum rann til norðvesturs og er talið vera um 7.000 ára gamalt. Búrfellsgjá er um 3,5 km löng hrauntröð sem liggur frá Búrfelli og þvert á sprungusveim Krýsuvíkurkerfisins. Þar af leiðandi er töluvert af sprungum og misgengjum í gjánni. Færslur á sprungunum síðan hraunið rann veldur því að suðausturhluti kerfisins liggur neðar en norðvesturhlutinn. Eysteinn Tryggvason áætlaði sig á svæðinu og miðað við hans áætlanir og að hraunið sé um 7.000 ára gamalt er sigið um 2 mm/ári og heildarvíkkun sprungna um 0,78 mm/ári.

Árið 1966 setti Eysteinn upp hallamælingastöð í Búrfellsgjá, til að meta færslur á sprungusveiminum, sem samanstóð af 32 mælipunktum. Hallamælingapunktarnir ná yfir um 2 km af Búrfellsgjánni og voru mældir árlega á tímabilinu 1966-1970 auk einnar mælingar 1980. Einnig hefur einn punkturinn, BURG, verið mældur með GPS mælingum frá 1993.

GPS og InSAR mælingar í kringum Krýsuvík hafa sýnt þenslu og sig frá árinu 2009. Til að kanna hvort breytingarnar í Krýsuvík hafi áhrif á sprungusveiminn var ákveðið að endurtaka hallamælingarnar í Búrfellsgjá sumarið 2012. Auk þess var BURG og valdir punktar í hallamælilínunni mældir með GPS landmælingum. Hér berum við saman mælingarnar sem voru framkvæmdar árið 2012 við fyrri mælingar.

Heimildir

Guðmundur Kjartansson (1973). Aldur Búrfellshrauns við Hafnarfjörð. *Náttúrufræðingurinn, 42*(4), 159-183.

Halldór Geirsson, Þóra Árnadóttir, Sigrún Hreinsdóttir, Decriem, J., LaFemina, P.C, Sigurjón Jónsson, Bennet, R. A., Metzger, S., Holland, A., Sturkell, E., Villemin, T., Völksen, C., Freysteinn Sigmundsson, Páll Einarsson, Roberts, M. J., & Hjörleifur Sveinbjörnsson (2010). Overview of Results from Continuous GPS Observations in Iceland from 1995 to 2010. Jökull No. 60, 3-21, 2010

Eysteinn Tryggvason (1968). Measurement of surface deformation in Iceland by precision leveling. *J. Geophys. Res., 73*, 7039-7050.

Magnús Á. Sigurgeirsson (2004). Þáttur úr gossögu Reykjaness. *Náttúrufræðingurinn, 72*(1-2), 21-28

Lava flows assessment for Hekla volcano.

Montalvo, J., Páll Einarsson, and Eyjólfur Magnússon

Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Sturlugata 7, 101 Reykjavik

Hekla volcano has been one of the most active volcanoes in Iceland in Historical time, producing both silicic and basaltic products. Hekla is characterized by mixed eruptions, both explosive and effusive. Lava flows are issued either from the main volcanic edifice or the adjacent fissure swarm. Lavas erupted from the main edifice normally reach a final composition of basaltic andesite (55% SiO_2 wt), with a viscosity ranging from $10^5 – 10^8$ Pa s (Höskuldsson et al., 2007). Lavas erupted from the fissure swarm, on the other hand, are more basaltic. There is no definite agreement in the current literature on how to explain the petrological relationship between these two types of lavas (Grönvold et al., 1983). However, new evidence suggests the eruptions are fed from a deep-seated magma chamber (Soosalu and Einarsson, 2004; Ofeigsson et al., 2011), which puts new constraints on the petrological models. Analyzing the volume of historical lavas can give an indication on the potential eruptive volume to be used in a hazard assessment. This work in progress pretends to define a correlation among the different parameters of the nature of lava and which affect the formation and emplacement of the flows at Hekla. Furthermore, relief profiles were produced with ArcGIS and the EMISAR DEM, and its accuracy was compared with GPS data measured in the field. The profiles reflect very well the actual morphology of the lava tongue providing an insight into the thickness of the flows. It is intended here to recalculate the volume of historical lavas at Hekla volcano by providing new estimates of the thickness of solidified lava flows. These estimates can ultimately give an input into hazard assessments models for lava flows. For that end, a new lava map of Hekla is being developed, which will include the estimated thickness of some of the historical lavas. This map is being improved using EMISAR DEM and PolSAR data from 1998 (Dall, 2003; Magnússon, 2003).

References:

Dall, J. Cross-calibration of interferometric SAR data. IEE Proceedings – Radar, Sonar and Navigation, vol. 150, no. 3, pp. 177-183, 2003.

Grönvold, K.; Larsen, G.; Einarsson, P.; Thorarinsson, S.; Sæmundsson, K. The Hekla eruption 1980 – 1981. Bul. Volcanol., 46, 349 – 363, 1983.

Höskuldsson, Á.; Óskarsson, N.; Pedersen, R.; Grönvold, K.; Vogfjörð, K.; Ólafsdóttir, R. The millennium eruption of Hekla in February 2000. Bull. Volcanol., 70, 169 – 182, DOI: 10.1007/s00445-007-0128-3, 2007.

Magnússon, E. Airborne SAR data from S-Iceland: analyses, DEM improvements and glaciological application. Master's thesis, Faculty of Natural Sciences, Department of Physics, University of Iceland, 2003.

Ofeigsson, B.; Hooper, A.; Sigmundsson, F.; Sturkell, E.; Grapenthin, R. Deep magma storage at Hekla volcano, Iceland, revealed by InSAR time series analysis. J. Geophys. Res., 116, B05401, DOI: 10.1029/2010JB007576, 2011.

Soosalu, H., P. Einarsson. Seismic constraints on magma chambers at Hekla and Torfajökull volcanoes, Iceland. Bull. Volcanol., 66, 276-286, DOI: 10.1007/s00445-003-0310-1, 2004.

Grímsvötn 2011 og stærð Grímsvatnagosa

Olgeir Sigmarsson[1,2] og Baptiste Haddadi[2]

[1]Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands og [2]Laboratoire Magmas et Volcans, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand, Frakklandi

Hvað veldur smáum eða stórum eldgosum er flókið viðfangsefni, en síðasta gos Grímsvatna gefur tilefni til slíkra spurninga. Gosið í maí 2011 var kraftmikið og gosmökkur þess reis upp fyrir veðrahvörf og inn í heiðhvolfið. Gosið stóð yfir í u.þ.b. viku og var fyrsti dagur gossins öflugastur. Rúmmál gosefna hefur verið metið sem u.þ.b. 0.3 km^3 (DRE; gögn Jarðvísindastofnunar Háskólans) sem er með því mesta sem þekkt er á sögulegum tíma (Guðrún Larsen, munnl. uppl.). Landris fyrir gos, sig og landris rétt fyrir og á fyrsta gosdegi eru túlkuð sem rúmmálsbreytingar í grunnstæðu kvikuhólfi (Sigrún Hreinsdóttir o.fl., 2012). Rétt þótti að kanna gasinnihald og aðra samsetningu kvikunnar til betri skilnings á upprunadýpi og þróun hennar, sem og óvenju miklum krafti gossins 2011.

Basaltgjóskan sem myndaðist í síðasta Grímsvatnagosi er quartz-normatíft þóleiít að samsetningu, svipuð gjósku úr eldri gosum. Hún samanstendur af gleri og steindunum plagíóklas (pl), klínópyroxen (kpx) og ólivín (ól) sem og járn-títanríkum málmsteindum. Jafnframt finnast járnsúlfíð hnoðrar (globules) í glerinu. Kristal dílar og smádílar hafa að öllu jöfnu reglulegar útlínur (euhedral) með kristalfleti sem hafa verið í jafnvægi við bráðina fyrir storknun. Plagíóklasdílar hafa hærri anorþít mólprósentu (An%) en 81%, smádílar eru á bilinu 63-78% og kristalagnirnar (microlites) eru albítríkastar (An: 54-60%). Svipuð breyting er á samsetningu kpx, þar sem Mg-talan [#Mg = 100x mól Mg/(mól Mg + mól Fe^{2+})] lækkar úr 87 í 75% hjá dílunum, spannar bilið 75-60% hjá smádílunum og kristalögnum. Einn kpx díllin er normaltbeltaður en með stundaglasbyggingu, og hefur kjarni kristallsins vaxið úr frumstæðari basaltbráð en þeirri sem gaus 2011. Samsetning glersins er óvenju misleit fyrir gjósku Grímsvatna. Sem dæmi breytist styrkur MgO í sideromelangleri frá 4 til 6 % og K_2O frá 0.3 til 0.7 % og mælist þróaðasta samsetningin inn á milli kristalla (interstitial). Gler án kristalagna falla á þrjá kvikuþróunarferla sem stjórnast af hlutföllum þeirra steinda sem eftir verða við kvikuris frá kristöllunarstað til yfirborðs. Þessi hlutföll eru háð m.a. dýpi og hitastigi kristöllunar sem hægt er að meta þar sem kristall og bráð eru í efnavarmafræðilegu jafnvægi. Klínópýroxen féll út úr bráð á hitastigsbilinu 1080-1140 °C við breytilegan þrýsting frá 200 til 700 MPa. Hluti 2011 kvikunnar er því kominn af allt að 20 km dýpi.

Glerinnlyksur, eða kvikudropar innilokaðir í kristöllum, eru algengar í pl og kpx dílum. Innlyksur í kpx mynduðust við 1090 til 1135 °C en á afmörkuðu dýpi (3-8 km eða 120-290 MPa). Hæsti styrkur H_2O mældist í innlyksu í pl eða 0,7%; aðrar innlyksur voru með lægra en 0,5% vatnsstyrk. Klór virðist ekki hafa afgasast og er Cl/K hlutfallið einslegt í flestum innlyksunum. Markverð undantekning er í kpx innlyksum, mynduðum við 220 MPa þar sem klór hefur safnast saman ásamt brennisteini. Styrkur brennisteins er á bilinu 630–1860 ppm og mismunur styrks þess í innlyksum og grunnmassagleri bendir til afgösunar á u.þ.b. 1,5 megatonni af brennisteini í 2011 gosinu. Mismunur á styrk brennisteins í glerinnlyksum og grunnmassa fyrir gosin 2011, 2004 og Skaftárelda eykst línulega með lógaritma af rúmmáli gosefna. Gosið 2011 var stærðargráðu stærra en gosið 2004 en tveimur stærðargráðum minna

en Skaftáreldar. Af þessu má draga þá ályktun að innflæði gasríkrar kviku af miklu dýpi virðist stjórna stærð gosa í Grímsvötnum.

Fault systems within the Reykjanes Peninsula Oblique Rift near Geitafell

Páll Einarsson, Ásta Rut Hjartardóttir, Karolina Michalczewska, Þorbjörg Ágústsdóttir, Gro Birkefeldt Møller Pedersen, Sigríður Magnúsdóttir, and students of the course Current Crustal Movements in the Faculty of Earth Sciences, University of Iceland 2012

Institute of Earth Sciences, Sturlugata 7, 101 Reykjavík

A field exercise in the course Current Crustal Movements at the University of Iceland was carried out in October 2012. The target of the project this year was faulting in the relatively complex area near the triple junction of plate boundary segments in SW-Iceland, where the oblique rift of the Reykjanes Peninsula meets with the South Iceland Seismic Zone (a transform zone) and the Western Volcanic Zone (a rift zone). The objectives are twofold: To produce a surface fracture map and give an overview of the different styles of faulting in the plate boundary segment of the Reykjanes Peninsula, and to gather data on fault throw on as many normal faults as possible in this area.

The incentive for the choice of area was provided by the occurrence of several felt earthquakes in August-October 2012 that originated on a strike-slip fault west of Geitafell. Recent triggered seismicity at Húsmúli by pumping of effluent water from the Hellisheiði power station back into the geothermal system also drew attention to the eastern part of the Reykjanes Peninsula Oblique Rift.

The Reykjanes Peninsula oblique rift is a branch of the mid-Atlantic plate boundary and has an over-all trend of 70°. The plate boundary is highly oblique with respect to the spreading direction, which is 104° in this region. The fissure swarms of individual volcanic systems have a NE-trend, oblique to the plate boundary. The fissure swarms therefore fade out towards the NE and SW as they extend into the plates on either side. The study area covers the southern extreme of the Hengill fissure swarm and the area between the Hengill and Brennisteinsfjöll fissure swarms, where several strike-slip faults are exposed. The research area is covered by lavas from several lava shields, mostly though from the Heiðin há lava shield that was produced in the early Holocene. Two different faulting regimes were identified:

1. Normal faulting and open fissures striking NE-SW characterize the southern end of the Hengill fissure swarm. The cumulative widening across the fissure swarm decreases towards the SW and dies out.

2. En echelon fracture arrays trending N-S are found in the area west of the Hengill fissure swarm. They are taken as the surface expressions of underlying strike-slip faults. The sense of displacement is right-lateral. Evidence is found for four faults lying parallel to each other at a separation of about 1 km. The easternmost one cuts through the Geitafell tuya. The westernmost one (at about 21° 35‘ W), here called the Hrossahryggir Fault, was the source fault of the earthquake sequence of August-October 2012. It has a length of about 12 km.

Samfelldar GPS mælingar á Íslandi

Sigrún Hreinsdóttir[1], Benedikt G. Ófeigsson[1,2], Þóra Árnadóttir[1], Christof Völksen[3], Erik Sturkell[4], Freysteinn Sigmundsson[1], Guðmundur Valsson[5], Halldór Geirsson[6], Páll Einarsson[1], Peter C. LaFemina[6], Richard A. Bennett[7], Sigurður Fjalar Sigurðsson[2], Sigurjón Jónsson[8] og Thierry Villemin[9].

[1]Jarðvísindastofnun Háskólans, Háskóla Íslands, [2]Veðurstofa Íslands, [3]Bayerische Akademie der Wissenschaften, [4]Háskólinn í Gautaborg, [5]Landmælingar Íslands, [6]Penn State University, [7]University of Arizona, [8]King Abdullah University of Science and Technology, [9]Háskólinn í Savoie.

Samfelldar GPS mælingar á Íslandi hófust árið 1995 þegar IGS stöðin REYK var sett upp í Reykjavík. Árið 1997 var önnur IGS stöð sett upp í Höfn í Hornafirði (HOFN) og hafa þessar tvær stöðvar verið reknar samfellt síðan og eru hluti ITRF viðmiðunarkerfisins.

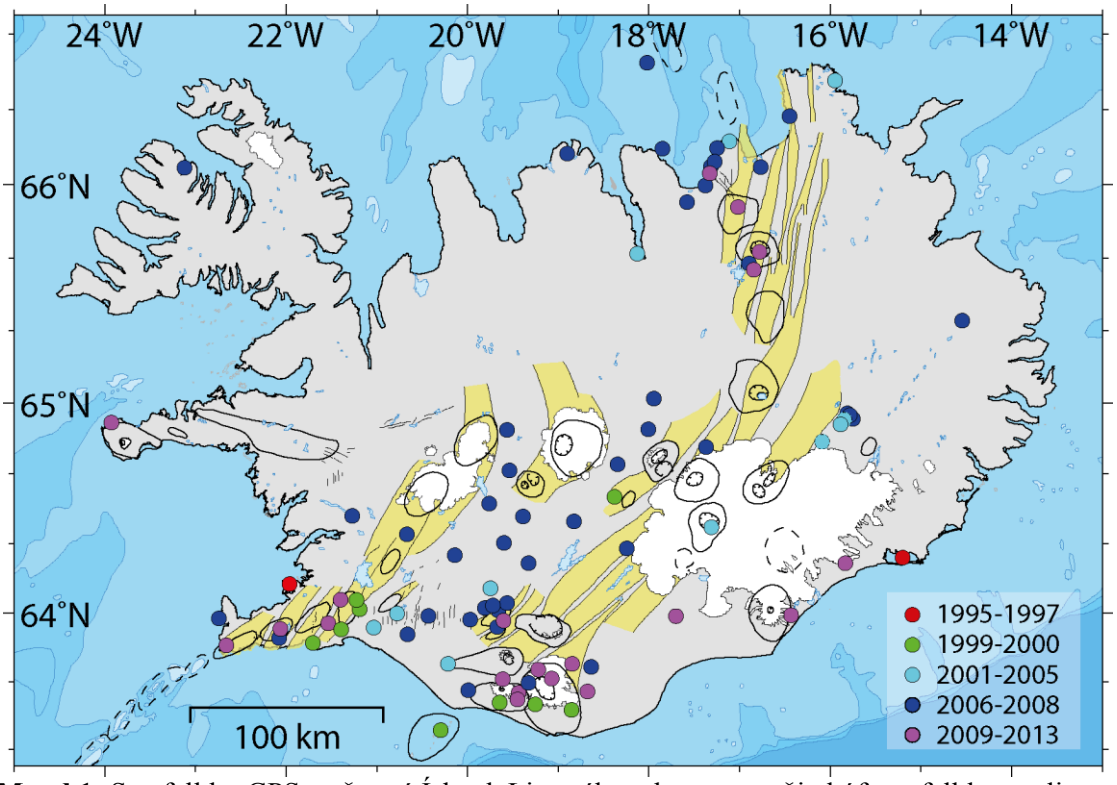
Árið 1999 voru fyrstu GPS stöðvar ISGPS kerfisins settar upp. Fjórar stöðvar voru settar upp á Hengilsvæðinu í kjölfar aukinnar skjálftavirkni og landriss. Ári síðar var fjórum stöðvum bætt við, einni í Vestmannaeyjum og þremur við rætur Mýrdalsjökuls. Í lok árs 2004 var fjöldi samfelldra stöðva á Íslandi komin upp í 20, flestar á suður og suðvesturhluta landsins. Árið 2006 hlaut Jarðvísindastofnun Háskólans og Veðurstofa Íslands Öndvegisstyrk frá Rannís til að hefja háhraðamælingar (1sek) á samfelldum GPS stöðvum og fjölga þeim verulega, í samstarfi við erlenda aðila í Evrópu og Bandaríkjunum. Í lok árs 2009 var stöðvafjöldinn kominn yfir 65 og í dag eru um 80 samfelldar stöðvar á Íslandi auk nokkurra stöðva sem hafa verið settar upp tímabundið til hálfsamfelldra mælinga.

Samfelldar GPS mælingar á Íslandi sýna vel gliðnunarhreyfingar yfir flekaskilin og landris vegna jöklabráðnunar á Íslandi. Auk þess hafa mælingarnar verið notaðar til að meta spennuuppsöfnun á Tjörnes- og Suðurlands-brotabeltunum og upptakalíkön af jarðskjálftum sem urðu á Suðurlandi árin 2000 og 2008. Árið 2000 urðu tveir skjálftar með vægisstærð M6.5 á tveimur N-S sprungum í skjálftabelti Suðurlands og liðu þrír sólahringar milli þeirra. Árið 2008 urðu tveir M6 skjálftar í Ölfussi og með því að skoða gögn frá háhraða GPS mælitækjum á suður og suðvesturlandi var hægt að áætla að aðeins 3 sekúndur hafi liðið milli skjálftanna.

Samfelldar GPS mælingar hafa á síðustu árum gengt veigamiklu hlutverki í vöktun eldstöðva á Íslandi. Árin 2007 og 2008 varð kvikuinnskot á 12-20 km dýpi undir Upptyppingum og Álftadalsdyngju norðan Vatnajökuls. Færslur mældust á nálægum GPS stöðvum við Kárahnjúka og með samtúlkun GPS og jarðskjálftagagna var hægt að áætla magn kviku í innskotinu og tímaþróun atburðarásarinnar. Árið 2009 hófst virkni undir Eyjafjallajökli og sýndu GPS mælingar á Þorvaldseyri um 12 mm færslu frá maí til loka ágúst til marks um að kvika væri að troðast inn í eldstöðina eftir um 10 ára hlé. Í byrjun árs 2010 hófst innskotavirkni undir Eyjafjallajökli að nýju og var hægt að fylgjast með þróun virkninnar á samfelldum GPS stöðvum í hlíðum Eyjafjallajökuls fram að eldgosinu á Fimmvörðuhálsi 20. mars 2010. Samfelldar GPS stöðvar í um 20 til 50 km fjarlægð sýndu á sama tíma hvernig kvikugeymir á meira en 20 km dýpi byrjaði að tæmast mánuði fyrir gos og færðust t.d. allar GPS stöðvarnar sem settar voru upp til að vakta Heklu í átt að Eyjafjallajökli frá um 20. febrúar til loka maí. Þegar eldgos hófst úr toppgíg Eyjafjallajökuls urðu færslur á stöðvum í kringum eldstöðina sem bentu til þess að kvika kæmi úr grunnstæðum geymi undir toppgígnum. Krísuvík á Reykjanesskaga hefur risið og sigið á víxl síðan 2009 og eru samfelldar mælingar mikilvægar til að varpa ljósi á atburðarásina sem þar er í gangi. Samfelldar

GPS mælingar eru einnig notaðar til að fylgjast með og rannsaka Heklu, Kötlu og Grímsvötn. Mælingar á samfelldri GPS stöð á Grímsfjalli hafa verið notaðar til fylgjast með þrýstingi í grunnstæðu kvikuhólf undir Grímsvötnum. Í Grímsvatnagosinu 21.–28. maí 2011 færðist GPS stöðin um 57 cm þegar kvika streymdi úr grunnstæðu kvikuhólfi en stöðin byrjaði að hreyfast um klukkutíma áður en gosið hófst.

GPS landmælingar gegna líka mikilvægu hlutverki við rannsóknir á eðli skorpunnar. Jarðskorpuhreyfingar í kjölfar stórra jarðskjálfta og vegna jöklabráðnunar hafa m.a. verið notaðar til að meta seigju neðri hluta skorpu og efri hluta möttuls á Ísland. Á síðustu árum og í kjölfarið á eldgosinu í Eyjafjallajökli 2010 er merkjanleg tímabundin aukning í rishraða, sem má m.a. tengja aukinni bráðnun jökla vegna ösku. Þá er fylgst með hreyfingum í tengslum við jarðvarmavirkjanir bæði á Reykjanesskaga og Hengilsvæðinu, sem og við Kröflu, og gera samfelldar mælingar kleift að skoða samband milli upp- og niðurdælingar á vökva og jarðskorpuhreyfinga. Einnig hafa samfelldar GPS mælingar verið notaðar til að meta áhrif vatnsaflsvirkjunar í Kárahnúkum, fyllingar Hálslóns ásamt lotubundnum breytingum á vatnsborði lónsins.



Mynd 1: Samfelldar GPS stöðvar á Ísland. Litur táknar hvenær stöðin hóf samfelldar mælingar.

Kolefnishringrásin

Sigurður Reynir Gíslason[1]

[1]Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands, Öskju, Sturlugötu 7

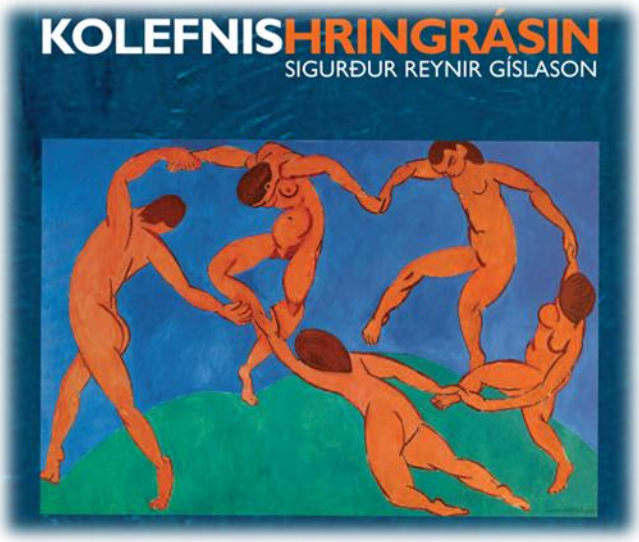
Bók mín um kolefnishringrásina kom út í desember síðastliðnum á vegum Hins íslenska bókmenntafélags. Ritstjóri var Trausti Jónsson veðurfræðingur. Kápu bókarinnar prýðir einhver frægasti hringdans listasögunnar, málaður af franska listmálaranum Henri Matisse í byrjun síðustu aldar. Hraðinn í dansinum er orðinn svo mikill að farið er að strekkjast á handleggjum dansaranna og er einn þeirra við það að losna úr keðjunni. Þetta er táknræn lýsing á kolefnishringrás jarðarinnar. Eftir meira en 100.000 ára dvöl mannsins á jörðinni hefur hann hraðað hluta hringrásarinnar svo mikið, með landnotkun og bruna lífrænna orkugjafa, að farið er að „strekkjast á handleggjunum“. Hröðunin hefur verið mest síðastliðin 50 ár. Styrkur koltvíoxíðs í andrúmslofti er orðinn meiri en hann hefur verið undanfarin 800.000 ár. Loftslag hlýnar vegna gróðurhúsaáhrifa sem koltvíoxíð veldur, úthöfin sýrast og sjávaryfirborð hækkar. Spurningin er einungis hvort hækkun sjávarborðs á þessari öld verður talin í sentimetrum eða metrum.

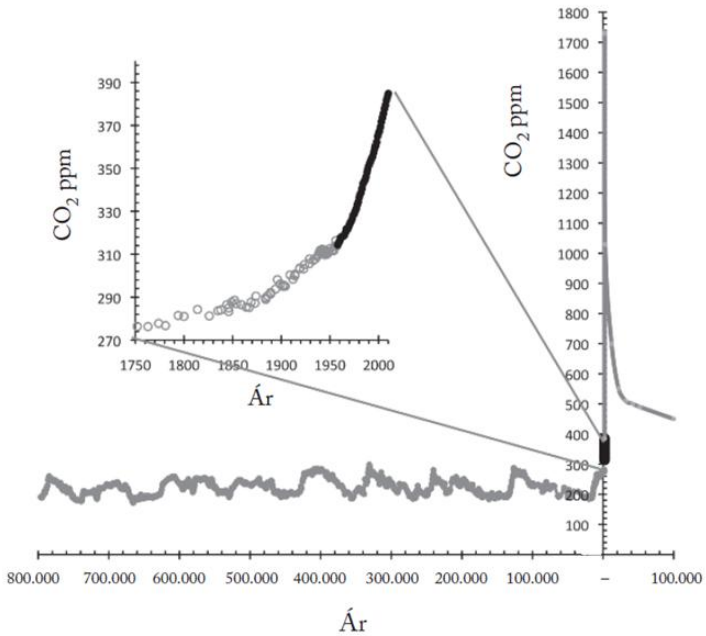
Jarðarbúar eru nú sjö þúsund milljónir. Um helmingur þeirra býr í borgum og margar borganna eru við sjávarsíðuna. Þessir sjö milljarðar manna nota tæplega 40% þurrlendis jarðar, sem ekki er hulið jökli, til búsetu og ræktunar, og búast má við að fólksfjöldinn verði kominn upp í níu milljarða um miðja þessa öld. Ef loftslags- og sjávarborðsbreytingar leiða til þess að stór hluti þessara níu milljarða þurfi að færa sig um set og breyta um orkugjafa getur það valið glundroða, svo ekki sé meira sagt. Eins metra hækkun sjávarborðs hefur bein áhrif á 100 milljónir manna og sex metra hækkun myndi setja um 400 milljónir manna á vergang. Flest bendir til þess veðurfar breytist með þeim afleiðingum að þurru svæðin á jörðinni verði þurrari og röku svæðin rakari, og að aftakaveður og flóð verði algengari.

Orkan og koltvíoxíðið, sem losnar við bruna lífrænna orkugjafa eins og kola og olíu, bast í plöntur fyrir milljónum ára. Þessi orka, sem upprunalega var sólarorka, hefur varðveist í jarðlögum í um 200 milljónir ára að meðaltali. Miðað við bruna þessara orkugjafa undanfarin ár verða þeir uppurnir á innan við 500 árum, og ef ekkert verður gert til þess að binda koltvíoxíðið verður styrkur þess í andrúmslofti hátt í 2000 milljónustu hlutar (ppm) þegar hann verður mestur (Mynd 13-1). Fyrir iðnbyltingu um miðja átjándu öld var styrkurinn um 280 ppm og hafði sveiflast milli hlýskeiða og kuldaskeiða síðustu 800.000 árin, frá um 280 ppm niður í um 180 ppm. Árið 2010 var ársmeðalstyrkur koltvíoxíðs í andrúmslofti kominn í 390 ppm og fer ört vaxandi. Megnið af koltvíoxíðinu er upprunnið úr jarðlögum og það er mögulegt að koma því þangað aftur eftir bruna lífrænu orkugjafanna, þar sem það getur varðveist í árþúsundir. Á þennan hátt er talið að unnt sé að binda í jarðlögum um helming þess koltvíoxíðs sem losna mun við bruna lífrænna orkugjafa í framtíðinni. Það tekur hins vegar tíma og kostar peninga að þróa aðferðir til þessa, og það verður ekki gert af alvöru nema alþjóðlegir samningar skuldbindi þjóðir heims til að takmarka losun koltvíoxíðs.

Hringrás kolefnis er flókin, og helsti áhrifavaldurinn í hringrásinni, koltvíoxíð, er ósýnilegur og lyktarlaus. Vestræn iðnríki hafa losað mest af koltvíoxíðinu til andrúmslofts allt frá iðnbyltingu um 1750, en vöxturinn í losuninni er nú mestur í fyrrverandi þróunarlöndum, eins

og Kína og Indlandi, sem nú iðnvæðast af kappi. Vegna alls þessa er erfitt að taka á vandanum og hætt er við að það verði um seinan. Það er því mikilvægt að upplýsa almenning, hvar sem er í heiminum, um kolefnishringrásina. Til þessa hefur vantað bók um kolefnishringrásina á íslensku og er tilgangur þessarar bókar að bæta úr brýnni þörf. Í henni er fyrst sagt frá hringrás kolefnis á jörðinni. Hringrásin er rakin eins og hún er nú og aftur í árdaga jarðarinnar. Hringrás kolefnis á Íslandi eru einnig gerð sérstök skil. Áhrifum mannsins á kolefnishringrásina er lýst og hvernig hægt er að bregðast við þeim. Fyrstu kaflar bókarinnar byggja að hluta á erlendum kennslubókum, en seinni kaflarnir mest á nýjum erlendum og íslenskum rannsóknum.





Mynd 13-1 Styrkur koltvíoxíðs í andrúmslofti 800.000 ár aftur í tíma og 100.000 ár fram á við. Styrkur koltvíoxíðs í andrúmslofti frá iðnbyltingu til ársins 2010 er dreginn út á innfelldu myndinni (Archer 2005; Keeling o.fl. 2012; MacFarling Meure o.fl. 2006; Lüthi o.fl. 2008).

Leysnitilraunir á kristölluðu basalti og plagíóklas við stofuhita og mismunandi pH.

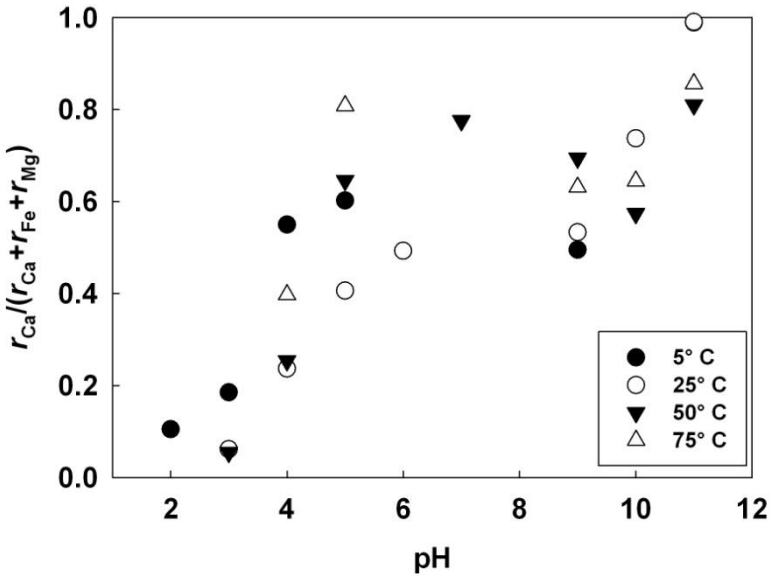
Snorri Guðbrandsson[1,2], Domenik Wolff-Boenisch[1] Sigurður Reynir Gíslason[1] og Eric Hermann Oelkers[2]

[1]Jarðvísindastofnun, University of Iceland, Sturlugata 7, 101 Reykjavik, Iceland (snorgud@hi.is).
[2]GET/CNRS, 14 Avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse, France

Plagíóklas feldspatar eru með algengustu steindum í jarðskorpunni og hafa því mikið vægi í efnaveðrun jarðskorpunnar. Sem ein af aðalsteindum í basalti gegna plagíóklasar lykilhlutverki í framboði á alkalí- og jarðalkalíefnum sem og áli til myndunar á síðsteindum. Þegar basalt veðrast við hátt pH er það svo að plagíóklas leysist ákafast upp af frumsteindum basaltsins og því er kalsíum losun mikil í hlutfalli við aðrar tvíhlaðnar katjónir eins og sjá má á mynd 1[1].

Birtar verða niðurstöður úr leysnihraðatilraunum á 5 plagíóklösum með mismunandi efnasamsetningu sem spanna plagíóklas steindaröðina frá albíti að anortíti. Þessar tilraunir voru framkvæmdar í bland-misflæðishvarfakútum við stofuhita (22 °C±2) við pH frá 2 upp í pH 11. Niðurstöðurnar eru í takt við fyrri niðurstöður [2, 3] og sýna að leysni plagíóklasa við lágt pH (<7) eykst með auknu kalsíum hlut steindarinnar en við basískar aðstæður er ekki að sjá að svo sé. Allir plagíóklasarnir sýna sömu hegðun og albít leysnihraðinn [4], þ.e. U-laga leysnihraðaferil sem fall af sýrustigi. Einnig verða birtar niðurstöður úr leysnihraðatilraunum á basalti sem framkvæmdar voru við hitastig frá 5 °C upp í 75 °C frá pH 2 upp í pH 11. Niðurstöður þeirra sýna að leysniferill kristallaðs basalts sem fall af pH er U-laga leysnihraðaferill líkt og plagíóklasar.

Skilningur á leysnihraða plagíóklasa er mikilvægur fyrir íslenskar aðstæður þar sem pH í veðrunarumhverfinu sveiflast frá pH 2 til pH 11. Í grunnvatni og lághita er pH gildi vatns yfirleitt hátt, 9 - 10,5. Við þær aðstæður leysast plagíóklasar hraðast af frumsteindum basalts. Þá eykst styrkur Na, Ca og Al umfram Fe og Mg sem leiðir til myndunar síðsteinda sem eru með hlutfallslega háan styrk Ca og Na. Algengar síðsteindir í basaltstaflanum sem eru auðugar af Ca, Na og Al eru til dæmis kalsít og seólítarnir stilbít, heulandít, skólesít, analsím, kabasít og thomsónít [5,6].



Mynd 1. Leysnihraði Ca sem hlutfall af leysnihraða tvígildra katjóna úr leysnitilraunum á kristölluðu basalti. Hlutfallslegur leysnihraði Ca eykst með hækkandi pH, sem gefur til kynna aukið vægi plagíóklas í leysni bersins.

Heimildir

[1] Gudbrandsson, *et al.* (2011) *Geochim. Cosmochim. Acta* **75,** 661-669.

[2] Oxburgh, *et al.* (1994) *Geochim. Cosmochim. Acta* **58,** 661-669.

[3] Oelkers & Schott (1995) *Geochim. Cosmochim. Acta* **59,** 5039-5053.

[4] Chou and Wollast (1984) *American Journal of Science* **285,** 963-993.

[5] Neuhoff, P.S. (1999) Thermodynamic properties and paragenesis of rock-forming zeolites. Ph.D. Dissertion, Stanford University.

[6] Fridriksson, et al. (2001) Geological constraints on the thermodynamic properties of the stilbite- - stellerite solid solution in low-grade metabasalts. *Geochim. Cosmochim. Acta* **65,** 3993-4008.

Skriðan í Móafellshyrnu í Fljótum 20. september 2012

Þorsteinn Sæmundsson[1], Jón Kristinn Helgason[2] og Halldór G. Pétursson[3]

[1]Náttúrustofa Norðurlands Vestra, Aðalgötu 2, 550 Sauðárkróki, [2]Veðurstofa Íslands – , Suðurgötu 12, 400 Ísafirði, [3]Náttúrufræðistofnun Íslands, Borgum við Norðurslóð, 600 Akureyri.

Stór aurskriða féll úr Móafellshyrnu í Fljótum þann 20. september 2012 en einmitt um það leyti gekk jarðskjálftahrina yfir Mið norðurland. Mánuðurinn þar á undan hafði verið mjög úrkomusamur og mældist úrkoma á nærliggjandi stöðum um 440 mm frá 20. ágúst til 20. september, en meðalársúrkoma á þessu svæði er um 670 mm.

Upptök skriðunnar voru í um 200 m breiðri skál í norðvestanverðu fjallinu. Skálarbotninn er í um 750 m hæð og fyrir ofan skriðuvænginn í skálinni liggur þverhnípt hamrabelti. Skriðan varð þegar frosinn skriðuvængurinn í skálinni byrjaði að renna eða öllu heldur skriða niður í skálarbotninn og fram af 100 m háu klettabelti. Þaðan féllu stórar blokkir af frosnu efni niður í 160 m háan vatnssósa skriðuvæng í hlíðinni fyrir neðan og komu af stað annarri og mun stærri skriðu. Þar í neðri skriðuvægnum var farvegur skriðunnar í um 100 m breiður og um 10 m djúpur að meðaltali og er talið að um 300.000 til 350.000 m^3 af seti hafi rofist úr hlíðinni.

Jarðskjálftahrina hófst á hafsbotni út af mynni Eyjafjarðar að morgni 19. september með tveimur skjálftum upp á 4 og 4.3 á Richter og í kjölfarið fylgdi fjöldi smærri skjálfta. Klukkan 9 morguninn þann 20. september reið yfir annar skjálfti að stærð 4.2. Um klukkan 12:30 urðu ábúendur á bænum Þrasastöðum í Fljótum varir við mikla skruðninga úr Móafellshyrnu og sáu að aur féll úr norðanverðri skálinni efst í fjallinu. Þessir skruðningar viðhéldust í a.m.k. einn og hálfan klukkutíma og stöðugt jókst skriðuvirknin og varð meira áberandi í sunnaverðri skálinni, þaðan sem stór stykki eða blokkir sáust falla niður í skriðuvænginn í hlíðinni fyrir neðan.

Tilvist og útbreiðsla sífrera hefur nýlega verið kortlögð á Tröllaskaga. Frosin setlög í 750 – 800 m hæð í Mófellshyrnu gefa skýr merki um sífrera í frosnum lausum setlögum á utanverðum skaganum, sem er í góðu samræmi við fyrri athuganir.

Ástæður skriðunnar eru fyrst og fremst taldar hafa verið sambland af óvenjulega mikilli úrkomu mánuðinn áður en skriðan féll og þeirri jarðskjálftavirkni sem varð samdægurs og þann 19. Ekki má þó útiloka að bráðnun sífrera hafi skipt sköpum. Ef litið er á 30 ára meðalhita (1980-2010) sést að þetta tímabil hefur hæstan meðalhita á síðustu öld og að árið 2012 var óvenju hlýtt. Einnig er vert að hafa í huga að sólskinsstundir sumarið 2012 hafa ekki verið fleiri í 80 ár.

Jarðskorpuhreyfingar í kjölfar Ölfusskjálfta 2008

Þóra Árnadóttir[1] Sigrún Hreinsdóttir[1], Karolina Michalczewska[1], Ingvar Þ. Magnússon[2], Benedikt G. Ófeigsson[1,3]

[1]Jarðvísindastofnun Háskólans, Háskóla Íslands, [2] Íslenskar Orkurannsóknir, [3] Veðurstofa Íslands

Þann 29. maí 2008 skóku tveir jarðskjálftar Suðvesturland. Upptök fyrri skjálftans voru undir Ingólfsfjalli og þess seinni um 4 km vestar, í grennd við bæinn Kross í Ölfusi. Reiknilíkön af upptökum skjálftanna, byggð á niðurstöðum landmælinga (GPS og radarbylgjuvíxlmynda), sýna að mesta færslan var hægri-handar sniðgengishreyfing á tveimur misgengjum í stefnu norður-suður. Líkönin gefa vægisstærð um M6 fyrir hvorn atburð. Samfelldar GPS landmælingar á stöðvum með háhraða söfnun benda til að einungis hafi liðið um 3 sekúndur milli meginskjálftanna í maí 2008 og því erfitt að staðsetja upptök seinni skjálftans með hefðbundnum jarðskjálftamælingum.

GPS landmælingar voru framkvæmdar í kjölfar skjálftanna 2008, bæði netmælingar og samfelldar mælingar á nokkrum punktum í 2-3 mánuði. GPS landmælinganetið hefur síðan verið endurmælt árlega til að fylgjast með frekari færslum. Landmælingar á Hengilssvæðinu, gerðar hafa verið af ÍSOR fyrir Orkuveituna, veita einnig mikilvægar upplýsingar um jarðskorpuhreyfingar norðvestan við upptök skjálftanna 2008. Unnið hefur verið úr öllum tiltækum GPS mæligögnum af svæðinu með sama hugbúnaðinum, og hraðasviðið ákvarðað í algildu viðmiðunarkerfi (ITRF2005). Hraðabreytingar sjást á stóru svæði í kjölfar Ölfusskjálftanna og svæðið virðist ennþá vera að jafna sig.

Breytingar á jarðskorpuhreyfingum eftir Suðurlandsskjálftana árið 2000 - þar sem tveir atburðir með vægisstærð M6.5 urðu með rúmlega þriggja daga millibili - virtist að mestu horfin árið 2005. Líkön af hægum hreyfingum í kjölfar Suðurlandsskjálftanna bentu til seigju í neðri hluta skorpu/efri hluta möttuls af stærðargráðunni 10^{19} Pa s en slík jarðlíkön falla ekki vel að mælingum á hreyfingum í kjölfar Ölfusskjálftanna 2008. Skorpan á Hengilssvæðinu virðist vera þynnri, og seigja líklega lægri í neðri hluta skorpunnar, en á Suðurlandi. Ólíklegt er að hraðabreytingar vegna þrýstingsbreytinga í vökva í holum í berginu (poro-elastíska áhrifa) standi yfir í þetta langan tíma (2008-2012) en taka þarf tillit til þess að mikill vökvi er í skorpunni á þessu svæði. Einnig hefur vinnsla jarðhitavökva á Hengissvæðinu valdið jarðskorpuhreyfingum á tímabilinu á stóru svæði norðvestan við upptakasvæði Ölfusskjálftanna.

Vísbendingar um nýlegar sprunguhreyfingar í sprungusveim Tungnafellsjökuls

Þórhildur Björnsdóttir[1,2] og Páll Einarsson[2]

[1]Menntaskólinn á Akureyri, Eyrarlandsvegi 28, 600 Akureyri. [2]Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík

Eldstöðvakerfi Tungnafellsjökuls er staðsett innan Mið-Íslands gosbeltisins, nærri miðju íslenska heita reitsins og þrípunktsins milli Evrasíuflekans, Norður-Ameríkuflekans og Hreppaflekans. Þetta eldstöðvakerfi hefur ekki verið mjög virkt á Nútíma en aðeins tvö hraun má rekja til eldstöðvarinnar, Tunguhraun og hraunið úr Dvergunum svokölluðu. Sprungusveimur eldstöðvakerfisins er tiltölulega stuttur og breiður samanborið við aðra sprungusveima fráreksbelta á landinu, um 40 km að lengd og 20 km breiður. Hann er breiðari en Tungnafellsjökulseldstöðin og liggja sprungurnar því að hluta fram hjá eldstöðinni frekar en að liggja út frá henni.

Jarðskjálftavirkni svæðisins er fremur lítil. Að jafnaði mælast færri en 10 skjálftar á ári með upptök innan kerfisins. Það kom því nokkuð á óvart þegar InSAR-mælingar (ratsjár-víxlunarmælingar) úr gervitunglum sýndu að hreyfingar höfðu orðið á sprungum á 2-3 stöðum innan kerfisins í tengslum við gosið í Gjálp 1996. Gosstöðvarnar voru í um 35 km fjarlægð og í öðru eldstöðvakerfi. Við skoðun á sprungum 2009 og 2010 komu fram vísbendingar um nýlegar hreyfingar innan sprungusveimsins sem gáfu til kynna meiri virkni en áður var talið. Á nokkrum stöðum fundust fersk niðurföll þar sem laust efni á yfirborði hafði hrunið niður í undirliggjandi sprungur. Fersk niðurföll eru annars ekki algeng nema þar sem sprungur hafa gliðnað nýlega. Ummerkin bentu til þess að síðustu hreyfingar hefðu orðið eftir vorleysingar 2010.

Könnun á jarðskjálftagögnum og InSAR-myndum leiðir í ljós þrjár skjálftahrinur eða atburði sem gætu tengst þessum nýlegu hreyfingum. Fyrsti atburðurinn var í október 1996, meðan á Gjálpargosinu stóð, annar var í ágúst 2008 og sá þriðji í nóvember 2009. Þessir atburðir koma fram í aukinni jarðskjálftavirkni á svæðinu, bæði ef litið er til fjölda skjálfta og skjálftavægis. Allir skjálftarnir eru þó litlir. Samanlagt skjálftavægi allra skjálfta á svæðinu samsvarar einum skjálfta af stærðinni 3,4. Vægi sprunguhreyfinganna á sama tímabili samsvarar skjálfta af stærðinni 5,0. Þetta misræmi styður eindregið þá túlkun að sprungufærslurnar tengist kvikuhreyfingum en stafi ekki einvörðungu af tektónískum hreyfingum.

Botnskrið jökla tengt breytileika í framboði vatns á botni.

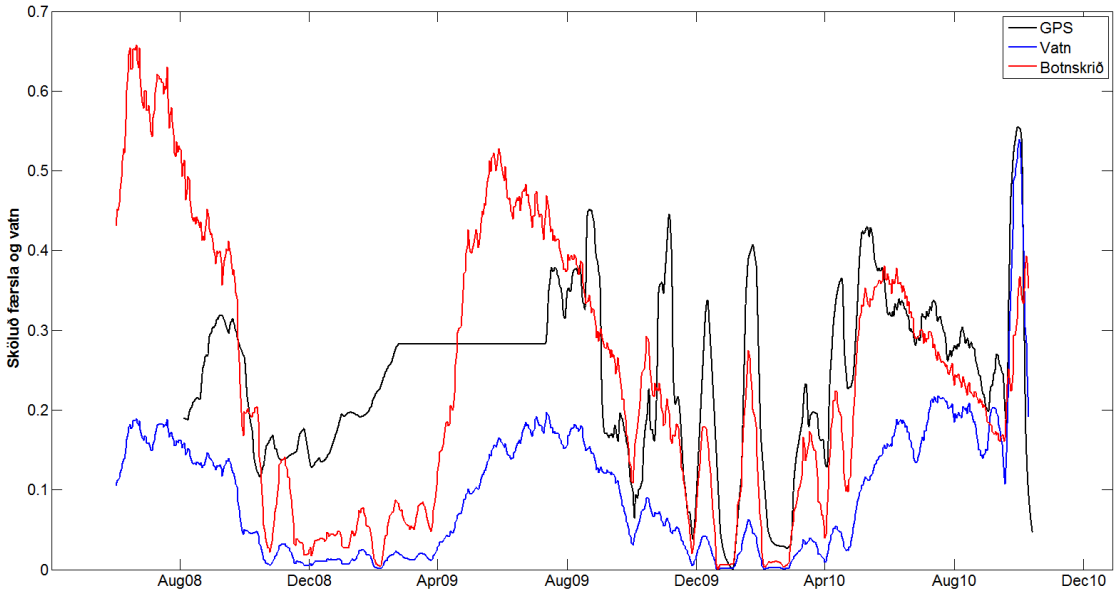
Þröstur Þorsteinsson*, Sverrir Guðmundsson, Eyjólfur Magnússon, Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Helgi Björnsson og Finnur Pálsson

Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands, Öskju, Sturlugötu 7, *Umhverfis- og auðlindafræði, Háskóla Íslands

Botnskrið jökla er háð flóknu samspili dreifingar vatns á milli mismunandi hluta vatnskerfa við botn. Erfitt er að gera mælingar á vatnskerfum jökla og oftast er því um borholumælingar á vatnsþrýstingi að ræða. Slíkar mælingar hafa sýnt að mikill breytileiki getur verið bæði í tíma og rúmi. Fyrir vikið er botnskrið í raun ekki reiknað í stórum líkönum af viðbrögðum jökla og ísbreiða, heldur ísinn látinn hreyfast hraðar þannig að passi við mælingar.

Hér setjum við fram þá tilgátu að botnskrið jökla sé að mestu háð breytileika í framboði vatns. Ýmsar ástæður eru fyrir þessari tilgátu, sírennsli hefur veruleg áhrif til minnkunar á botnskriði, vatnskerfið á botni getur aðlagað sig að reglulegu framboði vatns að sumri þannig að botnskrið minnkar, en frávik, meira vatn en áður, valda auknu botnskriði.

Orkuskipti við yfirborð, reiknuð með gögnum frá sjálfvirkum veðurstöðvum á jökli, voru notuð til að reikna framboð vatns (jöklahópur Jarðvísindastofnunar Háskólans) og botnskrið með þessari nýju aðferð. Þannig er botnskrið reiknað með framboð vatns sem breytu. Reiknað botnskrið er síðan borið saman við mælingar á færslu yfirborðs (GPS-mælingar). Þessi aðferð gefur nokkuð góða raun fyrir Breiðamerkurjökul (1.mynd), en enn þarf að þróa hana til að hægt sé að beita henni almennt.



Mynd 1. Mæld færsla (GPS (m/d); svört lína), vatn (mm/klst; blá lína) og reiknað botnskrið (rauð lína) fyrir Breiðamerkurjökul.