



**Vorráðstefna  
Jarðfræðafélags Íslands**

**Ágrip erinda og veggspjalda**

Haldin í Öskju  
Náttúrufræðahúsi Háskóla Íslands,  
30. mars 2012

Umsjón:

Þorsteinn Sæmundsson, Ívar Örn Benediktsson  
og Theódóra Matthíasdóttir



## Dagskrá Vorráðstefnu JFÍ, 30. mars 2012

### Erindi

08:15 – 09:00 Skráning

**Fundarstjóri Þorsteinn Sæmundsson**

09:00 – 09:05 Setning

*Þorsteinn Sæmundsson*

09:05 – 09:20 Grímsvatnagosið 2011

*Magnús Tumi Guðmundsson, Ármann Höskuldsson, Guðrún Larsen, Þorvaldur Þórðarson, Bergrún Arna Óladóttir, Björn Oddsson, Jónas Guðnason, Þórdís Högnadóttir, John A. Stevenson, Bruce Houghton, Dave McGarvie og Guðmunda María Sigurðardóttir*

09:20 – 09:35 Öskjumyndun í Brekkufjalli í Skarðsheiði

*Hjalti Franzson*

09:35 – 09:50 Increased strain rate in the Hengill area since 2008

*Þóra Árnadóttir, Sigrún Hreinsdóttir, Karolina Michalczevska, Ingvar Th. Magnússon, Martin Hensch, Benedikt G. Ófeigsson, Halldór Geirsson*

09:50 – 10:05 Intrusive activity beneath Eyjafjallajökull: Moment- and Stress-Tensor-Inversion of volcanic earthquakes to constrain driving forces of the 2010 eruption

*Martin Hensch, Bryndís Brandsdóttir, Þóra Árnadóttir, Björn Lund, Simone Cesca*

10:05 – 10:20 EPOS og NERA: Netverk rannsóknainnviða í jarðvísindum

*Kristín S. Vogfjörð, Freysteinn Sigmundsson, Benedikt Halldórsson og Guðmundur Valsson*

**10:20 – 10:45 Kaffi og veggspjaldasýning**

**Fundarstjóri Lúðvík Eckardt Gústafsson**

10:45 – 11:00 Áhrif loftslagsbreytinga á 21. öld á endurnýjanlega orkugjafa á Norðurlöndum og í Eystrasaltlöndum

*Þorsteinn Þorsteinsson, Árni Snorrason, Alvina Reihan, Bergur Einarsson, Birger Mo, Deborah Lawrence, Erik Kjellström, Halldór Björnsson, Jari Schabel, Jórunn Harðardóttir, Jurate Kriauciuniene, Niels-Erik Clausen, Óli G.B. Sveinsson, Philippe Crochet, Seppo Kellomaki, Sten Bergström, Tatjana Kolcova og Tómas Jóhannesson*

11:00 – 11:15 Tektónísk þróun Reykjaneshryggjarins síðustu 15 milljón ár

*Ásdís Benediktsdóttir, Richard Hey, Fernando Martinez, Ármann Höskuldsson*

11:15 – 11:30 Áhrif veðurfars á dreifingu brennisteinsvetnis frá jarðhitavirkjunum

*Þröstur Þorsteinsson*

11:30 – 11:45 Skjálftavirkni á Hellisheiði og Nesjavöllum í tengslum við boranir og niðurdælingar í borholur

*Steinunn S. Jakobsdóttir og Gunnar B. Guðmundsson*

11:45 – 12:00 Landrekskenningin 100 ára

*Árni Hjartarson*

**12:00 – 13:00 Matur og veggspjaldasýning**

**Fundarstjóri Ívar Örn Benediktsson**

- 13:00 – 13:15 Crustal deformation in the Krísuvík area  
*Karolina Michalczevska, Sigrún Hreinsdóttir, Þóra Árnadóttir, Sigurlaug Hjaltadóttir, Þorbjörg Ágústsdóttir, Halldór Geirsson*
- 13:15 – 13:30 Hörfun jökla af Fljótsdalshéraði og úr Fljótsdal á Austurlandi – aðdragandi og upphaf myndunar Lagarins –  
*Hreggviður Norðdahl og Ólafur Ingólfsson*
- 13:30 – 13:45 Grjóthrun í Drangey að fornu og nýju  
*Þorsteinn Sæmundsson og Halldór G. Pétursson*
- 13:45 – 14:00 Leirsteindir úr íslenskum skriðuföllum  
*Hrefna Kristmannsdóttir, Halldór G. Pétursson og Jón Kristinn Helgason*
- 14:15 – 14:30 Aldur Núpahrauns í Vestur-Skaftafellssýslu  
*Ármann Höskuldsson, Guðrún Larsen, Bergrún Óladóttir og Olgeir Sigmarsson*
- 14:30 – 14:45 Crustal deformation at Grímvötn volcano: Constraints on magma flow in relation to eruptions of 1998, 2004 and 2011, and location of a shallow magma chamber  
*Freysteinn Sigmundsson, Sigrún Hreinsdóttir, Erik C Sturkell, Matthew J Roberts, Ronni Grapenthin, Halldór Geirsson, Benedikt Gunnar Ófeigsson, Páll Einarsson, Thierry Villemin, Þóra Árnadóttir, Halldór Björnsson, Þórður Arason, Jósef Hólmjárn, Finnur Pálsson, Gunnar Guðmundsson, Richard A Bennett, Björn Oddsson, Magnús Tumi Guðmundsson, Helgi Björnsson*
- 14:45 – 15:00 Súrefnis- og vetnissamsætur í andrúmslofti á N-Atlantshafi  
*Árný E. Sveinbjörnsdóttir*

**15:00 – 15:30 Kaffi og veggspjaldasýning**

**Fundarstjóri Björn Harðarson**

- 15:30 – 15:45 Grunnvatnsrannsóknir í Kelduhverfi og Öxarfirði  
*Hrefna Kristmannsdóttir og Árný Erla Sveinbjörnsdóttir*
- 15:45 – 16:00 Toward understanding the eruption of voluminous transitional alkaline olivine basalts in the Neogene realm of eastern Iceland: The Hólmar and Grjótá lava groups  
*Birgir V. Óskarsson og Morten S. Riishuus*
- 16:00 – 16:15 High resolution surface deformation measurements in Iceland's Northern Volcanic Zone: Unravelling multiple deformation sources using InSAR and GPS  
*Karsten Spaans, Freysteinn Sigmundsson, Sigrún Hreinsdóttir, Benedikt G. Ófeigsson*
- 16:15 – 16:30 Landmótunarkort af framlandi Eyjabakkajökuls – laus jarðlög og landform  
*Ívar Örn Benediktsson og Anders Schomacker*
- 16:30 – 16:45 The ice cap of Öræfajökull volcano, S-Iceland, surveyed with radio echo sounding and LiDAR  
*Eyjólfur Magnússon, Finnur Pálsson og Helgi Björnsson*
- 16:45 – 17:00 Jarðhitarannsóknir á Corbetti svæðinu í Epíopíu  
*Hjálmar Eysteinnsson, Gestur Gíslason, Vigdís Harðardóttir*

**17:00 - Móttaka í boði Jarðfræðafélags Íslands**

## Veggspjöld

Breytingar á landslagi sjávarbotns í Hvalfirði 1940-2010, vegna efnistöku af botninum

*Árni Þór Vésteinsson, Björn Haukur Pálsson, Niels Bjarki Finsen, Sigríður Ragna Sverrisdóttir og Bryndís G. Róbertsdóttir*

Fjölgeislamælingar í Kollafirði 2002 og endurmæling 2012: grunnur að samanburði á efnistökusvæðum á sjávarbotni

*Árni Þór Vésteinsson, Björn Haukur Pálsson, Niels Bjarki Finsen, Sigríður Ragna Sverrisdóttir og Bryndís G. Róbertsdóttir*

Mapping the vertical offsets of faults within the Western Volcanic Zone, SW Iceland

*Ásta Rut Hjartardóttir, Páll Einarsson, Þórhildur Björnsdóttir, Sigríður Magnúsdóttir, Snæbjörn Guðmundsson, Amandine Auriac, and students of Current Crustal Movements in the Faculty of Earth Sciences, University of Iceland 2011*

Rannsóknir og vinnsla á magnetítrikum sandi á Nýja Sjálandi

*Bryndís G. Róbertsdóttir*

Leyfi til rannsókna á magnetíti á sjávarbotni við Ísland

*Bryndís G. Róbertsdóttir, Árni Þór Vésteinsson og Skúli Thoroddsen*

Landvistkerfisbreytingar í Mosfellsdal raktar með greiningum á frjókornum og jarðvegi

*Egill Erlendsson, Guðrún Gísladóttir, Kevin J. Edwards, Rattan Lal*

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

*Friðþór Sófus Sigurmundsson, Guðrún Gísladóttir, Egill Erlendsson, Hreinn Óskarsson*

Jarðvegur í Borgarfirði sýnir landhnignun af völdum landnotkunar

*Guðrún Gísladóttir, Egill Erlendsson, Rattan Lal*

Jarðskjálftar á Íslandi 2011

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

GPS mælingar á sprungusveimi Þingvalla

*Hanna Sumarliðadóttir, Sigrún Hreinsdóttir, Páll Einarsson, Karolina Michalczywska, Erik Sturkell, Pete LaFemina, Þóra Árnadóttir*

Jarðлагаfræði, <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar aldursgreiningar og rofsaga Svínafells, Suðausturlandi

*Jóhann Helgason og Robert A. Duncan*

Berghlaup við Morsárjökul ásamt skriðhraða og breytingum á þykkt jökulsins

*Jón Viðar Sigurðsson*

Gosrásarferlar í magmatískum sprengigosum, Hekla 1300, 1845 og 1991

*Jónas Guðnason, Þorvaldur Þórðarson, Ármann Höskuldsson*

Jarðvegsmýndun við Skaftafellsjökul frá lokum Litlu-ísaldar

*Olga Kolbrún Vilmundardóttir, Guðrún Gísladóttir, Rattan Lal*

Physical properties of marine aggregates in the vicinity of Reykjavik, Iceland

*Pétur Pétursson, Margrét I. Kjartansdóttir, Erla María Hauksdóttir, Kristinn Lind Guðmundsson, Bryndís G. Róbertsdóttir, Hreggviður Norðdahl, Gunnar Bjarnason and Óskar Örn Jónsson*

Skjálfandadjúp

*Sigríður Magnúsdóttir, Bryndís Brandsdóttir*

Gróðurfarspróun á Norðurlandi á nútíma

*Sigrún Dögg Eddudóttir, Guðrún Gísladóttir, Egill Erlendsson*

Rýrnun Kotárjökuls frá lokum Litlu Ísaldar

*Snævarr Guðmundsson, Hrafnhildur Hannesdóttir, Helgi Björnsson*

Mass balance and volume changes of Eyjafjallajökull ice cap, from 1984 to 2010, deduced by multi-temporal elevation maps

*Sverrir Guðmundsson, Eyjólfur Magnússon, Helgi Björnsson, Finnur Pálsson, Tómas Jóhannesson, Etienne Berthier*



## Efnisyfirlit

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Dagskrá Vorráðstefnu JFÍ, 30. mars 2012</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | <b>i</b>  |
| <b>Erindi</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <b>i</b>  |
| <b>Efnisyfirlit</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>v</b>  |
| <b>Ágrip erinda</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>1</b>  |
| <b>Landrekskenningin 100 ára</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>3</b>  |
| <i>Árni Hjartarson</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |           |
| <b>Breytingar á landslagi sjávarbotns í Hvalfirði 1940-2010, vegna efnistöku af botninum</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>5</b>  |
| <i>Árni Þór Vésteinsson, Björn Haukur Pálsson, Niels Bjarki Finsen, Sigríður Ragna Sverrisdóttir og Bryndís G. Róbertsdóttir</i>                                                                                                                                                                                                                                            |           |
| <b>Fjölgeislaælingar í Kollafirði 2002 og endurmæling 2012: grunnur að samanburði á efnistökusvæðum á sjávarbotni</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                 | <b>6</b>  |
| <i>Árni Þór Vésteinsson, Björn Haukur Pálsson, Niels Bjarki Finsen, Sigríður Ragna Sverrisdóttir og Bryndís G. Róbertsdóttir</i>                                                                                                                                                                                                                                            |           |
| <b>Súrefnis- og vetnissamsætur í andrúmslofti á N-Atlantshafi</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>7</b>  |
| <i>Árný E. Sveinbjörnsdóttir</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |           |
| <b>Aldur Núpahrauns í Vestur-Skaftafellssýslu.</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>9</b>  |
| <i>Ármann Höskuldsson, Guðrún Larsen, Bergrún Óladóttir og Olgeir Sigmarsson</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                            |           |
| <b>Tektónísk þróun Reykjaneshryggjarins síðustu 15 milljón ár.</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>12</b> |
| <i>Ásdís Benediktsdóttir, Richard Hey, Fernando Martinez, Ármann Höskuldsson</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                            |           |
| <b>Mapping the vertical offsets of faults within the Western Volcanic Zone, SW Iceland</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                            | <b>14</b> |
| <i>Ásta Rut Hjartardóttir, Páll Einarsson, Þórhildur Björnsdóttir, Sigríður Magnúsdóttir, Snæbjörn Guðmundsson, Amandine Auriac, and students of Current Crustal Movements in the Faculty of Earth Sciences, University of Iceland 2011</i>                                                                                                                                 |           |
| <b>Toward understanding the eruption of voluminous transitional alkaline olivine basalts in the Neogene realm of eastern Iceland: The Hólmar and Grjóta lava groups</b> .....                                                                                                                                                                                               | <b>16</b> |
| <i>Birgir V. Óskarsson and Morten S. Riisshuus</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |           |
| <b>Rannsóknir og vinnsla á magnetítríkum sandi á Nýja Sjálandi</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | <b>18</b> |
| <i>Bryndís G. Róbertsdóttir</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |           |
| <b>Leyfi til rannsókna á magnetíti á sjávarbotni við Ísland</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>21</b> |
| <i>Bryndís G. Róbertsdóttir, Árni Þór Vésteinsson og Skúli Thoroddsen</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |           |
| <b>Landvistkerfisbreytingar í Mosfellsdal raktar með greiningum á frjókornum og jarðvegi</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                          | <b>24</b> |
| <i>Egill Erlendsson, Guðrún Gísladóttir, Kevin J. Edwards, Rattan Lal</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |           |
| <b>The ice cap of Örafajökull volcano, S-Iceland, surveyed with radio echo sounding and LiDAR</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                     | <b>26</b> |
| <i>Eyjólfur Magnússon, Finnur Pálsson and Helgi Björnsson</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |           |
| <b>Crustal deformation at Grímvötn volcano: Constraints on magma flow in relation to eruptions of 1998, 2004 and 2011, and location of a shallow magma chamber</b> .....                                                                                                                                                                                                    | <b>27</b> |
| <i>Freysteinn Sigmundsson, Sigrún Hreinsdóttir, Erik C Sturkell, Matthew J Roberts, Ronni Grapenthin, Halldór Geirsson, Benedikt Gunnar Ofeigsson, Páll Einarsson, Thierry Villemain, Þóra Árnadóttir, Halldór Björnsson, Þórður Arason, Jósef Hólmjárn, Finnur Pálsson, Gunnar Guðmundsson, Richard A Bennett, Björn Oddsson, Magnús Tumi Guðmundsson, Helgi Björnsson</i> |           |
| <b>Kol og kjarnviður í Þjórsárdal: Hnignun kjarr- og skóglendis í Þjórsárdal 1587-1938 og ástæður þess.</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                           | <b>29</b> |
| <i>Friðþór Sófus Sigurmundsson, Guðrún Gísladóttir, Egill Erlendsson, Hreinn Óskarsson</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                  |           |
| <b>Jarðvegur í Borgarfirði sýnir landhnignun af völdum landnotkunar</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                               | <b>31</b> |
| <i>Guðrún Gísladóttir, Egill Erlendsson, Rattan Lal</i>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |           |
| <b>Jarðskjálftar á Íslandi 2011</b> .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | <b>32</b> |

Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands  
30. mars 2012

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

|                                                                                                                                                                                                                                                      |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>GPS mælingar á sprungusveimi Þingvalla .....</b>                                                                                                                                                                                                  | <b>34</b> |
| <i>Hanna Sumarliðadóttir Sigrún Hreinsdóttir, Páll Einarsson, Karolina Michalczevska, Erik Sturkell, Pete LaFemina, Þóra Árnadóttir</i>                                                                                                              |           |
| <b>Öskjumyndun í Brekkufjalli í Skarðsheiði.....</b>                                                                                                                                                                                                 | <b>36</b> |
| <i>Hjalti Franzson</i>                                                                                                                                                                                                                               |           |
| <b>Jarðhitarannsóknir á Corbetti svæðinu í Eþíópíu.....</b>                                                                                                                                                                                          | <b>38</b> |
| <i>Hjálmar Eysteinnsson, Gestur Gíslason, Vigdís Harðardóttir</i>                                                                                                                                                                                    |           |
| <b>Grunnvatnsrannsóknir í Kelduhverfi og Öxarfirði.....</b>                                                                                                                                                                                          | <b>39</b> |
| <i>Hrefna Kristmannsdóttir og Árný Erla Sveinbjörnsdóttir</i>                                                                                                                                                                                        |           |
| <b>Leirsteindir úr íslenskum skriðuföllum .....</b>                                                                                                                                                                                                  | <b>42</b> |
| <i>Hrefna Kristmannsdóttir, Halldór G. Pétursson og Jón Kristinn Helgason</i>                                                                                                                                                                        |           |
| <b>Hörfun jökla af Fljótsdalshéraði og úr Fljótsdal á Austurlandi – aðdragandi og upphaf myndunar Lagarins –.....</b>                                                                                                                                | <b>44</b> |
| <i>Hreggviður Norðdahl og Ólafur Ingólfsson</i>                                                                                                                                                                                                      |           |
| <b>Landmótunarkort af framlandi Eyjabakkajökuls – laus jarðlög og landform .....</b>                                                                                                                                                                 | <b>46</b> |
| <i>Ívar Örn Benediktsson og Anders Schomacker</i>                                                                                                                                                                                                    |           |
| <b>Jarðлагаfræði, <sup>40</sup>Ar-<sup>39</sup>Ar aldursgreiningar og rofsaga Svínafells, Suðausturlandi .....</b>                                                                                                                                   | <b>47</b> |
| <i>Jóhann Helgason og Robert A. Duncan</i>                                                                                                                                                                                                           |           |
| <b>Berghlaup við Morsárjökul ásamt skriðhraða og breytingum á þykkt jökulsins .....</b>                                                                                                                                                              | <b>48</b> |
| <i>Jón Viðar Sigurðsson</i>                                                                                                                                                                                                                          |           |
| <b>Gosrásarferlar í magmatískum sprengigosum, Hekla 1300, 1845 og 1991. ....</b>                                                                                                                                                                     | <b>50</b> |
| <i>Jónas Guðnason, Þorvaldur Þórðarson, Ármann Höskuldsson</i>                                                                                                                                                                                       |           |
| <b>Crustal deformation in the Krísuvík area .....</b>                                                                                                                                                                                                | <b>51</b> |
| <i>Karolina Michalczevska, Sigrún Hreinsdóttir, Þóra Árnadóttir, Sigurlaug Hjaltadóttir, Þorbjörg Ágústs dóttir, Halldór Geirsson</i>                                                                                                                |           |
| <b>High resolution surface deformation measurements in Iceland's Northern Volcanic Zone: Unravelling multiple deformation sources using InSAR and GPS .....</b>                                                                                      | <b>52</b> |
| <i>Karsten Spaans, Freysteinn Sigmundsson, Sigrún Hreinsdóttir, Benedikt G. Ófeigsson</i>                                                                                                                                                            |           |
| <b>EPOS og NERA: Netverk rannsóknainnviða í jarðvísindum.....</b>                                                                                                                                                                                    | <b>54</b> |
| <i>Kristín S. Vogfjörð, Freysteinn Sigmundsson, Benedikt Halldórsson og Guðmundur Valsson</i>                                                                                                                                                        |           |
| <b>Grímsvatnagosið 2011 .....</b>                                                                                                                                                                                                                    | <b>56</b> |
| <i>Magnús Tumi Guðmundsson, Ármann Höskuldsson, Guðrún Larsen, Þorvaldur Þórðarson, Bergrún Arna Óladóttir, Björn Oddsson, Jónas Guðnason, Þórdís Högnadóttir, John A. Stevenson, Bruce Houghton, Dave McGarvie og Guðmunda María Sigurdardóttir</i> |           |
| <b>Intrusive activity beneath Eyjafjallajökull: Moment- and Stress-Tensor-Inversion of volcanic earthquakes to constrain driving forces of the 2010 eruption .....</b>                                                                               | <b>57</b> |
| <i>Martin Hensch, Bryndís Brandsdóttir, Þóra Árnadóttir, Björn Lund, Simone Cesca</i>                                                                                                                                                                |           |
| <b>Jarðvegsmyndun við Skaftafellsjökul frá lokum Litlu-Ísaldar .....</b>                                                                                                                                                                             | <b>58</b> |
| <i>Olga Kolbrún Vilmundardóttir, Guðrún Gísladóttir, Rattan Lal</i>                                                                                                                                                                                  |           |
| <b>Physical properties of marine aggregates in the vicinity of Reykjavik, Iceland.....</b>                                                                                                                                                           | <b>60</b> |
| <i>Pétur Pétursson, Margrét I. Kjartansdóttir, Erla María Hauksdóttir, Kristinn Lind Guðmundsson, Bryndís G. Róbertsdóttir, Hreggviður Norðdahl, Gunnar Bjarnason and Óskar Örn Jónsson</i>                                                          |           |
| <b>Skjálfandadjúp .....</b>                                                                                                                                                                                                                          | <b>62</b> |
| <i>Sigríður Magnúsdóttir, Bryndís Brandsdóttir</i>                                                                                                                                                                                                   |           |
| <b>Gróðurfarspróun á Norðurlandi á nútíma .....</b>                                                                                                                                                                                                  | <b>63</b> |



Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands  
30. mars 2012

*Sigrún Dögg Eddudóttir, Guðrún Gísladóttir, Egill Erlendsson*

|                                                                       |           |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Rýrnun Kotárjökuls frá lokum Litlu ísaldar .....</b>               | <b>65</b> |
| <i>Snævarr Guðmundsson, Hrafnhildur Hannesdóttir, Helgi Björnsson</i> |           |

|                                                                                                             |           |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Skjálftavirkni á Hellisheiði og Nesjavöllum í tengslum við boranir og niðurdælingar í borholur .....</b> | <b>66</b> |
| <i>Steinunn S. Jakobsdóttir og Gunnar B. Guðmundsson</i>                                                    |           |

|                                                                                                                                      |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Mass balance and volume changes of Eyjafjallajökull ice cap, from 1984 to 2010, deduced by multi-temporal elevation maps.....</b> | <b>67</b> |
| <i>Sverrir Guðmundsson, Eyjólfur Magnússon, Helgi Björnsson, Finnur Pálsson, Tómas Jóhannesson, Etienne Berthier</i>                 |           |

|                                                     |           |
|-----------------------------------------------------|-----------|
| <b>Grjóthrun í Drangey að fornu og nýju .....</b>   | <b>68</b> |
| <i>Þorsteinn Sæmundsson og Halldór G. Pétursson</i> |           |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |           |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Áhrif loftslagsbreytinga á 21. öld á endurnýjanlega orkugjafa á Norðurlöndum og í Eystrasaltlöndum .....</b>                                                                                                                                                                                                                          | <b>70</b> |
| <i>Þorsteinn Þorsteinsson, Árni Snorrason, Alvina Reihan, Bergur Einarsson, Birger Mo, Deborah Lawrence, Erik Kjellström, Halldór Björnsson, Jari Schabel, Jörunn Harðardóttir, Jurate Kriauciuniene Niels-Erik Clausen, Óli G.B. Sveinsson, Philippe Crochet, Seppo Kellomaki, Sten Bergström, Tatjana Kolcova og Tómas Jóhannesson</i> |           |

|                                                                                                                                                   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Increased strain rate in the Hengill area since 2008 .....</b>                                                                                 | <b>72</b> |
| <i>Þóra Árnadóttir, Sigrún Hreinsdóttir, Karolina Michalczevska, Ingvar Th. Magnússon, Martin Hensch, Benedikt G. Ófeigsson, Halldór Geirsson</i> |           |

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Áhrif veðurfars á dreifingu brennisteinsvetnis frá jarðhitavirkjunum .....</b> | <b>73</b> |
| <i>Þröstur Þorsteinsson</i>                                                       |           |

Tilvitnun í ritið:

Árni Hjartarson 2012: Landrekskenningin 100 ára. Vorráðstefna JFÍ, 30. mars 2012. Ágrip  
erinda og veggspjalda. Jarðfræðafélag Íslands, bls. 3.

# Ágrip erinda



## Landrekskenningin 100 ára

Árni Hjartarson

Íslenskar orkurannsóknir (ÍSOR), Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

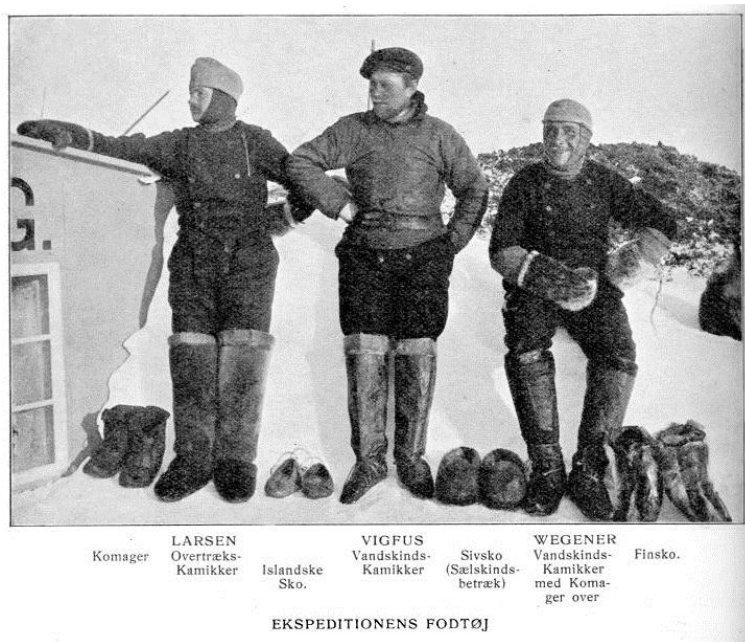
Árið 1912 var tíðindasamt. Roald Amundsen og menn hans snéru sigurreifir heim frá Suður-skautinu en keppinautar þeirra, Robert Falcon Scott og félagar hans urðu allir úti. Titanic sigldi á ísjaka og hvarf í hafið með 1500 manns, Friðrik 8. konungur Íslands og Danmerkur dó, Sigurður Þórarinnsson fæddist og ólympíuleikar voru haldnir í Stokkhólmi. Merkustu tíðindin voru samt þau að þetta ár varð landrekskenningin til en hvorki annálaritarar né fréttamenn veittu því athygli.

Alfred Wegener setti hugmyndir sína um rek meginlandanna fyrst fram í fyrirlestri hjá Jarðfræðafélaginu í Frankfurt am Main þann 6. janúar 1912. Fyrirlesturinn hét: Die Herausbildung der Grossformen der Erdrinde (Kontinente und Ozeane), auf geophysikalischer Grundlage – *Jarðeðlisfræðilegar ástæður fyrir hinum stóru landslagsdráttum í jarðskorpunni (meginlöndum og úthöfum)*. Wegener taldi að við upphaf miðlífsaldar hefðu allar álfur jarðar verið sameinaðar í einu risameginlandi sem hann kallaði Frumálfu (Urkontinent). Á miðlífsöld fór meginlandið mikla að liðast í sundur og brotna upp í allmarga meginlandsfleka er tók að reka hver frá öðrum og hver innan um annan, einkum þó er kom fram á nýlífsöld og Wegener taldi víst að landrekið væri enn í gangi. Hann var reyndar ekki sá fyrsti sem benti á hugsanlegt rek meginlanda, hugmyndir um slíkt höfðu komið upp fyrr, en Wegener setti þær fram miklu skipulegar en áður og studdi þær fjölmörgum nýjum rökum og miklum sannfæringarkrafti þannig að um heilsteypa kenningu var að ræða. Rökin sótti hann jafnt í landfræði, jarðfræði, jarðeðlisfræði, steingervingafræði og veðurfræði. Þekktustu rökin eru auðvitað sú landfræðilega staðreynd að strendur Norður- og Suður-Ameríku falla ótrúlega vel að ströndum Evrópu og Afríku handan Atlandshafsins. Ísland kemur ekki mikið við sögu í landrekskenningu Wegeners. Hann minnst að vísu á það í framhjáhlaupi í fyrirlestrinum fræga 1912 og getur þess nokkrum sinnum í bókinni Uppruni meginlanda og hafa. Á þessum tíma litu menn ekki á landið sem hluta af Miðatlantshafshryggnum heldur var það álitid fljóta á meginlandsfleka sem grafinn væri undir þykkum gosmyndunum. Wegener setti eldvirknina á landinu ekki í samband við landrek. Útreikningar hans á innbyrðis reki ýmissa landsvæða bentu til að það væri óvíða meira en á milli Íslands og Noregs og að þar væri tilfærslan á bilinu 9-18 m á ári.

Kenningin fékk blendnar viðtökur strax í upphafi en birtist þó í tímaritunum Petermanns Geographische Mitteilungen og í styttra formi í Geologische Rundschau strax árið 1912 undir nafninu *Die Entstehung der Kontinente*. Wegener fylgdi hugmyndum sínum ekkert eftir til að byrja með því hann var önnur kafinn við að undirbúa mikinn leiðangur til Íslands og Grænlands með Dananum Johan P. Koch. Þeir félagar komu síðan til Akureyrar um miðjan júní við þriðja mann. Á Akureyri beið fjórði leiðangursmaðurinn, Íslendingurinn Vigfús Sigurðsson. Koch fararstjóri var þekktur maður og hafði unnið hérlandis í mörg sumur við landmælingar. Þá kynntist hann íslenska hestinum og þrautseigju hans á ferðalögum. Hann hafði því ákveðið, í samráði við Wegener, að treysta á hesta í þessari erfiðu ferð þvert yfir Grænland. Vigfús hafði útvegað hross víða um Eyjafjörð og allt var nú til reiðu, en áður en áfram skyldi haldið vildi Koch þó reyna hestana og venja féлага sína við hestaferðalög. Því var farið í einskonar æfingarferð um Óðáðahraun og á Vatnajökul. Nokkrir Íslendingar bættust í hópinn. Riðið var yfir Vaðlaheiði, upp Bárðardal, um Suðurárbotna og í Hvannalindir. Þaðan upp á Vatnajökul

og suður yfir hann allt að Þveráartindseggjum. Þar var snúið við en á bakleiðinni komið við í Kverkfjöllum og gengið á þau og síðan var farið um Öskju á leið til byggða.

Ýmsir hafa velt því fyrir sér hvort Wegener hafi ekki komið auga á gliðnunarprungurnar sem víða setja svip sinn á hraunabreiðurnar norðan Vatnajökuls og séð í þeim rökstuðning fyrir landreks hugmyndum sínum. En það gerði hann ekki. Þetta hefur sumum þótt sérkennilegt, t.d. ævisöguritara hans Martin Schwartzbach, einkum í ljósi þess að miklar sprungur í jarðskorpunni voru þýðingarmiklar í röksemdafærslum hans. En Wegener ætlaði Íslandi ekki neina sérstöðu í kenningum sínum og hann var ekki að horfa eftir ummerkjum um gliðnun eða landrek. Hann veitti því sprungum og sprungukerfum Ódádahrauns ekki eftirtekt. Hann var ekki þjálfður jarðfræðingur og því miður kom hann aldrei á Þingvöll þar sem afleiðingar landreks og gliðnunar eru auðsærar og sprungukerfið grópað með skýrum dráttum í yfirborðið. Það var líka eins og hver önnur gráglettni örlaganna að Vigfús Sigurðsson, fylgdarmaður Wegeners um Ódádahraun, var upp alinn á Meiðavöllum í Kelduhverfi þar sem land er allt sundursaxað af sprungum og misgengjum. Á fáum stöðum á jarðarkringlunni mun gliðnun skorpunnar augljósari en einmitt þar. Þegar Wegener kom úr ferðinni um Vatnajökul og Ódádahraun skrifaði hann fræðilega grein um vindsveipi á söndum. Það var því veðurfræðingurinn en ekki jarðfræðingurinn sem var við völd í huga hans þegar hann fór um sprungin og eldbrunnin öræfi Íslands sumarið 1912.



Höfundur landrekskenningarinnar, eskimóastígvél og íslenskir sauðskinnsskór sumarið 1912

## Breytingar á landslagi sjávarbotns í Hvalfirði 1940-2010, vegna efnistöku af botninum

Árni Þór Vésteinsson<sup>1</sup>, Björn Haukur Pálsson<sup>1</sup>, Níels Bjarki Finsen<sup>1</sup>,  
Sigríður Ragna Sverrisdóttir<sup>1</sup> og Bryndís G. Róbertsdóttir<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sjómælingasvið Landhelgisgæslu Íslands, <sup>2</sup>Orkustofnun

Sjómælingasvið Landhelgisgæslu Íslands ber ábyrgð á sjómælingum og sjókortagerð fyrir hafsvæðið umhverfis Ísland. Árið 1991 var sjósettur nýr sjómælingabátur, m/b Baldur. Þetta var fyrsti báturinn, sem smíðaður var fyrir Landhelgisgæslu Íslands, sérhannaður til sjómælinga. Árið 2002 var settur fjölgeislamælir af gerðinni RESON SeaBat 8101 240 kHz um borð í sjómælingabátinn.

Meginverkefni sjómælingasviðsins eru mælingar fyrir sjókortagerð, til að tryggja öryggi í siglingum. Þó kemur fyrir að unnið er að mælingum fyrir aðrar stofnanir. Árið 2010 voru gerðar fjölgeislamælingar fyrir Orkustofnun á efnistökusvæðum í Hvalfirði, ásamt næsta nágrenni þeirra.

Svæðið var mælt af sjómælingasviðinu í júlí 2010. Forritið CARIS HIPS var notað við úrvinnslu mælingagagna og einnig til að gera þrívíddarmyndir af gryfjunum.

Svæðið sem var mælt árið 2010, hafði áður verið mælt af breska flotanum árið 1940, en þá var allur Hvalfjörðurinn og mynni hans mælt. Breska flotamælingin var gerð með eingeislamæli og er talin mjög góð, þ.e. þétt og nákvæm. Ytri hluti fjarðarins var mældur með fjölgeislamæli árið 2003 af m/b Baldri.

Fjölgeislamælingarnar árin 2003 og 2010 sköruðust lítillega. Hluti af efnistökusvæðunum við Kiðafell og Brekkuboða komu fram við mælingarnar árið 2003. Staðan á efnistökusvæðunum við Eyri, Kiðafell, Laufagrunn og Brekkuboða kemur vel fram í mælingunum árið 2010.

Að stærstum hluta sýnir samanburður á dýpi milli mælinganna 1940 og 2010 litlar breytingar, utan þessara fjögurra framangreindu efnistökusvæða.

## **Fjölgeislamælingar í Kollafirði 2002 og endurmæling 2012: grunnur að samanburði á efnistökusvæðum á sjávarbotni**

Árni Þór Vésteinsson<sup>1</sup>, Björn Haukur Pálsson<sup>1</sup>, Níels Bjarki Finsen<sup>1</sup>,  
Sigríður Ragna Sverrisdóttir<sup>1</sup> og Bryndís G. Róbertsdóttir<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Sjómælingasvið Landhelgisgæslu Íslands, <sup>2</sup>Orkustofnun

Sjómælingasvið Landhelgisgæslu Íslands ber ábyrgð á sjómælingum og sjókortagerð fyrir hafsvæðið umhverfis Ísland. Árið 1991 var sjósettur nýr sjómælingabátur, m/b Baldur. Þetta var fyrsti báturinn, sem smíðaður var fyrir Landhelgisgæslu Íslands, sérhannaður til sjómælinga. Árið 2002 var settur fjölgeislamælir af gerðinni RESON SeaBat 8101 240 kHz um borð í sjómælingabátinn. Að lokinni uppsetningu og prófun fjölgeislamælisins var haldið til mælinga á Kollafirði.

Á fimm tíu til sextíu ára tímabili hefur fjöldi mælinga verið gerður í Kollafirði, einkum í suðurhluta hans, þar sem skip fara um á leið til Reykjavíkurhafnar. Mælingarnar voru ekki gerðar með reglubundnu millibili og Kollafjörðurinn aldrei verið mældur allur í einu fyrr en árið 2002.

Á undanförunum áratugum hefur verið umtalsverð efnistaka af sjávarbotni í Kollafirði. Meira en tuttugu efnistökuastaðir eru þekktir og þeir voru allir innan mælingasvæðisins árið 2002. Efnistökusvæðið við Akurey er langstærst og það varð til þess að sjókort nr. 362-Reykjavík var gefið út að nýju í tvígang. Síðari útgáfa kortsins, sem kom út árið 2003 í framhaldi af fjölgeislamælingunum árið 2002, leiddi í ljós 12 til 15 metra dýpkun í ytri hluta Engeyjarsunds á siglingaleiðinni inn til Reykjavíkur. Útreikningar Siglingastofnunar Íslands sýndu fram á aukna ölduhæð á siglingaleiðinni. Var það einn þeirra þátta sem höfðu í för með sér að efnistaka var ekki leyfð áfram á svæðinu við Akurey.

Efnistökusvæðin í Kollafirði voru mæld árið 2005 í tengslum við mat á umhverfisáhrifum. Mælingarnar voru gerðar af Jarðfræðistofu Kjartans Thors ehf., og með fullkomnum eingeislamæli. Sjómælingarnar frá árunum 2002 og 2005 hafa ekki verið bornar saman.

Orkustofnun hefur rætt við sjómælingasvið Landhelgisgæslu Íslands um að endurmælingar fari fram á efnistökusvæðunum í Kollafirði árið 2012. Með því verður mögulegt að bera saman gögnin frá fjölgeislamælingunum árið 2002 og aftur árið 2012, og ákvarða/mæla breytingarnar á síðustu tíu árum.



## Súrefnis- og vetnissamsætur í andrúmslofti á N-Atlantshafi

Árný E. Sveinbjörnsdóttir

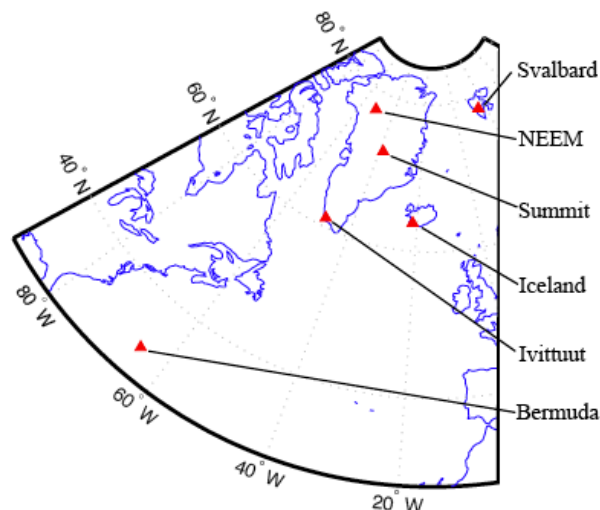
Jarðvísindastofnun Háskólans

Massagreiningar hafa verið stundaðar í rúm 40 ár við Raunvísindastofnun Háskólans. Margvísleg verkefni hafa verið unnin með massagreinum stofnunarinnar m.a. á grunnvatni og rennslisleiðum þess og á fornveðurfari með samsætumælingum á ískjörnum frá Grænlandsjökli. Vitað er að eðlisfræðilegir ferlar sem eiga sér stað við aðskilnað samsætna við uppgufun úr hafinu og milli andrúmslofts og úrkomu hafa áhrif á samsætur úrkomunnar. Hingað til hefur ekki verið hægt að kortleggja þessa ferla af nokkurri nákvæmni. Með nýrri kynslóð massagreina (*laser isotopic analyzer*) hafa opnast nýjir möguleikar á að kortleggja samsætur í loftraka, sem mun auka skilning á samsætubúskap vatnshringrásarinnar og styrkja grunninn að notkun samsætna í jökulís sem mælikvarða á fornhitastig.

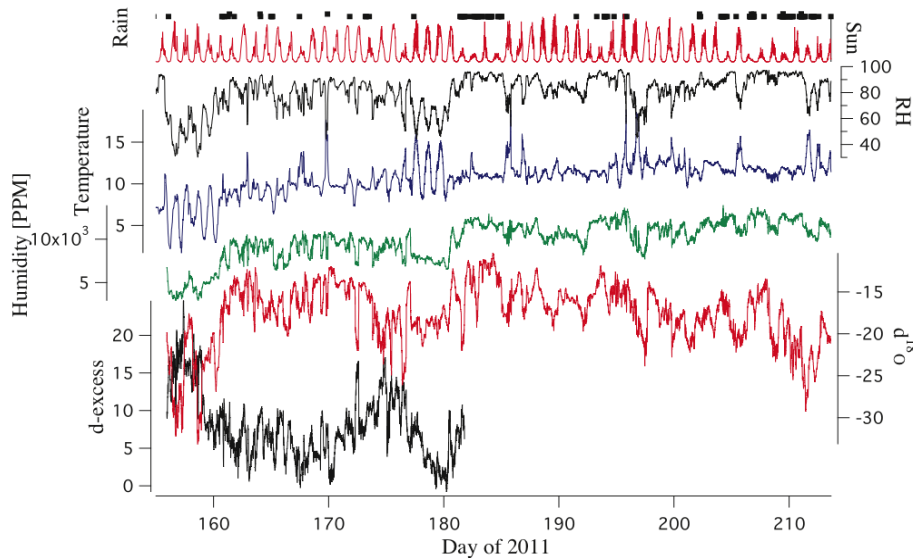
Skilningur á samsætubúskap vatnshringrásarinnar frá upprunastað úrkomunnar þar til hún fellur á Grænlandsjökul er lykilatriði við nákvæma túlkun samsætumælinga á Grænlandskjörnum. Djúpkjarnar frá Grænlandsjökli geyma einstakar upplýsingar um veðurfar og hafa rannsóknir á þeim síðastliðin 40 ár gjörbreytt vitneskju okkar um veðurfar liðinna alda. Þar skipta mælingar á súrefnis- og vetnissamsætum íssins höfuðmáli, þar sem þær endurspegla í grófum dráttum það hitastig sem ríkti þegar snjórinn féll á jökulinn. Ennfremur veita þær upplýsingar um uppruna úrkomunnar og þar með um hringrás andrúmsloftsins. Lítið er þó vitað um þau ferli sem skapa fylgni samsætanna við veðurfar og er t.d. enn notast við einföld líkön sem byggja á núverandi fylgni, sem þurfa ekki að gefa rétta mynd við túlkun á fornveðurfari, sem í mörgum tilfellum er afar frábrugðið okkar.

Til að öðlast betri skilning á þeim eðlisfræðilegu ferlum sem skapa fylgni samsætna andrúmsloftsins við veðurfar erum við þátttakendur í alþjóðlegu verkefni um sjálfvirka rakasöfnun og samsætumælingar á N-Atlanshafssvæðinu. Verkefnið miðar að því að kanna vatnsgufu andrúmsloftsins bæði á upprunastað úrkomunnar og þar sem hún fellur á Grænlandsjökul (NEEM). Á mynd 1 er sýnd staðsetning laser massagreina í þessu verkefni.

Mynd 1. Staðsetning sjálfvirkar rakasöfnunar í Atlantshafi



Í þessu skyni höfum við starfrækt Los Gatos massgreini frá því í ágúst 2010, sem safnar sjálfvirk og mælir súrefnis- og vetnissamsætur í loftraka (mynd 2). Raunvísindastofnun á einnig hlut í massagreininum sem staðsettur er á Bermuda.



Mynd 2. Sýnishorn af niðurstöðum mælinga með Los Gatos massagreininum í Selvogsvita.

Upplýsingar um samsætur úrkomu eigum við nú eingöngu úr lindum sem gefa okkur árs-meðaltal, eða úrkomusýni Veðurstofunnar sem gefa okkur mánaðarmeðaltal á tveimur stöðum. Við höfum nú lagt drög að því að kaupa úrkomusafnara, sem safnar sjálfvirk allt að 96 úrkomusýnum, bæði regni og snjó, yfir skemmri eða lengri tíma. Þannig verður hægt að rannsaka mjög nákvæmlega breytingar í samsætustyrk úrkomunnar fyrir ákveðinn atburð, t.d. breytingar á samsætustyrk úrkomunnar frá fyrstu úrkomu úr lögð og síðan hvernig hann þróast eftir því sem lögðin færir yfir. Með svo tíðri sýnasöfnun er unnt að rannsaka þá ferla sem eru að verki við þéttingu úrkomunnar úr lögðakerfum, en slík gögn eru mikilvæg til að sannreyna veðurfarslíkön og til að skilja hringrás vatns í andrúmsloftinu. Einnig er hægt að safna sýnum yfir lengri tíma, t.d. er hægt að safna daglegum sýnum í allt að 3 mánuði. Fyrirhugað er að setja úrkomusafnarann fyrst upp við Selvogsvita, en með því að túlka saman hraðar breytingar í samsætum loftrakans og úrkomunnar opnast leiðir til að skilgreina betur þau ferli sem eiga sér stað við uppgufun úr hafinu og þéttingu loftrakans.

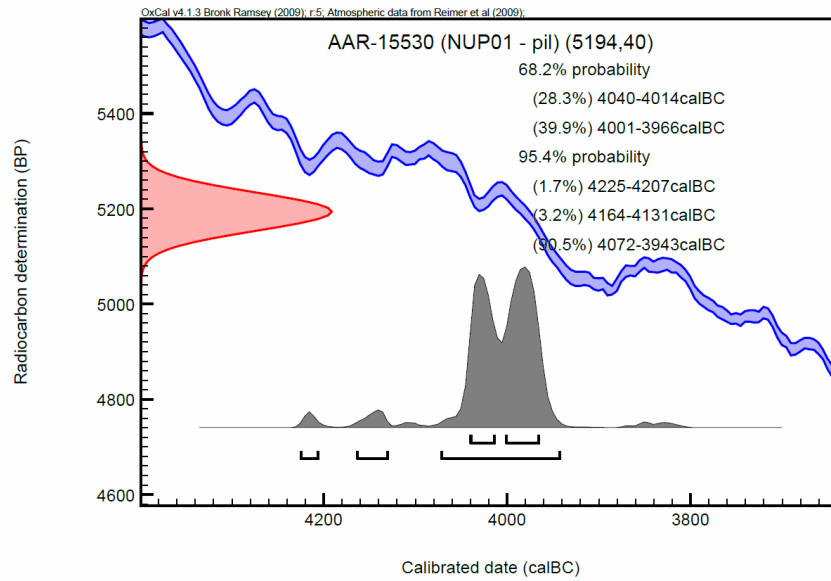
## Aldur Núpahrauns í Vestur-Skaftafellssýslu

Ármann Höskuldsson, Guðrún Larsen, Bergrún Óladóttir og Olgeir Sigmarsson

Jarðvísindastofnun Háskólans, Askja, Sturlugata 7, 101 Reykjavík.

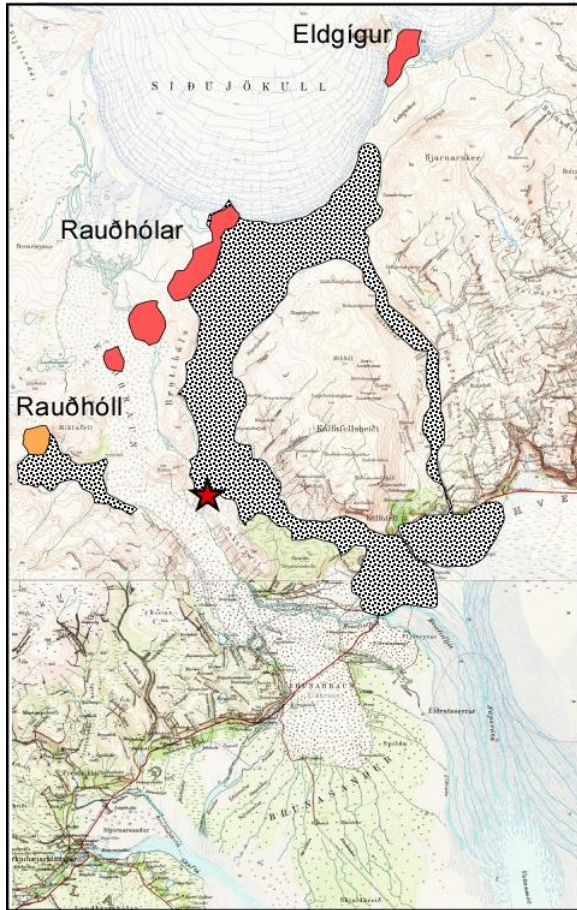
Færa má rök fyrir því að megineldstöðin Þórðarhyrna og sprungureinin suðvestur frá henni geti verið sérstakt eldstöðvakerfi sem liggur sunnan við Grímsvatnakerfið. Síðasta eldgos sem rekja má til Þórðarhyrnu með vissu átti sér stað 1903. Undir jökli stefna eldvörp frá Háubungu í norðaustri um Þórðarhyrnu og Hágöngur til suðvesturs í átt að Miklafelli. Utan jökuls eru ummerki nútíma eldvirkni stakir gígar, gígaraðir og hraun sem runnið hafa niður á láglendi í Fljótshverfi og á Skeiðarársand. Hraunstraumarnir eru fimm frá Grænalónsskrika að Miklafelli. Norðaustast eru Bergvatnsáahraun er renna annars vegar niður á láglendi í Núpstaðaskógi og hinsvegar inn í Beinadal. Aldur þessara hrauna og upptök eru ekki þekkt (Guðmundur Kjartansson 1970). Suðvestar er Eldgígur en hraun frá honum rennur í átt að Djúpárdal og Núpsheiði. Ekki hefur verið unnt að greina svo óyggjandi sé hvort þessi eldstöð er samtíma Rauðhólum, sem koma fram undan Síðujökli um 13 km SV af Eldgíg, en Jón Jónsson (1978) telur að svo sé. Rauðhólar eru mikilfengleg gígaröð er liggur suðvestur frá jökuljaðrinum og rekja má um 10 km að gígum inni í miðri hraunelfu Skaftáreldahrauns. Frá þessari gígaröð rennur Núpahraun milli Brattháls og Kálfafellsheiðar niður í Fljótshverfi. Auk þess má gera ráð fyrir að annar taumur frá syðstu gígum sé nú grafinn undir Skaftáreldahrauni. Um 6 km suðvestar stendur Rauðhóll en frá honum rann hraun sem hverfur undir Skaftáreldahraunið suðaustan Miklafells. Efna- og samsætugreiningar á Núpahrauni, sem rann frá Rauðhólum, og gosefnum frá Rauðhól við Miklafell gefa til kynna að kvikan sem kom upp í þessum eldvörpum sé ekki af sama meiði. Á milli Hnútu og Dalfjalls hefur Hverfisfljót grafið gljúfur niður á milli Dalfjalls og hrauns, þar heitir Lambatungur. Í gljúfurbörmunum er gott snið í jarðveg undir Núpahrauni. Þar sést að hraunið rann ofan á gjósku úr sama gosi og hefur kolað birki og víðikvisti. Sýni af þessum víðikvistum gefur til kynna að aldur Núpahrauns og Rauðhóla sé um  $5194 \pm 40$   $^{14}\text{C}$  ár. Aldur Rauðhóls gæti hins vegar verið annar.

Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands  
30. mars 2012



Mynd 1. Niðurstöður aldursákvörðunar á koluðum viðarleifum undan Núpahrauni.  
Aldursákvarðanir voru gerðar í Árósum.

Leiðréttur aldur innan 90.5% skekkjumarka gefur aldurinn 6084-5955 ár. Samkvæmt grein eftir Vinther o.fl. (2006) finnast í öllum kjörnum frá Grænlandsjökli ummerki eldgoss frá óþekktri eldstöð fyrir 5974 $\pm$ 19 til 6039 $\pm$ 69 árum síðan. Telja verður líklegt að þau ummerki séu eftir eldgos það er gaf af sér Núpahraun.



Mynd 2. Kort af Núpahrauni og eldstöðvum sem það rann frá. Stjarnan sýnir hvar sýni til aldursákvörðunar var tekið. Rauðu gígarnir eru hugsanlega allir samtíma en efnasamsetning gosefna frá Rauðhól bendir til að þar sé um annan atburð að ræða.

Heimildir:

Guðmundur Kjartansson 1970. Úr sögu berggrunns og landslags á Miðsuðurlandi. Suðri II: 12-100. Útg. Bjarni Bjarnason, Laugarvatni.

Jón Jónsson 1978. Eldstöðvar og hraun í Skaftafellssþingi. Náttúrufræðingurinn 48: 196-232.

Vinther, B. M., Clausen H. B., Johnsen S. J., Rasmussen S. O., Andersen K. K.,

Buchardt S.L., Dahl-Jensen D., Seierstad I. K., Siggaard-Andersen M-L.,

Steffensen J. P., Svensson A., Olsen J. and Heinemeier J., 2006. A synchronized dating of three Greenland ice cores throughout the Holocene. Journal of Geophysical Res., VOL. 111, D13102, 11 PP.

## Tektónísk þróun Reykjaneshryggjarins síðustu 15 milljón ár

Ásdís Benediktsdóttir<sup>1,2</sup>, Richard Hey<sup>3</sup>, Fernando Martinez<sup>3</sup>, Ármann Höskuldsson<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Department of Geology and Geophysics, University of Hawai'i at Manoa, HI 96822, USA. <sup>2</sup> Norræna Eldfjallasetrið, Jarðvísindastofnun Háskólans, 101 Reykjavík. <sup>3</sup> Hawai'i Institute of Geophysics and Planetology, University of Hawai'i at Manoa, HI 96822, USA. <sup>4</sup> Jarðvísindadeild, Háskóli Íslands, 101 Reykjavík.

Við kynnum nýtt tektónískt líkan af Reykjaneshryggnum sem kannar þróun hryggjarins síðustu 15 milljón ár út frá hryggjarbreiðslutilgátunni (e. propagating rift hypothesis). Rekið yfir Reykjaneshrygginn hefur ekki verið samhverft og hér er leitast við að útskýra ósamhverfuna í rekinu með tilliti til hinna V-löguðu hryggja sem þar er að finna. Segulmælingagögn, sem safnað var meðfram rekstefnu hryggjarins sumarið 2007, voru sett inn í forritið Magellan og þar var líkt eftir reki á hryggnum þar til gott samræmi var á milli gagnanna og líkansins. Alls voru níu línur yfir hrygginn, sem eru samsíða rekstefnu hryggjarins (mynd 1, línur 17-25), settar inn í forritið og þannig fékkst mynd af heildarþróun á hryggnum fyrir síðustu 15 milljón ár á svæði frá (26.78°W, 61.81°N) til (24.68°W, 63.00°N).

Líkanið gefur til kynna að um fjórar stórar hryggjarbreiðslur (H, F, S og L á mynd 1) sé að ræða frá Íslandi og suður með Reykjaneshryggnum sem og nokkrar minni hryggjarbreiðslur til norðurs, í átt að Íslandi. Þetta gefur til kynna að um er að ræða tvenns konar gangverk fyrir hryggjarbreiðslurnar á Reykjaneshryggnum. Kenning er uppi um að heiti reiturinn undir Íslandi gefi frá sér púlsa sem orsaka aukið flæði af kviku niður Reykjaneshrygginn og þar af leiðandi hæðirnar hjá V-löguðu hryggjunum. Ef kenningin er sönn kann að vera að þetta sé gangverk stóru hryggjarbreiðslanna en hún útskýrir ekki tilvist minni hryggjarbreiðslanna.

Mikill munur er á reksögu Reykjaneshryggjarins við landgrunnsbrúnina og á svæðinu sem er suður af henni. Svo virðist sem þróunin hafi verið mjög flókin nálægt Íslandi (og þar af leiðandi nálægt heita reitnum) og að hún verði einfaldari því fjær Íslandi sem farið er niður með hryggnum.

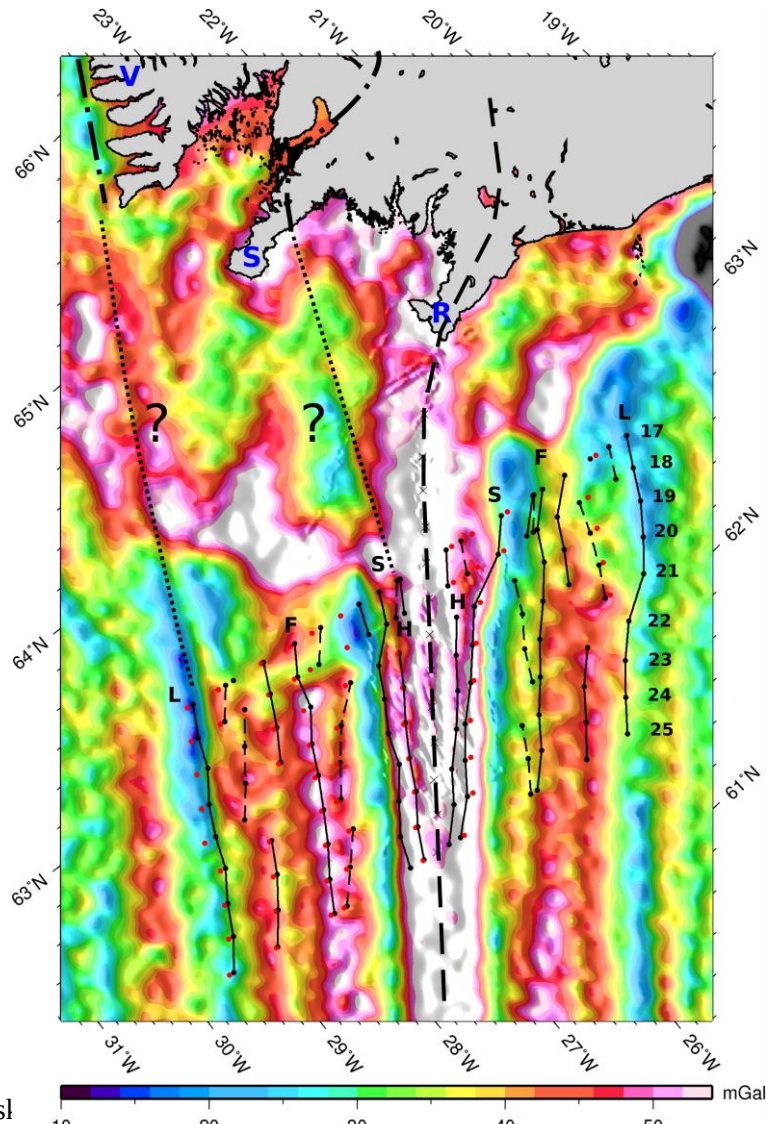
Við nánari skoðun á þyngdarmælingum (e. free-air gravity) má sjá að V-laga hryggirnir eru ekki samhverfir um Reykjaneshrygginn (mynd 1). Í þyngdarmælingunum er búið að greina tvær lögðir, sem eru nánast samsíða rekstefnu Reykjaneshryggjarins, en svo virðist sem hryggjarbreiðslur hefjist og stoppi við þessar lögðir. Lögðir þessar hafa verið nefndar ponsu-sniðgengi (sökum hversu litlar þær eru) og sniðgengin eru einungis til yfir stutt tímabil og eyðast síðan þegar stærri hryggjarbreiðslurnar breyta sýnd hryggjarins.

Hægt er að reyna að tengja hryggjarbreiðslurnar við tektóníska þróun Íslands. Út frá segulmælingalíkaninu er hægt að finna út hvenær fjórar stærstu hryggjarbreiðslurnar fóru frá Íslandi. Þeir tímar sem koma upp eru u.þ.b. 15, 10, 6.5 og 4 milljón ár. Tveimur þessara tíma-setninga ber vel saman við þá tíma þegar tvö rekbelti hættu virkni: Vestfjarðarekbeltið annars vegar og Snæfellsnes-Skagarekbeltið hins vegar (mynd 1). Hugmyndin er sú að þegar rekbelti hættir virkni minnkar flæði kviku niður hrygginn (sem orsakar þá dalina við V-löguðu hryggina) og staðbundin breyting verður í spennusviði skorpunnar. Þessi breyting kann að verða til þess að hryggurinn verður óstöðugur og hann breiðir úr sér, þ.e. hryggjarbreiðsla á sér stað. Ef



Þessi kenning er sönn væri hægt að tengja hryggjarbreiðsluna sem hætti virkni fyrir 4 milljón-um ára við færslu á vestara gosbeltinu yfir á hið eystra. Annað, áður óþekkt rekbelti, gæti hafa hætt virkni fyrir 10 milljónum ára.

Segulmælingalíkanið gefur okkur mjög góða tilsvörun við gögnin og styður nýja sjálfkvæma (e. self-consistent) kenningu um þróun Reykjaneshryggjarins síðustu 15 milljón árin.



Mynd 1. Tektónísk um frá gervihnöttum. Svörtu punktarnir sem eru tengdir saman sýna hryggjarbreiðslur sem breiða úr sér í suður en punktalínurnar sýna hryggjarbreiðslur sem breiða úr sér í norður. Tvær af fjórum stærstu hryggjarbreiðslunum, sem merktar eru með L, F, S og H. L og S, eru tengdar upp í gömul rekbelti til þess að gefa til kynna að þær gætu tengst lokun Vestfirðja- og Snæfellsnes-Skagarekbeltanna. Sjá má á þessari mynd að V-löguðu hryggirnir eru ekki samhverfir um Reykjaneshrygginn.

## Mapping the vertical offsets of faults within the Western Volcanic Zone, SW Iceland

Ásta Rut Hjartardóttir, Páll Einarsson, Þórhildur Björnsdóttir, Sigríður Magnúsdóttir, Snæbjörn Guðmundsson, Amandine Auriac, and students of Current Crustal Movements in the Faculty of Earth Sciences, University of Iceland 2011

Institute of Earth Sciences, University of Iceland

The vertical offsets of fractures and faults in Lyngdalsheiði and in the Þingvellir graben were measured by the students of the Current Crustal Movements course in October 2011. The studied areas are situated in the NE-SW trending Western Volcanic Zone, Iceland (Fig. 1). Vertical offsets of the faults were measured by Differential GPS equipment. The students measured both profiles across the faults, and did also measurements by making “sausages” where the elevation of both the footwall and the hanging wall of the fault are measured by walking around the fault. By this procedure, information is acquired on the vertical displacements that have taken place on the faults since the emplacement of the surface lava flows that they cut. The faults in Lyngdalsheiði and in the Þingvellir graben have different appearances and offsets:

1. Lyngdalsheiði – The student measured six faults, both eastward and westward dipping, in Nautabrekkur, south of the Lyngdalsheiði road (Fig. 1). The faults, which are situated in Upper Pleistocene lava flows (Jóhannesson and Sæmundsson, 1998), have a vertical offset of ~1-5 m. Evidences for Holocene activity were found, as many of the faults have a steep component which has not been eroded by a glacier. In a similar manner, sink holes were found, indicating tension fracturing.

2. Þingvellir graben – Three westward-dipping faults were studied at the eastern boundary of the Þingvellir graben (Fig. 1). Measured vertical offsets varied from ~9-15 m in the Gildruholtsgjá fault, ~4-18 m in the Heiðargjá fault, and ~5-9 m in the Hrafnagjá fault. However, the vertical offsets in the Hrafnagjá fault could be underestimated, as the measurements of the elevation of the footwall of Hrafnagjá did not include the tilted block beneath the fault (Fig. 2). A vertical displacement of ~1 m has been estimated to have occurred near the Hrafnagjá fault during a rifting episode in 1789 (Sæmundsson, 1992). The 1789 deformation is therefore ~10-20% of the estimated offset of the fault.

### References:

- Jóhannesson, H. and K. Sæmundsson, 1998. Geological Map of Iceland. 1:500 000. Bedrock Geology. Icelandic Institute of Natural History, Reykjavík (2<sup>nd</sup> edition).
- Sæmundsson, K., 1992. Geology of the Thingvallavatn Area. *Oikos* 64(1), 40-68.



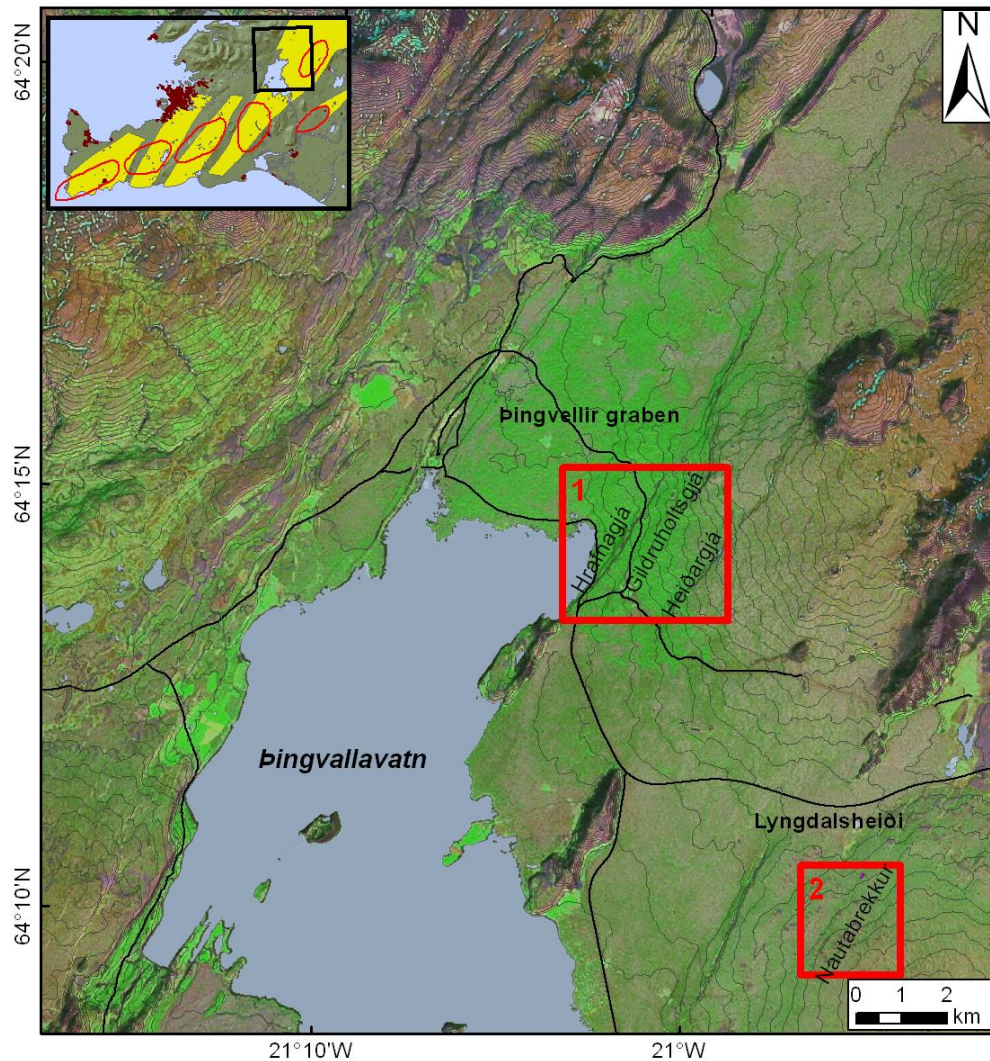


Figure 1: The faults studied during the fieldwork of the 2011 Current Crustal Movements course. The black frame in the overview image denotes outlines of the larger image. Red frame 1: The area studied at the eastern boundary of the Þingvellir graben. Red frame 2: the area studied within the Lyngdalsheiði area. Cartographic data from the National Land Survey of Iceland (Landmælingar Íslands), and Loftmyndir ehf.

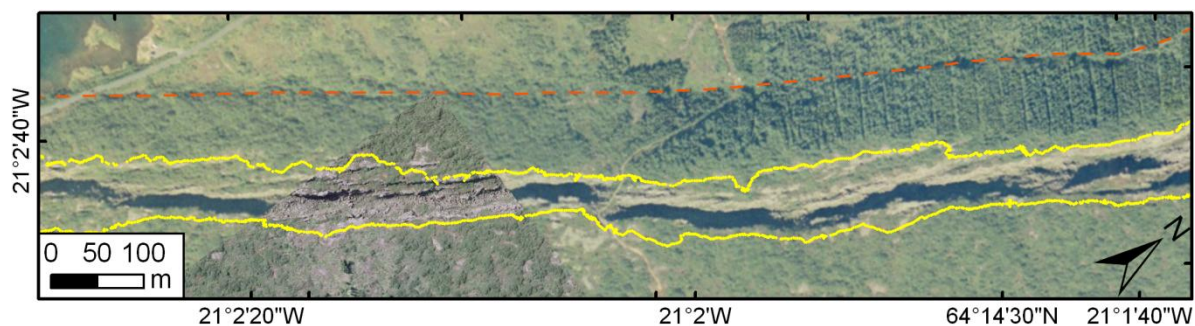


Figure 2: The Hrafnagjá fault, mapped by a DGPS equipment (yellow points), as well as the lower end of the tilted block (dashed orange line). Aerial photograph from Loftmyndir ehf.

## **Toward understanding the eruption of voluminous transitional alkaline olivine basalts in the Neogene realm of eastern Iceland: The Hólmar and Grjótá lava groups**

Birgir V. Óskarsson and Morten S. Riishuus

Nordic Volcanological Center, University of Iceland

The Hólmar and Grjótá olivine basalt lava groups are two stratigraphically and structurally well defined groups within the Neogene flood basalt piles of eastern Iceland. Petrological studies are here added to complement structural and morphological observations from the lava flow fields in order to assess the processes in operation during emplacement of such groups. The Hólmar group, separated from the overlying Grjótá group by only a few tholeiite flows, can be traced over 45 km north-south. The Hólmar group is thickest at Norðfjörður with >20 lava flows (>280 m) and holds fewer than 10 flows (~30 m) where thinnest. The Grjótá group can be traced similar lengths being thickest at Reyðarfjörður, with ~30 lava flows (~200 m) thinning down dip to ~10 flows (~40 m). We have estimated the minimum volume for each group to exceed ~50 km<sup>3</sup> and group structures to resemble elongated shields. The groups form compound flow fields erupted from vents aligned within the N-S domain of the Reyðarfjörður central volcano. Complete profiles were sampled for both groups, and complemented with scattered sampling and mapping in areas distal to the main profiles. Based on geochemistry both olivine basalt groups classify as transitional alkaline and to our knowledge they therefore represent the largest occurrences of such magmatic affinity in the Neogene lava piles of Iceland. The Mg# for both Hólmar and Grjótá reveals systematic compositional variations from less (~56) to more evolved (~40) stratigraphically upward into the middle portion of the groups followed by a return to less evolved compositions (48-52 respectively). This suggests that the crustal staging chambers were initially controlled by fractionation and later by replenishment and magma mixing. Distal flows can be correlated to the main section using Mg# showing the homogeneous nature of the groups. Two olivine dolerite sills inferred as feeders for Grjótá are compositionally similar to the final eruptive products of the Grjótá group. The jointing and vesicle distributions of the lava flows define a three-part division that is common for lava flows in general. Petrographically, the interior of an examined lava flow varies from being hypocrySTALLINE (40-50% glass) at surface and basal contacts, hypocrySTALLINE (20-30% glass) in the upper vesicular crust, and holocrySTALLINE in the core. These variations reflect the degree of propagating isotherms in the cooling lava, in which the crust cools rapidly under the atmosphere while the interior is insulated by the crust prompting slower cooling rates and crystallization. The nature of emplacement therefore can account for insulating transport of magma from the vent to the propagating front through pathways within the lava flow, characteristic of compound flows. These variations reflect the degree of propagating isotherms in the cooling lava, in which the crust cools rapidly under the atmosphere while the interior is insulated by the crust prompting slower cooling rates and crystallization. The nature of emplacement therefore can account for insulating transport of magma from the vent to the propagating front through pathways within the lava flow, characteristic of compound flows. Preliminary estimations of lava eruption temperatures from whole-rock compositions of the scoria using MELTS (Ghiorso et al., 1997) are 1221°C. Thus low viscosities are expected which are confirmed by the highly compound nature of the flow

field and other morphological features. Considering the dimensions of the groups, the high eruption temperatures ( $>1220^{\circ}\text{C}$ ) and low viscosities, and accounting the common occurrences of thick lava units (30-60% being greater than 6 m thick, some reaching 30 m), large magmatic events are inferred for flood volcanism of this type. The transitional alkaline affinity may suggest that these groups represent fossil rift flank volcanism.

## Rannsóknir og vinnsla á magnetítríkum sandi á Nýja Sjálandi

Bryndís G. Róbertsdóttir

Orkustofnun

Í tengslum við umsókn Sóley Minerals ehf., um leyfi til leitar og rannsókna á magnetíti, ilmeníti og fleiri steindum á sjávarbotni undan suðurströndinni og í Héraðsflóa á árabílinu 2012 til 2017, hefur Orkustofnun kynnt sér sambærilegar rannsóknir og vinnslu á Nýja Sjálandi. Þær umfangsmestu á magnetítríkum sandi í heiminum.

### Magnetít og aðrar járnsteindir

Járngrýti hefur myndast við margs konar jarðfræðilegar aðstæður, sem spanna langt tímabil í jarðsögunni. Meira en 95% af heimsframleiðslunni kemur þó úr forkambrísku fínlagskiptu setbergi, svokölluðu „banded iron formations“. Helstu járnsteindirnar eru hematít ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetít (seguljárn,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), títánómagnetít ( $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{Fe}_2\text{TiO}_4$ ), goethít (mýrarauði,  $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ) og síderít ( $\text{FeCO}_3$ ). Úr ilmeníti (títanjárni,  $\text{FeTiO}_3$ ) er unnið títan en járn er sem aukaafurð.

Algennt er að magnetít og ilmenít safnist saman í fjörusandi og hefur mikið af slíku seti verið rannsakað með tilliti til vinnslu á járnsteindum, en lítið af því hefur reynst hagkvæmt. Fjöru- og sandölduset úr títánómagnetít járnandi (e. ironsand), á vesturströnd norðureyju Nýja Sjálands, eru ein umfangsmestu setin af þessari gerð í heiminum (1. mynd). Takmörkuð vinnsla á járnsteindum hefur einnig verið úr áþekku magnetítseti á ströndum Japans, Filippseyja og Indónesíu. Rannsóknir á járnandi á sjávarbotni við Nýja Sjáland eru þær einu sem vitað er um í heiminum. Ekki er vitað um neina vinnslu á sjávarbotni enn sem komið er.

### Vinnsla á títánómagnetíti úr sandi á ströndum Nýja Sjálands

Títánómagnetít járnandur myndar fjöru- og sandölduset frá kvarter á 480 km löngum kafla á vesturströnd norðureyjunnar (1. mynd). Títánómagneítíð hefur rofist úr andesíti í vestur Taranaki og úr líparíti í Taupo gosbeltinu, nokkru austar. Það hefur síðan flust með ám til strandar, með straumum meðfram strönd, og fyrir áhrif öldu og vinda safnast saman í fjöru- og sandölduset.

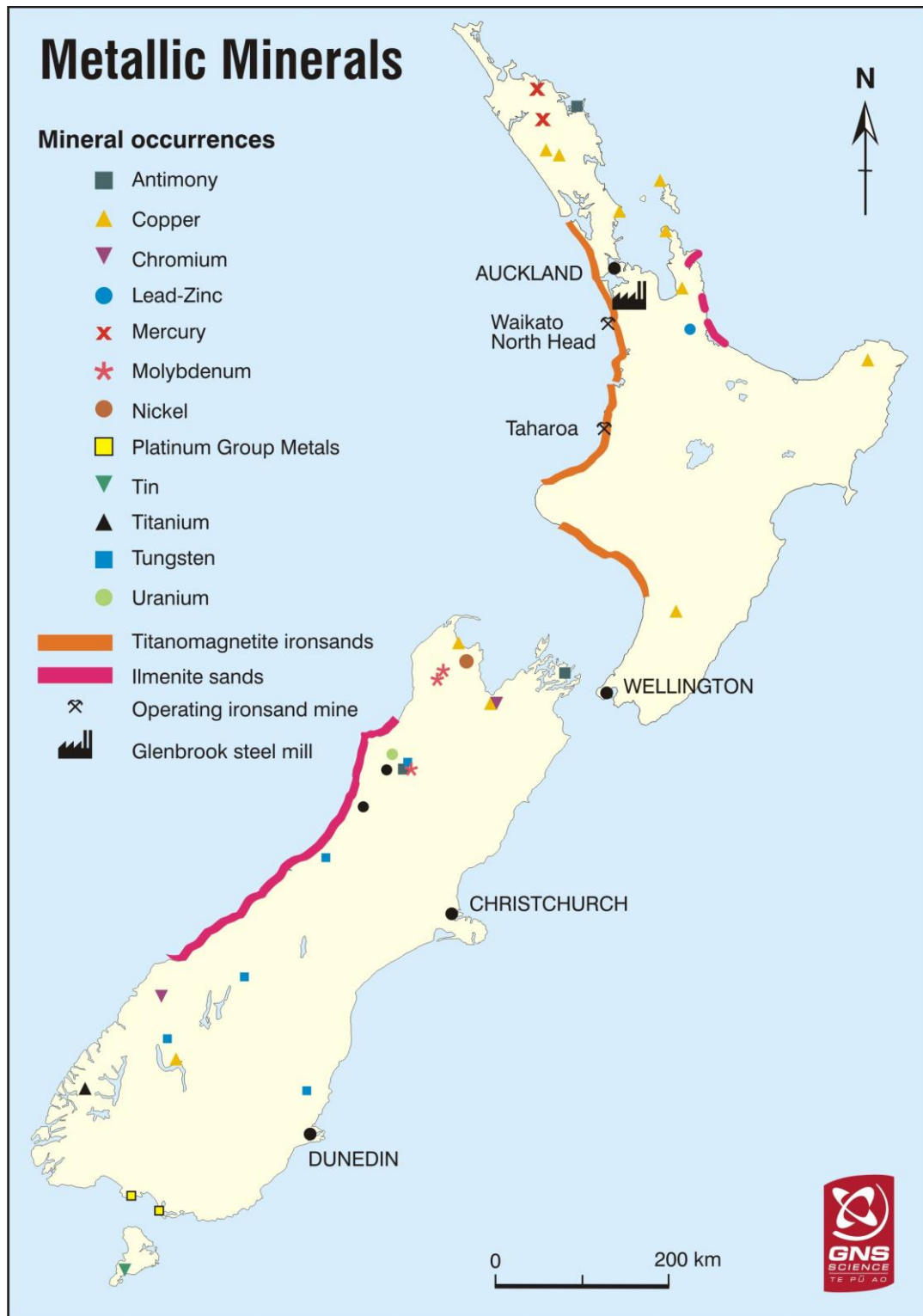
Allt frá árinu 1849 hafa verið gerðar margs konar tilraunir til að bræða járnandinn á vesturströndinni en hátt títaninnihald og hve fínkornóttur sandurinn er stóðu í vegi fyrir notkun hefðbundinnar tækni. Allt frá lokum síðari heimstyrjaldar voru í gangi rannsóknir og prófanir á vegum stjórnvalda með það í huga að nýta járnandinn til stálframleiðslu. Það var þó ekki fyrr en árið 1970 að stáliðjan í Glenbrook tók til starfa, en hún notar járnand úr Waikato North Head námunni sem hefur verið í notkun frá árinu 1969. Setið sem náman er í er í misgengislægð á norðurbakka Waikato árinna. Járnandurinn er hér að mestu úr sandölduseti, en inn á milli er smávegis af lögum úr fjörusandi, gjósku og eðju. Eftir að sandurinn hefur farið í gegnum segulskiljuna er vatnsblönduðu títánómagnetítinu dælt um lögn um 18 km leið til stáliðjunnar í Glenbrook. Árið 1996 voru unnar 1,4 milljónir tonna af títánómagnetíti í Waikato North Head námunni, en á árabílinu 1969 til 1996 voru unnar þar um 12,75 milljónir tonna.

Taharoa náman, sem er nokkru sunnar á ströndinni, hefur verið í notkun frá árinu 1972. Hún er í misgengislægð á ströndinni sem er um 8 km að lengd og nær um 2 km inn í land. Þar er nú unnið í lausum, gráum foksandi, en títanómagnetítíð í honum er að meðaltali um 40%, en fer mest í um 70%. Sandinum er dælt upp úr vatni í námunni, í segulskiljuna og síðan er vatnsblönduðu títanómagnetítinu dælt um 3 km langa neðansjávarlögn út í flutningaskip. Megnið af efninu er flutt til Japans, en lítill hluti þess fer til Suður Kóreu og Kína. Ár hvert eru unnar um 1,4 milljónir tonna af títanómagnetíti í Taharoa námunni, en heildarútflutningur á árabílinu 1972 til 1996 var 31 milljónir tonna. Waipipi náman, sem er sunnan við Taranaki skagann, var í notkun á árabílinu 1971 til 1987. Þá voru unnar þar 15,7 milljónir tonna af títanómagnetíti. Í sandöldunum, sem náman var í, voru einnig lög úr mó, leir, gjósku og lífrænum efnum. Járnсандurinn náði yfir 20 km<sup>2</sup> svæði og meðalþykkt hans var 9,75 m. Námuvinnslan og útflutningur á títanómagnetíti var með sama hætti og í Taharoa námunni.

### **Rannsóknir á títanómagnetíti í sandi á sjávarbotni við Nýja Sjáland**

Í umsókn Sóley Minerals ehf. kemur fram, að hugmyndir um vinnslu á magnetíti úr sandi af sjávarbotni eru frekar nýlegar, en ekki er vitað um neina aðila sem stunda slíka vinnslu, enn sem komið er. Hugmyndirnar byggja m.a. á mjög lágu vinnslukostnaði, og að vinnslan verði mun sjálfbærari, en sambærileg vinnsla á landi.

Sóley Minerals ehf. er kunnugt um eitt ástralskt rannsóknafyrirtæki, Trans-Tasman Resources Ltd., sem stundar rannsóknir á magnetíti á sjávarbotni, en það var stofnað árið 2007. Fyrirtækið hefur sérleyfi til leitar að títanómagnetíti á tveimur hafsvæðum, alls 9.633 km<sup>2</sup>, út af vesturströnd norðureyju Nýja Sjálands. Þessi hafsvæði eru út af járnandsnámunum, norðan og sunnan við Taranaki skagann. Syðra leyfissvæðið nær um 22 km út frá ströndinni. Fyrirtækið hefur látið gera flugsegulmælingar á öllu leyfissvæðinu og niðurstöður þeirra mælinga, ásamt auðlindalíkani, styðja við markmið fyrirtækisins um að 4 billjónir tonna af títanómagnetíti séu á svæðinu. Fyrirtækið hefur látið bora yfir 500 grunnar kjarnaholur í sjávarbotninn frá árinu 2010. Niðurstöður greininga á kjörnunum og áætlunar tengdum þeim jafngilda 482 milljónum tonna af títanómagnetíti. Nú eru hafnar boranir á 9 m löngum kjarnaholum og einnig á meira en 30 m löngum kjarnaholum. Búist er við að niðurstöður greininga á þeim kjörnum bæti verulega við það magn títanómagnetíts sem vinna má á hafsvæðunum tveimur. Fyrirtækið hefur nú lokið forhagkvæmnisathugun og fyrirhugar að hefja vinnslu innan fjögurra ára. Áætlað er að Kínamarkaður einn og sér geti tekið við 300 milljónum tonna á ári, en fyrirhugað er að vinnslan verði í upphafi 10 milljónir tonna á ári.



1. mynd. Kort af málum á Nýja Sjálandi

Heimild: <http://www.nzpam.govt.nz/cms/minerals/mineral-resources#maps>

**Heimildir:**

Christie, T. & Brathwaite, B. 1997. Mineral Commodity Report 15 - Iron. New Zealand Mining 22: 22 – 37.

Vefur Trans-Tasman Resources Ltd: <http://www.ttrl.co.nz/>



## Leyfi til rannsókna á magnetíti á sjávarbotni við Ísland

Bryndís G. Róbertsdóttir<sup>1</sup>, Árni Þór Vésteinsson<sup>2</sup> og Skúli Thoroddsen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Orkustofnun, <sup>2</sup> Sjósmælingasvið Landhelgisgæslu Íslands

Í byrjun september 2011 barst Orkustofnun umsókn frá fyrirtækinu Sóley Minerals ehf. um leyfi til leitar og rannsókna á magnetíti í sandi á sjávarbotni við Ísland. Í forsvari fyrir hið nýstofnaða rannsóknafyrirtæki er ástralskur jarðfræðingur sem hefur langa reynslu af leit og rannsóknum á málum í Ástralíu, Madagaskar og fleiri Afríkuríkjum. Við afgreiðslu málsins leitaði Orkustofnun umsagna og sérfræðiálita hjá tíu opinberum stofnunum og tíu sveitarfélögum. Snemma í mars 2012 sendi Orkustofnun drög að leyfi til Sóley Minerals ehf. og bíður nú eftir svörum frá fyrirtækinu, um hvort það geri athugasemdir við leyfisdrögin, áður en leyfið verður gefið út.

### Jarðfræðilegar forsendur

Markmið fyrirtækisins er að rannsaka verðmætar, þungar steindir í sandi á sjávarbotni, og er aðaláherslan lögð á magnetít eða seguljárn ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), en einnig að litlum hluta á ilmenít eða títanjárn ( $\text{FeTiO}_3$ ), rútl ( $\text{TiO}_2$ ), ólivín og granat.

Umsóknin byggir á eftirfarandi jarðfræðilíkani:

Íslenskt gosberg, sem er að stærstum hluta basalt, er auðugt að magnetíti.

- Basaltið rofnar og flyst með ám til sjávar.
- Hin mikla orka sjávar brýtur basaltið niður í kornastærð sands.
- Basaltsandurinn á sjávarbotni er auðugur af þungum steindum.
- Orka sjávar veldur því að þungu steindirnar safnast saman í hagkvæmar einingar.
- Markmið verkefnisins er að rannsaka þessa samansöfnun þungra steinda í sandi.

Jarðfræðilíkaninu fylgja eftirfarandi óvissuþættir:

- Aðstæður á sjó undan suðurströndinni eru of erfiðar fyrir námuvinnslu.
- Of lítið er af magnetíti í sandinum.
- Sandurinn er of grófur, þannig að einstök magnetítkorn hafa ekki losnað úr basaltinu.
- Sandurinn er mjög silt- og leirkenndur. Fínkornótt lög geta legið ofan á sandinum..
- Sandurinn er það þéttur að ekki er hægt að dæla honum upp.

### Fimm leitar- og rannsóknasvæði undan suðurströnd Íslands og í Héraðsflóa

Sóley Minerals ehf. sækir um leyfi til leitar og rannsókna á fimm afmörkuðum svæðum sem eru samtals um  $2.558 \text{ km}^2$  að stærð (1. mynd). Í umsókn er gerð grein fyrir því að leitar- og rannsóknasvæðin nái frá netlögum og um 12 km út. Ef kort af svæðunum, sem sjómælingasvið Landhelgisgæslu Íslands hefur gert, eru skoðuð sést að ytri mörk svæðanna miðast frekar við 75 m sjávardýpi. Orkustofnun fellst á að veita leyfi fyrir stærstum hluta svæðanna fimm en út frá varúðarsjónarmiðum vegna lífríkismála hafa alls staðar verið tekin frá svæði næst ströndinni, eða frá stórstraumsfjöruborði og 250 m út, og einnig í 4 km radíus út frá 30 árósum. Við þessa afmörkun hafa leitar- og rannsóknasvæðin minnkað um  $598 \text{ km}^2$  eða um 23% og eru nú samtals um  $1.960 \text{ km}^2$ .

## **Undirbúningur leyfisveitingar - þverfaglegt samstarf opinberra stofnana**

Frá því leyfisveitingar fluttust til Orkustofnunar árið 2008 hefur stofnunin ávallt leitað umsagna víða vegna undirbúnings leyfisveitinga á sviði jarðefna á sjávarbotni. Þar sem umsókn Sóley Minerals ehf. er óvenju umfangsmikil, bæði hvað varðar stærð leitar- og rannsóknasvæða og tímalengd leyfis, leitaði Orkustofnun umsagna og sérfræðilíta hjá tíu opinberum stofnunum og tíu sveitarfélögum.

Í 16 síðna fylgibréfi með leyfinu er fjallað um eftirfarandi þætti, og þar byggt á umsögnum og sérfræðilítum opinberra aðila:

**Áhrif á vistkerfi sjávar** – Hafrannsóknast., Umhverfisst., Fiskistofa og Veiðimálast.

**Áhrif á fornleifar** – Fornleifavernd ríkisins

**Áhrif á strönd og starfsemi** – Siglingastofnun Íslands, Vegagerðin og Veiðimálast.

**Starfsemi á svæðunum, þ.e. mengunar- og öryggismál, strengir/lagnir á hafsbotni** – Heilbrigðiseftirlit Suðurlands, Heilbrigðiseftirlit Austurlands, Landhelgisgæsla Íslands, Siglingastofnun Íslands og Umhverfisstofnun

**Afstaða sveitarfélaga** – Tíu sveitarfélög

**Umhverfisrannsóknir – tenging við mat á umhverfisáhrifum** – Hafrannsóknastofnunin og Skipulagsstofnun

## **Fyrsta leyfið til leitar og rannsókna á málum á sjávarbotni við Ísland**

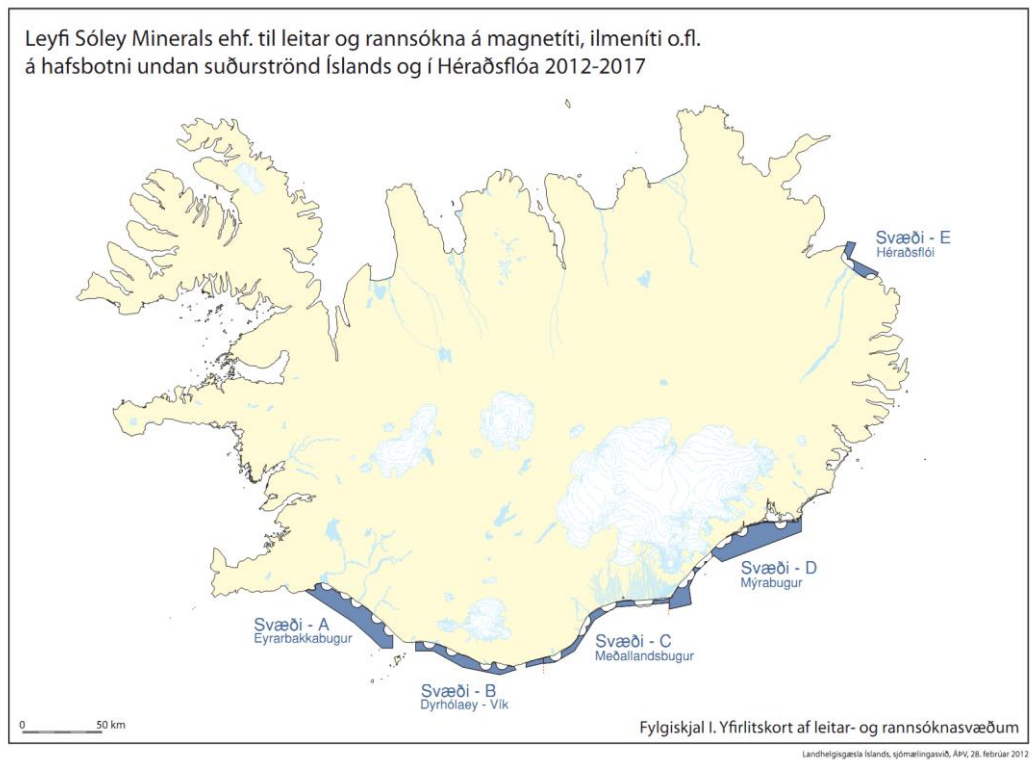
Orkustofnun hefur ekki veitt nein leyfi til leitar og rannsókna á málum á sjávarbotni við Ísland frá því leyfisveitingar voru fluttar til stofnunarinnar árið 2008. Ekki er vítað til þess að iðnaðarráðuneytið hafi veitt slík leyfi frá því að lög um eignarrétt íslenska ríkisins á auðlindum hafsbotsins nr. 73/1990, tóku gildi. Orkustofnun er því nú að öllum líkindum að veita fyrsta leyfið á Íslandi til leitar og rannsókna á málum á sjávarbotni.

## **Leit og rannsóknir á magnetíti á sjávarbotni - nýlegt á heimsvísu**

Samkvæmt upplýsingum frá Sóley Minerals ehf. eru hugmyndir um vinnslu á magnetíti á sjávarbotni frekar nýlegar á heimsvísu og fyrirtækinu er ekki kunnugt um neina aðila sem stunda vinnslu á magnetíti á sjávarbotni. Bent er á eitt ástralskt rannsóknafyrirtæki, Trans-Tasman Resources Ltd., ([www.ttrl.co.nz](http://www.ttrl.co.nz)), sem hefur sérleyfi til leitar að magnetíti á tveimur hafsvæðum út af vesturströnd norðureyju Nýja Sjálands. Upplýsingar um önnur leyfi til leitar og rannsókna á magnetíti á sjávarbotni liggja ekki fyrir svo Orkustofnun veltir því fyrir sér hvort hér á Íslandi sé nú verið að gefa út eitt af fyrstu leyfunum á heimsvísu, en ekki liggja fyrir nægjanlegar upplýsingar til að fullyrða um slíkt.



Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands  
30. mars 2012



1. mynd. Yfirlitskort af leitar- og rannsóknasvæðum Sóley Minerals ehf.

## Landvistkerfisbreytingar í Mosfellsdal raktar með greiningum á frjókornum og jarðvegi

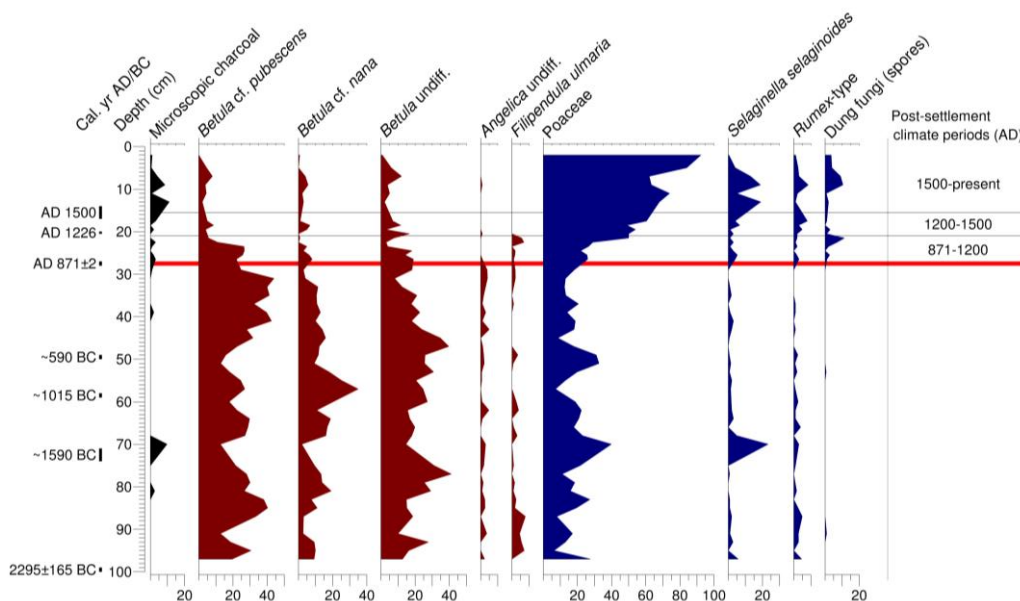
Egill Erlendsson<sup>1,2</sup>, Guðrún Gísladóttir<sup>1,2</sup>, Kevin J. Edwards<sup>3</sup>, Rattan Lal<sup>1,4</sup>

<sup>1</sup>Líf- og umhverfisvísindadeild, Háskóli Íslands, 101 Reykjavík. <sup>2</sup>Jarðvísindastofnun Háskólans, Háskóli Íslands, 101 Reykjavík. <sup>3</sup>Departments of Geography & Environment and Archaeology, University of Aberdeen, Scotland. <sup>4</sup>School of Environment and Natural Resources, the Ohio State University, Columbus, OH.

Almennt er viðurkennt að meiriháttar breytingar urðu á gróðurfari á Íslandi í kjölfar landnáms norrænna manna á síðari hluta 9. aldar. Þar ber hæst ört undanhald birkiskóglendis eins og það birtist í minnkandi hlutfalli frjókorna af birki á fyrstu tveimur öldum búsetu. Aukið jarðvegsrof fylgdi í kjölfar þessara gróðurbreytinga og í tímans rás hefur mikill jarðvegur tapast af landi með vatni og vindum. Landnotkun ein er þó vart ábyrg fyrir allri þeirri jarðvegseyðingu sem orðið hefur síðan land byggðist, enda hafa rannsóknir sýnt að rof hafi aukist um það leyti sem litla ísöld var að hefjast. Í þessari rannsókn setjum við fram valdar breytur sem sýna breytingar á gróðurlendi og framgang jarðvegsrofs á síðari hluta nútíma. Rannsóknin var unnin með efni úr mómýri (e. histosol) nærri Seljabrekku í Mosfellsdal sem er í um 150 metra hæð yfir sjávarmáli. Gögnunum er búinn tímarammi sem samanstendur af sex gjóskulögum af þekktum aldri, auk einnar <sup>14</sup>C-greiningar sem markar aldur neðstu setefna.

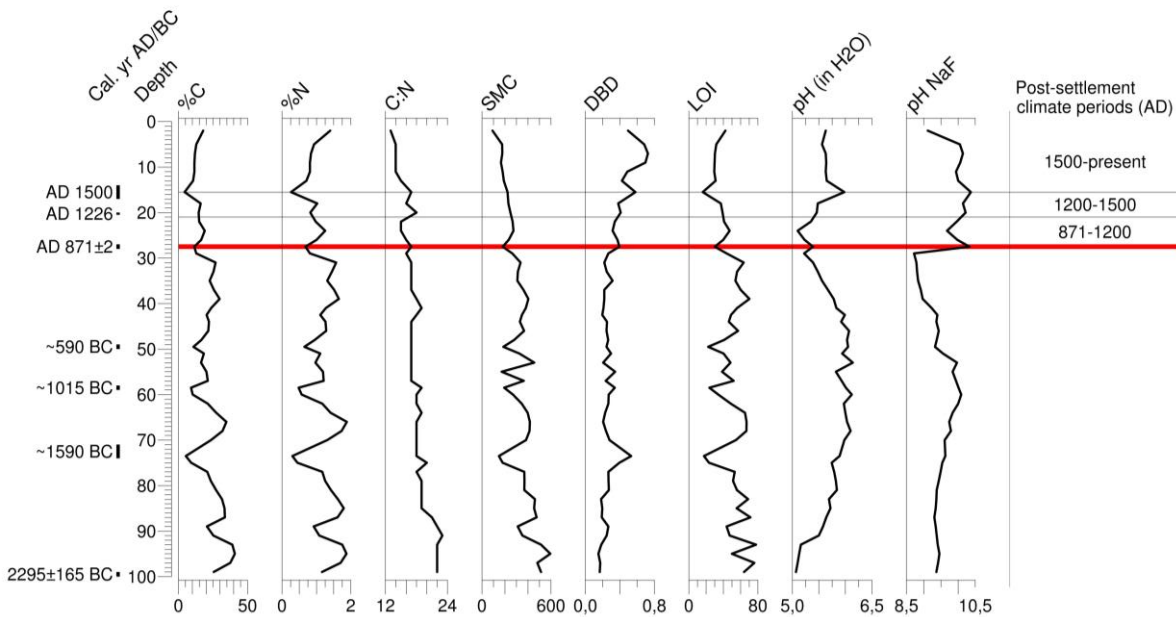
Gögnin benda til að skóg- og kjarrlendi með birki (*Betula pubescens*) og fjalldrapa (*B. nana*) hafi verið hið ríkjandi gróðurfar fyrir og um tíma landnáms. Yfir forsögulegan tíma hélst hlutfall kolefnis (C) hátt þar sem áhirfa gjósku gætir ekki. Minnkuð þekja viðargróðurs kemur fram sem lækkuð hlutföll frjókorna af birki og fjalldrapa, sér í lagi á 11. öld. Mólendi með t.d. grösom (Poaceae), súrum (*Rumex* spp.) og mosajafna (*Selaginella selaginoides*) yfirtekur þau svæði sem skógur og kjarr þakti áður.

Pollen percentage (excl. Cyperaceae) diagram from Seljabrekka (SEL)  
Selected taxa are displayed



Jarðvegsgreiningarnar sýna aukningu jarðvegsrofs og minnkandi jarðvegsgæði eftir landnám í tveimur þrepum. Það fyrra birtist í kjölfar landnáms með lækkuðum hlutföllum C og köfnunarefnis (N), minnkuðu lífrænu innihaldi (LOI) rakaheldni (SMC). Enn frekara fall í C, LOI og hækkuð eðlisþyngd setefnanna eftir 1500 bendir til enn frekari aukningar í jarðvegsrofi innan dalsins á þeim tíma. Á þeim tíma bætast áhrif kólnandi lofstlags við þá landnotkun sem fyrir var og þá kunna áhrif Kötlugjósku frá um 1500 að hafa haft slæm áhrif á vistkerfi dalsins, en hún er jafnan á milli 3-8 sm í sniðum á þessum slóðum. Megin drifkraftur landhnignunar í dalnum var hins vegar landnotkun sem hafði þegar valdið eyðingu skóga og hrundið af stað jarðvegrofi áður en litla ísöld gekk í garð.

Soil quality parameters from Seljabrekka (SEL)



## Heimildir:

Áslaug Geirsdóttir, Miller, G.H., Thorvaldur Thordarson og Kristín B. Ólafsdóttir. 2009: A 2000 year record of climate variations reconstructed from Haukadalsvatn, West Iceland. *Journal of Paleolimnology* 41, 95-115.

Rannveig Ólafsdóttir and Hjalti J. Guðmundsson 2002: Holocene land degradation and climatic change in northeastern Iceland. *The Holocene* 12, 159-167.

## The ice cap of Öräfajökull volcano, S-Iceland, surveyed with radio echo sounding and LiDAR

Eyjólfur Magnússon<sup>1,\*</sup>, Finnur Pálsson<sup>2</sup> and Helgi Björnsson<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Nordic volcanological center, Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Reykjavík. <sup>2</sup> Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Reykjavík. \* Currently SVALI NCoE, Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Reykjavík.

Öräfajökull is an ice covered active volcanic center at the south edge of Vatnajökull ice cap, Iceland. It is located in the area of highest precipitation recorded in Iceland; on the central plateau mass balance of  $\sim 6\text{-}8 \text{ m}_{\text{we}} \text{ yr}^{-1}$  has been observed. The ice cap is temperate with an elevation span of 7- 2110 m a.s.l. with almost no ablation in the uppermost part. Since the settlement of Iceland ( $\sim 900$  AD), Öräfajökull has erupted twice, 1362 and 1727. The 1362 eruption was one of the largest historical eruptions in Iceland and the tephra from this eruption is a well known marker in tephrochronology. Tephra falls, Jökulhlaups and lahars destroyed tens of farms and farmland, and the district has not recovered since. The aim of the current study is to advance understanding of the glaciological processes involved in shaping this ice cap of extreme mass throughput and wide elevation range. The data presented also form a basis for risk assessment and evaluation of ice-volcano interaction during an eruption in Öräfajökull.

The caldera of Öräfajökull is  $\sim 14 \text{ km}^2$  and traps  $4.3 \text{ km}^3$  of ice. The maximum ice thickness is 540 m. The caldera may consist of two collapsed platforms, with the inner part 150 m lower than it's rim and an area of  $\sim 5 \text{ km}^2$ . The caldera floor of Öräfajökull is smooth and volcanic mounds and ridges appear almost absent. The exception is a small topographic mound near the water divides between the rivers Kvía and Virkisá; eruption at this site would have caused widespread jökulhlaups similar to the ones in 1362. Majority of the caldera is part of Kvía drainage basin while the rest belongs mostly to Virkisá drainage basin. The bedrock topography suggests an older highly eroded caldera north of Öräfajökull summit (Hvannadals-hnúkur), similar in size as the present caldera.

The distribution of ice volume and area of the outlets of Öräfajökull is very different from one outlet to another, suggesting variable response to current climate change.

## **Crustal deformation at Grímsvötn volcano: Constraints on magma flow in relation to eruptions of 1998, 2004 and 2011, and location of a shallow magma chamber**

Freysteinn Sigmundsson<sup>1</sup>, Sigrún Hreinsdóttir<sup>1</sup>, Erik C Sturkell<sup>2</sup>, Matthew J Roberts<sup>3</sup>, Ronni Grapenthin<sup>4</sup>, Halldór Geirsson<sup>5</sup>, Benedikt Gunnar Ofeigsson<sup>1,3</sup>, Páll Einarsson<sup>1</sup>, Thierry Villemain<sup>6</sup>, Þóra Árnadóttir<sup>1</sup>, Halldór Björnsson<sup>3</sup>, Þórður Arason<sup>3</sup>, Jósef Hólmjarn<sup>3</sup>, Finnur Pálsson<sup>1</sup>, Gunnar Guðmundsson<sup>3</sup>, Richard A Bennett<sup>7</sup>, Björn Oddsson<sup>1</sup>, Magnús Tumi Gudmundsson<sup>1</sup>, Helgi Björnsson<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Nordic Volcanological Center, Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Reykjavik, Iceland.

<sup>2</sup> University of Gothenburg, Gothenburg, Sweden. <sup>3</sup> Icelandic Meteorological Office, Reykjavik, Iceland. <sup>4</sup> University of Alaska, Fairbanks, AK, United States. <sup>5</sup> Pennsylvania State University, University Park, PA, United States. <sup>6</sup> University of Savoie, Savoie, France. <sup>7</sup> University of Arizona, Tucson, AZ, United States.

Time series of displacements of Mt. Grímsfjall have been collected by Global Positioning System (GPS) geodetic measurements, with increasing detail since 1997. The measurements provide unique constraints on magma flow in relation to the 1998, 2004 and 2011 eruptions of Grímsvötn, and on location of a shallow magma chamber beneath the complex of three calderas at Grímsvötn. The observed displacements can be attributed to several processes: i) transport of magma in and out of a shallow chamber under the center of a caldera complex (inflation, deflation, accompanied by in- and outward horizontal displacements), ii) isostatic uplift due to gradual thinning of the ice cap, iii) annual variation in snow load, iv) crustal plate movements. Annual GPS measurements started after the 1998 eruption and segments of continuous GPS-monitoring are available from before the 2004 eruption. During inflation periods the vertical displacements are a result of glacial isostatic adjustment due to thinning of the glacier and inflow of magma to a shallow magma chamber, while the horizontal displacement component is predominately attributed to magma pressure changes. The horizontal displacements of the GPS-site on the caldera rim are directed outward during inflation and inward (directly opposite) during eruptions. This pattern has been repeated for each eruption cycle, pointing to location of one and the same magma chamber in the center of the caldera complex. Although erupting vents in 1998, 2004 and 2011 were located at the foot of the southern Grímsvötn caldera rim, the inferred pressure centre of a shallow magma chamber is under the centre of the overall caldera complex. Earthquake patterns were similar prior to the two most recent eruptions: a slow increase in number of events during the years before the eruptions and practically none following the eruptions. Time series from the continuous GPS station on Grímsfjall suggest a fast pressure recovery of the shallow magma chamber following the eruption in 2011, similar to observations after the 1998 and 2004 eruptions. The regularity of the crustal deformation and the earthquake pattern prior to the past two eruptions led to both successful long- and short-term predictions and warning of the events. Grímsvötn volcano has shown to be in a state of continuous magma accumulation at shallow depth that results in eruptions when the strength of the crust is overcome by the magma pressure.

During the 2011 Grímsvötn eruption high rate geodetic measurements gave information on displacements at sub second intervals, revealing details of surface deformation associated with magma movements during the eruption. A 5 Hz GPS station and an electronic tilt meter were in operation at Grímsfjall during the eruption. The colocation of these instruments allows us to relate the observed surface deformation to pressure change in a magma chamber assuming a simple Mogi source within an elastic half space. Continuous stream of data was transmitted during the eruption to Reykjavík,

despite the strong eruption plume and lightning. The tiltmeter measures N-S and E-W components of tilt, with the N-S component recorded at 100 samples per second (sps) but the E-W component at 4 sps. The high rate data from the GPS station at Grímsfjall (GFUM) were analyzed using the Track part of GAMIT/GLOBK. We produced kinematic solutions at 5 Hz and 1 Hz intervals using reference stations in 40-120 km distance of the volcano. To minimize multipath effects we applied sidereal filtering and stacked the individual solutions to further improve the signal to noise ratio. The resulting deformation time series suggests a rapid pressure drop starting about 50 minutes prior to the onset of the eruption when over 20 km high plume formed. The characteristics of the GPS and tilt data time series suggests that the main signal was induced by a single source of fixed location and geometry throughout the eruption; a shallow magma chamber. Small deviations in displacement direction prior to the onset of the eruption can be explained by the opening of the feeder dike. We see a total displacement of 57 cm in direction  $\angle N38.5^\circ W$  and down at the GPS station, suggesting a source depth of  $1.8 \pm 0.2$  km and a total volume contraction of the shallow magma chamber of  $(38 \pm 4) \times 10^6 \text{ m}^3$ . About 20% of the displacement preceded the eruption and more than 95% took place within 24 hours of the onset of deformation. The data show that magma feeding the eruption drained from a shallow magma chamber under the Grímsvötn caldera, and from the GPS record we can infer the pressure drop history in the magma chamber. The pressure dropped at a fast rate about an hour prior to the eruption while a feeder dike formed. Throughout the eruption the pressure continued to drop, but decayed mostly exponentially.

The inferred pressure change can be compared to the vigor of the eruption and measurements of plume heights. The eruption produced an initial plume reaching a height of about 20 km, rapidly declining over several days. Plume height was measured by a C-band radar located 257 km from the volcano and a mobile X-band weather radar placed at 75 km distance from the volcano after the eruption began. The radar further away has height resolution steps of 5 km at the location of Grímsvötn above 10 km elevation, and the one closer has resolution steps of 2-3 km. The measurements reveal plume heights often above 15 km between 19:21 on 21 May and 17:35 on 22 May. Peak elevation values of about 20-25 km for about 30 minute intervals were observed a few times between 21:25 on 21 May and 06:40 on 22 May. The initial strong plume was followed by pulsating but generally declining activity. After 04:55 on 23 May the measurements indicate a fluctuating plume mainly below 10 km. In order to generate a continuous curve of plume elevation we average all available plume elevation information for each hour. The resulting plume height is then related to magma flow rate using an empirical formula from Mastin et al. (2009). Integrating these flow rates yields an estimate of accumulated volume of eruptive products calculated as dense rock equivalent (DRE). Despite large uncertainties on the inferred magma flow rate, the shape of the curve of inferred accumulated DRE and the pressure drop are similar. For this eruption, we see a clear link between the strength of an eruption plume and pressure change in the feeding magma chamber, measured by high rate ground deformation studies. Hence we can conclude that magma flow inferred from plume height correlates with the pressure change, which demonstrates the potential of real time high rate geodesy to foresee both onset and evolution of explosive eruptions and their plumes. The inferred volume change of the underlying magma chamber, modeled as a Mogi source, is about 5-10 times smaller than the suggested DRE volume from the integration of plume heights. The difference can be related to expansion of magma residing in the shallow chamber, due to its compressibility.

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

Friðþór Sófus Sigurmundsson<sup>1</sup>, Guðrún Gísladóttir<sup>1 2</sup>, Egill Erlendsson<sup>1 2</sup>,  
Hreinn Óskarsson<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Land og ferðamálfraði, Líf- og Umhverfissvísindadeild, Háskóli Íslands, Öskju Sturlugötu 7.

<sup>2</sup>Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands, Öskju Sturlugötu 7. <sup>3</sup>Hekluskógar, Gunnarsholt, 851 Hella

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

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

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

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

Skógurinn var nýttur til eldiviðar, kolagerðar, kýrfóðurs og beitar. Fjöldi kolagrafa á svæðinu sýna að kolagerð var mikið stunduð í Þjórsárdal. Þessi landnýting hafði gríðarleg áhrif á skóg- og kjarrlendi dalsins, en að auki bættist við kólnandi veðurfar litlu ísaldar, grasmaðkur sem lagðist á gróður og gjóskufall vegna stóra eldgosa í Heklu. Beiti virðist ekki hafa verið ráðandi þáttur í hnignun skóg- og kjarrlendis í dalnum en þó ber að hafa í huga að vetrarþéttir í vistkerfi sem stóð höllum fæti hefur haft neikvæð áhrif.

Eignarhald og skógarítök skiptu meginmáli við stjórnun á nýtingu skóglendis og þar með afdrifum þess. Skóg- og kjarrlendi sem tilheyrði kirkjulénum (Beneficium) og biskupsstólnum í Skálholti var ofnýtt og stóð mjög höllum fæti í byrjun 18. aldar. Biskupsstóllinn í Skálholti átti allar þrjár jarðirnar Ásólfstaði, Skriðufell og Sandártungu í Þjórsárdal auk þess sem hann átti 83 af 131 jörðum sem áttu skógarítök í dalnum. Kirkjulénin voru næst stærsti skóga eigandinn í lok 16. aldar en í byrjun 18. aldar voru ítök flestra þeirra eydd eða stóðu mjög höllum fæti. Þegar biskupsstóllinn í Skálholti var lagður niður 1787 og eignir hans seldar 1791 keyptu ábúendur jarðanna þær og urðu sjálfseignarbændur. Töluverður skógur var þá enn eftir á þessum tveimur jörðum, Ásólfstöðum og Skriðufelli. Öll önnur skógarsvæði voru þá eydd, utan Búrfellsskógar en hann hafði aldrei verið í eigu kirkjunnar. Gnúpverjahreppur hóf þá baráttu fyrir því að gera Búrfellsskóg að eign hreppsins og friða hann fyrir nýtingu annarra en hreppsþúa og setja takmörk á hvað hver mátti taka. Sú barátta bar árangur og

Búrfellsskógur var lýstur eign Gnúpverjahrepps 1854. Árið 1938 var skóglendi í Þjórsárdal 388 ha og skóglendi var einungis að finna í Búrfelli og á Ásólfstöðum og Skriðufelli.

Nýtingu skóglendis í ítökum sem tilheyrðu biskupsstólnum var lítt eða ekki stjórnað og hún gat farið fram frá öllum þeim 83 bæjum sem stóllinn átti. Ítök í einkaeigu voru bundin við eina jörð og einn landeiganda. Ábúendur jarðanna Ásólfstaða og Skriðufells í Þjórsárdal stjórnðu nýtingu skóga á sinni jörð og ítök þar voru skýrt afmörkuð. Þetta átti þó ekki við um jörðina Sandártungu en þar var fjöldi ítaka sem flest tilheyrðu kirkjulénum auk þess sem stóllinn sjálfur átti skóginn við heimatúnið. Jörðin Sandártunga fór í eyði í Heklugosinu 1693 enda var skógurinn þá orðin mjög eyddur.

Skógareyðingin leiddi til gríðarlegar jarðvegseyðingar í Þjórsárdal og var allur dalbotninn uppblásinn árið 1938.



## Jarðvegur í Borgarfirði sýnir landhnignun af völdum landnotkunar

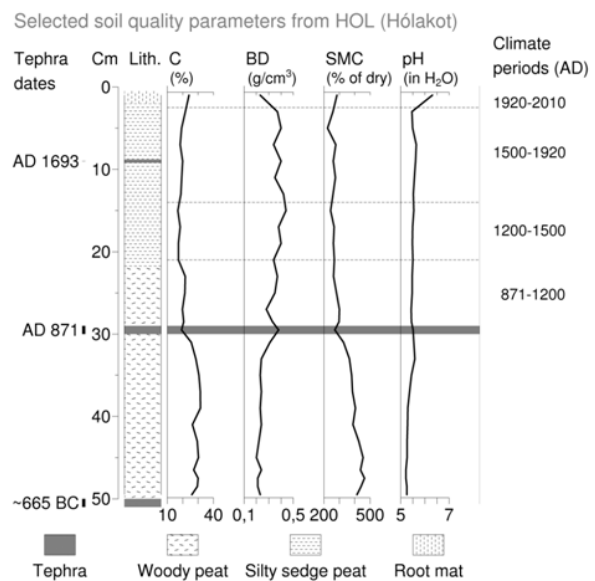
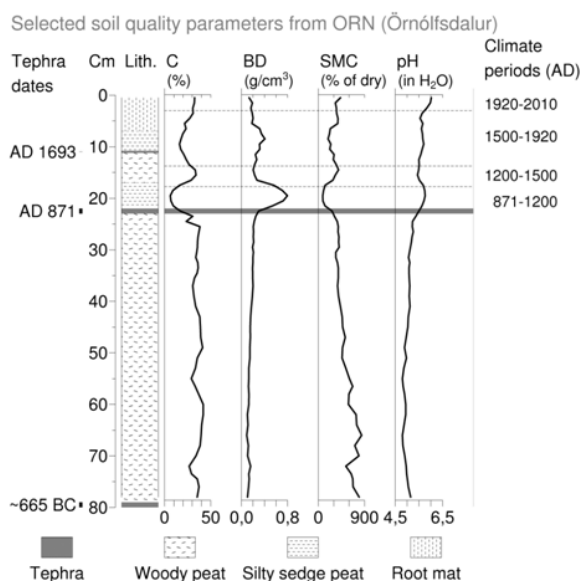
Guðrún Gísladóttir<sup>1,2</sup>, Egill Erlendsson<sup>1,2</sup>, Rattan Lal<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup>Líf- og umhverfisvísindadeild, Háskóli Íslands, 101 Reykjavík. <sup>2</sup>Jarðvísindastofnun Háskólans, Háskóli Íslands, 101 Reykjavík. <sup>3</sup>Departments of Geography & Environment and Archaeology, University of Aberdeen, Scotland. <sup>3</sup>School of Environment and Natural Resources, the Ohio State University, Columbus, OH.

Þessi rannsókn tekur á áhrifum landnotkunar á landvistkerfi. Rannsóknin er framkvæmd með því að mæla jarðvegsgæði í mýrlendi á tveimur stöðum, við Hólakot í Hálsasveit og Örnólfsdalsskógi í Kjarardal. Báðir staðirnir eru í Borgarfirði. Til að kanna hugsanlegt samhengi við gróðurbreytingar er notað frjólínurtit frá Breiðavatni sem er í um 500 m fjarlægð frá Hólakoti. Til að hjálpa til við aðgreiningu áhrifa landnotkunar frá áhrifum loftslags höfum við skipt sögulegum hluta rannsóknarinnar í loftslagstímabil.

Jarðvegsgögnin sýna skarpar breytingar við upphaf landnáms, um 870 e.Kr., sem rekja má beint til umsvifa mannsins. Þó svo á báðum stöðum megi greina slíkar breytingar koma þær fram með mismunandi hætti. Jarðvegsgæði eru meiri í Örnólfsdalsskógi en við Hólakot og þar eru breytingar við landnám skarpari. Þrátt fyrir þetta má greina aukningu í kolefnisinnihaldi og öðru lífrænu innihaldi í Örnólfsdalsskógi á tímabilinu 1200-1500 en þá benda viðarleifar í setefnum til að skóglendi hafi náð sér aftur á strik eftir að hafa hörfað eftir landnám.

Jarðvegsgæði voru meiri fyrir landnám við Hólakot en þau urðu síðar, þrátt fyrir að uppsöfnun kolefnis hafi aukist eftir landnám í tengslum við hraðari uppbyggingu þyngri setefna. Í þversögn við það sem gerðist í Örnólfsdalsskógi urðu jarðvegsgæði rýrust við Hólakot á bilinu 1200-1500. Á þeim tíma lét skóglendi umhverfis sýnatökustaðinn hratt undan. Af því má ætla að landnotkun hafi verið áköfust á þeim tíma.

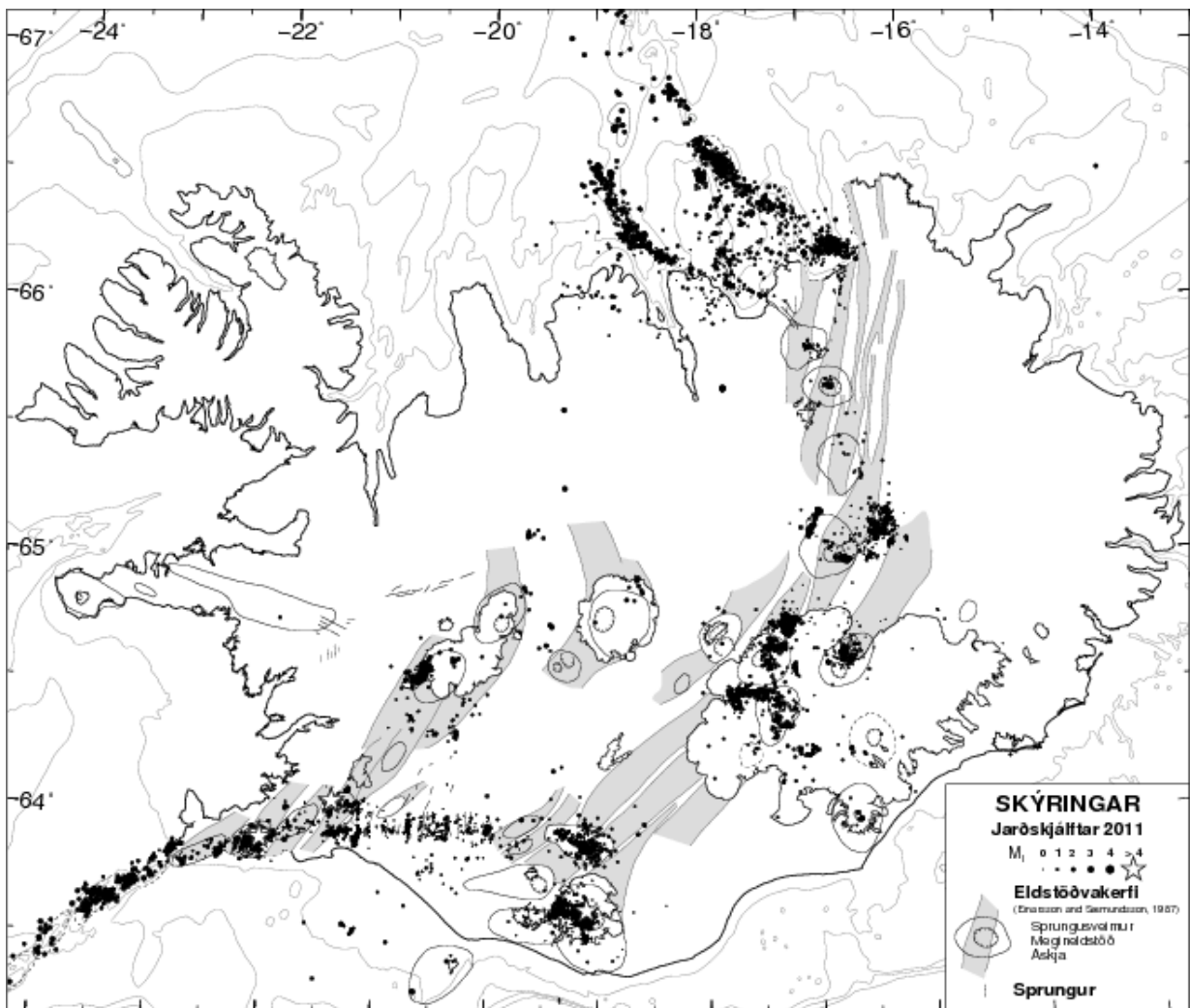


## Jarðskjálftar á Íslandi 2011

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

Veðurstofu Íslands, Bústaðavegi 9, 150 Reykjavík

Yfir 17.000 jarðskjálftar mældust með jarðskjálftamælakerfi Veðurstofu Íslands árið 2011. Helstu atburðir á árinu voru eldgos í Grímsvötnum, aukin virkni í Kötlu og skjálftahrinur við Húsmúla og á Krýsuvíkursvæðinu. Sex jarðskjálftar mældust með stærðir um og yfir  $M_L 4$ , einn norður af Grímsfjalli í janúar, tveir við Kleifarvatn í febrúar, einn í Kötluöskju í október og tveir við Húsmúla einnig í október.



Flestir jarðskjálftar á Reykjanesskaga áttu upptök á Krýsuvíkursvæðinu. Virkasta tímabilið var frá 20. febrúar og fram í mars, en þá var mikil hreyfing á svæðinu vestan og sunnan við Kleifarvatn. Tveir skjálftar mældust um og yfir fjögur stig og fundust víða um sunnan- og suðvestanvert landið. Í október mældist skjálftahrina suðvestan við Hafnarberg á Reykjanesi.

Mesta skjálftavirknin á Hengilssvæðinu var við Húsmúla. Skjálftar urðu vegna niðurrennslis affallsvatns í borholur við Hellisheiðarvirkjun. Í september jókst fjöldi skjálfta á svæðinu umtalsvert þegar teknar voru í notkun nýjar afrennslisholur við virkjunina. Slíkur fjöldi skjálfta hefur ekki mælst fyrr á svæðinu. Tveir stærstu jarðskjálftarnir voru um fjögur stig. Þeir fundust vel víða um sunnan- og vestanvert landið. Þessi aukna skjálftavirkni hélt áfram út árið. Smáskjálftavirkni var viðvarandi allt árið á syðri hluta Krosssprungunnar sem brotnaði í maí 2008. Flestir skjálftar á Suðurlandsundirlendinu urðu á Hestvatnssprungu og svo Holtasprungu, sem brotnuðu í júní 2000. Flestir jarðskjálftar í vestara gosbeltinu áttu upptök í þremur skjálftahrinum undir Geitlandsjökli og við Þórsidal.

Í júní jókst skjálftavirkni innan Kötluöskjunnar. Í júlí kom snöggst jökulhlaup, með upptök í suðausturhluta öskjunnar, sem sópaði burt brúnni yfir Múlakvísl. Fjöldi skjálfta innan öskjunnar var mikill út árið með upptök aðallega á þremur svæðum: norðaustan til við Austmannsbungu, í sunnan- og vestanverðri öskjunni. Snarpasta skjálftahrinan varð í byrjun október í norðaustanverðri öskjunni, rétt sunnan við Austmannsbungu, þar sem stærsti skjálftinn var  $M_L$  4. Önnur virk svæði í Mýrdalsjökli voru við Goðabungu og Hafursárjökul, sem er lítill skriðjökull suður af Hábungu, en skjálftavirkni hófst þar í júlí.

Í maí varð eldgos í Grímsvötnum sem stóð í viku. Fjöldi skjálfta mældist á nærliggjandi skjálftamælum í upphafi goss og einnig gosórói meðan á gosinu stóð. Stærstu skjálftarnir voru um  $M_L$  3,5. Gosið var mjög öflugt fyrsta sólarhringinn og fór gosmökkur upp í allt að 20-25 kílómetra hæð. Gosórói hvarf alveg af mælum að morgni 28. maí. Í júlí varð smáhlaup með upptök við Hamarinn sem barst niður í Hágöngulón. Hlaupórói kom fram á mælum, mest á Skrokköldu og Grímsfjalli. Þetta er fyrsta hlaupið með þessi upptök sem vitað er um. Í ágúst mældist tæpur tugur skjálfta í Örfajökli. Frá upphafi stafrænna skjálftamælinga (1991) hafa mælst um 30 skjálftar innan öskju eldstöðvarinnar.

Engar stærri skjálftahrinur mældust á svæðinu norðan Vatnajökuls. Tvær smáhrinur áttu upptök við Dyngjufjöll ytri, um mánaðarmótin apríl/maí og í október. Engar stórhreinur urðu í Tjörnesbrotabeltinu, en þó mældust á þriðja þúsund jarðskjálfta. Í desember mældust nokkrir skjálftar í Vaglafjalli austan Akureyrar. Þessi staðsetning er óvenjuleg og ekki vitað til að þar hafi mælst skjálfti áður. Fyrsti skjálftinn var rúmlega  $M_L$  3 og fannst á Akureyri.

## GPS mælingar á sprungusveimi Þingvalla

Hanna Sumarliðadóttir<sup>1</sup>, Sigrún Hreinsdóttir<sup>1</sup>, Páll Einarsson<sup>1</sup>, Karolina Michalczewska<sup>1</sup>, Erik Sturkell<sup>2</sup>, Pete LaFemina<sup>3</sup>, Þóra Árnadóttir<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jarðvísindastofnun Háskólans, Reykjavík, Ísland. <sup>2</sup>Göteborgs Universitet, Svíþjóð. <sup>3</sup>The Pennsylvania State University, Dunmore, PA, USA

Almannagjá liggur við norður enda Þingvallarvatns og tilheyrir sprungusveim sem tengist eldstöðva-kerfi Hengilsins. Sprungukerfið myndar sigdal og Almannagjá markar vesturbarm hans. Sprungusveimurinn er hluti af Vesturgosbeltinu þar sem rekhraðinn er u.þ.b. fjórðungur af heildar rekhraðanum yfir landið, um 4-5 mm á ári. Á flekaskilunum yfir vestra gosbeltið safnast jafnt og þétt upp spenna sem losnar þegar gliðnunarhrinur ganga yfir.

Á árunum 1967-1973 voru framkvæmdar fjarlægðamælingar yfir sprungusveiminn með punktum sem Eysteinn Tryggvason setti upp árið 1966 til þess að fylgjast með jarðskorpuhreyfingum yfir flekaskilin (E. Tryggvason, 1974, Decker ofl., 1976).

GPS (Global Positioning System) mælingar voru fyrst framkvæmdar á Íslandi árið 1986 og voru punktarnir ALMA á vesturbarmi Almannagjár og LAUG á Laugarvatni hluti af netinu sem þá var mælt. ALMA og LAUG hafa verið mældir reglulega síðan og á hverju ári frá 1998. Fjarlægðarmælilínan yfir Þingvallasveiminn var mæld síðast með GPS árin 2003, 2005, 2009 og 2011 og nokkrir punktar í ferlinum hafa verið mældir oftar. Þéttleiki netsins er mestur við gjánna en ferillinn spannar alls um 40 km með 15 mælistöðvum.

Í mars 2011 uppgötvaðist gat sem opnast hafði á Kárastaðastíg við Hakið í Almannagjá. Við nánari athugun kom í ljós að gatið var op að gjá undir stígnum með talsverðri hvelfingu og fleiri minni holur hafa síðan fundist.

Við berum mælingarnar frá 2011 saman við eldri mælingar frá 2003 og 2009 og skoðum hvort marktækar breytingar hafi orðið á síðustu árum á færslum yfir sprungusveimin. Eru þessi gljúfur afleiðingar af gliðnun eða er manngerð fylling undir veginum smá saman að gefa sig? Almannagjá er einn vinsælasti ferðamannastaður landsins og mikilvægt að lágmarka hættu vegna grjóthruns og gliðunar með því að rannsaka þau ferli sem þar eiga sér stað.



Mynd 1: GPS punktar á Þingvallasveiminum. Fosa er í Hvalfirði og LAUG vestan við Laugarvatn.  
(Google Earth)

## Öskjumyndun í Brekkufjalli í Skarðsheiði

Hjalti Franzson

Íslenskar orkurannsóknir

Tertíera megineldstöðin í Hafnarfjalli-Skarðsheiði myndaðist stuttu eftir að rekbeltið opnaðist austan Borgarnes andhverfunnar sunnanverðrar. Megineldstöðin, sem var virk í um 1,5 milljón ár (5,5-4 m.á.), ber áberandi einkenni um að vera hluti af nýju rekbelti sem brýtur sér leið upp í gegnum eldri skorpu. Greina má fjögur aðskilin tímaskeið innan eldstöðvarinnar; það elzta er kennt við Brekkufjall, það næsta við Hafnarfjall, það þriðja við Skarðsheiði og fjórða tímaskeiðið og ógreinilegasta finnst neðan Heiðarhorns í Skarðsheiði.

Hér verður fjallað um fyrsta tímaskeið eldstöðvarinnar kennt við Brekkufjall (sjá mynd). Upphaf þess er upphleðsla um 200 m þykks stafla af þunnum þóleiít hraunlögum, en í kjölfar þess kemur hinn sérkennilegi og þykki stafli af andesíti með blöndu af líparíti sem sést mest í holtunum milli Hvanneyrar og Hestfjalls. Þessi stafli er tvískiptur. Sá neðri samanstendur af basalt-andesít og andesít hraunlögum, en ofan þess koma andesít hraunlög rík af hnyðlingum, og líklegt að í efri hluta þeirra laga sé blandberg andesíts og líparíts að finna. Raunþykkt þessa stafla er um 500 m en þynnist til norðausturs, en er ennþá um 50 m þykkur í borholum í Bæ í Bæjarsveit, í um 11 km fjarlægð. Þessi hluti er túlkaður sem hliðar eldfjalls með miðpunkti í Brekkufjalli. Á fjórum stöðum finnast gígtappar úr hnyðlingaríku andesíti og andesít-líparít blandbergi, sem líklegast hafa fætt þessi hraunlög.

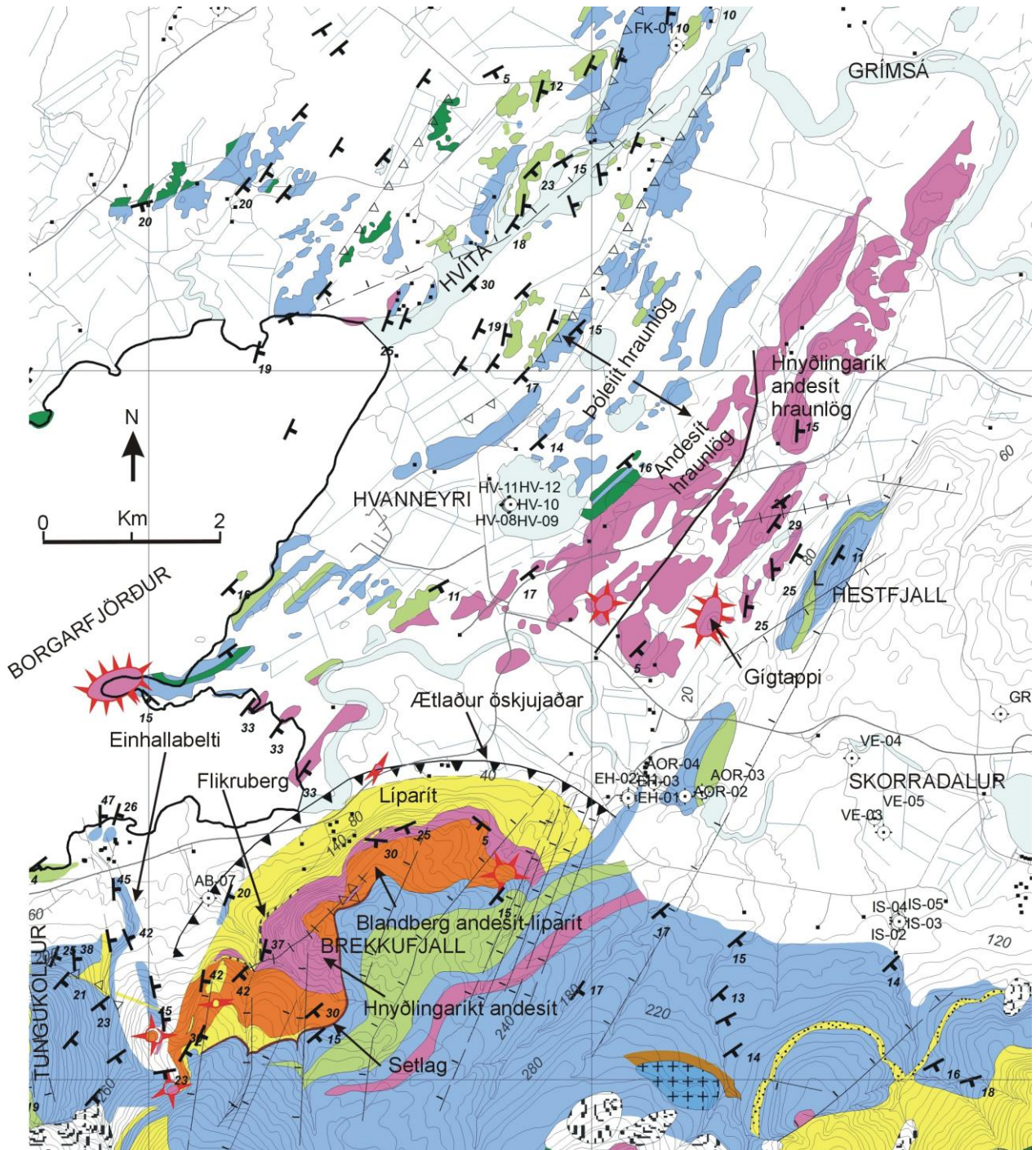
Í vesturhluta Brekkufjalls er einhallabelti þar sem þunn þóleiít hraunlög halla 40-50° til austurs. Beltið stefnir rétt vestan við norður niður að Grjóteyri og hverfur í Borgarfjörðinn. Lögin í Brekkufjalli skiptast í fjóra hluta: Neðst eru þrjú þykk líparít hraun sem halla 20° eða meira innundir Brekkufjall. Flikrúbergslag liggur svo á mótum þeirra og um 150 m þykks stafla af hnyðlingaríkum andesít hraunlögum. Hraunlögin hafa hlaðist upp í einum gosfasa því þau hafa í miðju staflans náð að storkna sem ein heild. Í beinu framhaldi og líklegast sem hluti af sama gosfasa fer að bera á blandkviku andesíts og líparíts, og mynda þau tiltölulega þunnar rennsliseiningar ofan andesítsins, og ofan þeirra í Skálafjalli, suðvestan Brekkufjalls, lýkur Brekkufjallsmyndun með líparíthrauni. Allar þessar myndanir hafa hlaðist svo hratt upp að þær hafa ekki náð að storkna áður en sú næsta rennur ofan á, og veldur því að þær storkna að miklum hluta sem ein heild.

Talið er að Brekkufjall sé öskjumyndun sem fyllist hratt af gosefnum, og eru sterkustu rökin fyrir því einhallabeltið á vesturjaðrinum, líparítið sem fyllir botninn, brattur halli fyllingarinnar inn til ætlaðrar miðju sigketilsins, og svo síðast en ekki sízt vatnaset og stuðluð, þykk basalhraunlög sem liggja ofan fyllingarinnar og benda sterklega til öskjuvatns.

Brekkufjall og tengdar myndanir eru afar sérstæðar, og má þar til nefna magn ísúrs bergs, sem gróflega áætlað er um 20 km<sup>3</sup>, og sem komið hefur til yfirborðs að miklum hluta í einum gosfasa. Bæði efri hluti hraunlaganna vestan Hestfjalls sem og myndanirnar innan Brekkufjalls innihalda gnægð hnyðlinga sem að miklum hluta er ummyndað basalt, og er það túlkað sem merki um þau miklu umbrot sem verða við uppflæði kvikunnar. Eðlilegt væri að tengja þetta mikla magn ísúrs bergs við uppbræðslu á gamalli skorpu sem megineldstöðin hitar upp á þessum tíma. Askjan er heldur minni í sniðum (þvermál ~5 km) en öskjur í tertíerum megin-



eldstöðum, og myndast sem einn afmarkaður atburður, meðan þær síðarnefndu taka meira en 100 þúsund ár að myndast. Keilugangar sjást vart í tengslum við öskjuna. Mælingar á segulstefnu í hnyðlingaríka berginu eru afar breytilegar og bendir til að þessi myndun verði til á segulskilum Epoch 5 og Gilbert tímabilana.



Mynd. Jarðfræðikort af Brekkufjalli og nágrenni. Meginskýringar merktar inn á myndina.

## Jarðhitarannsóknir á Corbetti svæðinu í Eþíópíu

Hjálmar Eysteinnsson<sup>1</sup>, Gestur Gíslason<sup>1</sup>, Vigdís Harðardóttir<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Reykjavík Geothermal, <sup>2</sup>Íslenskar Orkurannsóknir

Corbetti askjan í austur-Afríska gliðnunarbeltinu er um 155 km<sup>2</sup> að flatarmáli, staðsett um 200 km sunnan við höfuðborg Eþíópíu, Addis Ababa. Þar hefur fyrirtækið Reykjavík Geothermal (RG) gert jarðhitarannsóknir á síðasta ári. Áður hefur jarðfræðistofnun Eþíópíu unnið að ýmsum jarðhitarannsóknum. RG hefur nýlega kynnt úrvinnslu allra þessara mælinga. Tekin hafa verið sýni á jarðhitagufu og þau efnagreind. Niðurstöður þeirra benda til hitastigs yfir 300°C. Einnig hafa verið gerðar umfangsmiklar viðnámsmælingar, bæði TEM og MT mælingar. Niðurstöður þeirra sýna að um er að ræða háhitasvæði sem er á annað hundrað km<sup>2</sup> að stærð. RG reiknar með að hefja rannsóknarboranir á svæðinu á fyrrihluta næsta árs og stefnt er á að minnsta kosti 100 MW virkjun á næstu árum.



## Grunnvatnsrannsóknir í Kelduhverfi og Öxarfirði

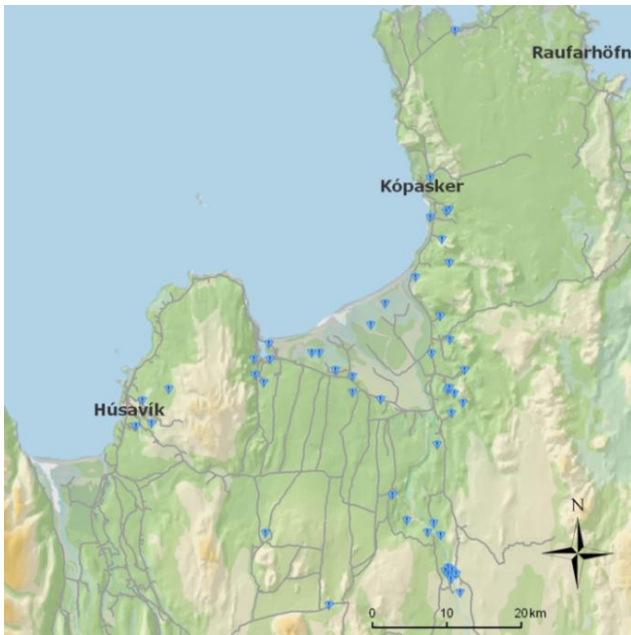
Hrefna Kristmannsdóttir<sup>1</sup> og Árný Erla Sveinbjörnsdóttir<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Háskólinn á Akureyri, Borgum við Norðurslóð, 600 Akureyri, <sup>2</sup> Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík.

Í samvinnu við Landsvirkjun hafa farið fram árin 2007-2011 umfangsmiklar rannsóknir á grunnvatnskerfinu norðan við fyrirhugaða virkjunarstaði á háhitasvæðunum á norðausturlandi.

Tilgangur verkefnisins var að gera úttekt á grunnástandi helstu grunnvatnskerfanna á því vatnasvæði sem mögulega verður fyrir áhrifum frá affallsvatni háhitasvæðanna á Þeistareykjum, Gjástykki og Kröflu. Jafnframt var sett upp eftirlitsáætlun sem hefur það markmið að fylgjast með grunnvatninu og kanna hvort mögulega verði einhverjar breytingar á því vegna virkjananna. Mjög vatnsmikil grunnvatnskerfi eru í Kelduhverfi og Öxarfirði og allvatnsmiklar lindir eru við Húsavík. Jafnframt eru vatnsmikil lindasvæði við Hólmatungur vestan við Jökulsárgljúfur. Utan þessara svæða er talsvert dýpi niður á grunnvatnsborð og til að fylgjast með grunnvatnsrennsli þarf að bora grunnar rannsóknaholur. Farið hafa fram um-

fangsmiklar rannsóknir á grunnvatnsrennsli og eiginleikum grunnvatns á Norðausturlandi á undanförunum áratugum. Að frumkvæði Landsvirkjunar gerðu Vatnaskil ehf. fyrst fremur gróft grunnvatnslíkan af öllu svæðinu frá jöklum og fram í sjó og síðar var það líkan framlengt til norðurs í sjó fram. Sprungureinarnar sem liggja frá suðri til norðurs innan gosbeltisins hafa mun meiri lekt en bergið umhverfis og hafa mest áhrif á rennslisleiðir vatns á svæðinu.



Mynd 1. Helstu lindasvæði á svæðinu frá Húsavík að Raufarhöfn.

Áhrifa gætir frá háhitasvæðunum innan þessara sprungureina á grunnvatnskerfin þar sem affallsvatn streymir frá þeim. Mest eru þó áhrifin á grunnvatnskerfin þegar eldvirkni á sér stað eins og kom fram í Kröflueldum. Flókin jarðfræðileg uppbygging svæðisins, jarðhitavirkni, tengsl við sjó og árósa Jökulsár gerir það að verkum að grunnvatnskerfin eru margbreytileg og nokkuð flókin. Til eru allgóð gögn um efnaeiginleika grunnvatns á svæðinu frá jöklum til sjávar milli Skjálfandafliðs og Jökulsár á Fjöllum. Hefur þeirra einkum verið aflað af Orkustofnun en einnig í ýmsum rannsóknarverkefnum innlendra og erlendra háskóla. Einnig eru til nokkur gögn um stöðugar samsætur vetnis og súrefnis, sem gefa upplýsingar um uppruna vatnsins og nýtast sem náttúruleg ferilefni. Í Kelduhverfi og í Öxarfirði, svo og á svæðinu við Húsavík hafa verið gerðar ítarlegar grunnvatnsrannsóknir á áttunda og níunda áratug síðustu aldar (Lúðvík Georgsson o. fl., 2000, Þórólfur H. Hafstað. 1989). Nýrri rannsóknir tengjast

jarðhitarannsóknnum á svæðinu svo og rannsóknum á grunnvatni vegna fiskeldis og verkefna á sviði heilsutengdrar ferðaþjónustu.

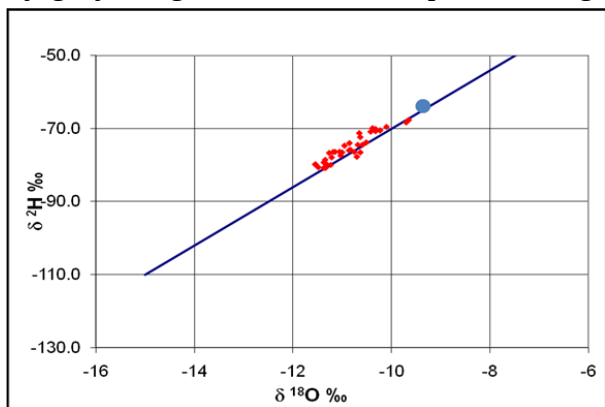
Í verkefninu var tekið saman yfirlit um grunnvatnskerfin úr fyrirbyggjandi gögnum, bæði hvað varðar uppruna vatnsins, rennislisleiðir og jarðefnafræðilega eiginleika. Jafnframt var könnuð vitneskja um áhrif afrennslis háhitasvæða á grunnvatnskerfin í Kelduhverfi og Öxarfirði, bæði frá rituðum heimildum og viðræðum við ábúendur á svæðinu og vísindamenn sem þar hafa unnið. Valdir voru heppilegir staðir úr helstu lindasvæðum og úr borholum til að safna sýnum til efnagreininga á vatni, og valdir þeir efnaþættir og samsætur sem fylgjast ætti með í sýnunum. Síðan voru tekin sýni úr völdum lindum sumarið 2007 og gerðar á þeim ítarlegar efnarannsóknir og í kjölfarið voru tekin sýni til efna- og samsætugreininga tvisvar á ári úr hluta lindanna næstu þrjú árin.

Kalda grunnvatnið á Öxarfjarðarsvæðinu er dæmigert alkálí-bíkarbónat vatn eins og algengast er um grunnvatn á Íslandi. Volgu grunnvatnssýnin flokkast hins vegar sem alkálí-klóríð eða alkálí-klóríð/ bíkarbónatvatn. Sýnin frá lindunum við Húsavík eru einnig alkálí-bíkarbónat vatn, en eru greinilega úr öðru vatnskerfi. Sýnið úr Hljóðaklettum flokkast fremur sem kalsíum-bíkarbónatvatn. Greinilegur munur er á hlutfalli stöðugra samsæta í þeim lindum sem eiga uppruna sinn að hluta til úr sprungusveimnum og hinna sem hafa staðbundinn uppruna. Samanburður á súrefnissamsætunum sem mældar voru í nýju sýnunum sýnir ekki neinar marktækar breytingar frá eldri mælingum, en fremur lítið er til af gögnum.

Styrkur snefilefna er gjarnan við eða undir greiningarmörkum. Í köldu lindunum eru það einkum P og V, sem nær alltaf mælast í marktækum styrk, en einnig B og oft Ba, Rb og Cr. Í volgu lindunum mælast mun fleiri snefilefni í marktækum styrk en í þeim köldu (B, Ba, Br, Cr, Cs, Cu, Ga, Ge, I, Li, Mo, P, Rb, Sb, Se, Sr, Ti, V, W).

Niðurstöður samsæturannsóknna benda til að grunnvatn í Kelduhverfi og Öxarfirði sé blanda af staðbundnu rigningarvatni og lengra aðrunnu vatni frá svæðinu norðan jökla og eru aðalframrásarsvæði þess vatns í sprungusveimnum megineldstöðvanna. Dreifingin í vetnissamsætu hlutfalli er frá  $\delta^2\text{H}$  um -68‰ til -81‰ og  $\delta^{18}\text{O}$  um -9.7‰ til -11.5‰ (Mynd 2). Þyngstu sýnin eru frá Kópaskeri og vatnsbóli austast í Kelduhverfi. Volgu sýnin eru léttari en þau köldu og eru heitustu sýnin léttust.

Það hversu vel afmörkuð efnasamsetning og samsætu hlutfall kalda grunnvatnsins er bendir til þess að möguleg áhrif frá affallsvatni jarðhitavirkjana mundu koma fljótt og skýrt í ljós væri haft eftirlit með heildarefnainnihaldi og samsætu hlutföllum vatnsins. Vegna lítils styrks snefilefna gæti möguleg hækkun í þeim snefilefnum sem fylgja jarðhitavatni jafnframt sést mjög fljótt í grunnvatninu. Sum þeirra efna gætu þó bundist á leiðinni við síun og hvörfun í



gropnum, sprungnum jarðlögum. Einnig verður mikil þynning þar sem affallsvatnið er hlutfallslega í mjög litlu magni miðað við grunnvatnsstraumana.

Mynd 1. Hlutfall stöðugra samsæta í sýnunum.

Blái hringurinn er staðbundið rigningarvatn.

## Tilvitnanir:

Lúðvík S. Georgsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Magnús Ólafsson og Ólafur G. Flóvenz. 2000. The geothermal exploration of the Öxarfjörður high-temperature area, NE-Iceland. *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 1157-1162.

Þórólfur H. Hafstað. 1989. *Öxarfjörður. Grunnvatnsathuganir 1987-1988. Framlag til sérverkefnis í fiskeldi*. Reykjavík: Orkustofnun. Skýrsla OS-89039/VOD-08B, 22s.

## Leirsteindir úr íslenskum skriðuföllum

Hrefna Kristmannsdóttir<sup>1</sup>, Halldór G. Pétursson<sup>2</sup> og Jón Kristinn Helgason<sup>3</sup>

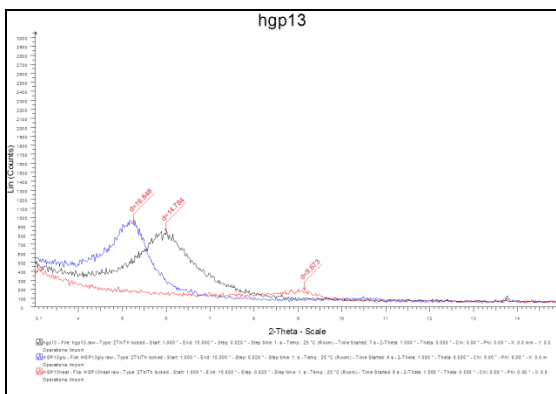
<sup>1</sup>Háskólinn á Akureyri, Borgum við Norðurslóð, 600 Akureyri. <sup>2</sup>Náttúrufræðistofnun Íslands, Borgum við Norðurslóð, 600 Akureyri. <sup>3</sup>Veðurstofa Íslands, Suðurgötu 12, 400 Ísafirði.

Rannsóknir á stórum íslenskum skriðuföllum hafa sýnt að mjög oft fara skriðurnar af stað á leirbornum sprunguflötum. Leirinn lítur mjög mismunandi út, en ekki ósjaldan virðist hann tengdur ummyndun á súru eða ísúru bergi. Fram til þessa hafa ekki verið gerðar ítarlegar leirsteindarannsóknir á skriðuefni, en slíkt verkefni hófst á s.l. ári í samvinnu Náttúrufræðistofnunar Íslands, Háskólans á Akureyri og Veðurstofu Íslands.

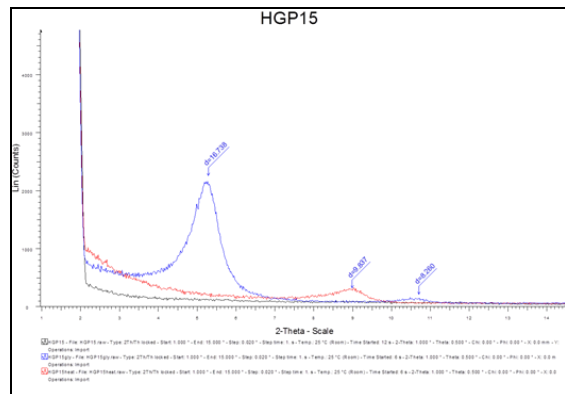
Valin voru sýni aðallega úr stórra skriðu sem féll í Torfufellsdal í Eyjafirði 14. okt. 2011, hljóp þvert yfir dalinn og upp í fjallshlíðarnar hinum megin og síðan langt niður eftir dalnum. Til samanburðar voru jafnframt rannsökuð sýni neðst úr fornu berghlaupi í mynni Djúpadals í Eyjafirði, úr stórra skriðu sem féll í Sölvadal í Eyjafirði 29. júní 1995 og úr fornu berghlaupi á Almennungum við utanverðan Skagafjörð.

Leirsteindakornastærð var skilin frá í sýnunum og greind með hefðbundnum leirgreiningaaðferðum. Útbúin voru tvö setsýni með því að hrista sýnin í tvo sólarhringa og skilja út kornastærð undir 2  $\mu\text{m}$ . Sýnin voru annars vegar geymd við fast rakastig (33% raka) í 2-5 daga og hins vegar mettuð með ethylenglycoli. Sýnin voru svo greind með röntgendiffraksjónstæki í eigu nokkurra samstarfsstofnana. Fyrri sýnið var svo hitað við um 560  $^{\circ}\text{C}$  í ofni, kælt og greint aftur með röntgendiffraksjónstæki.

Leirsýnin úr skriðunni í Torfufellsdal reyndust vera að mestu leyti illa kristallaðar leirsteindir af smektítgerð (Mynd 1), eða a.m. k. svellandi leirsteindir. Í sumum tilvikum voru betur kristallaðar smektíksteindir í sýnunum (Mynd 2). Þar sem steindirnar voru nægilega vel kristallaðar sást að þær voru tvíoktaedrískar og ýmist af af gerðinni montmorillonít eða nontronít.



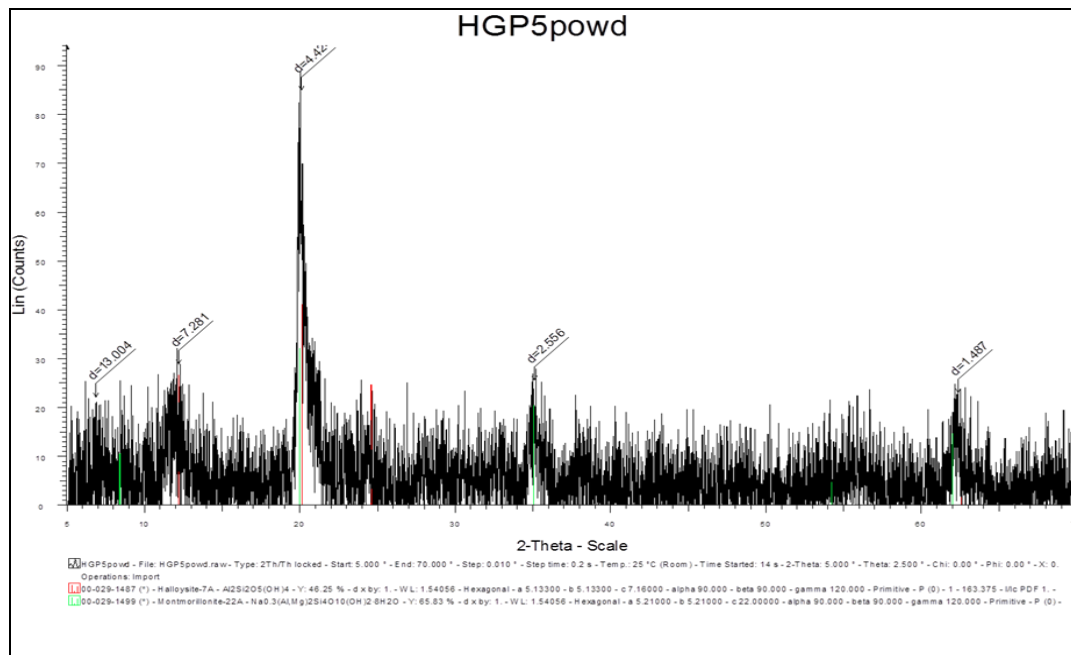
Mynd 1. Rauðleitur leir, Torfufellsdal-leirgreining með XRD.



Mynd 2. Brúnn leir, Torfufellsdal. -leirsteindagreining með XRD.

Í tveimur sýnum fundust leirsteindir af annarri gerð, álsilikatinu halloysít (Mynd 3).

Í berghlaupinu í Djúpadal fundust allvel kristallaðar smektítsteindir af montmorillonítgerð og eins í berghlaupinu á Almennungum. Leirsteindir í skriðunni í Sölvadal voru einnig smektít af montmorillonítgerð, en illa kristallaðar.



Mynd 3. XRD línurit af beingulum leir úr Torfufellsdal.

Frumniðurstöður rannsókna á leirsteindum í skriðusýnunum sýna að algengast er að þær séu smektít af montmorillonít og nontrónítgerð. Í ummynduðu bergi á Íslandi eru algengustu smektítsteindir af gerðinni járnríkt sapónít, enda myndaðar við ummyndun basalts. Montmorillonít finnst á yfirborði háhitasvæða þar sem súr ummyndun á sér stað og nontrónít finnst stöku sinnum í bergi ummynduðu við lághita og sem veðrunarsteind. Ekki er vitað til þess að Halloysít hafi áður fundist í ummynduðu bergi á Íslandi, né í súrri ummyndun á háhitasvæðum. Þar sem allar þessar steindir eru að mestu álsiliköt og járnálsiliköt er líklegt að þær hafi myndast við ummyndun á súru og ísúru bergi. Allar eru þær svellandi og geta tekið upp vatn í kristallastrúktúrinn og því mjög óstöðugar og kemur ekki á óvart að slíkar steindir séu algengar á skriðflötum skriðufalla og eigi þátt í að koma þeim af stað.

Áætlað er að halda þessum rannsóknum áfram og rannsaka fleiri skriðuföll og jafnframt gera ítarlegri rannsóknir á þeim stöðum sem fjallað er um í þessu ágripi.

## Hörfun jökla af Fljótsdalshéraði og úr Fljótsdal á Austurlandi – aðdragandi og upphaf myndunar Lagarins –

Hreggviður Norðdahl<sup>1</sup> og Ólafur Ingólfsson<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Jarðvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík

Í upphafi síðjökultíma hörfaði íslenski meginjökull svo hratt af landgrunninu umhverfis landið að fyrir um 14.600 árum síðan voru strandsvæði þess orðin íslaus og elstu og jafnfram efstu fjörumörk á landinu urðu til. Á Austurlandi hörfaði jökullinn svo langt inn til landsins að Fljótsdalshérað og Fljótsdalur urðu íslaus og þá hefur sjór að öllum líkindum gengið inn í Fljótsdal og vatnsstæði Lagarins verið fjörður á þeim tíma. Á þessum tíma reis land hratt úr sjó og fyrir um 14.000 árum féll afstætt sjávarborð niður fyrir bergþröskuldinn við Lagarfoss og Lögurinn varð líklega um skamman tíma að stöðuvatni. Síðar á síðjökultíma stækkuðu jöklar á Austurlandi og náðu tímabundu hámarki á yngra Dryasskeiði fyrir um 12.000 árum og á Preborealskeiði fyrir um 11.200 árum síðan samtímis því að afstætt sjávarborð hækkaði vegna landsigs undan auknu jökulfargi. Í upphafi nútíma, þegar jökull hvarf endanlega úr Fljótsdal, reis landið og afstætt sjávarborð féll niður fyrir núverandi legu þess. Eitt af markmiðum okkar er að ákvarða legu jökulbrúnar skriðjökuls úr Fljótsdal og afstöðu láðs og lagar á þessum tíma.

Frá Lagarfossi í norðri og suður að mynni Suður- og Norðurdals eru ummerki um að vatnsborð Lagarins hafi fyrr á tímum staðið nokkru hærra en það gerir nú. Nyrst eru þessar fornu strandlínur í um 32 m h.y.s. en hæð þeirra yfir sjó fer vaxandi eftir því sem sunnar dregur og strandlínur eru þar í mörgum hæðum, hver upp af annari. Syðst eru efstu strandlínurnar í 63 m h.y.s. nærri Melum, lægri í um 53 m h.y.s. við Múla og 47 m h.y.s. við Valþjófsstað. Við Valþjófsstað er líka lægsta strandlínan, en þar er hún í um 40 m h.y.s. Sunnar en þetta finnast engar fornar strandlínur Lagarins.

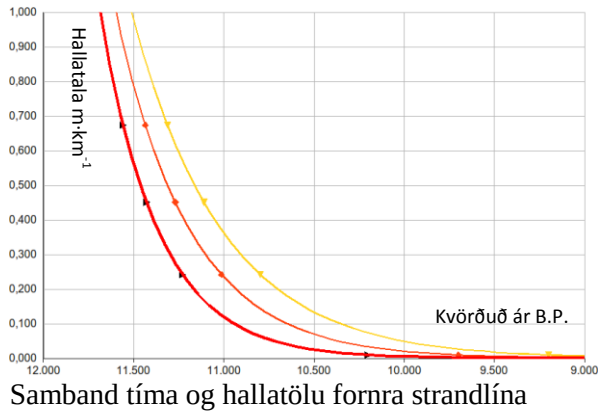
Margs konar jökulræn landform í lausum jarðlögum, eins og fornir jökuláaurar, með og án jökulkerja og jaðarhjallar, eru til vitnis um framrás og legu jökuls á Fljótsdalshéraði og í Fljótsdal. Á svæðinu á milli Tjarnarlands og Eiða sýna þessi landform að jökull úr Fljótsdal var kyrrstæður þar um stund áður en hann hörfaði þaðan til suðurs og vatnsstæði Lagarins varð smám saman jökullaust. Jökulræn landform og takmörkuð útbreiðsla fornra strandlínar



Fornar strandlínur Lagarins í Freysnesi



Lagarins á svæðinu norðan og sunnan við Valbjófsstað sýna að á því svæði var sameinaður jökull úr Norður- og Suðurdal kyrrstæður um stund og takmarkaði stærð Lagarins til suðurs. Það sýnir sömuleiðis svo ekki verður um villst, að jökullinn hefur vaxið og gengið út í vatnið samtímis því sem landið seig undan vaxandi fargi jökulsins.



Hæð og lega hinna fornu strandlína sýnir að jökullinn sunnan í vatninu hefur smátt og smátt þynnst og síðar hörfað til suðurs upp úr vatnsstæði Lagarins. Á sama tíma reis landið undan minnkandi fargi jökulsins og yngri strandlínur mynduðust jafnt og þétt. Í dag raðast hæð strandlínanna á víðara hæðarbil eftir því sem sunnar dregur og hallamesta og jafnframt elsta strandlínan er með hallatöluna  $0,67 \text{ m} \cdot \text{km}^{-1}$  til suðurs en sú hallaminnsta og yngsta er með hallatöluna  $0,24 \text{ m} \cdot \text{km}^{-1}$  til

suðurs. Efsta og elsta lárétta strandlína Lagarins myndaðist þegar landrisi vegna hörfunar jökla lauk og er þessi strandlína í dag um það bil 6 m ofan við núverandi vatnsborð hans sem er í um 20 m h.y.s. Lækkun yfirborðs Lagarins úr um 26 m h.y.s. í um 20 m h.y.s. er tilkomin vegna rofs árinna á bergþröskuldinum við Lagarfoss.

Fornskeljar eru í setlögum í bökkum Selfjóts í 15 m hæð yfir sjó. Sýnishorn af skeljunum hafa verið aldursákvörðuð með geislakolsaðferð og reyndist aldurinn vera  $10.670 \pm 315$  kvörðuð ár B.P. Þessi aldur telst vera hámarksaldur elstu strandlína Lagarins. Með því að tengja breytingar á hallatölu fornra strandlína má gera sér mynd af því hve langan tíma það tók halla elstu strandlínunnar að breyttist úr  $0,0 \text{ m} \cdot \text{km}^{-1}$  (láréttri legu) í  $0,67 \text{ m} \cdot \text{km}^{-1}$ . Rannsóknir á setlögum í norðanverðum Leginum benda til þess að upphaf setmyndunar í honum hafi hafist um það bil þegar Saksunarvatn gjóskan féll, en það gerðist fyrir um  $10.170 \pm 355$  kvörðuðum árum síðan.



Tveir fornir farvegir Lagarfljóts um Lagarfoss ofan við núverandi farveg árinna

## Landmótunarkort af framlandi Eyjabakkajökuls – laus jarðlög og landform

Ívar Örn Benediktsson<sup>1</sup> og Anders Schomacker<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Jarðvísindastofnun Háskólans, Askja, Sturlugata 7, 101 Reykjavík. <sup>2</sup>Norwegian University of Science and Technology, Trondheim, Norway

Kynnt er nýtt landmótunarkort af framlandi Eyjabakkajökuls, sem er framhlaupsjökull í norðaustanverðum Vatnajökli. Kortið er unnið á grunni loftmynda frá 2008 og kortlagningar á vettvangi. Það nær yfir Eyjabakkajökul og þann hluta framlandsins sem orðið hefur fyrir beinum áhrifum af jöklinum, alls um 58 km<sup>2</sup> svæði. Á kortinu má sjá landslag og landform sem telja má einkennandi fyrir framhlaupsjökla, s.s. sprungufyllingar, krákustígsása, langar jökulkembur, haugaruðning, dauðisgarða, pyttasanda og stóra jökulgarða sem myndast hafa við aflögun setlaga. Önnur jökulræn landform, sem ekki eru sérstaklega dæmigerð fyrir framhlaupsjökla, voru einnig kortlögð. Má þar nefna jaðarhjalla, malarása, sanda, farvegi jökuláa og árkeilur. Sífreralandform eins og rústir og frosttíglar voru einnig kortlögð.

Eftir hlýindatíð um miðbik Nútíma myndaðist Eyjabakkajökull aftur fyrir um 4400 árum síðan (Johan Striberger o.fl. 2012) og hefur hlaupið fram á 21-40 ára fresti u.þ.b. síðustu 2000 ár (Johan Striberger o.fl. 2011). Landslag svæðisins framan við jökulinn er því líklega mótað af miklum fjölda framhlaupa. Megnið af þeim setlögum og landformum sem greina má á svæðinu hefur þó myndast í síðustu fjórum framhlaupum jökulsins árin 1890, 1931, 1938 og 1972. Kortið sýnir greinilega landmótunaráhrif Eyjabakkajökuls og samspil setlaga og landforma sem má telja dæmigert fyrir framhlaupsjökla. Kortið má einnig nýta sem hliðstæðu við svæði framan við aðra framhlaupsjökla, bæði forna og nýja, til upplýsingar um setgerð og landmótun, og jafnvel ferðamönnum til fróðleiks.

### Heimildir:

- Striberger, J., Björck, S., Benediktsson, Í.Ö., Snowball, I., Uvo, C.B., Ingólfsson, Ó., Kjær, K.H. 2011. Climatic control of the surge periodicity of an Icelandic outlet glacier. *Journal of Quaternary Science* 26, 561-565.
- Striberger, J., Björck, S., Holmgren, S., Hamerlík, L. 2012. The sediments of Lake Lögurinn – A unique proxy record of Holocene glacial meltwater variability in eastern Iceland. *Quaternary Science Reviews* 38, 76-88.

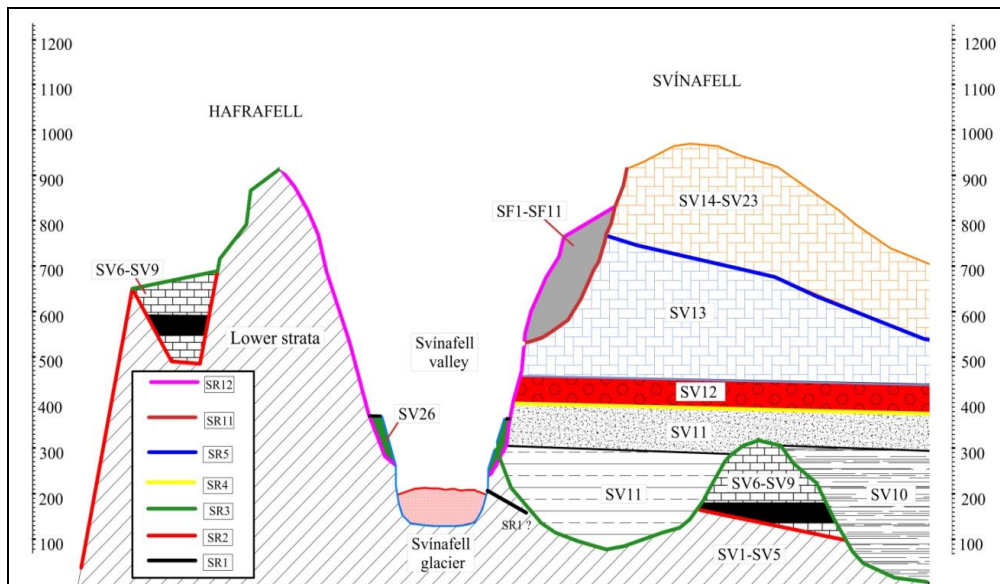


## Jarðлагаfræði, $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ aldursgreiningar og rofsaga Svínafells, Suðausturlandi

Jóhann Helgason<sup>1</sup> og Robert A. Duncan<sup>2,3</sup>

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

Þrátt fyrir öra upphleðslu hraunlaga í Örafasveit hefur rof þar af völdum jökla verið gríðarlegt og orsakað mislægi og meiriháttar landslag. Rakið er samspil eldvirkni og rofs við mótun Svínafells í Örafum með kortlagningu jarðlaga, seguljarðлагаfræði og  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  aldursgreiningum á bergi. Lýst er skiptingu gosbergs frá Kvarter, þ.e. frá segulmundum á neðri-Matuyama og efri-Brunhes. 1832-m-þykkur stafl í Svínafelli er gerður af 37 myndunum jarðlaga, sem við höfum deilt í 7 yfirmyndanir (e. groups). Í Svínafelli sést að upphaf eldvirkni frá megineldstöðinni í Örafajökli varð á neðri-Brunhes ( $C1n < 781$  k ár). Sýnt er fram á að á svæðinu hafi Svínafellssetlögin safnast fyrir í lægð á hlýskeyði, skömmu áður en eldgos hófust í megineldstöð Örafajökuls. Á myndunartíma jarðlaga í Svínafelli urðu að minnsta kosti 8 jökulskeyð og hlýskeyð. Við rekjum staðbundna rofsögu Svínafells og landslagsþróun, þar sem fyrir koma 12 roffletir. Við rof hefur fjöldi jarðlaga grafið niður og orsakað langvarandi hlé í annars öra upphleðslu staflans. Niðurstaða okkar er að aldur Svínafellssetlaganna sé á bilinu 0.7 til 1.78 M ár.



12 roffletir (SR1 til SR12) marka tiltölulega skörp skil í rofsögu Svínafells. Með aðstoð þeirra og aldursgreininga ásamt tenginum við segultímatál metum við þróun dala sem hófu að myndast á fyrri hluta Kvarter, á tímabilinu 2.7 til 1.95 milljónum ára. Þá varð til „Svínafellsdalurinn“, nú með Svínafellsjökli, sem fyrst tók verulega að dýpka á Brunhes segulmund, fyrir minna en 780 þúsund árum en þá nam dýpkunin yfir 1000 m.

## Berghlaup við Morsárjökul ásamt skriðhraða og breytingum á þykkt jökulsins

Jón Viðar Sigurðsson

Hrauntunga 2, 220 Hafnarfjörður

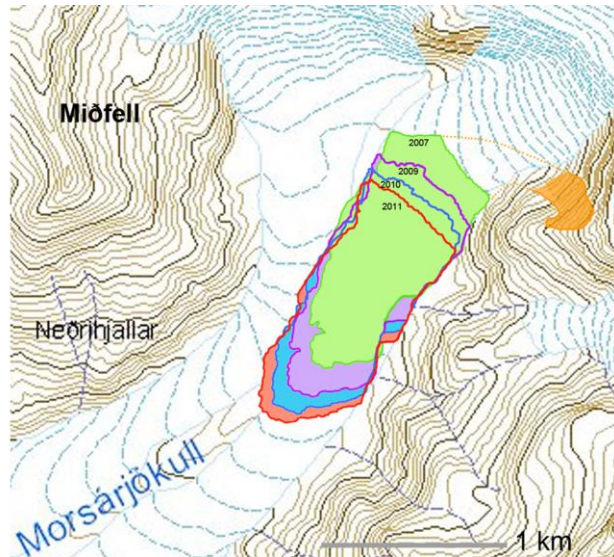
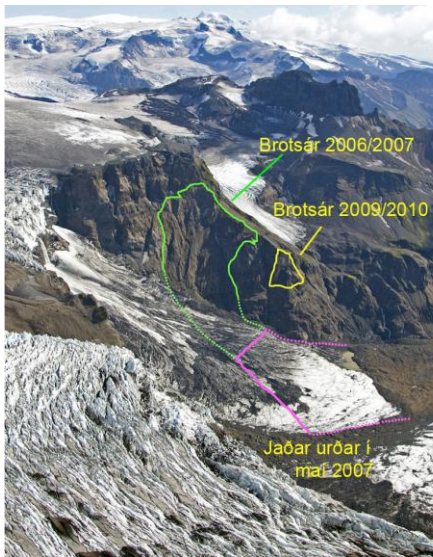
Á tímabilinu nóvember 2006 til febrúar 2007 féll mikið berghlaup á innanverðan Morsárjökul í Örafum. Þetta gerðist þegar stór bergfylla losnaði úr nafnlausri hlíð, sem veit mót norðvestri, og féll niður á jökulinn. Brotsárið er í 660–1.010 m hæð yfir sjó og breiddin er 200–300 m. Bergbrotin lentu á jöklinum í 560–625 m hæð og þar tók berghlaupið á sig form bergflóðs er bergbrotin runnu líkt og vökvi niður eftir yfirborði jökulsins án þess að brjóta hann upp eða grafa sig niður í ísinn. Flóðið stöðvaðist í 362 m hæð og var berghlaupsurðin á jöklinum þá allt að 1.750 m löng og 610 m breið. Á 4–5 vikum náði íshrun að hylja efsta hluta urðarinnar allt niður í um 500 m hæð. Þá myndaðist urðarflekkur sem enn er áberandi á jöklinum. Í maí 2007 var útlína og þykkt urðarinnar mæld. Urðin var þá 1.368 m löng. Jaðrar hennar voru 0,5–3,0 m háir. Flatarmál flekksins reyndist vera 719.500 m<sup>2</sup> og meðalþykkt urðarinnar mældist 2,7 m þegar holrými eru dregin frá. Rúmmálið er því um 1.960.000 m<sup>3</sup> eða um 5,1 milljón tonn. Áætlað magn bergbrota sem íshrun kaffærði á fyrstu vikunum eftir berghlaupið er 155.000 m<sup>3</sup> eða um 0,4 milljón tonn. Samtals telst berghlaupið því vera um 2,1 milljón m<sup>3</sup> eða 5,5 milljón tonn. Urðin er mjög grófgerð og stærstu björgin eru allt að 8–9 m löng.

Nokkuð hefur verið um stór skriðuföll út á jökla síðustu árin og má þar nefna skriðu sem féll á Hólárjökul árið 1999, á Mosakambsjökul 2004 og 2005, á Virkisjökul vorið 2011 og úr Súlutindum út á Skeiðarárjökul haustið 2011.

Morsárjökull hefur grafið sig niður um árþúsundir, mótað landið og skilið eftir brattar fjallshlíðar. Miklir veikleikar voru og eru í hlíðinni þar sem berghlaupið varð. Hér koma saman nokkrar syrpur af ólíkum berggerðum. Auk skila milli berggerða er hlíðin sundurskorin af berggöngum og sprungum með stefnu sem er nálægt austur-vestur. Sprungurnar eru ekki fjarri því að vera samsíða hlíðinni. Einnig er nokkuð um sprungur sem ganga þvert á þessa stefnu eða norður-suður. Þessir veikleikar í fjallinu eru grunnástæða fyrir berghlaupinu. Berghlaupið er ekki hægt að skýra með hörfun jökulsins á undanförunum árum og áratugum. Miklar breytingar hafa orðið á sporði og neðanverðum Morsárjökli sl. áratugi en öðru máli gegnir um þann hluta jökulsins sem er undir hlíðinni sem gaf sig. Myndir Jack D. Ives frá 1953 sýna að engin þynning hefur orðið á jöklinum á þessum stað allt fram að þeim tíma er hlaupið varð. Af myndum Ingólfs Ísólfssonar frá 1942 má ráða að breytingar á jökulþykktinni á þessum stað hafi verið litlar frá 1942 til 1953. Mikið hrun (150.000 tonn) varð á öðrum stað úr sömu hlíð árið 2009 eða 2010. Það varð hátt í hlíðinni og skýrist einnig af veikleikum í berginu en ekki jöklabreytingum.

Fylgst hefur verið með berghlaupsurðinni frá í maí 2007 og áhrifum hennar á bráðnun jökulsins. Útlína urðarinnar er kortlögð reglulega. Þá hefur hún gefið gott færi á að fylgjast með skriðhraða Morsárjökuls. Urðin einangrar jökulísinn undir og gerir það að verkum að bráðnun þar er mun minni en utan urðarinnar. Framjaðar hennar „hækkaði“ um 35 m frá maí 2007 til september 2011 eða um 7 m að jafnaði hvert sumar. Jaðarinn er mun lægri innst þar sem hann hækkaði um 10–15 á sama tímabili. Þá er bráðnun undir skriðunni víða töluvert

meiri en við jaðra hennar. Í 350 m hæð yfir sjó er bráðun yfirborðs jökulsins, utan skriðunnar, um 80 mm á dag yfir sumarið en um 25 mm undir berghlaupsurðinni. Þannig „hækkar“ framjaðar hennar um 55 mm á dag yfir sumarið.



1. mynd. Morsárjökull 2011.

2. mynd. Ferðalag og lögun berghlaupsurðar 2007-2011.

Frá 27. maí 2007 til 22. september 2011 eða á 52 mánuðum hafði neðri brún urðarinnar færst með jöklinum um 406 m eða að meðaltali um 25,6 sm á sólarhring. Mælingar sýna að skriðhraði jökulsins yfir sumarmánuðina (júní-september) er um 32–33 sm á dag en um 22 sm á dag að meðaltali aðra mánuði ársins. Mikið leysingarvatn frá Vatnajökli eykur líklega skriðhraðann yfir sumarmánuðina.

Stór hluti Morsárjökuls þynnist frá ári til árs um þessar mundir. Mest er þynningin við sporðinn en minni ofar og er ekki mælanleg þegar komið er upp í brekkurnar undir ísfossunum. Mælingar á árunum 2007 til 2011 sýna að neðst á jöklinum, í um 200 m hæð, nemur árleg þynning um 4 m. Um miðbik jökulsins, í 350 m hæð, er hún um 2,5 m og í 480 m hæð er hún aðeins um 0,5 m. Þessi þynning endurspeglast í mælingum á hopun jökulsporðsins.



3. mynd. Myndirnar eru teknar á sama stað þar sem horft er yfir berghlaupsurðina í átt að brotsárinu. Hér hefur jaðarinn hækkað úr 1–2 m í 22 m á rúmum þremur árum.

## Gosrásarferlar í magmatískum sprengigosum, Hekla 1300, 1845 og 1991

Jónas Guðnason<sup>1</sup>, Þorvaldur Þórðarson<sup>2</sup>, Ármann Höskuldsson<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Háskóli Íslands, <sup>2</sup>Háskólinn í Edinborg

Eldgos í Heklu á sögulegum tíma hafa verið átján. Eitt helsta einkenni þessara gosa er að jafnvel lítil gos byrja á öflugum plínískum eða sub-plínískum fasa sem myndar 11-30 km háan gosmökk og varir að jafnaði minna en eina klukkustund. Á eftir fylgir fasi þar sem afl sprengivirkinnar dvínar og endar á fasa sem einkennist af strombólískri virkni með hraunflæði. Hekla er eitt virkasta eldfjall landsins og þar hefur utanaðkomandi vatn lítil eða engin áhrif á sprengivirknina. Athugun á Heklugosum er því ákjósanleg til að kanna hvaða ferli stjórna sundrun kviku og öskumyndun, sem og hvernig þessi ferli tengjast afli eldgosa.

Tilgangur þessa verkefnis er að rannsaka gosrásarferli í upphafsfasa Heklugosa og þá sérstaklega áhrif afgösunar og kristöllum í efsta hluta gosrásarinnar á eiginleika kvikunnar og gosafli. Valin hafa verið þrjú gos sem endurspegla stærð og gerð gosa í Heklu síðustu 800 ár. Hekla 1991 er vel þekkt sub-plínískt gos, Hekla 1845 var tiltölulega öskusnautt plínískt gos og Hekla 1300 sem var öskuríkt plínískt gos. Helstu markmiðin eru að auka á skilning á ferlum sem verða við sub-plínísk og plíníska virkni í litlum til meðalstórum sprengigosum með áherslu á að skýra hvernig breyting á eiginleikum kvikunnar stjórnar sundrun hennar og öskumyndun. Þetta verður gert með því að: (a) mæla upphaflegt og endanlegt gasinnihald kvikunnar með mælingum á glerinnlyksum í kristöllum og svo á glerjaðri gjóskunni (b) ákvarða dreifingu og stærð á gasbólum og míkrokristöllum í hverjum atburði með myndgreiningu á gjóskukornum frá völdum sýnatökustöðum í nágrenni Heklu (c) að mæla heildar kornastærðardreifingu gjóskunnar í hverju gosi fyrir sig.

Útkoman mun gefa betri mynd af gosrásarferlum í fyrsta og seinni fösum Heklugosa og betri þekkingu á sundrun kviku og öskumyndun í litlum til meðalstórum sprengigosum í íslausu eldfjalli á Íslandi.

## Crustal deformation in the Krísuvík area

Karolina Michalczewska,<sup>1</sup> Sigrún Hreinsdóttir,<sup>1</sup> Þóra Árnadóttir,<sup>2</sup>  
Sigurlaug Hjaltadóttir,<sup>3</sup> Þorbjörg Ágústsdóttir,<sup>1</sup> Halldór Geirsson,<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Reykjavik, Iceland. <sup>2</sup>Nordic Volcanological Center, Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Reykjavik, Iceland. <sup>3</sup>Icelandic Meteorological Office, Reykjavik, Iceland. <sup>4</sup>The Pennsylvania State University, Dunmore, PA, USA

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

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

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

On 1 March 2012 a swarm of earthquakes of magnitudes up to M=4.2 stroke near Helgafell, NE of the inflating area.



## High resolution surface deformation measurements in Iceland's Northern Volcanic Zone: Unravelling multiple deformation sources using InSAR and GPS

Karsten Spaans<sup>1</sup>, Freysteinn Sigmundsson<sup>1</sup>, Sigrún Hreinsdóttir<sup>1</sup>,  
Benedikt G. Ófeigsson<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Nordic Volcanological Center, Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Reykjavík, Iceland. <sup>2</sup> Icelandic Meteorological Office, Reykjavík, Iceland.

We study crustal deformation in the Krafla and Theistareykir volcanic systems in the Northern Volcanic Zone of Iceland since 1992. Eruptive activity occurred at Krafla in 1975-1984, during the Krafla rifting episode. In addition to magmatic activity, the Krafla area hosts a high temperature geothermal area and a 60 MW geothermal power station. Although no recent eruptions have taken place in Theistareykir, prospective drilling is presently being performed for a geothermal power station in the area. Previous studies have shown multiple deformation signals in and around the two volcanic systems during the last two decades. These signals include continuous subsidence of the Krafla caldera, intrusive activity in the Theistareykir central volcano and a broad uplift signal to the north of Krafla. Although many deformation signals have been identified, poor spatial and/or temporal resolutions as well as limited coverage of measurements have made it challenging to separate different overlapping signals, and pinpointing the source of all the deformations. Here we present results from a combined study of Interferometric Synthetic Aperture Radar (InSAR) and Global Positioning System (GPS) deformation measurements. The combination of these two geodetic techniques provides excellent spatial and temporal coverage and resolution, yielding deformation maps over Krafla and Theistareykir almost continuously between 1992 and 2011. This allows us to obtain far better constraints on previously identified displacements, and identify new sources of deformation in the area.

We processed radar data obtained with the ERS-1/2 (1992-2002) and Envisat (2003-2010) missions using the StaMPS time series analysis method. The InSAR time series analysis provides a relative surface displacement map in the radar line-of-sight (LOS) with high spatial resolution and signal-to-noise ratio. GPS campaigns have been performed at Krafla and Theistareykir for over 10 years, with an increasingly dense network of stations. In the fall of 2011, we installed continuous GPS stations in both the Krafla and Theistareykir area to further increase the monitoring capabilities. The GPS data has been processed using the GAMIT/GLOBK software, which provides us with accurate deformation measurements and yearly deformation rates in three dimensions, and with respect to an absolute reference frame.

Our results show subsidence in the Krafla caldera, at an average rate of 10-15 mm/yr between 1992 and 2010. This subsidence is attributed to pressure decrease in a shallow magma chamber and geothermal exploitation in the area. We also see a narrow band of subsidence intersecting this signal, following the central part of the fissure swarm to the north. We interpret this subsidence as a result of post-rifting and plate spreading processes. South of Krafla, we identify another subsidence signal at the Bjarnarflag geothermal field with an average rate of 10 mm/yr, likely related to the geothermal exploitation of the area. At Theistareykir and to the east, in the Gjástykkir, we see a 40 km broad signal comprising mostly

horizontal and some vertical displacements. This signal seems to have been ongoing in 1992 at the time of the first measurements. Between 1998 and 2007, displacements slowed down considerably, only to speed up again after 2007. On the western part of the 40 km broad signal, inside Theistareykir's central volcano, a 7-8 cm uplift signal is clearly present between 2007 and 2008, suggesting a shallow intrusion during this period. The onset of this intrusion signal coincides with the second onset of the 40 km broad signal, which suggests a relation between both phenomena.

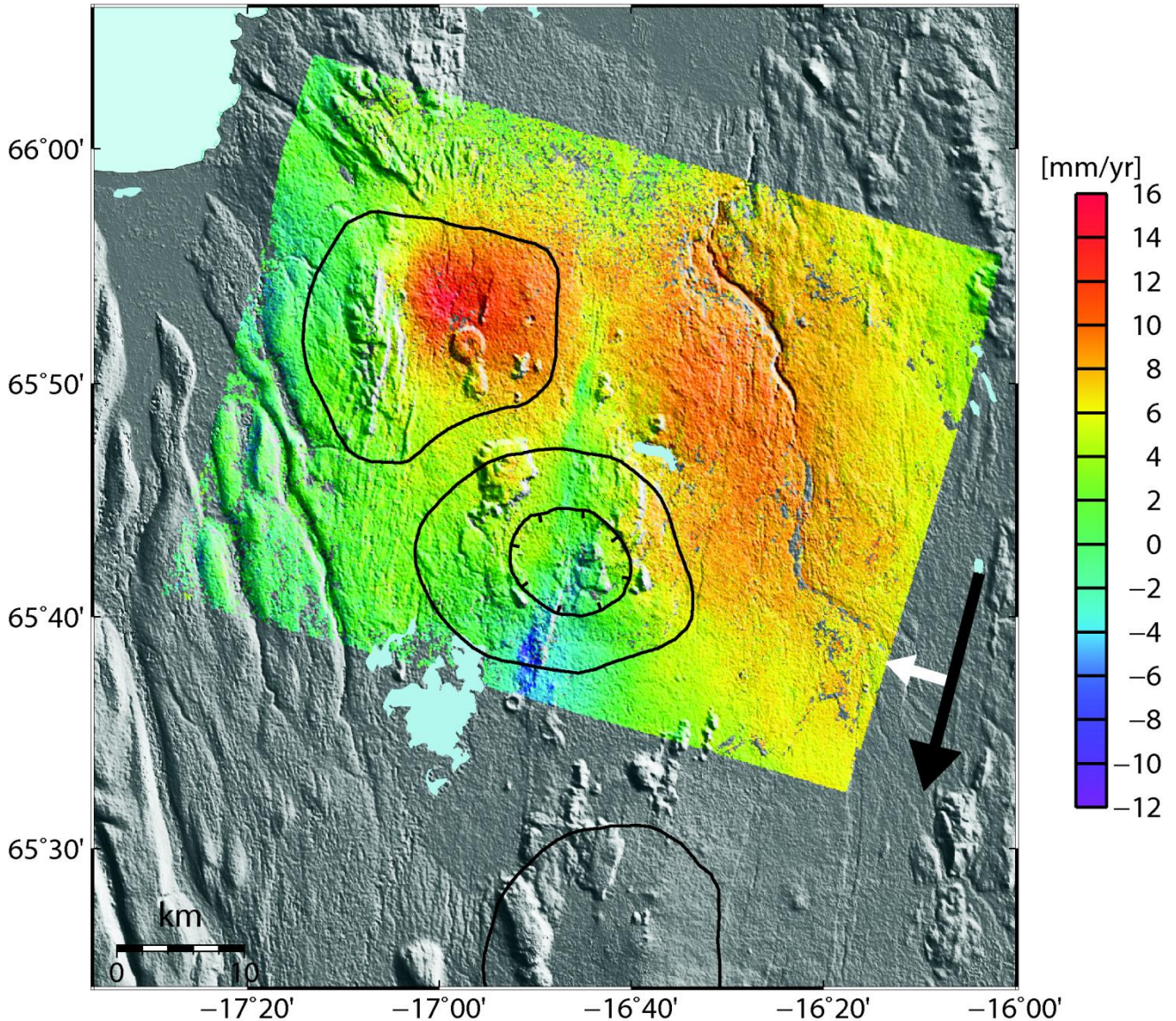


Figure 1: Example of InSAR results over the Theistareykir and Krafla area. The figure shows a map of average LOS velocity, generated using Envisat data covering 2003-2010. Positive values indicate movement towards the satellite. The black lines indicate central volcanoes, and the hatched line indicates the Krafla caldera. The black arrow shows the flight direction of the satellite, and the white arrow the look direction projected on the horizontal plane.

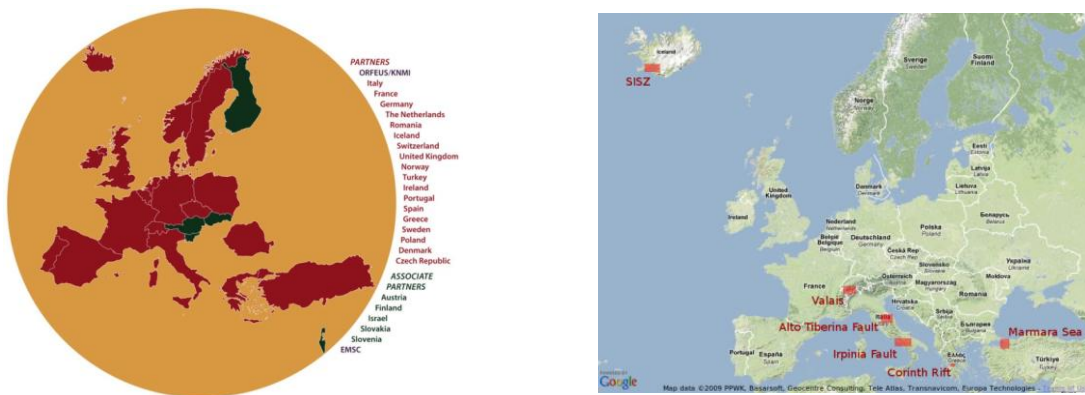
## EPOS og NERA: Netverk rannsóknainnviða í jarðvísindum

Kristín S. Vogfjörð<sup>1</sup>, Freysteinn Sigmundsson<sup>2</sup>, Benedikt Halldórsson<sup>3</sup> og Guðmundur Valsson<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Veðurstofa Íslands; <sup>2</sup>Norræna Eldfjallasetrið, Jarðvísindastofnun Háskólans; <sup>3</sup>Rannsóknarmiðstöð í Jarðskjálftaverkfræði; <sup>4</sup>Landmælingar Íslands.

Á síðastliðnum árum hefur verið aukin áhersla í sjöundu rammaáætlun Evrópusambandsins á uppbyggingu rannsóknainnviða. Þessi uppbygging netverka á sér meðal annars stað innan jarðvísinda og eru tvö slík verkefni, EPOS og NERA nú í gangi.

**EPOS** (*e. European Plate Observing System*; [epos-eu.org](http://epos-eu.org)) er samstarfsverkefni 23 Evrópu-landa (sjá mynd) með það að markmiði að byggja upp netverk rannsóknainnviða landanna í jarðvísindum; þar með talin mælinet, rannsóknastofur, reikniklasar og gagnamiðstöðvar. Tilgangur verkefnisins er að veita jarðvísindafólki Evrópu aðgengi að rannsóknagögnum sem geta leitt til þróunar nýrra aðferða og aukið þekkingu á tektónískum ferlum eins og jarðskjálftum og aflögun jarðskorpunnar, á eldvirkni, tsunami flóðbylgjum, skriðum og öðrum virkum ferlum sem vinna á yfirborði jarðarinnar. Veðurstofa Íslands leiðir þátttöku Íslands í EPOS, en aðrar stofnanir sem tengjast verkefninu eru Jarðvísindastofnun Háskólans, Rannsóknarmiðstöð Háskólans í Jarðskjálftaverkfræði og Landmælingar Íslands.



Mynd 1. (vinstri) Þátttökulönd í EPOS verkefninu. (hægri) Sprungusvæði í netverki NERA verkefnisins.

EPOS verkefnið varð hluti af evrópska vegvísinum um uppbyggingu rannsóknainnviða (ESFRI: *European Strategy Forum on Research Infrastructures*) í desember 2008 og fjögurra ára undirbúningsfasi þess hófst undir lok ársins 2010. Undirbúningsfasinn felst í úttekt á öllum jarðvísindalegum rannsóknainnviðum í þátttökulöndunum og skilgreiningu á lagalegu, rekstrarlegu, skipulagslegu og þjónustulegu umhverfi fyrir slíkt netverk. Ef vel tekst til mun EPOS verða samþykkt sem ESFRI verkefni. Þá mun fara í hönd 10 ára uppbygginartímabil, þar sem EPOS strúktúrinn verður stofnsettur, lagður grunnur að þéttingu mælineta í löndum þar sem stöðvar vantar og sérstök áherslusvæði skilgreind þar sem ítarlegri uppbygging mælakerfa mun fara fram. Þessi svæði eru annars vegar „ofurstöðvar“ (*e. supersites*) þar sem mikil vá er til staðar (jarðskjálftar, eldgos, tsunami, skriðuföll) og hins vegar „náttúrulegar rannsóknastofur“ (*e. natural laboratories*) þar sem jarðvísindalegir ferlar eru sérstaklega



virkir og þar með kjöraðstæður fyrir frekari gagnasöfnun of þekkingaröflun með uppsetningu nýrra mælikerfa. Eftir uppbyggingarfasann fer í hönd rekstrarfasi og er hann skilgreindur til ársins 2050. Líftími EPOS til lengri tíma veltur á því hvort (1) takist að virkja stofnanir og stjórnvöld í aðildarlöndunum til að ábyrgjast rekstur þeirra mælineta sem nú þegar eru til staðar þar, (2) að í lok undirbúningsfasans verði verkefnið samþykkt af ESFRI og fái þannig sérstöðu gagnvart styrkjum frá Evrópusambandinu og (3) að takist að virkja viðeigandi hagsmunaaðila til þátttöku í uppbyggingu og rekstri.

Ísland gæti orðið fókuspunktur fyrir bæði ofurstöð og náttúrlega rannsóknarstofu.

- Í febrúar síðastliðnum voru sendar inn þrjár aðskildar umsóknir frá þátttakendum EPOS, í ofurstöðva rannsóknakall Evrópusambandsins. Ein þessara umsókna var leidd af íslenskum þátttakendum (Jarðvísindastofnun Háskólans og Veðurstofu Íslands) og var um uppbyggingu eldfjallaofurstöðvar á Íslandi. Hinar tvær fjölluðu annars vegar um eldfjallavá á Etnu og Vesúvíusi og hins vegar um jarðskjálftavá við Marmarahaf.
- Á komandi mánuðum fer í hönd vinna við skilgreiningu á fókussvæðum fyrir evrópskar ofurstöðvar og náttúrlegar rannsóknastofur og þar á Suðurlandsbrotabeltið möguleika á að verða valið sem náttúruleg rannsóknastofa.

Ef þessir möguleikar verða að veruleika gæti orðið mikil uppbygging í jarðvísindalegum mælingum og rannsóknum á eldfjöllum og sprungusvæðum á Íslandi.

Úttekt á helstu netum Veðurstofunnar, SIL jarðskjálftamælineti, ISGPS GPS-neti og þenslu-mælaneti er lokið og nú fer í hönd sams konar yfirferð á þeim mælistöðvum og netum sem samstarfsstofnanirnar þrjár, Jarðvísindastofnun Háskólans, Rannsóknarmiðstöð í jarðskjálftaverkfræði og Landmælingar Íslands, hyggjast leggja inn í netverkið. Þá er einnig unnið að úttekt á hagsmunaaðilum sem gætu komið að uppbyggingu EPOS.

**NERA** (e. *Network of European Research Infrastructures for Earthquake Risk Assessment and Mitigation*) er innviðaverkefni með það að markmiði að draga úr hættu af völdum jarðskjálfta. Verkefnið felst í nettengingu lykilrannsóknainnviða í Evrópu sem vakta jarðskjálftavá og -hættu fyrir nærliggjandi samfélög og byggir á samtengingu vísindafólks og gagna í jarðskjálftafræði og jarðskjálftaverkfræði. Verkefnið er til fjögurra ára, hófst á sama tíma og EPOS og tengist því á margvíslegan hátt.

Veðurstofa Íslands er þátttakandi í NERA. Framlag stofnunarinnar felst annars vegar í nettengingu jarðskjálftagagna úr breiðbandsstöðvum við EIDA gagnagrunn ORFEUS jarðskjálftagagnamiðstöðvarinnar á Hollensku Veðurstofunni (KNMI) og hins vegar í að leiða uppbyggingu netverks sprungusvæða (e. *Near Fault Observatories*). Sprungusvæðin sem um ræðir eru Suðurlandsbrotabeltið á Íslandi, Irpinia og Alto Tiberina sprungusvæðin á Ítalíu, Valais svæðið í Sviss, Kórintuflói í Grikklandi og Marmarahaf í Tyrklandi. Sprungusvæðanetverkið felst í byggja upp tengsl milli starfsfólks stofnananna til að auðvelda flutning milli svæðanna á þekkingu, reynslu og þeim mæli- og eftirlitskerfum sem þar hafa verið þróuð, en einnig í nettengingu fjölpáttagagna sem safnað er á svæðunum. Hluti af framlagi Veðurstofunnar er unnið í samstarfi við Rannsóknarmiðstöðina í Jarðskjálftaverkfræði og felst í gagnkvæmu flæði hröðunargagna milli stofnananna. Hröðunarmæligögnin gera stofnunum kleift að kortleggja stórar brotahreyfingar í Suðurlandsbrotabeltinu í nær-rauntíma, án þess að mælar mettist. Sprungusvæðanetverkin eru líkleg til að verða valin sem fókussvæði fyrir náttúrulegar rannsóknastofur innan EPOS og munu þátttakendur vinnupakkans tengjast vinnuhópum í EPOS eftir því sem við á.

## Grímsvatnagosið 2011

Magnús Tumi Guðmundsson<sup>1</sup>, Ármann Höskuldsson<sup>1</sup>, Guðrún Larsen<sup>1</sup>, Þorvaldur Þórðarson<sup>2</sup>, Bergrún Arna Óladóttir<sup>1</sup>, Björn Oddsson<sup>1</sup>, Jónas Guðnason<sup>1</sup>, Þórdís Högnadóttir<sup>1</sup>, John A. Stevenson<sup>2</sup>, Bruce Houghton<sup>3</sup>, Dave McGarvie<sup>4</sup> og Guðmunda María Sigurðardóttir<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Norræna Eldfjallasetrinu, Jarðvísindastofnun Háskólans, Háskóla Íslands, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík. <sup>2</sup> Department of Earth Sciences, University of Edinburgh, UK. <sup>3</sup> University of Hawaii, USA, <sup>4</sup> Open University, UK

Grímsvötn hafa gosið oft en aðrar íslenskrar eldstöðvar frá því land byggðist og vitað er um yfir 60 gos á síðustu 800 árum. Flest eru þessi gos tiltölulega lítil miðað við t.d. Heklu- og Kötlugos og áhrif þeirra takmörkuð utan Vatnajökuls, þó algengt sé að einhvers gjóskufalls gæti einhverstaðar á austurhluta landsins. Gosvirknin gengur í hrinum. Ein slík stóð frá 1860 fram undir 1940. Að henni lokinni tók við rólegasta tímabil í gossögu Vatnajökuls frá því á 16. öld. Ný hrina eldvirkni í Vatnajökli hófst 1996 með Gjálpargosinu. Gosið í maí 2011 var fjórða gosið í þeirri hrinu og það þriðja innan sjálfra Grímsvatnanna. Það hófst um kl. 19 laugardaginn 21. maí og varð fljótt ljóst að það var mun öflugra en gosin 1998 og 2004. Mökkur reis í 15-20 km hæð og gjóskuskýið myndaði kúf sem breiddi úr sér yfir mestallan Vatnajökul. Kúfurinn varð 50-100 km að þvermáli og hélst þannig fram á kvöld 22. maí. Gosið var mjög kröftugt alla aðfarnótt 22. maí og ekki fór að draga verulega úr því fyrr en á öðrum degi. Megingjóskugeirann lagði til suðurs og varð öskufall svo mikið að myrkur varð á stóru svæði milli Skaftár og Skeiðarársands. Gjóskugeirinn náði á haf út en vindur sveigði hann norðaustur með landinu. Fyrir vikið barst askan lítið í átt að meginlandi Evrópu fyrst í stað. Það var lán því gosið var margfalt öflugra en í Eyjafjallajökli árið áður og hefði öskuskýið því að líkindum valdið mikilli truflun á flugumferð um stóran hluta álfunnar hefðu vindar blásið til suðausturs á upphafsdögum Grímsvatnagossins. Verulega hafði dregið úr krafti gossins 23. maí og eftir 24. maí gætti gjóskufalls lítið utan jökulsins. Gosið fjaraði síðan hægt og rólega út og er því talið hafa lokið að morgni 28. maí.

Gosið varð á um 1,5 km langri sprungu í suðvesturhorni Grímsvatna, á sama stað og gaus 2004. Um 800-900 m breiður og 1,6 km langur ketill myndaðist í jökulinn á gosstöðvunum. Vatnsstaða í Grímsvötnum var mjög lág og breyttist ekki svo heitið geti við gosið. Fyrir vikið kom ekkert hlaup samfara gosinu. Kortlagning á gjóskunni hófst meðan á gosinu stóð og náðist allgóð mynd af útbreiðslunni á jöklinum í vorferð Jökklarannsóknafélagsins um mánaðarmótin maí-júní. Farin var önnur ferð til rannsókna á gosinu í lok júlí. Á Vatnajökli barst gjóska einkum til suðurs, suðvesturs og vesturs og varð sá hluti jökulsins alsvartur síðastliðið sumar. Magn gosefna er meira en tífalt á við það sem varð 2004, nærri 0.6-0.8 km<sup>3</sup> af nýfallinni gjósku. Gosið skiptist í sjö megin fasa þar sem skiptist á freatómagmatísk og magmatísk virkni. Skil fasanna eru yfirleitt mjög greinileg þar sem freatómagmatísku fasarnir eru fínkorna en uppistaðan í þeim magmatísku er basískur vikur. Utanaðkomandi vatn hefur því lítt náð að kvikunni þegar gosið var sem öflugast. Þykkt gjóskulagsins er nærri 50 m í brekkunni suður af gígunum en 1,5 m í Háubungu, 7 km sunnan þeirra. Gosið 2011 er stærsta gos í Grímsvötnum um langan tíma, en sennilegt er að gosið 1873 hafi verið svipað.

## **Intrusive activity beneath Eyjafjallajökull: Moment- and Stress-Tensor-Inversion of volcanic earthquakes to constrain driving forces of the 2010 eruption**

Martin Hensch<sup>1\*</sup>, Bryndís Brandsdóttir<sup>2</sup>, Þóra Árnadóttir<sup>1</sup>, Björn Lund<sup>3</sup>, Simone Cesca<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Nordic Volcanological Center, University of Iceland, \* Now at Veðurstofa Íslands, <sup>2</sup> Institute of Earth Sciences, University of Iceland, <sup>3</sup> Uppsala University, Sweden, <sup>4</sup> University of Hamburg, Germany

The Eyjafjallajökull stratovolcano is located at the western border of the Eastern Volcanic Zone (EVZ) in South Iceland, west of Mýrdalsjökull (Katla). The EVZ is propagating south-west wards into older oceanic crust. Since the settlement in Iceland, three eruptions have been documented in Eyjafjallajökull before 2010, in 920, 1612 and 1821-1823.

Following three episodes of persistent microearthquake activity in the 1990s, seismicity increased again in spring 2009 under the north eastern flank of Eyjafjallajökull. The activity increased throughout the year and culminated in an intense earthquake swarm in February-March 2010. Simultaneous inflation observed by GPS and InSAR data confirmed magmatic accumulation within the volcano which heralded the subsequent eruptions.

In early March, the permanent seismic network around the volcano was augmented by additional stations to enhance hypocentral earthquake locations and to improve the liability of focal solutions. Earthquake locations revealed more than one accumulation zone at shallow (3-5 km) depth beneath the north eastern flank of the volcano throughout March 2010. The seismic clusters migrated eastwards during the week prior to the Fimmvörðuháls flank eruption. The April 14<sup>th</sup> summit eruption was preceded by a seismic cluster beneath the central part of the volcano. Focal mechanisms derived from P-wave polarity analysis indicate E-W striking reverse faulting for the February-March earthquake swarm, same as for the 1994 intrusion event in 1994. Normal faulting events were observed beneath the summit crater prior to the second eruption.

The scope of this study is to constrain driving forces of the intrusive activity beneath Eyjafjallajökull in detail by inverting focal mechanism data towards the stress tensor. By applying a moment tensor inversion to stronger events, one may obtain more details about potential volumetric components due to gas or magma migration, as unstable T-axes of events below the summit crater suggest either a ring-fault structure or positive isotropic moment tensor components. Both analyses reveal valuable information on location, size and driving forces of various earthquake clusters throughout the network of magma intrusion beneath Eyjafjallajökull.

## Jarðvegsmyndun við Skaftafellsjökul frá lokum Litlu-ísaldar

Olga Kolbrún Vilmundardóttir<sup>1</sup>, Guðrún Gísladóttir<sup>1,2</sup>, Rattan Lal<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Líf- og umhverfisvísindadeild, Háskóli Íslands. <sup>2</sup> Jarðvísindadeild, Háskóli Íslands. <sup>3</sup> Carbon Management and Sequestration Center, SENR/OARDC/FAES, The Ohio State University, USA

Loftslagsbreytingar valda því að jöklar um heim allan eru að dragast saman og þar sem land kemur undan jökli hefst efnaveðrun og nýmyndun jarðvegs. Hér á landi er talið að jöklar hafi náð hámarksútbreiðslu við lok litlu-ísaldar en þeir hafa hopað meira og minna samfleytt frá 1890 ef frá eru dregin stutt tímabil framskriðs. Eftir situr jökulruðningur sem að meginuppi-stöðu er mulið basalt og móberg af ýmsum kornastærðum í bland við gjósku. Jökulgarðar marka legu jökuljaðars ákveðinn tíma og þar sem lega hans er þekkt, t.d. út frá kortum, loft-myndum eða mælingum á vettvangi, má ákvarða tímaraðir (e. chronosequence) sem liggja frá jökulsporði út að ysta endagarði.

Þeir umhverfisþættir sem hafa áhrif á jarðvegsmyndun eru fimm: loftslag, landslag, gróður, móðurefni og tími. Í tímaröð má segja, fræðilega séð, að allir þættir jarðvegsmyndunar haldist óbreyttir utan tímans. Þannig er hægt að greina áhrif tíma á myndun og þróun jarðvegs. Í raun er þetta einföldun á flókinni náttúru, enda hefst gróðurframvinda þegar land kemur undan jökli, landslag hefur áhrif á hvar gróður nær fótfestu og gróðurfar er því breytilegt í jökullandslaginu sem spannar tímaröðina. Við jarðvegsmyndun safnast lífrænt kolefni upp í jarðveginum. Jarðvegur er stærsti kolefnisgeymur á þurrlendi jarðar og er hann talinn geyma um 1500 Pg af lífrænu kolefni í efstu 100 cm. Því er varðveisla og uppsöfnun kolefnis í jarð-vegi mikilvæg leið til að vega upp á móti kolefnislosun mannkyns, sem talin er stór áhrifa-þáttur í loftslagsbreytingum.

Markmiðið rannsóknarinnar er að kanna hvernig jarðvegur myndast yfir 120 ára tímabil frá lokum litlu-ísaldar, ákvarða hraða kolefnisuppsöfnunar í jarðvegi undir náttúrulegum kringumstæðum og skoða samband jarðvegseiginleika við gróður og landslag.

Rannsóknin fór fram við Skaftafellsjökul þar sem jarðvegi var safnað í jökulurð sem varð íslaus fyrir um 8, 65 og 120 árum. Ákveðnir eiginleikar jarðvegs voru greindir til að kanna hvernig myndun hans er háttað með hliðsjón af tíma: dýpt og litur A-lags, rúmþyngd, lífrænt efni, lífrænt kolefni, köfnunarefni, sýrustig (pH H<sub>2</sub>O og NaF) og leirsteindir. Sýnum var jafn-framt safnað í birkiskógi á Skaftafellsheiði til að bera saman eiginleika hins unga jarðvegs í jökulurðinni við jarðveg í þroskuðu vistkerfi sem að endingu mun ríkja í jökullandslaginu í framtíðinni. Að auki var eiginleikum landslags og gróðurs lýst.

Niðurstöður benda til þess að eftir 120 ára jarðvegsmyndun, sé jarðvegur við Skaftafellsjökul enn ungur og óþroskaður samanborið við jarðveg birkiskógarins á Skaftafellsheiði. Rúm-þyngd minnkar með árunum sem og sýrustig (H<sub>2</sub>O) og þessar breytingar eru mun ákveðnari í efstu 10 cm samanborið við jarðveg á 10–20 cm dýpi. Þykkt A-lags og hlutfall lífræns efnis og lífræns kolefnis eykst hins vegar með tíma. Eftir 120 ár er þykkt A-lags að meðaltali 8 cm og jarðvegur inniheldur 1,7 kg C m<sup>-2</sup> af lífrænu kolefni (% C) í efstu 10 cm (rúmþyngd \* dýpt \* % C). Sömu útreikningar sýna að í birkiskóginum eru 3,0 kg C m<sup>-2</sup> í jarðvegi og þegar hlutfall lífræns kolefnis er skoðað er munurinn enn augljósari, þar sem í elsta hluta

jökullandslagsins er það um fjórðungur af því sem það er í skóginum. Því er ljóst að jarðvegur við Skaftafellsjökul er enn að binda kolefni og á langan veg í að ná þeim gildum sem þroskað vistkerfi býður upp á. Umtalsvert magn af leirsteindum sem einkenna eldfjallajörð er í jarðveginum en ekki er um að ræða sterkt samband við tíma frá því land varð íslaust. Erfiðara er að greina áhrif landslags og gróðurs á jarðvegseiginleika en niðurstöður benda til þess að jarðvegsmyndun sé örari í lægðum (án þess að um votlendi sé að ræða) samanborið við hryggi eða hlíðar. Þar er þykkt A-lags iðulega mest sem og hlutfallslegt magn lífræns kolefnis og niturs.

Rannsóknin hlaut styrk úr doktorssjóði Háskóla Íslands, Orkurannsóknasjóði Landsvirkjunar, frá Vinum Vatnajökuls og 'Targeted Investment in Excellence, Climate, Water and Carbon Project', Carbon Management and Sequestration Centre, The Ohio State University, Columbus, OH, USA.

## Physical properties of marine aggregates in the vicinity of Reykjavik, Iceland

Pétur Pétursson<sup>1</sup>, Margrét I. Kjartansdóttir<sup>2</sup>, Erla María Hauksdóttir<sup>2</sup>, Kristinn Lind Guðmundsson<sup>3</sup>, Bryndís G. Róbertsdóttir<sup>4</sup>, Hreggviður Norðdahl<sup>5</sup>, Gunnar Bjarnason<sup>6</sup> and Óskar Örn Jónsson<sup>2</sup>

<sup>1</sup> PP-Consult, <sup>2</sup> Innovation Center Iceland, <sup>3</sup> Faculty of Earth Science, University of Iceland, <sup>4</sup> National Energy Authority, <sup>5</sup> Institute of Earth Science, University of Iceland, <sup>6</sup> Icelandic Road Administration

Marine aggregate extraction for deepening harbours in Iceland began at the turn of the last century. Trailer dredgers were first used in 1953, when experimental dredging for shell fragments took place at Sydra-Hraun for the cement factory in the town Akranes. In the year 1963 extraction of gravel and sand as construction material started in Hvalfjordur and 1970 in Kollafjordur.

In the period 2000 to 2009 approximately 11.6 M m<sup>3</sup> of marine aggregates and shell fragments were extracted from these three areas, which is about 95% of the total extracted marine aggregates in Iceland. It should be kept in mind that these three areas are close to the major market of construction aggregates, i.e. the Reykjavik area and neighbouring communities, where about 65% of the population of Iceland lives.

In August 2008 the responsibility for administration of extraction licenses was moved from the Ministry of Industry, Energy and Tourism to the National Energy Authority (NEA). In the year 2009 NEA granted licenses until 2019 for 15.9 M m<sup>3</sup> in 15 extraction areas in Kollafjordur, Hvalfjordur and Sydra-Hraun area. It is therefore important for the NEA to have a good overview of the properties of sand and gravel deposits from all the licensed marine aggregate extraction areas.

The National Energy Authority has started a research project which involves systematic mapping of the physical properties of sand and gravel extracted from the seabed in the Reykjavik vicinity. The project is carried out in collaboration with the Innovation Center Iceland, PP-Consult and the Faculty of Earth Science at the University of Iceland.

The main purpose of this project is:

1. To establish a database including type and physical properties of gravel, sand and shell fragments extracted from Icelandic seabed.
2. Material quality assessment as a basis for a tariff for marine aggregate extraction.
3. Material quality assessment as a basis for decision making concerning issuing licenses for utilization of marine aggregates in the future.

The first licensed marine aggregate extraction areas to be studied in this project are situated in Kollafjordur. In the period 2000 to 2009 the extraction from Kollafjordur amounted to 4.9 M m<sup>3</sup>, or about 40% of the total marine aggregate extraction in Iceland. The quality of the material in the Kollafjordur extraction areas has not been analyzed in detail before, although one dredged sample from each area had previously been collected for grading and petrographic analysis. This is insufficient to be representative for the physical properties of

the materials in these vast extraction areas. Still these analyses suggest that variation in quality is broad in the Kollafjordur extraction areas, which would benefit the establishment of the database. Trailer dredgers are used to obtain samples, trailing a pipe along the seabed at relatively shallow depths. Besides testing of physical properties of the dredged material, such as grading, petrographical composition, shape, mechanical strength and weathering resistance, other factors that possibly influence the test results will be studied, such as:

- Repeated sampling in selected areas to analyze the variations in grading and petrography.
- The variation in petrographical composition of different grain sizes.
- The relationship between grading and petrographical composition.
- The minimum frequency of sampling and testing required.
- The sampling procedure which will be validated.

The second and third licensed marine aggregate extraction areas to be studied are situated in Hvalfjordur and Sydra-Hraun. In the period 2000 to 2009 the extraction from Hvalfjordur amounted to  $4.8 \text{ M m}^3$ , or about 39% of the total extraction and in the Sydra-Hraun area the extraction amounted to about  $2 \text{ M m}^3$ , mostly shell fragments, or about 16% of the total extraction.



## Skjálfandadjúp

Sigríður Magnúsdóttir, Bryndís Brandsdóttir

Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands

Flókið samspil gliðunar- og sniðgengishreyfinga ásamt eldvirkni einkennir Tjörnesbrotabeltið. Svæðið samanstendur af þremur sigdölum með norðlæga stefnu (Eyjafjarðaráll, Skjálfandi-Skjálfandadjúp og Öxarfjörður) og þremur norðvestlægum skjálftabeltum (Grímseyjarbeltinu, Húsavíkur-Flateyjar kerfinu og Dalvíkurbeltinu) (Einarsson, 1976; Rögnvaldsson ofl., 1998; Sæmundsson 1974). Hafsbotn Tjörnesbrotabeltisins var kortlagður með fjölgeisla- og hljóðendurvarpsmælingum á árunum 2001-2005 (Brandsdóttir ofl., 2001; 2003). Með samþættingu þessara gagna við greiningar á setlögum úr borkjörnum á landgrunninu má lesa hreyfingar misgengja frá ísaldarlokum.

Skjálfandadjúp er 35 km löng (NS) og 10-12 km breið (AV) sigdæld norðanvert í Tjörnesbrotabeltinu, nokkrum kílómetrum austan við Grímsey. Mesta dýpi er um 420 m. Meginstefna sigdældarinnar er í norður með algengustu stefnur á siggengjum N350°A og N20°A. Sigdældin er ósamhverf og eru siggengin á vesturjaðrinum mun þéttari og með meiri lóðréttar færslur en siggengin á austurjaðrinum. Mestu sjáanlegar færslur eru 15-20 m.

Sigdæld Skjálfandadjúps er fyllt af seti sem lesa má úr hreyfingar misgengja með tíma. Um 50 cm þykkt gjóskulag (10.334 cal. yr BP) upprunnið úr eldstöð innan Tjörnesbrotabeltisins eða af Kolbeinseyjarhrygg (Søndergaard, 2005) myndar áberandi endurkastsflöt í setlögum sem rekja má um aðliggjandi svæði. Af misgengjum þessa setlags má sjá að lóðréttar hreyfingar misgengja hafa minnkað með tíma.

Siggengi í norðanverðu Skjálfandadjúpi eru mun óreglulegri í lögun en sunnar, sem sennilega má rekja til aukinnar skerspennu við norðurjaðar Tjörnesbrotabeltisins. Engin ummerki um eldvirkni er að finna á yfirborði Skjálfandadjúps, en eitt eldstöðvakerfa Grímseyjarbeltisins (Nafir) liggja við norðvesturjaðar þess. Þar hefur gosið á Nútíma (Brandsdóttir, Riedel, Richter og Helgadóttir, 2005). Uppstreymi í setlögum tengt jarðhitasvæði norðaustanvert í Skjálfandadjúpi má rekja til suðurs frá þekktum anhydríthrygg með 1-3 m háum strýtum (Hannington ofl., 2001). Uppstreymið fylgir tveimur stórum siggengjum sem mynda litla sigdæld austan við hryggina.

Brotabeltin í Eyjafjarðaráll, Skjálfanda og Öxarfirði endurspeglar öll gliðunarvirkni á Nútíma. Djúp Eyjafjarðaráls, í framhaldi af Kolbeinseyjarhrygg til suðurs, ásamt Skjálfandadjúpi eru því virkar toglægðir (e. pull-apart basins) myndaðar við skástígt rek (e. oblique rifting) ásamt hægri handar hliðrun Tjörnesbrotabeltisins.

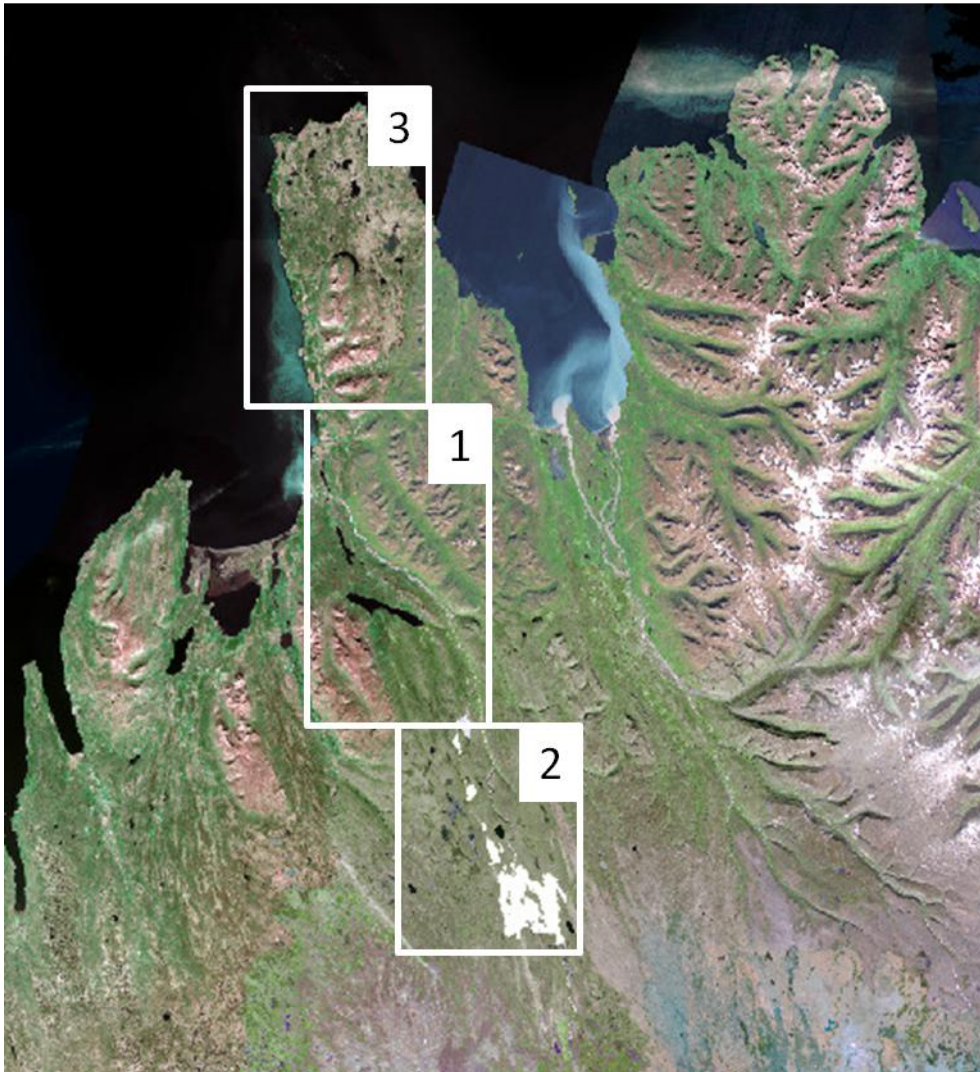
## Gróðurfarspróun á Norðurlandi á nútíma

Sigrún Dögg Eddudóttir, Guðrún Gísladóttir, Egill Erlendsson

Land- og ferðamálafræði, Líf- og umhverfisvísindadeild, Háskóli Íslands, 101 Reykjavík

Staðsetning Íslands býður upp á einstakar aðstæður til að rannsaka áhrif þátta eins og loftslagsbreytinga og eldgosa á framvindu gróðurs. Verkefninu er ætlað að draga upp heildræna mynd af gróðurbreytingum á Nútíma í Húnavatnssýslum. Unnið verður að frjógreiningum úr vatnaseti frá þremur stöðum (mynd 1); 1) á láglandi inn til landsins, þar sem líklegt er að kjörlendi birkiskóga hafi verið, 2) við hálendisbrún, þar sem ætla má að skógarmörk hafi fylgt loftslagsbreytingum og 3) í hafrænu loftslagi á Skaga, þar sem ætla má að loftslagsbreytingar hafi haft meiri áhrif á vistkerfi en inn til landsins. Gögn í hárrí tímaupplausn verða felld inn í tímatal unnið úr gjóskulögum og geislakolsgreiningum. Niðurstöður verkefnisins munu stuðla að betri skilningi á ferlum sem knúið hafa vistfræðilegar breytingar á Íslandi á Nútíma, bæði náttúrulegum og mannlegum. Þá verður kannað hvort tengsl kunni að vera á milli gróðurfarsbreytinga á svæðinu og annarra ferla á landi, svo sem jarðvegsrofs og framrás jökla. Einnig verða niðurstöðurnar bornar saman við fornvistfræðileg gögn unnin úr setkjörnum af hafsbotni og kannað hvort gögnum af landi og legi ber saman um eðli og tímasetningu loftslags- og annarra umhverfisbreytinga.

Tímabilið frá lokum síðasta jökulskeiðs að landnámi er vel til þess fallið að kanna áhrif loftslagsbreytinga og eldgosa á gróður og jarðveg. Tímasetning landnáms er vel þekkt og það er víða markað í setlögum af landnámslaginu (gjóskulags frá um 870 e.Kr.). Vegna áhrifa landbúnaðar er erfitt að rekja umhverfisbreytingar til náttúrfars eftir landnám en mögulegt er að skoða áhrif landnýtingar á gróður og jarðveg. Sérstakur styrkur rannsókna á fornumhverfi Íslands er sá að hægt er að hluta jarðlög í tímabil með hjálp þekktra aldursgreindra gjóskulaga. Þetta hjálpar við tímasetningu gagna og auðveldar samanburð milli rannsóknastaða. Einungis sárafaár sambærilegar rannsóknir hafa verið gerðar á Íslandi og þau gögn sem til eru um gróðurfars sögu Íslands eru sundurleit, ná yfir takmörkuð tímabil og eru misjafnlega vel tímasett/aldursgreind. Einnig hafa flestar rannsóknir einblínt á afmörkuð tímabil á Nútíma. Ættu niðurstöður verkefnisins að vekja athygli annarra er vinna á sviði vísinda sem lúta að fornloftslagi og landumhverfi hvort sem er annars staðar á Íslandi eða á Norður-Atlantshafssvæðinu.



Mynd 1. Rannsóknasvæði. 1) á láglendi, 2) við hálendisbrún, 3) á Skaga.

## Rýrnun Kotárjökuls frá lokum Litlu Ísaldar

Snævarr Guðmundsson, Hrafnhildur Hannesdóttir, Helgi Björnsson

Jarðvísindastofnun Háskólans

Við áætlum meðaltalsrýrnun Kotárjökuls ( $11.5 \text{ km}^2$ ) í suðvestanverðum Örfæfajökli um  $0,3 \text{ m}$  vatnsgildi/ári á 120 ára tímabili 1891-2011. Jökulrýrnunin nemur  $0,5 \text{ km}^3$  að rúmmáli og nálægt  $2,7 \text{ km}^2$  að flatarmáli. Yfirborð Kotárjökuls hefur lækkað um 180 m nálægt núverandi sporði en lítið sem ekkert ofan við 1700 m. Breytingarnar eru metnar með a) hornafallareikningum út frá þremur ljósmyndapörum af jöklinum, teknum frá tveimur stöðum árin 1891 (af Frederick W.W. Howell) og 2011, b) jökulmenjum sem sýna hámarksútbreiðslu í lok Litlu Ísaldar, og c) LiDAR hæðarlíkani frá 2010-2011. Vestari armur Kotárjökuls hörfaði um 1,3 km, frá 175 m upp í 350 m hæð, en eystri armurinn (Rótarfjallsjökull) hopaði um 2 km upp í 660 m hæð. Samanburður á hæð einstakra mælipunkta á hábungu Örfæfajökuls, á korti danska herforingjaráðsins frá 1904 og hinu nýja LiDAR-hæðarlíkani, gefur til kynna að yfirborð jökulsins hefur ekki lækkað sem neinu nemur á ofangreindu tímabili ofan 1700 m hæðar. Myndir Howells eru þær elstu sem vitað er um af íslenskum jöklum og gegna mikilvægu hlutverki við að meta breytingar sem orðið hafa á Kotárjökli á síðustu 120 árum. Hvergi annars staðar við suðurjaðar Vatnajökuls er til snið sem nær frá Ísaskilum niður á sporð sem sýnir yfirborðsbreytingar jökuls. Stefnt er að því að yfirfæra þessa vitneskju á aðra jökla í Austur-Skaftafellssýslu fyrir mat á rúmmálsbreytingum þeirra frá lokum Litlu Ísaldar.

## **Skjálftavirkni á Hellisheiði og Nesjavöllum í tengslum við boranir og niðurdælingar í borholur**

Steinunn S. Jakobsdóttir og Gunnar B. Guðmundsson

Veðurstofu Íslands, Bústaðavegi 7-9, 150 Reykjavík.

Eftir að SIL-jarðskjálftamælikerfið var tekið í notkun hefur á nokkrum stöðum mælst smá-skjálftavirkni, sem tengja má við borunarframkvæmdir og niðurdælingar í borholur. Má þar nefna smáhrinur við Nesjavelli og á nokkrum stöðum á Hellisheiði. Engin þeirra hefur þó verið jafn mikil og sú virkni, sem mældist þegar niðurdæling hófst við Húsmúla vegna Hellisheiðarvirkjunar í byrjun september 2011. Langflestir skjálftanna eru undir 2 að stærð. Í hrinu sem varð um miðjan október mældust tveir skjálftar af stærð 4, sem fundust víða um suð-vestanvert landið.

Nokkrar af þessum hrinum hafa verið upptakagreindar með aðferð afstæðra staðsetninga. Í mörgum tilfellum má greina að skjálftarnir raða sér á sprungur, sem gjarnan eru nálægt því að liggja norður-suður. Við upptakagreiningu á skjálftum við Húsmúla kom strax í ljós sniðgengishreyfing á tveimur norður-suður sprungum (stefna  $\sim 12^\circ$ ), þar sem önnur hallar  $\sim 85^\circ$  til vesturs en hin  $\sim 73^\circ$  til vesturs. Við áframhaldandi skjálftavirkni má greina virkni á fleiri sprungum og verður þróunin rakin í erindinu.

## Mass balance and volume changes of Eyjafjallajökull ice cap, from 1984 to 2010, deduced by multi-temporal elevation maps

Sverrir Guðmundsson<sup>1</sup>, Eyjólfur Magnússon<sup>1</sup>, Helgi Björnsson<sup>1</sup>, Finnur Pálsson<sup>1</sup>, Tómas Jóhannesson<sup>2</sup>, Etienne Berthier<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Iceland. <sup>2</sup>The Icelandic Meteorological Office, Iceland. <sup>3</sup>Centre National de la Recherche Scientifique, Université de Toulouse, Laboratoire d'Etudes en Géophysique et Océanographie Spatiale, Université de Toulouse, France

We assess the mass balance changes of the ~81 km<sup>2</sup> Eyjafjallajökull ice cap in South Iceland, over three distinct periods, 1984 to 1998, 1998 to 2004, and 2004 to 2010 (influenced by the 2010 Eyjafjallajökull eruption), by comparing digital elevation models (DEMs) covering the entire glacier. The DEMs were compiled by using i) aerial photographs taken in August 1984 by the American Defense Map Agency (DMA) and the Icelandic Geodetic Survey, ii) airborne EMISAR radar images obtained in August 1998 by the Electromagnetic system (EMI) of the Technical University of Denmark, iii) two image pairs from the SPOT 5 high resolution stereoscopic (HRS) instrument from August 2004 and iv) airborne LiDAR from August 2010 (after the Eyjafjallajökull eruption from 14 April to 22 May 2010). The average specific mass balance was estimated as the mean elevation difference between glaciated areas of the DEMs. The glacier mass balance declined significantly between the first two periods: from +0.2 m yr<sup>-1</sup> w. eq. during first period 1984-1998 to -1.5 m yr<sup>-1</sup> w. eq. for the period 1998 to 2004. This declining mass balance takes place at the same time as the average regional temperatures increased by ~1 °C from the first to the second period (1980-1998 to 1998 to 2004). The mass balance during the third period (2004-2010) was -0.9 m yr<sup>-1</sup> w. eq. This increase in the mass balance from the second to the third period (-1.5 to -0.9 yr<sup>-1</sup> w. eq.) is explained by the deposition of a thick insulating tephra layer spread over the ice cap, that did prevent melting during the summer 2010. Assuming a mass balance of -1.5 m yr<sup>-1</sup> w. eq. from 2004 to 2009 (the same as that for 1998 to 2004, at similar average temperature), yields a mass balance of around +2 m for the glaciological year 2009 to 2010, or a gain of ~0.18 km<sup>3</sup> (mixture of ice and tephra).

## Grjóthrun í Drangey að fornu og nýju

Þorsteinn Sæmundsson<sup>1</sup> og Halldór G. Pétursson<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Náttúrustofa Norðurlands vestra, Aðalgötu 2, 550 Sauðárkróki, <sup>2</sup>Náttúrufræðistofnun Íslands, Borgum við Norðurslóð, 600 Akureyri.

Um aldir hefur Drangey verið matarkista Skagfirðinga, bæði var sótt þangað til fiskjar og lágu menn þá í verðbúðum aðallega sunnan til undir eyjunni milli Háubríkur og Hæringshlaups og síðan í Uppgönguvík, en þar er eini staðurinn sem fært er upp á eyna. Mikið var sótt af fugli og eggjum í eyjuna og er talið að allt að 200.000 fuglar hafi verið veiddir á ári þar fyrrum. Sauðfé gekk einnig í eyjunni enda er hún mjög grösug efst.

Fuglaveiðarnar voru bæði erfiðar og kröfðust mikilla mannfórna bæði við sig í björg og ekki síst vegna grjóthruns, sem var og er algengt í eyjunni. Mannskaðar urðu miklir á þessum tímum og kom sú saga upp að í berginu byggju vættir er ekki vildu að landsmenn drægju allan afla úr höndum þeirra. Því var það að Guðmundur góði Hólabiskup tók sig til og vígði björgin í eyjunni utan eitt í norðurhorni hennar. Þar segir sagan að loppa ein loðin hafi komið út úr bjarginu og brugðið sveðju á sigfestina sem biskup hékk í við vígsluna. Skar hún á tvo þræði festarinnar sem biskup var í en þriðji þráðurinn var vígður og beit hnífurinn því ekki á honum. Í því heyrist rödd úr berginu segja: “Vígðu ekki meira, Gvendur biskup; einhverstaðar verða vondir að vera.” Sleppti biskup því að vígja bjargið. Segir sagan að síðan hafi þótt óhætt að síga í eyjunni fyrir utan í bjarg þetta sem nefnist Heiðnabjarg.

Drangey er móbergseyja staðsett í miðjum Skagafirði að vestanverðu. Eyjan er um 0,2 km<sup>2</sup> að flatarmáli, um 180 m há þar sem hún er hæðst að norðanverðu og þverhnípt á allar hliðar. Rétt sunnan við eyjuna rís mikill klettadrangur úr hafi sem nefndur er Kerling, en norðan við hana stóð annar drangur sem var nefndur Karl en hann er talinn hafa hrunið í jarðskjálfta árið 1755.

Grjóthrun er algengt í Drangey líkt og í öðrum móbergsmýndunum á Íslandi. Sjávarrof er mikið við og oft hafa jarðskjálftar valdið þar miklu hruni. Fornar sagnir eru um að fjöldi manns hafi farist þegar mikil fylla féll úr norðaustanverðri eyjunni og nefnist þar síðan Dauðsmannshaugur. Segir sagan að fallið hafi yfir fjölmargar skipsáhafnir og þarna farist fjöldi fólks. Fyrstu skráðar heimildir um grjóthrun er að finna í Skarðsannál frá 1626 en þá er greint frá að maður hafi farist af völdum grjóthruns. Aftur er getið um dauðsfall árið 1627 og örkumlun þriggja til viðbótar. Árið 1696 er greint frá öðru mannsláti vegna grjóthruns. Á síðustu öld er greint frá tveimur dauðsföllum í eyinni. Það fyrra átti sér stað árið 1907 þegar maður hrapaði eftir að hafa fengið grjót á sig og hið síðara varð árið 1923 þegar steinn féll á höfuð manns við sig.

Jarðskjálftar eru tíðir á þverbrotabeltinu sem liggur fyrir Norðurlandi og hrun í Drangey fylgir oft stórum skjálftum sem verða fyrir mynni Skagafjarðar. Sagnir eru um að mikið hrun hafi orðið í eyjunni við stóran jarðskjálfta árið 1755 en þá er talið að Karlinn, klettadrangurinn sem stóð norðan megin við eyna hafi hrunið. Einnig er getið um mikið hrun í Drangey við annan stóran jarðskjálfta sem varð 12. júní árið 1838. Heljarmikið hrun varð af völdum Dalvíkurskjálftans, 2. júní árið 1934 en þá hrundi mikið og víða í eyjunni. Árið 1937 varð mikið hrun í norðanverðri eyjunni þar sem nefnist Gafl. Ekki er talið að það hafi tengst jarðskjálftum en þá mun um 60 m breið sylla hafði fallið í sjó fram og myndað gríðarmikinn haug. Mikið grjóthrun í Drangey fylgdi Skagafjarðarskjálftanum 27. mars 1963 og féllu t.d.

miklar fyllur úr austanverðum Gaflinum í norðanverðri eyjunni. Þá varð einnig nokkuð hrun í eyjunni í tengslum við snarpan jarðskjálftakipp 11. júlí árið 1964.

Litlum sögum fer af grjóthruni í Drangey frá árinu 1964 og ólíklegt talið að stórfellt hrun hafi orðið á þessu tímabili. Þó svo að algengt sé að steinar og björg falli í eyjunni, telst það ekki til tíðinda að mati heimamanna og sjaldnast talin ástæða að segja miklar fréttir af því.

Á vormánuðum 2009 þegar komið var að eyjunni kom í ljós að mikið grjóthrun hafi orðið í Uppgönguvík. Stórt stykki hafði þá fallið úr austanverðum Lambhöfða og niður í Uppgönguvíkina, en þar er eina uppgangan í eyjuna. Stígurinn, stigar og reipi sem þar hafði verið komið fyrir eyðilögðust í hruninu og skemmdir urðu einnig á hafnarmannvirkjum. Hrunið átti sér stað, eins og áður segir, úr austanverðum höfðanum yfir Uppgönguvíkinni. Þar er þverhnípt klettabelti um 25-40 m hátt. Þar kloffnaði úr um 600 m<sup>3</sup> spilda, um 35 m á hæð og rúmlega 4 m á kannt og hrundi niður skriðuvænginn. Eftir hrunið var töluvert af lausu bergi í brotsárinu, sem fleygast hafði frá bergstálinu. Ekki er nákvæmlega vitað hvenær hrunið átti sér stað en heimamenn telja að það hafi orðið í mars eða apríl. Veturinn eftir hrundi síðan aftur úr klettabeltinu en mun minna en árið á undan.

Mikill fjöldi ferðamanna fer árlega í skoðunarferðir til Drangeyjar og stór hluti þeirra velur það að klífa eyna og er þá Uppgönguvíkin eina færa leiðin. Vangaveltur eru um öryggi ferðamanna á þessari leið vegna grjóthrunshættu, en enn sem komið er hefur ekkert hættumat eða mat á öryggi þeirra farið fram.



## Áhrif loftslagsbreytinga á 21. öld á endurnýjanlega orkugjafa á Norðurlöndum og í Eystrasaltslöndum

Þorsteinn Þorsteinsson<sup>1</sup>, Árni Snorrason<sup>1</sup>, Alvina Reihan<sup>2</sup>, Bergur Einarsson<sup>1</sup>, Birger Mo<sup>3</sup>, Deborah Lawrence<sup>4</sup>, Erik Kjellström<sup>5</sup>, Halldór Björnsson<sup>1</sup>, Jari Schabel<sup>6</sup>, Jórunn Harðardóttir<sup>1</sup>, Jurate Kriauciuniene<sup>7</sup>, Niels-Erik Clausen<sup>8</sup>, Óli G.B. Sveinsson<sup>9</sup>, Philippe Crochet<sup>1</sup>, Seppo Kellomaki<sup>10</sup>, Sten Bergström<sup>5</sup>, Tatjana Kolcova<sup>11</sup> og Tómas Jóhannesson<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Veðurstofu Íslands, <sup>2</sup>Tallinn University of Technology, Eistlandi, <sup>3</sup>SINTEF Energy Research, Brándheimi, Noregi, <sup>4</sup>Norges Vassdrags- og Energidirektorat, Ósló, Noregi, <sup>5</sup>SMHI & Rossby Centre, Norrköping, Svíþjóð, <sup>6</sup>VTT Technical Research Centre, Helsinki, Finnlandi, <sup>7</sup>Lithuanian Energy Institute, Kaunas, Litháen, <sup>8</sup>Risø DTU National Laboratory, Danmörku, <sup>9</sup>Landsvirkjun, <sup>10</sup>University of Eastern Finland, Joensuu, Finnlandi, <sup>11</sup>Latvian Environment, Geology and Meteorology Agency, Riga, Lettlandi

Gerð er grein fyrir aðalniðurstöðum rannsóknaverkefnisins *Climate and Energy Systems*, sem unnið var á árunum 2007-2011 með þátttöku um 100 vísindamanna við 30 stofnanir á Norðurlöndum og í Eystrasaltslöndunum. Tilgangur verkefnisins var að reikna sviðsmyndir veðurfars (e: climate scenarios) fyrir þetta svæði fram til miðrar 21. aldar (og í sumum tilvikum allt til aldarloka) og nýta spár um þróun lofthita, úrkomu og afrennslis til að meta breytingar á innrennsli til vatnsaflsvirkjana, breytingar á vindhraða m.t.t. nýtingar vindorku og breytingar á vaxtarhraða skóga m.t.t. nýtingar lífrænnar orku. Er vatnsorkan einkum mikilvæg á Íslandi og í Noregi, vindorkan í Danmörku og lífmassaorka úr skógartrjám og mó í Finnlandi og Eystrasaltslöndum, en Svíar nýta þessa orkugjafa alla í nokkuð jöfnum mæli.

**Endurnýjanleg orka.** Árið 2009 byggðust 81% af orkuframleiðslu jarðarbúa á bruna kola, olíu og jarðgass en þýðing endurnýjanlegra orkugjafa fer sívaxandi og var þáttur þeirra samtals um 16% orkuframleiðslunnar 2009. Endurnýjanlegir eru þeir orkugjafar sem ekki eyðast, þegar af er tekið en endurnýjast sífellt af skini sólar og veðurfarsþáttum eða af hita úr iðrum jarðar. Má þar til nefna sólarorku, vatnsorku, vindorku, sjávarfallaorku, lífmassaorku og jarðhitaorku. Lönd Evrópusambandsins settu sér það markmið árið 2008 að auka hlut þessara orkugjafa í 20% árið 2020 en á Norðurlöndum er hlutfallið nú þegar talsvert herra og langhæst í Noregi og á Íslandi vegna umfangsmikillar nýtingar vatnsorku (og jarðhita á Íslandi).

**Loftslagsspár.** Í CES-verkefninu voru svæðisbundin loftslagslíkön nýtt til að reikna líklega þróun lofthita, úrkomu og vindhraða á svæði, sem nær yfir Norðurlöndin öll auk Eystrasaltslöndanna. Á tímabilinu 2021-2050 er mestri hitaaukningu (allt að 3°C) spáð á svæðinu norðaustanverðu að vetrarlagi, en líkleg hlýnun hérlandis er 1-2°C að sumarlagi og heldur meiri að vetrarlagi. Er hér miðað við meðaltal tímabilsins 1961-1990 og er hluti þessarar hlýnunar þegar kominn fram. Líklegt er að úrkoma muni heldur fara vaxandi á stærstum hluta svæðisins, en ólíklegt er að aukningin verði umfram 10% hérlandis. Ekki er spáð miklum breytingum á vindhraða.

**Spár um jöklabreytingar.** Í lokaskýrslu CES-verkefnisins eru birtir nýir reikningar á líklegum jöklabreytingum á Íslandi, í Noregi og Svíþjóð fram til aldarloka. Miðað við meðalrúmmál jöklanna á tímabilinu 1981-2000 er því spáð að rúmmál Langjökuls hafi minnkað um 30% árið 2050 og rúmlega 80% við aldarlok. Samsvarandi tölur fyrir Hofsjökul eru 20% (2050) og 60% (2100) og áþekkar niðurstöður fást fyrir smærri jökla í Skandinavíu. Afrennsli leysingarvatns frá jöklunum mun aukast við rýrnunina og verða í hámarki á árabílinu 2040-2070.

**Afrennslisbreytingar og áhrif á vatnsorkunýtingu.** Árstíðasveifla afrennslis og þar með innrennslis til uppistöðulóna mun breytast í hlýnandi loftslagi. Hlutfallslega minni úrkoma mun falla sem snjór og vorleysingar verða því ekki eins miklar og áður. Leysingaflóðum að vetrarlagi mun hins vegar fjölga og úrkomuflóð verða stærri en áður. Stórflóð af því tagi, sem einungis eiga sér stað einu sinni á öld munu sums staðar fara minnkandi (t.d. vegna minnkandi snjóhulu), en annars staðar munu þau stækka vegna aukinnar úrkomu, t.d. í Suður-Svíþjóð. Sérstaklega var metið í verkefninu hvort stíflugarðar standist aukna flóðahættu og stækkandi flóð á sumum svæðum Norðurlanda. Fram til 2050 er spáð vaxandi afrennsli frá jöklum á Íslandi og í Noregi og einnig er búist við auknu innrennsli til uppistöðulóna í Svíþjóð, Finnlandi og Lettlandi. Aukin vatnsorkuframleiðsla verður því möguleg víðast hvar.

**Spár um vindhraðabreytingar.** Nýting vindorku eykst nú hröðum skrefum á Norðurlöndum og í Eystrasaltslöndum og raunar út um alla jörð. Hafa Danir verið forystuþjóð við nýtingu vindorku og framleiðslu vindrafstöðva, sem nú eru staðsettar jafnt meðfram ströndum sem úti á hafi. Spár um breytingar á vindhraða eru mikilli óvissu háðar en ekki er búist við miklum breytingum á vindafla á svæðinu á þessari öld. Í CES-verkefninu var einnig rannsakað hvort búast megi við breytingum á tíðni ofsaveðra (sem áhrif hafa á hönnunarforsendur vindrafstöðva). Í framhaldi af verkefninu var veittur styrkur til norræna verkefnisins Ísvindar (ICEWIND) og á vegum þess verður m.a. unnið að gerð vindakorts af Íslandi.

**Áhrif á skógarnytjar.** Finniskur rannsóknahópur innan CES stýrði rannsókn á því hvaða áhrif áætluð hlýnun muni hafa á vöxt skóga og þar með á skógarnytjar. Hlýnun verður einna mest í Finnlandi á svæðinu öllu og er því búist við að verulega megi auka þar framleiðslu á eldsneyti og öðrum orkugjöfum úr lífmassa framleiddum úr trjám. Líkanreikningar benda til að auk megi framleiðslu á lífrænum orkugjöfum um allt að 75% á árabílinu 2071-2100 í samanburði við tímabilið 1961-1990. Í Eystrasaltslöndunum er einnig stefnt að aukinni notkun lífmassa við orku- og eldsneytisframleiðslu, með skógarhöggi og mónyttjum.

**Niðurstöður.** Norðurlöndin eru í fremstu röð við nýtingu endurnýjanlegra orkugjafa og búast má við að hlutfall þeirra í heildarorkuframleiðslu á svæðinu muni fara stöðugt vaxandi á næstu áratugum. Eystrasaltslöndin stefna einnig að því að auka hlut endurnýjanlegrar orku og aukinni tengingu við orkukerfi Norðurlanda. Viðbúnaður vegna líklegra áhrifa loftslagsbreytinga er góður í öllum löndum á svæðinu og líklegt er að breytingarnar auðveldi aukningu á hlut vatnsorku, vindorku og lífrænnar orku á þessari öld. Bætt loftslags-, afrennslis- og jöklalíkon munu minnka óvissu í sviðsmyndum (e: scenarios) af framtíðarþróun veðurfars. Verkefnið *Climate and Energy Systems* hefur treyst samstarf norrænna loftslagsfræðinga og orkugeirans og leitt af sér ný samstarfsverkefni með skyldar áherslur.

Heimild: *Climate Change and Energy Systems. Impacts, Risks and Adaptation in the Nordic and Baltic Countries*. Norræna ráðherranefndin 2012. 222 bls. Þetta er lokaskýrsla CES verkefnisins, aðgengileg á: <http://www.norden.org/en/publications/publikationer/2011-502>

## Increased strain rate in the Hengill area since 2008

Þóra Árnadóttir<sup>1</sup>, Sigrún Hreinsdóttir<sup>2</sup>, Karolina Michalczewska<sup>2</sup>, Ingvar Th. Magnússon<sup>3</sup>, Martin Hensch<sup>1</sup>, Benedikt G. Ófeigsson<sup>4</sup>, Halldór Geirsson<sup>5</sup>

1 Nordic Volcanological Center, Institute of Earth Sciences, University of Iceland. 2 Dept. of Earth Sciences, University of Iceland, Reykjavík, Iceland. 3 Iceland GeoSurvey (ÍSOR), Reykjavík, Iceland. 4 Icelandic Meteorological Office, Reykjavík, Iceland. 5 Pennsylvania State University, USA

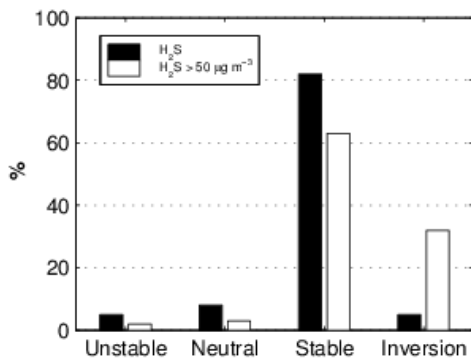
Repeated GPS measurements in the Hengill area show spatial and temporal variation in deformation rates since the first GPS measurements in early 1990's. The area underwent a period of uplift and increased seismic activity during 1993 to 1998, culminating with two main shocks in 1998, a M5.4 in June, and a M5.1 in November. Since the peak of activity in 1998, time series from a continuous GPS station installed at Ölkelduháls (OLKE) in 1999, and GPS measurements in a dense network observed by ÍSOR, show subsidence in the area. The rate of subsidence increased at OLKE in 2006, contemporaneous with increased production in the two high temperature geothermal areas that are currently utilized (Nesjavellir and Hellisheiði). The May 2008 earthquake doublet in Ölfus caused significant deformation in the Hengill area, and post seismic deformation that has continued at a high rate from 2008 to 2011. Reinjection of geothermal waste water, i.e. geothermal water that has been used to heat the cold ground water, in Húsmúli at an average rate of 550 liters per second started in September 2011. Swarms of earthquakes in Húsmúli indicate high stress and weak faults, and the onset of intense activity correlates with the start of reinjection of water. Five GPS instruments have been collecting data at the stations closest to Húsmúli since November 2011. Time series of these measurements shows a transient signal, in particular at a GPS station west of the earthquake activity (HH25) now moving westward, rather than east as previously, relative to stable North America. Strain rates, calculated from GPS station velocities in the Hengill area, are significantly higher in Húsmúli during 2008-2011, than previously in 2001-2008. We suggest that the increase in strain rates is caused by increased well production in Hengill, water reinjection in Húsmúli and post seismic deformation following the Ölfus earthquakes in May 2008.

## Áhrif veðurfars á dreifingu brennisteinsvetnis frá jarðhitavirkjunum

Pröstur Þorsteinsson

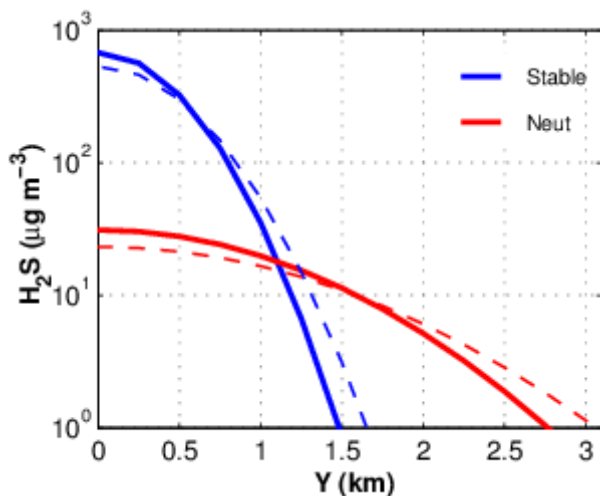
Umhverfis- og auðlindafræði & Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugata 7, 101 Reykjavík

Hár styrkur brennisteinsvetnis ( $\text{H}_2\text{S}$ ), þar sem klukkustundarmeðaltal styrksins fer yfir  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , mælist í um 80 klukkustundir á ári í Reykjavík (gögn frá árunum 2007 – 2009 við Grensás) [1].  $\text{H}_2\text{S}$  í Reykjavík kemur aðallega frá jarðhitavirkjunum sem eru 25 – 30 km suðaustur frá Reykjavík. Ákveðnar veðuraðstæður þarf til að styrkur  $\text{H}_2\text{S}$  verði þetta hár í Reykjavík og nágrennabæjum. Vindhraði er hægur, að meðaltali  $2 \pm 1$  m/s og austanstæður ( $114^\circ \pm 23^\circ$ ), það er kalt, miðgildi  $-3^\circ\text{C}$  og yfirleitt heiðskírt, eða nærri því. Með því að flokka veðurskilyrðin fæst að hár styrkur  $\text{H}_2\text{S}$  tengist stöðugum loftmassa og hitahvörfum (1. mynd).



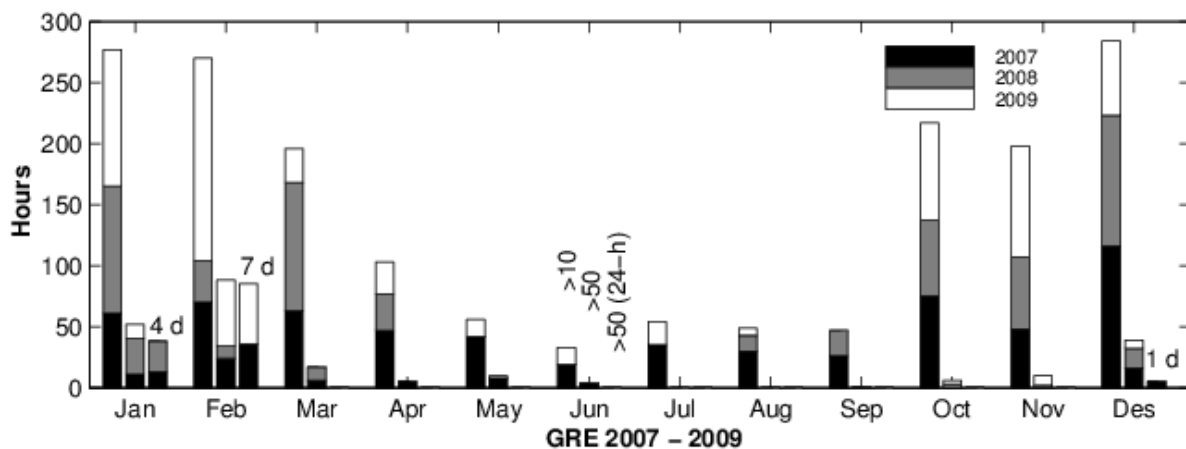
**1. mynd.** Stöðuleiki lofts, reiknaður út frá hitastigli milli Skarðsmýrarfjalls (597 m a.s.l.) og Hellisskarðs (380 m a.s.l.), fyrir allar mælingar (svarta súlan) og þegar styrkurinn mælist yfir  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , fyrir mælingar við Grensásveg.

Mælingar sýna að þessi hámarksörk eru skammvinn (meðaltal 2 klst, miðgildi 3 klst) og mismunur í styrk milli mælistöðva sýnir að  $\text{H}_2\text{S}$  dreifist í mjóum strók, sem passar vel við einfalda líkanreikninga á dreifingu mengunar frá punktuppsprettu, svokallað *Gaussian plume* líkan (2. mynd).



**2. mynd.** Styrkur  $\text{H}_2\text{S}$  ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) í 25 km (heilu línurnar) og 30 km (brotalínur) fjarlægð frá punktuppsprettu samkvæmt Gaussian strók líkani fyrir stöðugan (Stable; bláar línur) og hlutlausan (Neut; rauðar línur) loftmassa. Hér er reiknað með vindhraða 4 m/s og uppsprettu með 300 g/s.

Flestir kannast við einkenni  $\text{H}_2\text{S}$  gassins, en í lágum styrk, lyktarmörk eru á bilinu 1 - 42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  [2,3], minnir lyktin á rotið egg. Í þessum skilningi er  $\text{H}_2\text{S}$  mengun mun „sýnilegri“ en flest önnur mengun. Á tímabilinu 2007 - 2009 fór styrkur  $\text{H}_2\text{S}$  mengunar á mælistöðinni við Grensásveg yfir 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  að meðaltali í um 540 klukkustundir á ári, oftast yfir vetrartímann (3. mynd). Neikvæð áhrif loftmengunar koma sífellt betur í ljós eftir því sem rannsóknum sem sýna fram á skaðleg áhrif loftmengunar á heilsu fjölga. Samhliða því hefur vitund yfirvalda og almennings á uppsprettum mengunar og mikilvægi góðra loftgæða aukist. Enda þótt tiltölulega fáar rannsóknir séu til hérlandis á áhrifum loftmengunar á heilsu manna hafa tvær nýlegar rannsóknir [4,5] þó sýnt að notkun lyfja, bæði vegna öndunarfæra- og hjartasjúkdóma, eykst þegar loftgæðin eru slæm. Heilsuverndarmörkin eru 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  fyrir meðaltal 24 klukkustundanna á undan (3. mynd). Á árunum 2007 – 2009 fór sólarhringsmeðaltalið 12 sinnum yfir heilsuverndarmörkin og getum við þakkað óstöðugri veðráttu fyrir skammvinn tímabil hás styrks  $\text{H}_2\text{S}$ .



**3. mynd.** Fjöldi klukkustunda við Grensásveg þar sem styrkur  $\text{H}_2\text{S}$  mælist yfir 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (fremsta súla fyrir hvern mánuð), 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (mið súla) og 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  24 klst meðaltal (aftasta súla fyrir hvern mánuð) fyrir árin 2007 - 2009.

#### Samstarfsaðilar

Verkefni þetta var unnið í samvinnu við Julia Hackenbruch (Diploma nemi), Einar Sveinbjörnsson (Veðurvaktin ehf) og Þorstein Jóhannsson (Umhverfisstofnun).

#### Heimildir

1. Throstur Thorsteinsson, Julia Hackenbruch, Einar Sveinbjörnsson, Thorsteinn Jóhannsson. 2012. Statistical assessment and modeling of the effects of weather conditions on  $\text{H}_2\text{S}$  plume dispersal from Icelandic geothermal power plants. *Geothermics (accepted)*.
2. WHO, 2000. Hydrogen sulfide. WHO air quality guidelines for Europe, 2nd edition, 2000 (CD ROM version), 1–7.
3. Umhverfisstofnun. 2012. Loftgæði: Brennisteinsvetni. Vefsíða: [www.ust.is/einstaklingar/loftgaedi/brennisteinsvetni/](http://www.ust.is/einstaklingar/loftgaedi/brennisteinsvetni/)
4. Ragnhildur Guðrún Finnbjörnsdóttir. 2010. Air pollution in Reykjavik and dispensation of drugs for angina pectoris. MS in environmental and resource management, University of Iceland.
5. Hanne Krage Carlsen. 2010. Air pollution in Reykjavik and use of drugs for obstructive airway diseases. MPH, University of Iceland.