

# Ágrip erinda

Haldin í Netheimum, 20. nóvember 2020



# Ágrip erinda

Haldin í Netheimum, 20. nóvember 2020

# Umsjón:

Halldór Geirsson, Þorsteinn Sæmundsson, Lúðvík E. Gústafsson, Ásta Rut Hjartardóttir, Michelle Parks, Ingvar A. Sigurðsson, Bjarni Gautason

Dagskrá Haustráðstefnu JFÍ, 20. nóvember 2020

07:30	Rafræn slóð á fundinn opnar
Fundarstjóri	Þorsteinn Sæmundsson
07:50 – 07:55	Setning
	Þorsteinn Sæmundsson
07:55 – 08:00	Frá ritstjórn Náttúrufræðingsins
	Þóroddur F. Þóroddsson
08:00 – 08:15	European Catalogue of Volcanoes (ECV) created in the EUROVOLC project: http://volcanoes.eurovolc.eu
	Bergrún Arna Óladóttir
08:15 - 08:30	The GEOENVI project-overview
	Sylvía Rakel Guðjónsdótti
08:30 – 08:45	EPOS Ísland - Uppbygging íslenskra rannsóknarinnviða og þátttaka í European Plate Observing System samtökunum
	Kristín S. Vogfjörð
08:45 – 09:00	The bedrock and tephra layer topography within the glacier filled Katla caldera, Iceland, deduced from dense RES-survey
	Eyjólfur Magnússon
09:00 - 09:15	Þróun Skaftárkatla 1938-2020: Myndun og vöxtur öflugra háhitasvæða
	Magnús Tumi Guðmundsson
09:15 – 09:30	Áhrif breytinga Skeiðarárjökuls á farveg og rennsli Súlu
	Finnur Pálsson
09:30 – 09:45	Jökulhlaup úr jaðarlóni Flosajökuls í Langjökli
	Þorsteinn Þorsteinsson
09:45 – 10:00	Hlaup úr jaðarlóni Flosajökuls árin 2014, 2017 og 2020
	Guðbjörg Hulda Karlsdóttir
10:00 - 10:15	Kolefnisbúskapur Íslands
	Sigurður Reynir Gíslason
10:15 - 10:30	Uppruni volga grunnvatnsins í Mývatnssveit
	Finnbogi Óskarsson

10:30 - 12:00 Matarhlé

20. nóvember 2020

### Fundarstjóri Michelle Parks

12:00 – 12:15 Sulfur isotope point-of-view on lower and upper mantle reservoirs below Iceland

Eemu Ranta

- 12:15 12:30 Jarðskjálftavirkni og sprungur á skáreksbelti Reykjanesskagans Páll Einarsson
- 12:30 12:45 The Activity of the Reykjanes Fissure Swarm in Time and Space

Julia Heilig

12:45 – 13:00 An overview from deformation and seismicity of the volcano-tectonic events in 2020 at the Reykjanes Peninsula: Stress triggering and interactions between several volcanic systems

Halldór Geirsson

13:00 – 13:15 Seismicity due to the ongoing activity along the Reykjanes Peninsula: Results from a dense seismic network

Tim Greenfield

13:15 – 13:30 Detection of temporal seismic velocity variations at Reykjanes Peninsula, Iceland, using seismic ambient noise

Yeşim Çubuk-Sabuncu

### 13:30 – 13:35 Örstutt kaffihlé

13:35 – 13:45 Ummerki eftir jarðskjálfta á Reykjanesi

Esther Hlíðar Jensen

13:45 – 14:00 InSAR Observations and Source Modeling of the Magnitude 5.6 Núpshlíðarháls Earthquake on 20 October 2020

Sigurjón Jónsson

- 14:00 14:15 Volcanic tremor of the 2010 Eyjafjallajökull eruption Ásdís Benediktsdóttir
- 14:15 14:30 Iceland GeoSurvey's seismic monitoring of exploited geothermal fields in Iceland

Thorbjörg Ágústsdóttir

- 14:30 14:45 Hitastigull á Reykjanesskaga utan jarðhitasvæða Ólafur G. Flóvenz
- 14:45 15:00 Flugsegul-, þyngdar- og hitamælingar af Hengilssvæði. Tengsl við jarðfræði og jarðhita

Gylfi Páll Hersir

20. nóvember 2020

15:00 - 15:30 Kaffi

- 15:30 15:45 Fault activation during the 1993-1998 uplift episode in Hengill, SW-Iceland Hanna Blanck
- 15:45 16:00 Sprungusveimar Hofsjökuls

Ásta Rut Hjatardóttir

16:00 – 16:15 Erosion and sedimentation in Surtsey island from 1967 to 2019, quantified from DEMs

Birgir Vilhelm Óskarsson

- 16:15 16:30 Straumlínulaga landform á Norðausturlandi: ummerki fornra ísstrauma Nína Aradóttir
- 16:30 16:45 The 2013 debris slide onto the Svínafellsjökull outlet glacier Daniel Ben-Yehoshua
- 16:45 17:00 Deep seated gravitational slope deformation north of the Tungnakvíslarjökull outlet glacier, in western part of the Mýrdalsjökull glacier

Þorsteinn Sæmundsson

17:00 – Hressing

Haustráðstefna Jarðfræðafélags Íslands 20. nóvember 2020

20. nóvember 2020

# Efnisyfirlit

Dagskrá Haustráðstefnu JFÍ, 20. nóvember 2020i
Efnisyfirlitv
Ágrip0
Volcanic tremor of the 2010 Eyjafjallajökull eruption
Sprungusveimar Hofsjökuls
The 2013 debris slide onto the Svínafellsjökull outlet glacier
European Catalogue of Volcanoes (ECV) created in the EUROVOLC project:
Erosion and sedimentation in Surtsey island from 1967 to 2019, quantified from DEMs
Birgir Vilhelm Óskarsson, Kristján Jónasson, Guðmundur Valsson and Joaquín M. C. Belart
Fault activation during the 1993-1998 uplift episode in Hengill, SW-Iceland
Ummerki eftir jarðskjálfta á Reykjanesi
Esther Hlíðar Jensen og Jón Kristinn Helgason
The bedrock and tephra layer topography within the glacier filled Katla caldera, Iceland, deduced from dense RES-survey
Eyjólfur Magnússon, Finnur Pálsson, Alexander H. Jarosch, Tayo van Boeckel, Hrafnhildur Hannesdóttir and Joaquín M.C. Belart
Uppruni volga grunnvatnsins í Mývatnssveit
Áhrif breytinga Skeiðarárjökuls á farveg og rennsli Súlu
Seismicity due to the ongoing activity along the Reykjanes Peninsular: Results from a dense seismic network
Daniel Roberts, Tim Greenfield, Þorbjörg Ágústsdóttir, Bryndís Brandsdóttir, Tom Winder, Conor Bacon, Nicholas Rawlinson and Robert S. White
Hlaup úr jaðarlóni Flosajökuls árin 2014, 2017 og 202014
Guðbjörg Hulda Karlsdóttir, Ingibjörg Jónsdóttir, Esther Hlíðar Jensen og Kristjana G. Eyþórsdóttir
Flugsegul-, þyngdar- og hitamælingar af Hengilssvæði Tengsl við jarðfræði og jarðhita
Gylfi Páll Hersir og Grímur Björnsson
An overview from deformation and seismicity of the volcano-tectonic events in 2020 at the Reykjanes Peninsula: Stress triggering and interactions between several volcanic

systems......1

20. nóvember 2020

Halldór Geirsson, Michelle Parks, Kristín Vogfjörð, Páll Einarsson, Kristín Jónsdóttir, Alex Hobé, Benedikt G. Ófeigsson, Vincent Drouin, Sigrún Hreinsdóttir, Freysteinn Sigmundsson, Hildur María Friðriksdóttir, Cécile Ducrocq, Ásta Rut Hjartardóttir and Guðjón Helgi Eggertsson		
The Activity of the Reykjanes Fissure Swarm in Time and Space		
Julia Annina Heilig, Ásta Rut Hjartardóttir and Páll Einarsson		
EPOS Ísland - Uppbygging íslenskra rannsóknarinnviða og þátttaka í European Plate Observing System Samtökunum		
Kristín S. Vogfjörð og EPOS Ísland hópurinn		
Þróun Skaftárkatla 1938-2020: Myndun og vöxtur öflugra háhitasvæða7		
Magnús Tumi Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir, Eyjólfur Magnússon, Finnur Pálsson og Hannah I. Reynolds		
Straumlínulaga landform á Norðausturlandi: ummerki fornra ísstrauma		
Nína Aradóttir, Ívar Örn Benediktsson og Ólafur Ingólfsson		
Hitastigull á Reykjanesskaga utan jarðhitasvæða10		
Ólafur G. Flóvenz		
Jarðskjálftavirkni og sprungur á skáreksbelti Reykjanesskagans11		
Páll Einarsson, Sveinbjörn Björnsson og Ásta Rut Hjartardóttir		
Sulfur isotope point-of-view on lower and upper mantle reservoirs below Iceland 13		
Eemu Ranta, Jóhann Gunnarsson-Robin, Sæmundur A. Halldórsson, Shuhei Ono, Gareth Izon, Matthew G. Jackson, Callum D.J. Reekie, Frances E. Jenner, Guðmundur H. Guðfinnsson, Ólafur P. Jónsson and Andri Stefánsson		
Kolefnisbúskapur Íslands		
Sigurður Reynir Gíslason, Marin I. Kardjilov, Eydís Salome Eiríksdóttir og Guðrún Gísladóttir		
InSAR Observations and Source Modeling of the Magnitude 5.6 Núpshlíðarháls Earthquake on 20 October 2020		
Sigurjón Jónsson, Yunmeng Cao, Hannes Vasyura-Bathke and Xing Li		
The GEOENVI project-overview		
Sylvía Rakel Guðjónsdóttir		
Detection of temporal seismic velocity variations at Reykjanes Peninsula, Iceland, using seismic ambient noise		
Yeşim Çubuk-Sabuncu, Kristín Jónsdóttir, Thomas Lecocq, Corentin Caudron, Michelle Maree Parks, Aurélien Mordret and Halldór Geirsson		
Iceland GeoSurvey's seismic monitoring of exploited geothermal fields in Iceland20		
Thorbjörg Ágústsdóttir, Kristján Ágústsson, Sigríður Kristjánsdóttir, Egill Árni Guðnason, Rögnvaldur Líndal Magnússon, Gylfi Páll Hersir, Karl Gunnarsson, Ingvar Þór Magnússon, Friðgeir Pétursson, Hanna Blanck and Ólafur G. Flóvenz		
Deep seated gravitational slope deformation north of the Tungnakvíslarjökull outlet glacier, in western part of the Mýrdalsjökull glacier		
Þorsteinn Sæmundsson, Páll Einarsson, Halldór Geirsson, Joaquin Belart, Ásta Rut Hjartardóttir, Eyjólfur Magnússon, Finnur Pálsson, Gro Pedersen, Vincent Drouin and Daníel Ben-Yohoshua		
Jökulhlaup úr jaðarlóni Flosajökuls í Langjökli24		
Þorsteinn Þorsteinsson, Esther Hlíðar Jensen, Ingibjörg Jónsdóttir, Kristjana G. Eyþórsdóttir, Finnur Pálsson, Andri Gunnarsson, Hlynur Skagfjörð Pálsson, Gunnar Sigurðsson, Ragnar H. Þrastarson, Oddur Sigurðsson og Tómas Jóhannesson		
Frá ritstjórn Náttúrufræðingsins25		

Haustráðstefna Jarðfræðafélags Íslands 20. nóvember 2020

# Ágrip

Haustráðstefna Jarðfræðafélags Íslands 20. nóvember 2020

# Volcanic tremor of the 2010 Eyjafjallajökull eruption

Ásdís Benediktsdóttir, Ólafur Guðmundsson, Ka Lok Li and Bryndís Brandsdóttir

ÍSOR, Uppsala University, Dublin Institute of Advanced Studies, Norræna Eldfjallasetrið

The 2010 summit eruption of Eyjafjallajökull, from April 14th to May 22nd 2010, had associated continuous volcanic tremor that varied considerably during the course of the eruption, following changes in eruptive style. The tremor had power at frequencies between 0.5 and 10 Hz, with increased tremor activity during an effusive-explosive phase, in comparison to purely explosive phases. The tremor was located using a method based on differential phase information extracted from inter-station correlograms. The location was found to be stable near the eruption vent, throuBiðja fólk að slo-ökkgh time, for signals between 0.5 Hz and 2 Hz. Tremor bursts early in the eruption, related to flood-water measurements, are caused by processes at the eruption site. Analyses of power variations of the vertical component of the tremor with distance from the eruption site are consistent with tremor waveform content being dominated by surface waves in the 0.5-2 Hz frequency ranges. The tremor source was constrained to be shallow, less than about 1 km. The attenuation quality factor (Q) was found to be on the order of Q = 10-20 for paths in the area around Eyjafjallajökull and Q = 20-50 for paths outside the volcano. The pattern of radiated wave energy from the tremor source varied with time, defining ten different epochs during the eruption. Thus the tremor-source radiation did not remain isotropic, which needs to be considered when locating tremor based on amplitude, i.e. azimuthally variable source radiation.

### Sprungusveimar Hofsjökuls

### Ásta R. Hjartardóttir og Páll Einarsson

Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands

Eldstöðvarnar undir Hofsjökli og Tungnafellsjökli ásamt sprungusveimum þeirra liggja á Mið-Íslandsbeltinu. Þessi eldstöðvakerfi eru þannig utan við virkasta rekbeltið, en eru engu að síður virk. Þó má finna ýmis einkenni sem benda til þess að sprungusveimarnir (og þá sérlega sprungusveimur Hofsjökuls) séu ekki jafn virkir eins og þar sem mesta gliðnunin fer fram á rekbeltunum.

Undir Hofsjökli liggur askja, sem er 6-9 km að þvermáli. Askjan liggur undir jöklinum, og þar má finna jarðhita. Frá eldstöðinni greinast þrír sprungusveimar, einn þeirra liggur til norðurs, annar til suðvesturs og sá þriðji liggur til vesturs frá eldstöðinni, en beygir þaðan til suðvesturs. Báðir sprungusveimarnir sem liggja til suðvesturs hafa brotið nútímahraun, og þar með verið virkir á nútima. Þannig liggur vestur-sprungusveimurinn í gegnum Kjalhraun, og suðursveimurinn í gegnum Illahraun. Þó eru ýmis merki um að sprungusveimar Hofsjökuls hafi ekki verið virkir nýlega. Þannig hafa ekki fundist nein skýr niðurföll í sprungunum, sem bendir til þess að niðurföllin hafi fyllst af seti. Þetta er óvanalegt fyrir virka sprungusveima, því yfirleitt finnast niðurföll í þeim.

Kerlingafjöll liggja á milli þeirra tveggja sprungusveima Hofsjökuls sem liggja til suðvesturs. Fáar sprungur finnast í sprungustefnu suð-suðvestur af Kerlingafjöllum, og minni lóðrétt misgengisfærsla hefur orðið á þeim sprungum sem þar eru heldur en hinum sem liggja til hliðar. Þessi "sprunguskuggi" suð-suðvestur af Kerlingafjöllum gæti verið tilviljun, en þó gæti einnig verið að súra bergið í Kerlingafjöllum hindri að basísk gangainnskot frá Hofsjökli komist þar upp og í gegn vegna eðlisþyngdarmunar, og geri basísku gangainnskotunum erfitt fyrir að komast suður fyrir Kerlingafjöll. Slík basísk innskot undir Kerlingafjöllum gætu þó viðhaldið jarðhitanum þar og jafnvel valdið því að súrir gúlar rísi.

# The 2013 debris slide onto the Svínafellsjökull outlet glacier

Daniel Ben-Yehoshua<sup>1,2</sup>, Þorsteinn Sæmundsson<sup>1,3,4</sup>, Jón Kristinn Helgason<sup>5</sup>, and Joaquin M.C. Belart<sup>4,6</sup>

<sup>1</sup>Faculty of Civil and Environmental Engineering, University of Iceland, Reykjavík, Iceland

<sup>2</sup>Svarmi ehf., Reykjavík, Iceland

<sup>3</sup>Faculty of Life and Environmental Sciences, Department of Geography and Tourism, University of Iceland

<sup>4</sup>Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Askja, Reykjavík, Iceland

<sup>5</sup>Icelandic Meteorological Office, Reykjavík, Iceland

<sup>6</sup>National Land Survey of Iceland, Akranes, Iceland

In 2013 a large debris slide fell onto the Svínafellsjökull outlet glacier, on the western slopes of Öræfajökull glacier, SE Iceland. The slide occurred during an intensive rainstorm event between February  $24^{th}$  and  $27^{th}$ . It originated from a lateral moraine below the steep northern slope of the Skarðatindur mountain above a small contributory glacier coming from the southeast. The debris flowed down-glacier towards the west with an approximate runout distance of 3000 m and a width of 500-600 m covering about 1,4 km<sup>2</sup> or about 17% of the outlet glaciers' surface. The extent of the debris deposit is remarkable considering the slope of the glacier is around 4°. Based on Digital Elevation Models (DEMs) from 2011 (lidar) and 2013 (ArcticDEM), the estimated volume of the slide is  $5,4\pm0,1$  million m<sup>3</sup> with an average thickness of the deposited debris of 3-4 m, which makes it one of the largest debris slides in Iceland over the last decades. The debris cover reduced the surface ablation of the glacier ice beneath the deposits which resulted in an up to 30 m height difference between the uncovered glacier surface and the debris covered part in 2019.

# European Catalogue of Volcanoes (ECV) created in the EUROVOLC project:

Bergrún Arna Óladóttir<sup>1,2</sup>, Sara Barsotti<sup>1</sup> and Mauro A. Di Vito<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Icelandic Meteorological Office, Reykjavik, Iceland

<sup>2</sup> Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Reykjavik, Iceland

<sup>3</sup> Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Italy.

European volcano observatories have built up a unique coherent pan-European catalogue of active volcanoes and volcanic areas through the H2020 funded EUROVOLC project. The catalogue is now open to the public on the websites http://volcanoes.eurovolc.eu/ and http://volcanos.eurovolc.eu. In this first published version, information from different volcanic observatories on key volcanoes and their related hazards is made available, providing detailed information for both the public and stakeholders regarding e.g. hazards in proximal and distal areas, on ground and in the air. The catalogue contains background information on each volcano and its main eruptions using a homogeneous terminology, scale of measurements of eruption features and level of knowledge of its past phenomena. The provided information on the key volcanoes shows the amount of information that could be available for all volcanoes listed in later versions of the ECV. The key volcanoes are Etna, Stromboli, Vesuvius (Italy), Santorini (Greece), Teide Pico-Viejo, Catalan Volcanic Fields (Spain), Fogo, Sete Cidades (Portugal), Piton de la Fournaise, Mt Pelée, Soufriere of Guadeloupe (France), Ascension and Tristan da Cunha (UK). All information is available in English as well as the native language of the country where the volcano is located. Additionally, the catalogue gives location of 72 active volcanoes within the monitoring areas of the European volcano observatories.

Information on individual eruptions from some of the key volcanoes will be made available through the ECVe under the Eruption search feature. Information on more than 300 eruptions has already been collected and it will be accessible by the end of the Eurovolc project or in the beginning of the year 2021.

The Catalogue of Icelandic Volcanoes (<u>http://icelandicvolcanoes.is/</u> or <u>http://islenskeldfjoll.is</u>) served as a template for the European Catalogue.

The ECV is a collaboration of European volcano observatories and universities in Iceland (IMO, UI), Italy (INGV), Spain (CSIC, IGN), Portugal (CIVISA), France (IPGP, UCA), United Kingdom (NERC, BGS, Meet Office) and Greece (HGME).

# Erosion and sedimentation in Surtsey island from 1967 to 2019, quantified from DEMs

Birgir Vilhelm Óskarsson<sup>1</sup>, Kristján Jónasson<sup>1</sup>, Guðmundur Valsson<sup>2</sup> and Joaquín M. C. Belart<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Icelandic Institute of Natural History

<sup>2</sup> National Land Survey of Iceland

<sup>3</sup>Institute of Earth Sciences, University of Iceland

Surtsey island was visited and surveyed in summer 2019 with an UAV and from a helicopter for a photogrammetric study to quantify the erosion and sedimentation since 1967 through Digital Elevation Model (DEM) differencing. Three DEMs and orthoimages were generated, two from scanned aerial nadir images from 1967 and 1974 and one from high-resolution closerange images from the survey in 2019. Of the subaerial volcanics, 45% of the lava fields has eroded away while 16% of the tuff cones. The strong SW offshore current erodes the island at a right angle to the current, and cumulative loss of the coastal margins amounts to 28±0.9x10<sup>6</sup> m<sup>3</sup> since 1967, with present average erosion rates of  $0.4\pm0.02 \times 10^6$  m<sup>3</sup>/yr. Wind deflation and runoff erode the tuff cones and the surface sediments, and the total volume loss amounts to about  $1.6\pm0.2\times10^6$  m<sup>3</sup> with present erosion rates of  $0.03\pm0.004\times10^6$  m<sup>3</sup>/yr. Erosion rates of the coastal margins during the first seven year post-eruption were about 5-6 times higher than current erosion rates due to the less cohesive nature of the lava apron at the edge of the Surtsey shelf. The erosion of the tuff cones was 2-3 time higher during this time due to the unconsolidated and unaltered nature of the cones prior to palagonitization. The 2019 size of 1.2 km<sup>2</sup> and extrapolation of the current erosion rate estimates fit well with the area-based linear regression of Jakobsson et al (2000), which predicted a drop in erosion rate after approximately 80-100 years when the island reaches the core of the palagonitized tuff cone.

# Fault activation during the 1993-1998 uplift episode in Hengill, SW-Iceland

Hanna Blanck, Kristín Vogfjörd, Halldór Geirsson and Vala Hjörleifsdóttir

University of Iceland, Icelandic Meteorological Office, Reykjavík Energy

From 1993 to 1998, the Hengill central volcano was subject to an uplift episode, causing vertical displacement of 8 cm and 90.000, mostly very small, earthquakes. We used cross-correlation to improve pick accuracy and applied a relative relocation algorithm to obtain high resolution earthquake locations of a subset of 10.000 earthquakes in the direct vicinity of the uplift. About 2000 of the relocated earthquakes lie on alignments which are interpreted as active faults or zones of weakness in the crust. To analyze the movement on the faults we recalculated possible focal mechanisms for the new locations. The Quakelook software was then used to select the best fitting focal mechanisms by calculating a best-fitting plane through a (manually selected) cluster of earthquakes which is compared to the database of possible focal mechanisms, providing a strong additional constraint. The projection of the slip vector of each earthquake into the fault plane is used to estimate the average movement along the fault. Twenty-five faults could be identified east and southeast of the uplift. Twenty-three of the faults are near-vertical and most faults show strike-slip dominated movement patterns. The P-axis of most earthquakes on faults are NW-SE oriented while the orientation of the T-axis is more variable, suggesting that the local stress field is controlled by the near SISZ rather than the rifting.

Further, we plan to analyse a more recent data set of earthquakes from the Hengill area. We will use an Arrival Time Double Difference method (ATDD) which is formulated in parallel to the Standard Wadati method (SW). Other than the SW, ATDD allows to estimate the  $v_P/v_S$  ratio in the direct vicinity of the earthquakes only not taking the velocity structure along the raypath and in the shallow crust underneath the recording stations into account.

20. nóvember 2020

# Ummerki eftir jarðskjálfta á Reykjanesi

Esther Hlíðar Jensen og Jón Kristinn Helgason

Veðurstofa Íslands

Þann 20. október 2020 kl. 13.43 mældist skjálfti með upptök á Núpshlíðarhálsi, um 5 km vestan við jarðhitasvæðið í Seltúni. Stærð skjálftans er M5.6. Skjálftinn fannst vel um mest allt land og sér í lagi á höfuðborgarsvæðinu og á Suðurnesjum. Skjálftinn var sá stærsti sem mælst hefur á Reykjanesskaganum frá því árið 2003. Veðurstofunni barst talsvert af tilkynningum um grjóthrun á Reykjanesi. Á áhrifasvæði jarðskjálftanna eru margar vinsælar gönguleiðir. Ummerki eftir skjálftan voru skoðuð dagana á eftir á þessum helstu leiðum. Talsvert grjóthrun varð úr Norðlingahálsi þannig að Djúpavatnsleið lokaðist um tíma. Sprungur mynduðust í Krýsuvíkurbjargi og hrundi stór fylla þar sem eldri sprunga hafði verið. Gjrót hrundi úr námunni við Vatnsskarð og tilkynnt var um grjóthrun úr Trölladyngju. Mesta ummerkin bæði hrun og sprungur virðast hins vegar hafa orðið við Keili. Þar var göngufólk hætt komið. Þar hrundi stór fylla úr toppi fjallisns og tvístraðist niður hlíðar fjallsins. Nokkurra em breiðar sprungur sáust víða á göngustígnum að Keili en einnig í hrauninu á drónamyndum sem teknar voru af hrauninnu.

# The bedrock and tephra layer topography within the glacier filled Katla caldera, Iceland, deduced from dense RES-survey

Eyjólfur Magnússon<sup>1</sup>, Finnur Pálsson<sup>1</sup>, Alexander H. Jarosch<sup>2</sup>, Tayo van Boeckel<sup>1</sup>, Hrafnhildur Hannesdóttir<sup>1, 3</sup>and Joaquín M. C. Belart<sup>1,4</sup>

Institute of Earth Sciences, University of Iceland ThetaFrame Solutions, Kufstein, Austria Icelandic Meteorological Office National Land Survey of Iceland

We present results from recent low frequency radio echo sounding (RES) campaign over the ice-covered caldera of Katla central volcano in Mýrdalsjökull ice cap, S-Iceland. The current RES survey partly repeats but more so enhances the RES network of 1991 with denser sounding lines and improved instruments. The RES data, obtained in 2012-2019, includes ~750 km of 2D migrated RES profiles covering an area of 112 km<sup>2</sup>. Around 13 km<sup>2</sup> subsections of this area were surveyed with RES profiles 20 m apart allowing 3D migration of the RES data. Our study confirms findings from previously published bedrock, including main topographic features, ice volume stored within caldera ( $45\pm2$  km<sup>3</sup>, in autumn 2019) and maximum ice thickness ( $740\pm40$ m). However, the significantly expanded level of detail and features observed in the new bedrock map, reveals further evidences of complex and eventful formation history of the caldera interior. This bedrock map is unprecedented in terms of details for an ice covered volcano. The new RES data allows for a unique comparison of bedrock maps obtained from RES data with 2D and 3D migration, demonstrating the limitation of 2D migrated RES data in areas of high topographic variability. Reflections from the 1918 Katla eruption tephra layer within the ice were detected in a much wider area within the caldera than in 1991 and we also observe a second internal layer at 420-580 m depth within the northern part of the caldera, identified here as the tephra from the 1755 Katla eruption. The 1918 tephra layer is typically observed at 200-300 m below the glacier surface. However, the layer depth varies from ~100 m depth at the western rim of the caldera down to 450 m depth due to geothermal activity beneath ice cauldrons. At the most prominent geothermal areas all ice beneath the 1918 tephra has been melted from below leaving the tephra at the bed. Furthermore, the obtained tephra layer maps, reveal footprints of some previously unidentified geothermal areas.

### Uppruni volga grunnvatnsins í Mývatnssveit

### Finnbogi Óskarsson og Magnús Ólafsson

Íslenskum orkurannsóknum (ÍSOR), Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Margir hafa velt vöngum yfir eðli og uppruna volga grunnvatnsins í Mývatnssveit og ljóst er að ýmsir þættir hafa áhrif á hitastig þess og efnainnihald, m.a. bæði jarðhitavirkni og eldvirkni. Sennilegast er að volga vatnið sé orðið til við blöndun kalds grunnvatns við annaðhvort jarðhitavatn eða -gufu, eða að það sé kalt grunnvatn sem hitnar í snertingu við heitt berg. Efnasamsetning og samsætuvik volga vatnsins getur borið uppruna þess vitni.

Íslenskar orkurannsóknir hafa vaktað efnasamsetningu grunnvatns í Mývatnssveit frá árinu 2003 í því augnamiði að fylgjast með áhrifum jarðgufuvirkjananna í Kröflu og Bjarnarflagi á vatnið. Árlega er sýnum safnað á um 20 stöðum; úr lindum, gjám og borholum (mynd 1). Verkið er unnið fyrir Landsvirkjun og er hluti af reglulegu eftirliti með umhverfisáhrifum jarðhitanýtingar á Norðausturlandi. Samhliða reglubundinni efnasýnatöku haustið 2016 var sýnum safnað til að greina samsætuhlutföll brennisteins, klórs og strontíums, auk vetnis og súrefnis. Hér verður rýnt í niðurstöður samsætugreininganna og þær notaðar ásamt efnasamsetningu sýnanna til að ráða í uppruna volga grunnvatnsins.

Tvívetnisvik ( $\delta$ D) er á bilinu -93,9 til -73,7‰ (SMOW) og súrefnissamsætur ( $\delta$ <sup>18</sup>O) frá -13,13 til -7,88‰ (SMOW). Hrefna Kristmannsdóttir og Halldór Ármannsson (2003) skiptu grunnvatnssýnum úr Mývatnssveit í sex flokka, eftir hlutföllum tvívetnis og súrefnis-18, að teknu tilliti til landfræðilegrar legu staðanna. Sams konar flokkun var beitt á sýnin að þessu sinni og flokkum að mestu haldið óbreyttum (mynd 2). Samsætuvik brennisteins ( $\delta$ <sup>34</sup>S) spannar bilið -0,88 til 6,43‰ (CDT) og hækkar almennt með vaxandi hitastigi. Gildin benda til þess að hluti vatnsins sé skyldur súlfati í skiljuvatni úr Kröflu en vatn frá nokkrum stöðum dregur dám af brennisteinsvetni í jarðhitagufu. Klórsamsætuvik ( $\delta$ <sup>37</sup>Cl) mælist frá -0,28 til 0,53‰ (SMOC) og gefur til kynna uppruna í úrkomu eða upplausn bergs í flestum tilfellum, en nokkur sýni líkjast Kröfluvökva. Hlutfall strontíumsamsætna (<sup>87</sup>Sr/<sup>86</sup>Sr) er á bilinu 0,703170 til 0,703528 og sýnir ekki kerfisbundið mynstur. Sterk fylgni milli styrks Sr og Ca bendir til þess að strontíum falli út með kalsíumsteindum.

Niðurstöðurnar benda til þess að (1) jarðhitaáhrif í holu LUD-4 séu vegna blöndunar við affallsvatn Kröfluvirkjunar, (2) þau jarðhitamerki sem sjást í Grjótagjá, Vogagjá og Langavogi séu vegna blöndunar við affallsvatn frá Bjarnarflagi og (3) að volgt vatn sem sést á öðrum stöðum (AE-10, LUD-6, LUD-11, Bjarg, Stóragjá og Helgavogur) sé gufuhitað. Kalda vatnið á svæðinu tilheyrir að mestu leyti sama grunnvatnsstraumi, en þó virðist vatn úr AB-2 og Garðslind eiga annan uppruna.

### Heimildir

Craig, H. (1961): Isotopic variations in meteoric waters. Science, 133, 1072–1073.

- Kristmannsdóttir H., Ármannsson H. (2003): Groundwater in the Lake Mývatn area, northern Iceland: Chemistry, origin and interaction. *Aquatic Ecology*, **38**, 115-128.
- Sveinbjörnsdóttir Á.E., Johnsen S., Arnórsson, S. (1995): The use of stable isotopes of oxygen and hydrogen in geothermal studies in Iceland. *Proceedings of the World Geothermal Congress, Florence 1995*, 1043–1048.





Mynd 1. Sýnatökustaðir í Mývatnssveit í september 2016.



**Mynd 2.** Samsætuvik vetnis og súrefnis í sýnum úr Mývatnssveit. Einnig úrkomulínur skv. Craig (1961) og Sveinbjörnsdóttur o.fl. (1995).

### Áhrif breytinga Skeiðarárjökuls á farveg og rennsli Súlu

Jöklahópur Jarðvísindastofnunar Háskólans; Eyjólfur Magnússon, Finnur Pálsson\*, Joaquin Munoz-Cobo Belart og Helgi Björnsson

#### Jarðvísindastofnun Háskólans

Skeiðarárjökull hefur, eins og aðrir jöklar, rýrnað mikið á síðustu áratugum, sérstaklega frá 1995. Þessu hafa fylgt breytingar í farvegum fallvatna frá jöklinum. Allar meginkvíslar (Skeiðará austast, Sæluhúsakvísl, Gígjukvísl og Súla vestast) sem áður dreifðu úr sér niður sandana renna nú að hluta til með sporðinum og sameinast í Gígjukvísl. Þetta hefur haft mikil áhrif á umferðarmannvirki á Skeiðarársandi. Skeiðarárbrú, lengsta brú landsins, var tekin úr notkun 2017 og 70 m löng brú yfir Morsá tekin í notkun í staðinn, en Skeiðará hvarf úr farvegi sínum og fór að renna til Gígjukvíslar 2009. Rennslið í Núpsvötnum, nú þegar Súla sem áður bar undir hana meginhluta vatnsins frá vestanverðum Skeiðarárjökli er hætt að renna þangað, er fremur tilkomulítið í samanburði við brúnna yfir ána.

Eðli jökulhlaupa undan jöklinum hefur einnig breyst á þessum tíma. Litlar líkur eru á stórum hlaupum frá Grímsvötnum, af þeirri stærð sem algeng voru frá miðri 20. öld til 1996 og nær engar líkur á hlaupi líku hamfarahlaupinu haustið 1996, vegna breytinga á ísþröskuldi, rennslisleiðum og þykknunar íshellunnar (Finnur Pálsson, 2018). Jafnframt er Grænalón sem var uppspretta tíðra jökulhlaupa í Súlu nú að mestu leyti horfið.

Í áratugi lágu meginfarvegir Súlu til vesturs og þaðan til suðurs en síðar nær beint til suðurs og jökulvatnið sameinaðist Núpsvötnum ofan við vegstæðið. Samkvæmt Hannesi Jónssyni bónda á Hvoli og eiganda Núpstaðarskógar hvarf vatn úr þeim farvegi í júní 2016 en síðan þá hefur farvegur Súlu legið til austurs og svo suðurs yfir til Gígjukvíslar, um lægð í landi sem nokkrum árum áður var undir jökli.

Það sem helst ógnar stöðugleika hins nýja farvegar er hugsanlegt framhlaup jökulsins, en hann hefur áður gengið fram um allt að 1 km. Í slíku framhlaupi gæti jökull lagst yfir farveginn og stíflað hann.

Einnig er mögulegt að framhlaup gæti haft áhrif á ísstíflu Grænalóns sem þá gæti safnað vatni á ný og þaðan komið jökulhlaup til upptaka Súlu.

Í þessu verki voru nýtt botnhæðarlíkan jöklahóps JH, yfirborðshæðarlíkön frá gervihnöttum, hæðarlíkön gerð eftir loftmyndum auk hæðarlíkans sem gert var eftir Lidarmælingum úr flugvél. Mismunur hæðarlíkananna var notaður til að rekja sögu þróunar Skeiðarjökuls, lögun og stærð Súlulóns, þróun ísstíflu Grænalóns og skoða síðusta framhlaup (1991-1992) og meta líkur á að verulegt framhlaup verði á næstu áratugum. Auk þess voru nýttar upplýsingar úr afkomusögu Vatnajökuls síðustu áratugi og niðurstöður reiknilíkana um þróun Vatnajökuls með tilliti til spár um þróun loftslags á næstu áratugum og árhundruðum.

Þau gögn sem hér hafa verið tekin saman um þróun Skeiðarárjökuls undanfarin 40 ár og greind með hliðsjón af mögulegum breytingum á farvegi Súlu næstu áratugi sýna að:

Til að breyta farvegi Súlu til fyrra horfs, þannig að hún renni aftur til Núpsvatna en ekki Gígju, þyrfti jökullinn að skríða fram a.m.k. 130-150 m til suðurs í Súlulóni. Þá legðist jökullinn að landi í sömu hæð og útfall Súlu til Núpsvatna (~88 m y.s.) frá árunum fyrir 2016. Þetta myndi þó varla duga til því einnig þyrfti jökultungan sem nú er þunn og fljótandi á

#### 20. nóvember 2020

Súlulóni að þykkna verulega (~100-200 m) svo vatn leitaði ekki áfram undir hana til austurs. Framskriðið þyrfti einnig að vera hratt því annars myndi árrof úr suðurbakka Súlu ná að viðhalda núverandi farvegi úr lóninu til austurs. Því má vera ljóst að einungis framhlaup gæti stíflað núverandi farveg til austurs.

Í framhlaupinu 1985-86 skreið jökull fram um 100 m þar sem farvegur Súla til austurs gæti mögulega stíflast. Árið 1991 skreið sami hluti jökulsins fram um 200-250 m.

Nokkur þykknun íss hefur orðið á safnsvæði Skeiðarárjökulsins (vestantil) og því eru einhverjar líkur á framhlaupi á næstu áratugum. Þykknunin er þó enn lítil og mestu takmörkuð við svæði afmarkað af Háubungu, Grímsfjalli og Vetti. Því verður að teljast líklegt að á næstu 15 árum muni jökultungan í Súlulóni halda áfram að þynnast og hopa fremur hægt líkt og hún hefur gert frá 2014. Ef framhlaup yrði á þeim tíma má búast við því að það yrði umtalsvert minna en 1991-92 og því mjög ólíklegt að jökullinn myndi ganga nægjanlega langt fram til að stífla farveg Súlu til austurs. Líkur á framhlaupi sambærilegu við það sem varð 1991-92 aukast eftir þann tíma en þá má gera ráð fyrir að jökultungan í Súlulóni hafi bæði þynnst og hopað og því ólíklegt að slíkt hlaup stífli farveginn.

Jökullinn við Grænalón hefur þynnst um ~150 m frá 1986 og þar varð þykknun óveruleg í framhlaupinu 1991-92. Því myndi framhlaup í Skeiðarárjökli á næstu áratugum sem næði sporði jökulsins ekki ná að stífla lónið að nýju. Eini möguleiki þess að lónið stíflaðist aftur er ef framhlaupsbylgja stoppaði á Skeiðarárjökli miðjum. Það myndi hins vegar þýða að sporðurinn gengi ekki fram og því myndi hlaup úr Grænalóni í kjölfarið fara til austurs í Gígjukvísl en ekki í Núpsvötn.

Ekki er alveg hægt að útiloka að framhlaup í Skeiðarárjökli stífli farveg Súlu til austurs þó það verði að teljast mjög ósennilegt. Ef það hins vegar gerist þarf ekki að gera ráð fyrir að jökulhlaup úr Grænalóni skili sér um Súlu í Núpsvötn

### Seismicity due to the ongoing activity along the Reykjanes Peninsular: Results from a dense seismic network

Daniel Roberts<sup>1</sup>, Tim Greenfield<sup>1\*</sup>, Þorbjörg Ágústsdóttir<sup>2</sup>, Bryndís Brandsdóttir<sup>3</sup>, Tom Winder<sup>1</sup>, Conor Bacon<sup>1</sup>, Nicholas Rawlinson<sup>1</sup> and Robert S. White<sup>1</sup>

- \* Presenting Author, tg286@cam.ac.uk
- <sup>1</sup> Bullard Laboratories, University of Cambridge, UK

<sup>2</sup> ÍSOR, Iceland

<sup>3</sup> University of Iceland, Iceland

We present results from a dense deployment of broadband seismometers around Gríndavík and Fagradálsfjall. More than 13 000 events have been automatically detected and located using QuakeMigrate, a coalescence-based earthquake detector, between 23 June and 15 August. This is an order of magnitude more events than the Icelandic Meteorological Office has published during the same time period. During this time, we have captured the final pulse of uplift from the intrusion near the Blue Lagoon and the subsequent activation of a ~10 km-long strike-slip fault. With stations directly above both the uplifted region and activated fault, our dataset will be able to image, in detail, the processes causing the ongoing activity.

### Hlaup úr jaðarlóni Flosajökuls árin 2014, 2017 og 2020.

Guðbjörg Hulda Karlsdóttir<sup>1</sup>, Ingibjörg Jónsdóttir<sup>2</sup>, Esther Hlíðar Jensen<sup>3</sup> og Kristjana G. Eyþórsdóttir<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Háskóli Íslands

<sup>2</sup> Jarðvísindastofnun Háskólans

<sup>3</sup>Veðurstofa Íslands

Þann 17. ágúst 2020 hljóp úr jaðarlóni Flosajökuls í Langjökli í farveg Svartár í Geitlandi, sem sameinast síðan Hvítá sem fellur til sjávar í Borgarfirði. Gervihnattamyndir fyrir og eftir atburðinn 2020 sýna greinilega tæmingu lónsins, ásamt ummerkjum við farvegi, gróðurskemmdir við Svartá og uppsöfnun sets þar sem Svartá rann um sandana í neðri hluta Geitlands og niður eftir öllum farvegi Hvítár.

Ákveðið var að kanna gervihnattamyndir fyrri ára, einkum á tímabilinu júní-september hvert ár, og athuga hvort finna mætti sambærileg ummerki um fyrri flóð úr lóninu. Munnlegar heimildir gáfu til kynna að atburður gæti hafa átt sér stað árið 2017, sem var svo staðfest með gervihnattamyndum að verið hefði 1. ágúst 2017. Að auki kom í ljós atburður 16. september 2014, sem einnig var greindur með þessum ummerkjum. Rennslisgögn voru fengin frá Veðurstofu Íslands til samanburðar við dagsetningar hlaupa og kannað hvort aukið rennsli hefði greinst á þessum tíma.

Niðurstöður þessarar rannsóknar gefa til kynna að um endurtekna atburði sé að ræða og þykir því ástæða til að kanna svæðið nánar. Fylgjast þarf með því hvort lónið fyllist að nýju og hvort líkur séu á að hlaup haldi áfram, og hvort atburðirnir geti orðið stærri í framtíðinni.

### Flugsegul-, þyngdar- og hitamælingar af Hengilssvæði Tengsl við jarðfræði og jarðhita

# Gylfi Páll Hersir<sup>1</sup> og Grímur Björnsson<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Íslenskar orkurannsóknir (ÍSOR), Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

<sup>2.</sup> Warm Arctic, Skjólbraut 22, 200 Kópavogur

Segul- og þyngdarmælingar eru að margra mati vanmetnar aðferðir við kortlagningu og rannsóknir á háhitasvæðum hér á landi. Þessu er öfugt farið erlendis, þar er þeim víða beitt. Hér eru sýnd kort af Hengilssvæðinu og þau borin saman við aðrar rannsóknir einkum jarðfræði.

Árið 1975 gerði Þorbjörn Sigurgeirsson flugsegulmælingar yfir Hengilssvæðinu, samtals 1549 mælingar úr 800 m hæð y.s.m. Niðurstöður sýna athyglisverðan samanburð við ýmsar aðrar rannsóknir af svæðinu (mynd 1), sbr. Gylfi Páll Hersir o.fl. (1990).

Á árunum 1982 og 1983 var þyngdarmælt á 315 stöðum á Hengilssvæðinu. Gögnin ná yfir um 450 km<sup>2</sup> og var meðalfjarlægð milli mælistaða um 1,5 km. Gerð voru svæðisbundin og staðbundin Bouguer þyngdarkort m.v. mismunandi eðlisþyngdir sem endurspegla ólíka landhæð mælistaða. Aðferð Parasnis var beitt til þess að finna "líklegustu" eðlisþyngdina ofan siávarmáls fyrir Hengilssvæðið. Hún bar ekki tilætlaðan árangur bar sem eðlisþyngdarbreytingar eru umtalsverðar á svæðinu. Þá var mælisvæðinu skipt upp í reiti og eðlisþyngdin reiknuð á nýjan leik með aðferð Parasnis og gaf það mun betri niðurstöðu. Bouguer þyngdarkortið hefur verið borið saman við jarðfræðikortlagningu af Hengilssvæði (mynd 2), sbr. Gylfi Páll Hersir o.fl. (1990).

Årið 1985 voru gerðar 420 þyngdarmælingar á Nesjavöllum sem þekja um 12 km<sup>2</sup>. Aðferð Parasnis reyndist afar vel við ákvörðun eðlisþyngdar jarðlaga ofan sjávarmáls. Er hún metin aðeins 2,45 g/cm<sup>3</sup> og talin stafa af umtalsverðu hlutfalli blöðrótts móbergs í staflanum. Gerðir voru tvívíðir líkanreikningar af eðlisþyngdinni og stuðst við niðurstöður úr nálægum borholum hvað varðar þykkt móbergsins. Niðurstöður voru bornar saman við aðrar rannsóknir af svæðinu, Knútur Árnason o.fl. (1986).

Framfarir í drónatækni bjóða upp á ýmsa nýja möguleika í jarðeðlisfræðilegri könnun sem eru umtalsvert auðveldari og ódýrari í framkvæmd en eldri aðferðir þar sem flugvélar báru mælitækin. Mynd 3 sýnir drónahitakort af Ölkelduhálsi hefur verið lagt yfir landslagskort. Báðar þekjurnar koma úr einu og sama fluginu og var safnað sumarið 2018.

#### Heimildir:

Gylfi Páll Hersir, Grímur Björnsson og Axel Björnsson, 1990. Eldstöðvar og jarðhiti á Hengilssvæði. Jarðeðlisfræðileg könnun. Orkustofnun OS-90031/JHD-06, 93 s.

Knútur Árnason, Guðmundur Ingi Haraldsson, Gunnar V. Johnsen, Gunnar Þorbergsson, Gylfi Páll Hersir, Kristján Sæmundsson, Lúðvík S. Georgsson og Snorri Páll Snorrason, 1986. Nesjavellir. Jarðfræði- og jarðeðlisfræðileg könnun 1985. Orkustofnun OS-86014/JHD-02, 125 s

20. nóvember 2020



Mynd 1: Flugsegulkort af Hengilssvæði (Gylfi Páll Hersir o.fl., 1990).



Mynd 2: Sléttað Bouguer þyngdarkort, megineldstöðvar, dyngjur, móbergs-myndanir og svæði þar sem mjög dregur úr gosvirkni (Gylfi Páll Hersir o.fl., 1990).



Mynd 3: Jarðhiti á Ölkelduhálsi mældur með dróna. Ljósmyndir skila nákvæmu landslagskorti sem hitamyndin er lögð yfir. Svæðið á myndinni er 800x300 m á kant. Dökkblár litur er 0 °C (snjór) og rauður 90-100 °C.

# An overview from deformation and seismicity of the volcano-tectonic events in 2020 at the Reykjanes Peninsula: Stress triggering and interactions between several volcanic systems

Halldór Geirsson<sup>1</sup>, Michelle Parks<sup>2</sup>, Kristín Vogfjörð<sup>2</sup>, Páll Einarsson<sup>1</sup>, Kristín Jónsdóttir<sup>2</sup>, Alex Hobé<sup>3</sup>, Benedikt G. Ófeigsson<sup>2</sup>, Vincent Drouin<sup>4</sup>, Sigrún Hreinsdóttir<sup>5</sup>, Freysteinn Sigmundsson<sup>1</sup>, Hildur María Friðriksdóttir<sup>2</sup>, Cécile Ducrocq<sup>1</sup>, Ásta Rut Hjartardóttir<sup>1</sup> and Guðjón Helgi Eggertsson<sup>6</sup>

- <sup>2</sup> Icelandic Meteorological Office
- <sup>3</sup> Uppsala University, Sweden
- <sup>4</sup> ÍSOR
- <sup>5</sup> GNS Science, New Zealand
- <sup>6</sup> HS Orka

In January 2020, inflation of 3-4 mm per day started in the volcanic system of Svartsengi, within 5 km of several important infrastructure: a) the town of Grindavík; b) the Svartsengi geothermal power plant; c) and the Blue Lagoon geothermal spa, which has over 1 million annual visits. The Reykjanes Peninsula straddles the North-America - Eurasia plate boundary and hosts several active volcanic systems, including the Svartsengi volcanic system. The last eruption in this area took place in 1240 AD, but eruptive episodes recur every 700-900 years and include most of the volcanic systems on the Peninsula.

Two continuously recording GNSS stations were installed in the Svartsengi geothermal area in 2013-2015 to monitor geothermal-induced subsidence. Coinciding with the onset of an earthquake swarm starting on January 21 (M<4), uplift of about 3-4 mm/day was noticed in automated GNSS and InSAR results. The uplift rates in this first inflation phase decreased after January 31 and went over to slight subsidence in early February. Interestingly, the locus of seismicity is offset from the uplift center by about 2-4 km to the southeast. Geodetic source models from the initial ten days indicate a sill at about 4 km depth with a volume change of approximately 0.2 Mm<sup>3</sup>. The resulting stress changes from this sill act to increase seismicity at the sill edges, thus offering an explanation for why the seismicity is offset from the center of uplift. The location of the sill coincides with the top of a crustal volume with a high  $V_p/V_s$  ratio.

Two more inflation-deflation episodes have occurred at Svartsengi in 2020 and the total uplift amounts to approximately 12 cm. Additionally, at least one inflation episode occurred in the Reykjanes system, in February 2020, and an inflation started in the Krýsuvík system in mid-July 2020, culminating in the M5.6 earthquake of October 20. The Fagradalsfjall system, between Krýsuvík and Svartsengi, has shown high seismicity in 2020, but no deformation there can be linked with inflation or deflation. Therefore the volcano-tectonic activity in 2020 spans

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> NORDVULK, Institute of Earth Sciences, University of Iceland

### 20. nóvember 2020

the entire western part of the western Reykjanes Peninsula. The stress changes for each of these events are too small to explain the cross-system activity so one may rightfully speculate whether the entire episode is driven by a deep pulse of magma or magmatic gases under the entire western Reykjanes Peninsula.

# The Activity of the Reykjanes Fissure Swarm in Time and Space

Julia Annina Heilig, Ásta Rut Hjartardóttir and Páll Einarsson

Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands, Sturlugötu 7, 102 Reykjavík (jah26@hi.is)

Late 2019 and early 2020 unusual earthquake activity and the start of an uplift of the land around the mountain Þorbjörn drew attention to the Reykjanes Peninsula, in southwest Iceland. The events raise the question whether a new rifting episode is about to start. The last volcanic eruption in this area occurred around 800 years ago (Sæmundsson and Sigurgeirsson, 2013).

In Iceland, the fractures within fissure swarms move very little in between rifting episodes. During rifting episodes however, magma intrusions can make their way into the fissure swarm and cause significant vertical movements on the faults (e.g. Hjartardóttir et al., 2015; Sigurðsson, 1980).

New mapping and a detailed analysis of the Reykjanes fissure swarm indicates that the youngest lava flows, the Eldvarpahraun lava, Arnarseturshraun lava and Illahraun lava, have not yet been fractured. Moreover, several faults detected in older lava fields, are not visible in the more recent lava fields. This observation may suggest that during a rifting episode, magma intrusions start by proceeding into the fissure swarms as dike intrusions, forming and reactivating fissures on the surface. During the dike intrusion, or subsequent dike intrusions, magma may make its way to the surface and flow over the existing fissures in that region. Thus, the new lava does not display new or underlying fissures, unless the faults are big enough to be seen as elevation differences through the new lava. In addition, it implies that after the eruption has started the fissures do not move anymore. The largest lava eruptions appear to occur towards the end of a rifting episode.

The throw of the fissures suggests that the intrusions into the fissure swarm likely work their way from the central part of the volcanic system (close to Mt. Þorbjörn) to the southwest or the northeast.

The Reykjanes fissure swarm shows a peculiar pattern. In the northern part the fissure swarm shows no graben structure, which is unexpected. Instead, one side of the graben turns inactive as the fissure swarm proceeds from the origin of the intrusions towards the northeast and there is only a one-sided throw down towards the northwest.

The maximum cumulative throw across the fissure swarm was measured just north of the Litla-Skógfell and added up to about 110 m over a width of about 8.5 km. Assuming that the 1975-1984 Krafla (Tryggvason,1984) and 2005-2009 Dabbahu (Wright et al., 2012) rifting episodes are typical for rifting and assuming a fault dip of 60-75°, the number of rifting episodes during the last 14 thousand years at the Reykjanes fissure swarm was estimated to be between 4 and 8.

#### 20. nóvember 2020

#### References

- Hjartardóttir, Á. R., Einarsson, P., Gudmundsson, M. T. and Högnadóttir, T. (2015). Fracture movements and graben subsidence during the 2014 Bárðarbunga dike intrusion in Iceland. Journal of Volcanology and Geothermal Research. 310 (2016), 242–252. doi: <u>https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2015.12.002</u>
- Sigurðsson, O. (1980). Surface deformation of the Krafla fissure swarm in two rifting events. Journal of Geophysics 47: 154–159
- Sæmundsson, K. and Sigurgeirsson, M. Á. (2013). Reykjanesskagi. In Sólnes et al. (Eds.), Náttúruvá á Íslandi -Eldgos og Jarðskjálftar. Reykjavík: Viðlagatrygging Íslands/Háskólaútgáfan
- Sæmundsson, K., Sigurgeirsson, M. Á., Hjartarson, Á., Kaldal, I., Kristinsson, S. G. and Víkingsson, S. (2016). Geological Map of Southwest Iceland. 1:100000 (2<sup>nd</sup> edition). Reykjavík: Iceland GeoSurvey.
- Tryggvason, E. (1984). Widening of the Krafla fissure swarm during the 1975-1981 volcano-tectonic episode. Bulletin Volcanologique, 47, 47–69. doi: <u>https://doi.org/10.1007/BF01960540</u>
- Wright, T. J., et al. (2012). Geophysical constraints on the dynamics of spreading centres from rifting episodes on land. Nature Geoscience, doi: 10.1038/NGEO1428

# EPOS Ísland - Uppbygging íslenskra rannsóknarinnviða og þátttaka í European Plate Observing System Samtökunum

### Kristín S. Vogfjörð og EPOS Ísland hópurinn

Veðurstofa Íslands/Icelandic Meteorological Office, Reykjavík

Ísland hefur verið þátttakandi í Evrópska innviðaverkefninu *EPOS, European Plate Observing System* (<u>https://www.epos-ip.org/</u>) seinasta áratuginn, eða þann tíma sem verkefnið var á Evrópska vegvísinum um uppbyggingu rannsóknarinnviða. Í framhaldi af verkefninu voru *EPOS ERIC (e. European Research Infrastructure Consortium*) innviðasamtökin stofnuð í lok 2018. Flestar þjóðir Evrópu hafa tekið þátt í uppbyggingu EPOS og fimmtán þeirra eru nú þegar orðnar meðlimir í *EPOS ERIC* samtökunum. Ísland hefur verið fullgildur meðlimur síðan í lok árs 2019. Þátttaka Íslands er leidd af Veðurstofu Íslands, en aðrir þátttakendur eru Háskóli Íslands og Landmælingar Íslands. Í október síðastliðinn gengu síðan Náttúrufræðistofnun Íslands og Íslenskar Orkurannsóknir til liðs við *EPOS Ísland* hópinn, þegar undirbúin var tillaga til Innviðasjóðs um að setja *EPOS Ísland* á íslenska Vegvísinn um uppbyggingu rannsóknarinnviða.



Myndin sýnir þáttökuþjóðir í EPOS: Löndin sem þegar eru gengin í EPOS ERIC (græn), þau sem eru að ganga inn (appelsínugul) og þau sem enn þá eru að undirbúa þátttöku (rauð).

Markmið *EPOS* er að efla evrópska jarðvísindasamfélagið og styrkja vísindarannsóknir í álfunni með því að byggja upp samtengda evrópska rannsóknainnviði í jarðvísindum og auðvelda þannig jarðvísindafólki og öðrum hagsmunaaðilum opið aðgengi að fjölþáttamæligögnum, afurðum, þjónustum, rannsóknarstofum og reikniklösum á sviði jarðvísinda sem fram til þessa hafa ekki verið aðgengileg með einföldum hætti. *EPOS ERIC* er stofnsett til að tryggja viðhald framþróun og reksturs þessara rafrænu innviða til framtíðar.

Þátttökulöndin í *EPOS ERIC* greiða aðildargjald að samtökunum, en gjöldin og mótframlög fjögurra leiðandi stofnana innan samtakanna standa undir kostnaði við rekstur ásamt þróun og viðhaldi miðlægrar kjarnaþjónustu (*e. Integrated Core Service, ICS*) sem tengist öllum þjónustum einstakra aðildarlanda og veitir miðlægt aðgengi að öllum þeim gögnum og afurðum sem innan vébanda *EPOS ERIC* eru. Hvert þátttökulandanna stendur sjálft straum af kostnaði

### 20. nóvember 2020

við mælingar og rekstur eigin mælineta, af gagnasöfnum og gæðaeftirliti þeirra ásamt rekstri gagnaþjónusta sinna, en *EPOS ERIC* samtökin styrkja að hluta undirþjónustur starfandi faghópa (*e. Thematic Core Services, TCS*). Enn fremur er reiknað með að samtökin muni greiða hluta rekstrarkostnaðar einstakra mikilvægra þjónusta faghópanna og munu þeir samningar væntanlega virkjast á næstu árum. Stærsti hluti uppbyggingar gagnaþjónusta mun samt sem áður að mestu leyti vera á forræði landanna sjálfra og þess vegna er mikilvægt að Innviðasjóður komi að uppbyggingunni á Íslandi.

Ísland er þátttakandi í þremur undirþjónustum (*TCS*), Eldfjalla, Nær-sprungu og GPS þjónustum og þegar er hafin uppbyggingu rafrænna þjónusta, sem veita aðgengi að íslenskum jarðvísindagögnum og tengjast *EPOS ERIC* gagnaþjónustunum. 13 gagnaþjónustur hafa verið byggðar á Veðurstofunni (<u>https://docs.vedur.is/api/epos/#/</u>), sem allar flokkast undir faghóp í eldfjallafræði og/eða faghóp um GPS gögn og veita opið aðgengi á veraldarvefnum að gögnum þriggja upphaflegu aðildarstofnananna.

Til að þjónusturnar geti annað því aðgengi sem vænst er í framtíðinni þarf að efla rafræna innviði (vélbúnað) og þróa verkferla fyrir langtíma rekstur. Þá þarf að framkvæma talsverða vinnu við að koma meiri gögnum og lýsigögnum á staðlað form og inn í þjónusturnar. Á næstu árum er einnig áætlað að opna aðgengi að gögnum og lýsigögnum úr meirihluta bæði jarðskjálftamælanets (SIL) og GPS mælanets (*ISGPS*) Íslands ásamt afleiddum afurðum úr þeim, eins og jarðskjálftalistum fyrir alla skráða skjálfta á Íslandi. Enn fremur eldfjallagögnum eins og ösku- og gasmælingum, ratsjármælingum frá gosmökkum fyrir öll gos seinustu tveggja áratuga. Slíkt opið aðgengi að íslenskum jarðvísindagögnum mun efla jarðvísindamenntun og rannsóknir á Íslandi og efla stöðu íslensks jarðvísindafólks til þátttöku í alþjóðlegum verkefnum. Til að gera þessa sýn mögulega í náinni framtíð, þarf *EPOS Ísland* að fara á íslenska vegvísinn um uppbyggingu rannsóknarinnviða.

# Þróun Skaftárkatla 1938-2020: Myndun og vöxtur öflugra háhitasvæða

Magnús Tumi Guðmundsson, Þórdís Högnadóttir, Eyjólfur Magnússon, Finnur Pálsson og Hannah I. Reynolds

Jarðvísindastofnun Háskólans, Háskóla Íslands, Sturlugötu 7, 102 Reykjavík

Hefðbundin mynd okkar af háhitasvæðum er að uppspretta jarðhitans séu kvika og innskot í rótum svæðanna. Þróun jarðhitasvæða séu yfirleitt hæg og þegar umtalsverðar breytingar verða tengist þær umbrotum og eldgosum í megineldstöðvunum sem hýsa svæðin. Skaftárkatlar falla þó illa að þessari mynd. Eystri og Vestari Skaftárketill í norðvestanverðum Vatnajökli eru 2-3 km breiðar og 50-150 m djúpar sigdældir með sprungukrans í jöðrum. Ísþykktin á þesssu svæði er víða 400-600 m. Katlarnir eru í dag með öflugri háhitasvæðum landsins. Bræðsluvatn safnast fyrir í 1-3 ár undir kötlunum og leitar svo framrásar í Skaftárhlaupum. Katlarnir eru á Lokahrygg, 3-5 km breiðum hálendishrygg undir jöklinum með austur-vestur stefnu. Svæðið liggur á milli þriggja megineldstöðva: Bárðarbungu, Grímsvatna og Hamarsins. Eftir Skaftárhlaupið stóra í byrjun október 2015 var ráðist í að endurmeta Skaftárhlaup og hættu af þeim innan langtímaverkefnis um mat á hættu af eldvirki hér á landi (GOSVÁ). Eitt viðfangsefnið var það mat á þróun Skaftárkatla sem þessi samantekt byggist á.

Skaftárhlaup hafa fjarri því verið stöðug í tímans rás. Heimildir um hlaupin á 20. öld sýna að fram yfir 1950 voru þau u.þ.b. árleg og miklu minni en nú er. Hlaupið í september 1955 var miklu stærra en fyrri hlaup og stærð, fjöldi og tíðni óx allt fram yfir 1980. Jöklaleiðangrar fóru um það svæði þar sem Skaftárkatlar eru í dag árin 1875 og 1951, en urðu þeirra ekki varir. Eystri-Skaftárketill sést á mynd sem tekin var af Steinþóri Sigurðssyni í lok maí 1938. Þetta var í fyrstu ferð flugvélar inn yfir Vatnajökul. Ketillinn var þá grunnur og sprungulaus og alls ólíkur því sem síðar varð. Hann óx hratt 1945-1970, en stóð því sem næst í stað tímabilið 1985-2010. Milli 2010 og 2015 stækkaði Eystri Skaftárketill enn, en hefur ekki vaxið síðustu fimm árin. Loftmyndir frá 1945 og 1946 sýna að Vestari Skaftárketill var ekki til á þeim tíma. Hann kemur í fyrsta skipti fram á loftmynd frá 1960. Hefur hann farið stækkandi allt fram á þennan dag.

Mat á tengslum stærðar sigkatla í jöklum og jarðhitafls undir þeim bendir til þess að afl Eystri Skaftárketils hafi verið af stærðargráðunni 200 MW um 1940, en vaxið í 800-1200 MW um 1970. Hefur það haldist svipað síðan. Eins og áður segir sáust engin merki um vestari ketilinn fyrr en 1960. Afl hans hefur vaxið nánast stöðugt síðan og er nú 600-800 MW. Hvor þeirra um sig telst því með öflugustu jarðhitasvæðum landsins. Orsakir þessara breytinga eru ekki þekktar, en fátt bendir til þess að eldgos undir jökli eigi þarna hlut að máli. Skaftárkatlar liggja utan þekktra megineldstöðva sem verður að teljast óvanalegt fyrir öflug háhitasvæði. Veruleg jarðskjálfavirkni hefur verið á Lokahrygg undanfarna áratugi. Aukning jarðhitans gæti tengst aukinni sprungulekt í heitu bergi, innskotavirkni eða blöndu af hvoru tveggja. Frekari rannsókna og líkanreikninga er þörft til að skilja þessa þróun.

# Straumlínulaga landform á Norðausturlandi: ummerki fornra ísstrauma

Nína Aradóttir, Ívar Örn Benediktsson og Ólafur Ingólfsson

Jarðvísindastofnun, Háskóli Íslands, Öskju, Sturlugata 7, 101 Reykjavík

Rannsóknir á landmótun ísstrauma eru mikilvægar til að auka skilning okkar á umfangi og virkni þeirra og þeim ferlum við botn sem stuðla að auknum skriðhraða og myndun landforma. Tilgátur hafa verið settar fram um ísstrauma í hinum íslenska meginjökli á síðasta jökulskeiði en takmarkaðar rannsóknir hafa verið gerðar á útbreiðslu þeirra og hegðun. Markmið þessa verkefnis er að rannsaka ummerki eftir forna ísstrauma á Norðausturlandi og þar með auka skilning okkar á landmótun, útbreiðslu og hegðun þeirra í tíma og rúmi, auk þekkingar á þeim ferlum sem stýra og stuðla að auknum skriðhraða. Þetta verður gert með því að kortleggja og rannsaka jökulræn landform og setlög frá Jökuldalsheiði norður til Vopnafjarðar, Bakkaflóa og Þistilfjarðar, með margvíslegum jarð- og jarðeðlisfræðilegum aðferðum. Aðaláherslan er lögð á straumlínulaga landform, sem eru flokkuð sem jökulöldur (e. drumlins) og risakembur (e. mega-scale glacial lineations). Svæði með greinilegum ummerkjum eftir ísstrauma hafa verið skilgreind og útbreiðsla og lega landformanna benda til nokkurra ísstrauma sem hafa verið virkir á mismunandi tíma. Mismunandi lögun landformanna milli svæða gefur til kynna sveiflur í þróun ísstraumanna í tíma og rúmi og breytileika í undirlagi þeirra. Niðurstöður verkefnisins munu auka skilning okkar á virkni fornra ísstrauma á Íslandi og þróun íslenska ísaldarjökulsins á síðjökultíma. Einnig munu niðurstöðurnar nýtast við að skorða líkön fyrir myndum landforma undir hraðskreiðum jöklum og viðbrögðum þeirra við hlýnandi loftslagi og hækkandi siávarstöðu.

20. nóvember 2020



Mynd 1. Yfirlitskort af rannsóknarsvæðinu sem nær frá Jökuldalsheiði norður til Vopnafjarðar, Bakkaflóa og Þistilfjarðar en hvítu punktalínurar tákna svæðisskiptinguna. Kortlagning sýnir greinileg ummerki ísstrauma í formi straumlínulaga landforma og landslags. Mynstur og stefna landformanna benda til a.m.k. tveggja kynslóða ísstrauma, þar sem yngri ísstraumar, t.a.m. í Vopnafirði og hugsanlega Þistilfirði, skera slóðir eldri ísstrauma, s.s. í Bakkaflóa og Bakkaheiði.

20. nóvember 2020

# Hitastigull á Reykjanesskaga utan jarðhitasvæða

Ólafur G. Flóvenz

ÍSOR, Grensásvegi 9, Reykjavík

Beinar upplýsingar um hita í jörðu fást með hitamælingum í borholum. Vegna þess að efstu 300 m jarðlaga á Reykjanesskaga eru í ungu og mjög leku bergi skolar grunnvatnsstraumur í burtu miklum hluta þess varma sem berst að neðan með varmaleiðni og kælir þannig bergið ofan til. Því þarf helst að minnst kosti 500m djúpar holur til að unnt sé að mæla hitastigul sem endurspeglar hina raunverulegu hitaaukningu með dýpi í jörðinni. Ef hitastigull er þekktur með áreiðanlegum hætti má nota hann til að meta hita fáeina kílómetra niður í jörðina að því gefnu að jarðlög séu þétt, af svipaðri gerð og fjarri virkum jarðhitakerfum þar sem lóðrétt hræring á sér stað.

Það getur verið nokkuð vandasamt að meta raunverulegan hita í því bergi sem borhola fer í gegnum. Fyrir því geta aðallega verið tvær ástæður. Í fyrsta lagi er algengt að einungis séu til mælingar sem gerðar voru skömmu eftir að borun lauk og bergið umhverfis þær þá truflað af kælingu skolvatnsins sem notað var við borunina. Í öðru lagi getur verið rennsli vatns úr holunni eða á milli vatnsæða í henni þannig að hitaferill holunnar sýnir ekki raunverulega berghita nema á fáeinum stöðum. Bæði tilvikin eiga að einhverju leyti við mælingar í holum á Reykjanesskaga. Því þarf því að skoða mælingarnar vel með tilliti til aðstæðna við mælingu til að meta hvar mælipunktar í holu sýna raunverulegan ótruflaðan berghita og áætla síðan hita inn á milli þeirra staða til að reikna hitastigul.

Á Reykjanesskaga vestan Kleifarvatns eru alls 66 borholur sem eru dýpri en 497m og því nothæfar til að meta hita djúpt í jörðu. Af þessum holum er 61 hola innan virkra háhitasvæða en aðeins 5 holur utan þeirra, allar norðan jarðskjálftabeltisins. Meðalhitastigull í þessum holum neðan leku jarðlaganna er metinn 107°C/km. Það jafngildir því að varmaflæðið upp í gegnum jarðskorpuna sé 0,18 W/m<sup>2</sup> á norðanverðum Reykjanesskaga.

Talið er að mörkin milli brotgjarnrar og deigrar jarðskorpu á Íslandi liggi nærri 600°C jafnhitafleti. Ef við framlengjum hitastigul einstakra holna línulega niður að 600°C fæst að dýpið þangað niður er á bilinu 5,3 til 7,3 km. Sennilega reiknaðist dýpið í raun heldur meira ef tekið væri tillit til varmaframleiðslu í skoprunni og svolítillar hækkunar á varmaleiðni bergs með dýpi. Líklegt er því að 600°C jafnhitaflöturinn liggi þarna á 6-8 km dýpi sem er í góðu samræmi við upplýsingar um dýptardreifingu jarðskjálfta.

### Jarðskjálftavirkni og sprungur á skáreksbelti Reykjanesskagans

Páll Einarsson<sup>1</sup>, Sveinbjörn Björnsson<sup>2</sup> og Ásta Rut Hjartardóttir<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7

<sup>2</sup> Orkustofnun, Grensásvegi 9

Skáreksbeltið á Revkjanesskaga hefur nokkra sérstöðu meðal virkra flekaskila á Íslandi. Skárekið veldur því að á þessari grein flekaskilanna fer saman mikil kvikuvirkni og skjálftavirkni. Jarðskjálftavirknin fylgir um 10 km breiðu belti sem liggur eftir skaganum endilöngum og markar flekaskilin mill Norður-Ameríkuflekans og Evrasíuflekans. Kvikuvirknin fer að mestu fram innan sprungusveima eldstöðvarkerfanna en þeir stefna skáhallt á skilin og teygja sig inn í flekana til NA og SV og deyja bar út. Bæði skjálftavirknin og kvikuvirknin virðast vera hviðukenndar, kvikuvirknin á tímaskalanum þúsund ár en skjálftavirknin á tímaskala nokkurra áratuga. Skjálftahviða gekk yfir Reykjanesskaga á árunum 1967-1975. Þá urðu nokkrar skjálftahrinur sem fylgdu flekaskilunum allt frá Brennisteinsfjöllum vestur á Reykjanestá. Mynd 1 sýnir upptök 9 hrina í þessari hviðu frá 1971 til 1975. Aftur urðu hrinur í kjölfar skjálftanna á Suðurlandi árið 2000 (mynd 2). Stærstu skjálftarnir virðast tengjast sniðgengishreyfingum á N-S misgengjum. Skjálftavirknin ber annars meiri einkenni fráreksbelta vestan til á skaganum en hjáreksbelta begar austar dregur. Þetta kemur fram í hrinuhegðun, brotlausnum og stærð stærstu skjálfta. Virkni í sprungusveimum eldstöðvarkerfanna virðist fyrst og fremst tengd kvikuvirkni, innskotum og eldgosum. Síðustu gos á Reykjanesskaga urðu á þrettándu öld. Háhitasvæðin á skaganum eru bar sem sprungusveimarnir skera flekaskilin og virðast því nátengd innskotavirkni. Jarðskorpuhreyfingarnar sem mælst hafa undanfarið vestan Þorbjörns eru hluti af atburðarás sem nær til lengri tíma, allt frá því að jarðskjálftahrina varð við Fagradalsfjall í desember 2019. Þaðan hefur skjálftavirknin síðan breiðst út, fyrst til vesturs, síðan austurs. Landrisið við Þorbjörn hófst 20. janúar um það leyti sem skjálftavirknin fór þar um. Stærsti skjálfti í atburðarásinni til þessa varð 20. október og var 5,6 að stærð (Mw). Hann átti upptök á N-S sniðgengi sem liggur um Núpshlíðarháls og Driffell. Á upptakasvæðinu mátti víða finna sprungur á yfirborði, grjóthrun og vísbendingar um háa hröðun.

#### Tilvitnanir:

- Björnsson, S., P. Einarsson, H. Tulinius, Á. R. Hjartardóttir, 2018. Seismicity of the Reykjanes Peninsula 1971-1976. J. Volcanol. Geothermal Res., https://doi.org/10.1016/j.jvolgeores.2018.04.026.
- Clifton, A., Kattenhorn, S.A., 2006. Structural architecture of a highly oblique divergent plate boundary segment. Tectonophysics, 419, 27–40.
- Einarsson, P., Á. R. Hjartardóttir, P. Imsland, S. Hreinsdóttir. 2018. The structure of seismogenic strike-slip faults in the eastern part of the Reykjanes Peninsula oblique rift, SW Iceland. Journal of Volcanology and Geothermal Research, doi:10.1016/j.jvolgeores.2018.04.029.

20. nóvember 2020



Mynd 1. Yfirlitskort af skjálftahrinum á Reykjanesskaga á árunum 1971-1976 (Björnsson et al. 2018). Gefin er jafngildisstærð hrinanna **M**tot sem er stærð reiknuð út frá samanlögðu skjálftavægi skjálftanna í hrinunni.



Mynd 2. Yfirlitskort af sprungum og jarðskjálftum ( $M \ge 4$ ) á Reykjanesskaga 1971-1976 og 1991-2020. Gögn frá Clifton and Kattenhorn (2006), Björnsson et al. (2018), Einarsson et al. (2018), Veðurstofu Íslands, Landmælingum Íslands, og Þýsku geimferðastofnuninni.

# Sulfur isotope point-of-view on lower and upper mantle reservoirs below Iceland

Eemu Ranta<sup>1</sup>, Jóhann Gunnarsson-Robin<sup>1</sup>, Sæmundur A. Halldórsson<sup>1</sup>, Shuhei Ono<sup>2</sup>, Gareth Izon<sup>2</sup>, Matthew G. Jackson<sup>3</sup>, Callum D.J. Reekie<sup>4</sup>, Frances E. Jenner<sup>5</sup>, Guðmundur H. Guðfinnsson<sup>1</sup>, Ólafur P. Jónsson<sup>1</sup> and Andri Stefánsson<sup>1</sup>

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

<sup>2</sup>Department of Earth, Atmospheric and Planetary Sciences, Massachusetts Institute of Technology, USA

<sup>3</sup>Department of Earth Science, University of California, Santa Barbara, USA

<sup>4</sup>Department of Earth Sciences, University of Cambridge, UK

<sup>5</sup>School of Environment, Earth and Ecosystem Sciences, The Open University, UK

Stable sulfur isotope ratios of mid-ocean ridge and ocean island basalts (MORBs and OIBs) preserve unique information about early Earth processes like core-mantle differentiation, but also record the later imprint of subduction on the chemical composition of the mantle. Icelandic basalts are thought to sample the oldest known terrestrial reservoir (>4.45 Ga) through a deeprooted mantle plume and thus provide ideal material for better resolving Early Earth processes.

We present new sulfur concentration, speciation (S<sup>6+</sup>/ $\Sigma$ S) and isotope data ( $\delta^{34}$ S,  $\Delta^{33}$ S) for a large sample set (n = 62) focused on subglacially erupted basaltic glasses from the neovolcanic zones of Iceland. We use these data along with trace element systematics to account for the effects of crustal magmatic processing (degassing and immiscible sulfide melt formation) on  $\delta^{34}$ S, and show that primitive (MgO > 6 wt.%), undegassed glasses accurately record the  $\delta^{34}$ S signatures of their mantle sources. These samples define an Icelandic mantle with  $\delta^{34}$ S<sub>22</sub> between -2.5 and -0.1 %, extending to more negative values compared to the depleted MORB source mantle (DMM) ( $\delta^{34}$ S = -1.3±0.3 ‰) and previously published  $\delta^{34}$ S values for Iceland.

Negative  $\delta^{34}$ S and  $\Delta^{33}$ S signatures are most prominent in basalts from the Snæfellsnes Peninsula and the Kverkfjöll volcanic system, which also have the lowest, MORB-like <sup>3</sup>He/<sup>4</sup>He (8-9 R/R<sub>A</sub>), as well as the highest Ba/La (up to 12) in Iceland. To explain these correlations, we propose that subduction fluid-enriched mantle wedge type material (EMW) in the North Atlantic upper mantle remaining from Paleozoic subduction events constitutes a low  $\delta^{34}$ S- $\Delta^{33}$ S component in the Iceland mantle. This suggests that volatile heterogeneity in Iceland, and potentially at other OIBs, may originate not only from a heterogeneous mantle plume, but also from a heterogenous local upper mantle.

A set of samples with high  ${}^{3}\text{He}/{}^{4}\text{He}$  (up to 25.9 R/R<sub>A</sub>) and negative  $\mu^{182}$ W anomalies define a primordial lower mantle reservoir with  $\delta^{34}S_{\Sigma S}$  and  $\Delta^{33}S$  of -0.3 ‰ and 0 ‰, respectively, which is distinct from the S isotopic composition of DMM. The near-chondritic S isotope signature can be explained if the high- ${}^{3}\text{He}/{}^{4}\text{He}$  mantle retains sulfur that pre-dates core formation, or, analogue to recent models explaining negative  $\mu^{182}$ W anomalies in OIBs, has been later supplemented with sulfur from the core.

# Kolefnisbúskapur Íslands

# Sigurður Reynir Gíslason, Marin I. Kardjilov, Eydís Salome Eiríksdóttir og Guðrún Gísladóttir

#### Háskóla íslands og Hafrannsóknastofnun

Allt kolefni við yfirborð jarðar er ættað úr bergi. Kolefnið ferðast úr einum stað í annan og dvelst mislengi á hverjum stað, lengi í bergi og sjó en stutt í lífverum og andrúmslofti.

Útstreymi koltvíoxíðs (CO<sub>2</sub>) um eldfjöll á Íslandi hefur verið áætlað +1 til +2 milljónir tonna á ári [1,2]. Mest af koltvíoxíðinu losnar milli eldgosa en ekki í eldgosum. Þetta er streymi um eldfjöll, jarðhitasvæði, grunnvatn og jarðveg. Efnaveðrun og efnarof bergs á Íslandi bindur árlega rúmlega -3 milljónir tonna af leystu koltvíoxíði á formi bíkarbónats (HCO3<sup>-</sup>) í straumvötnum ef miðað er við heildarafrennsli af landi og vensl efnarofs, kolefnisbindingar og afrennslis vatns af Íslandi [3]. Hraði efnaveðrunar og efnarofs og þ.a.l. binding koltvíoxíðs eykst með auknu afrennsli, hækkandi hita og lækkandi aldri bergs [4,5,6]. Með auknu afrennsli vatns af landinu á komandi árum og hækkandi hita má gera ráð fyrir vaxandi bindingu vegna efnarofs bergs. Til dæmis hefur binding koltvíoxíðs á vatnasviði Jökulsár í Fljótsdal aukist um 40% síðastliðin 40 ár [6]. Útstreymi um eldfjöll og binding við efnaveðrun sílíkata og rof á Íslandi eru fulltrúar hinnar hægu hringrásar ólífræns kolefnis á jörðinni. Hin hraða hringrás kolefnis á jörðinni og Íslandi fer fram með efnaskiptum milli gróðurs, jarðvegs, sjávar, andrúmslofts og athafna mannsins. Árlegur kolefnisstraumur (GPP) um gróður á Íslandi við ljóstillífun var að meðaltali um -66 milljón tonn af CO<sub>2</sub> á árunum 2000 til 2006 [7]. Að frádreginni öndun gróðursins, +28 milljón tonnum, bundu plöntur um -38 milljón tonn koltvíoxíðs á ári [7]. Árlegt flæði bessa kolefnis um þann hluta landsins sem er hulinn gróðri var að meðaltali um 340 grömm af kolefni á fermetra á ári (GPP gC/m<sup>2</sup>/ár), og er það um fjórðungur meðaltals fyrir gróður á jörðinni [7,8,9]. Ef við miðum við massa koltvíoxíðs, CO<sub>2</sub>, jafngildir þetta 1,2 kg af koltvíoxíði á fermetra gróins lands á ári. Um 42% þess berast aftur til andrúmslofts vegna öndunar gróðurs, og eins losnar koltvíoxíð vegna öndunar lífvera sem nærast á gróðrinum og vegna rotnunar lífræna efnisins ofan- og neðanjarðar. Á myndinni á næstu síðu er gert ráð fyrir að jafnmikið bindist við ljóstillífun og tapast aftur til andrúmslofts vegna öndunar lífvera og rotnunar lífræns efnis, en á myndinni er sett spurningarmerki við strevmi frá Íslandi vegna óvissunnar. Hins vegar hefur kolefnisbúskapur vegna landnotkunar verið skilgreindur, eins og lýst verður hér á eftir. Árlegt afrennsli lífræns kolefnis í upplausn með íslenskum straumvötnum, svokallað efnarof lífræns efnis, sem er einskonar sykur sem lífverur framleiða, skammstafað DOC ("dissolved organic carbon"), er um -0,15 milljón tonn af bundnu kolefni í CO<sub>2</sub>-ígildum. Vensl eru milli ljóstillífunar plantna á Íslandi og þessarar bindingar kolefnis, og eykst bindingin með hækkandi hitastigi [7]. Flutningur lífrænna agna í gruggi með straumvötnum af Íslandi, svokallað aflrænt rof lífræns efnis, er af svipaðri stærðargráðu og flutningur leysts lífræns efnis [7], þ.e. um -0,15 milljón tonn af bundnu kolefni í CO<sub>2</sub>-ígildi. Þessar lífrænu agnir upprunnar úr jarðvegi og beint úr plöntum á landi, sem og plöntum og bakteríum í vatni. Þær geta grafist djúpt í seti á íslenska landgrunninu og orðið hluti af setbergi, og þar með farið í hina hægu hringrás lífræns kolefnis. Einnig getur lífræna efnið rotnað efst í setinu, og þar með skilað koltvíoxíðinu til botnsjávarins, en það getur tekið koltvíoxíð áratugi eða jafnvel aldir að komast aftur til andrúmslofts. Ekki er lagt mat á vindborið lífrænt efni sem fýkur af landi til sjávar. Nettó útstreymi gróðurhúsalofttegunda, í CO<sub>2</sub>-ígildum,

#### 20. nóvember 2020

vegna landnotkunar hér á landi var um +1,13milljón tonn árið 2006 [10]. Árið 2006 stafaði koltvíoxíðútstreymi vegna landnotkunar Íslendinga að mestu af framræsingu mýra og nam +1,48 milljónum tonna CO<sub>2</sub>-ígilda. Þá var binding vegna skógræktar -0,134 milljón tonn og vegna landgræðslu -0,554 milljón tonn[10]. Útstreymi hláturgass, N<sub>2</sub>O, sem var 323 þúsund tonn CO<sub>2</sub>-ígilda, 2006, er ekki með í þessum tölum. Árið 2006 var útstreymi koltvíoxíðs og metans af völdum Íslendinga, að undanskilinni landnotkun, um +4 milljónir tonna reiknað í CO<sub>2</sub>-ígildum [10]. Það ár var útstreymi koltvíoxíðs +3,57 milljón tonn og útstreymi metans var +22 búsund tonn, en margfaldað með hlýnunarmætti metans, 21, jafngildir losun metans +462 búsund tonna útstreymi í CO<sub>2</sub>-ígildum. Samtals er betta +4,0 milljónir tonna í CO<sub>2</sub>-ígildum en +3,63 milljónir tonna miðað við massa CO<sub>2</sub> eingöngu eins og sýnt er á myndinni hér fyrir neðan. Ef allir þættir í kolefnisbúskap Íslands árið 2006 eru lagðir saman, náttúrulegir og mannlegir, er nettólosun frá Íslandi beint til andrúmslofts, miðað við massa CO<sub>2</sub>, um +3,2 milljónir tonna Árið 2006 [11]. Áhugavert er að bera saman kolefnisbúskap Íslands á myndinni við kolefnisbúskap jarðarinnar. Hlutfall ljóstillífunar (GPP) plantna á landi og kolefnisbindingar við efnarof straumvatna er 19,3 á Íslandi en 150 fyrir þurrlendi jarðarinnar. Þetta stafar af takmarkaðri gróðurþekju og lítilli afkastagetu gróðurs [7], ásamt hlutfallslega mikilli efnaveðrun og efnarofi á Íslandi [4,11]. Hlutfall ljóstillífunar (GPP) plantna á landi og landnotkunar er nokkuð svipað á Íslandi, 83, og á öllu þurrlendi jarðar, 75 [11]. Árið 2006 voru áhrif Íslendinga á kolefnisbúskap gróðurs aðeins minni en að meðaltali á jörðinni. Á Íslandi vegur framræsing mýra á Íslandi þyngst, eins og þau voru fram talin árið 2008 [10].

Árið 2006 losuðu Íslendingar svipað magn koltvíoxíðs og bundið var við veðrun á Íslandi, sem íslensk straumvötn báru til sjávar. Þetta er mun hærra hlutfall en gildir um Jörðina, þar er hluti veðrunar er aðeins 1-10% þess sem, Jarðarbúar losa til andrúmslofts [12].



Milljónir tonna af CO<sub>2</sub> á ári (2006)

#### 20. nóvember 2020

- Arnórsson, S. og S. R. Gíslason (1994). CO<sub>2</sub> from magmatic sources in Iceland. Mineralogical Magazine 58A, 27–28.
- [2] Ármannsson, H., Þ. Friðriksson og B. R. Kristjánsson (2005). CO<sub>2</sub> emissions from geothermal power plants and natural geothermal activity in Iceland. Geothermics 34, 286–296
- [3] Gíslason, S. R. (2005). Chemical weathering, chemical denudation and the CO<sub>2</sub> budget for Iceland. I: Iceland-Modern Processes and Past Environments, ritstj.: C. Caseldine, A. Russell, J. Harðardóttir og Ó. Knudsen, 289–307, Elsevier.
- [4] Gíslason, S. R., S. Arnórsson og H. Ármannsson (1996). Chemical weathering of basalt in SW Iceland: Effects of runoff, age of rocks and vegetative/glacial cover. American Journal of Science 296, 837–907.
- [5] Gíslason, S. R. (2008). Weathering in Iceland. Jökull 58, 387-408.
- [6] Gíslason, S. R., E. H. Oelkers, E. S. Eiríksdóttir, M. I. Kardjilov, G. Gísladóttir, B. Sigfússon, A. Snorrason, Elefsen S. O, Harðardóttir J., Torssander P. og Óskarsson N. Ö. (2009). Direct evidence of the feedback between climate and weathering. Earth and Planetary Science Letters, 277, 213–222.
- [7] Kardjilov, M. I. (2008). Riverine and Terrestrial carbon fluxes in Iceland. Phd dissertation from University of Iceland, Háskóli Íslands.
- [8] Zhao, M., F. A. Heinsch, R. R. Nemani og S. W. Running (2005). Improvements of the ModIS terrestrial gross and net primary production global dataset. Remote Sensing of Environment 95, 164–176.
- [9] Running, S. W., R. R. Nemani, F. A. Heinsch, M. Zhao, M. Reeves og H. Hashimoto (2004). A continuous satellite-derived measure of global terrestrial primary production. Bioscience 56, 547–560.
- [10] Birna S. Hallsdóttir, Kristín Harðardóttir og Jón Guðmundsson (2008). National Inventory Report, Iceland 2008. Submitted under the United Nations Framework Convention on Climate Change. USt-2008:04, Umhverfisstofnun.
- [11] Sigurður Reynir Gíslason (2012). Kolefnishringrásin. Hið íslenska bókmenntafélag, Reykjavík, Iceland, 269 bls.
- [12] IPCC 2013. Ciais, et al. 2013: Carbon and Other Biogeochemical Cycles. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker et al. (eds.)].

# InSAR Observations and Source Modeling of the Magnitude 5.6 Núpshlíðarháls Earthquake on 20 October 2020

Sigurjón Jónsson, Yunmeng Cao, Hannes Vasyura-Bathke and Xing Li

King Abdullah University of Science and Technology (KAUST), Thuwal, Saudi Arabia

The magnitude 5.6 earthquake that rocked Reykjavík and surroundings on 20 October 2020 was the largest earthquake on Reykjanes peninsula since the 17 June 2000 Kleifarvatn event. The epicenter of the recent earthquake was located under Núpshlíðarháls, about 7 km westsouthwest from Kleifarvatn. Here we use both ascending- and descending-orbit InSAR images, processed from data acquired by the Sentinel-1 and TerraSAR-X radar satellites, to map the coseismic surface fractures and deformation caused by the earthquake. The data show small movement of a number of North-South and SSW-NNE oriented surface fractures, most of which are located north of the epicenter, distributed over an area that is about 8 km long in total from North to South. Mapping of the deformation shows several centimeters of coseismic deformation with a pattern expected from an earthquake that is primarily a right-lateral strikeslip earthquake on a North-South oriented fault. As the InSAR data are primarily sensitive to east-west and vertical displacements, we additionally use split-beam interferometry to obtain more information about north-south displacements. For this, we use burst-overlap interferometry (BOI), in the case of Sentinel-1 data, and multiple-aperture interferometry (MAI) on the TerraSAR-X data. Together with the standard InSAR data, we estimate the full 3D coseismic surface displacement field of the earthquake. These results show that most of the fractures on the surface had limited surface offset, apart from a 2-3 km long North-South trending segment just north of the epicenter that has about 15 cm of right-lateral fault offset at the surface. Preliminary elastic source modeling of the earthquake shows that the deformation is consistent with a near vertical north-south striking fault with peak fault slip of about 30 cm at roughly 3 km depth below the surface. The estimated geodetic moment of the model amounts to a magnitude 5.6 earthquake, consistent with seismological estimates. The observation that most of the modeled fault slip and mapped surface fractures are located North of the epicenter indicates that the earthquake ruptured unilaterally from south to north, which is in agreement with the more severe surface effects and shaking reported from near Keilir at the northern end of the earthquake rupture.

### The GEOENVI project-overview

### Sylvía Rakel Guðjónsdóttir, srg@os.is

Orkustofnun

The GEOENVI project targets six countries in its first phase: Iceland, France, Belgium, Italy, Hungary and Turkey. The objective of the GEOENVI project is to make sure that deep geothermal energy can play its role in Europe's future energy supply in an increasingly sustainable way and to create a robust strategy to answer environmental concerns in terms of both impacts and risks. This is done by setting an adapted LCA methodology for assessing environment impacts to the project developers, and by assessing the environmental impacts and risks of geothermal projects operational or in development in Europe. It will engage with all geothermal stakeholders to ensure the exchange of best practices, to test and receive feedbacks on the harmonized methods developed in selected areas and to facilitate the replication of the approach across Europe. Within the project several national workshops and seminars are carried out in order to fulfill the involvement of geothermal stakeholders to its fullest. The project is set up in total of 6 work packages and the projects timeline is 30 months, ending in April 2021.During the project result dissemination phase, the objective is to cover the rest of Europe.

The project is funded by the European Union's Horizon 2020 research and innovation program and coordinated by EGEC (for more information go to the GEOENVI website, <u>https://www.geoenvi.eu/</u>).

# Detection of temporal seismic velocity variations at Reykjanes Peninsula, Iceland, using seismic ambient noise

Yeşim Çubuk-Sabuncu<sup>1</sup>,Kristín Jónsdóttir<sup>1</sup>,Thomas Lecocq<sup>2</sup>, Corentin Caudron<sup>3</sup>, Michelle Maree Parks<sup>1</sup>, Aurélien Mordret<sup>3</sup> and Halldór Geirsson<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Icelandic Meteorological Office, Iceland

<sup>2</sup> Royal Observatory of Belgium, Belgium

<sup>3</sup> STerre, France

<sup>4</sup> University of Iceland, Iceland

The continuous real-time analysis of seismic velocity changes is a new and rapidly evolving part of monitoring volcanic activity since it can detect pre-eruptive signals caused by magma migration in the crust. In Iceland, volcanic eruptions occur every 3-5 years on average, and the associated hazards have the potential to significantly impact local inhabitants and infrastructure as well as air traffic. We analyzed continuous seismograms recorded by the permanent seismic network operated by the Icelandic Meteorological Office (IMO, http://www.vedur.is) to monitor the 2020 unrest in the vicinity of Mt. Thorbjörn, Reykjanes Peninsula. GPS and InSAR observations confirmed surface deformation centered near Mt. Thorbjörn, which is likely due to repeated magmatic intrusions in the crust. An intense earthquake swarm activity occurred during the unrest period, and approximately ~14,000 earthquakes (M>-2) have been reported around the center of uplift. A large amount of high-quality ambient noise data provided a unique opportunity for near-real-time monitoring of the rapid magmatic intrusions for the first time in Iceland. We used the state-of-the-art MSNoise software package (http://www.msnoise.org) to calculate cross-correlation functions (CCFs) of ambient seismic noise. We quantified the relative seismic velocity variations (dv/v) with seismic interferometry. We characterized the temporal variations of subsurface seismic velocities using different methods, and the resulting velocity changes were comparable, indicating the robustness of our calculations. A seasonal correction was applied by removing the trend using an average seasonal reference defined for the Revkianes Peninsula regional network based on two-years of records. Our results show a significant decrease in the subsurface seismic velocities in the vicinity of Mt.Thorbjörn following the unrest period. We compared dv/v with GPS and InSAR data recorded close to the repeated intrusions and found a good correlation throughout the unrest period, possibly implying that similar physical processes are responsible for these independent observations. This study is supported by the Icelandic Research Fund, Rannis (Grant No: 185209-051).

# Iceland GeoSurvey's seismic monitoring of exploited geothermal fields in Iceland

Thorbjörg Ágústsdóttir, Kristján Ágústsson, Sigríður Kristjánsdóttir, Egill Árni Guðnason, Rögnvaldur Líndal Magnússon, Gylfi Páll Hersir, Karl Gunnarsson, Ingvar Þór Magnússon, Friðgeir Pétursson, Hanna Blanck and Ólafur G. Flóvenz

ÍSOR

Geothermal areas in Iceland, especially the high temperature ones, are located in tectonically active areas, that naturally experience seismicity. Iceland has successfully exploited the bountiful energy of the geothermal areas, both for electrical production and space heating. Iceland GeoSurvey (ÍSOR) currently monitors six exploited geothermal areas with permanent seismic stations for three Icelandic energy companies: Reykjavík Energy (ON), Landsvirkjun Power (LV) and Norðurorka (NO). Previously, ÍSOR also operated a seismic network for HS Orka, and has in the past run various temporary networks for the Icelandic energy companies. The geothermal areas currently monitored are Hellisheiði (ON), Nesjavellir (ON), Krafla (LV), Námafjall (LV), Þeistareykir (LV) and Eyjafjörður (NO). Additionally, ÍSOR takes part in multiple European collaboration projects in geothermal areas with the respective energy companies, as well as independent research institutions. Currently, there are 92 stations online, streaming data in real-time to ÍSOR, and subsequently, automatic locations of earthquakes are available to the respective energy company. The online seismic stations are a combination of stations owned by the energy companies, ISOR stations operated for the energy companies, stations from the national seismic network of the Icelandic Meteorological Office and research stations. The seismic networks comprise 1s, 5s and 120s instruments. In addition, ISOR's collaborators run offline research networks of 31 stations in total on the Reykjanes peninsula, comprising 30s and 120s instruments.

The SeisComP software is used for automatic detection and location of earthquakes, and day to day monitoring of the geothermal areas where all events are manually refined. In general, increased but variable seismic rate is observed in production and injection areas. However, it can be challenging to distinguish between natural and induced seismicity. The mapping of seismic activity can give valuable information about the fracture permeability of the geothermal fields. For more detailed analysis, new 1D velocity models are constructed, earthquakes are relatively relocated, and earthquake source mechanisms calculated. The development of ISOR's seismic data analysis mostly takes place within the European collaboration projects, where for example new SeisComP modules are tested and implemented, new data processing techniques explored, and beneficial relationships between scientists are established. ISOR strives towards interdisciplinary interpretation of the seismic data with existing geophysical and geological data sets.

20. nóvember 2020



Figure 1. ON/ÍSOR seismic station at Nesjavellir. Photo: Egill Árni Guðnason



Figure 2. Seismicity in the Hengill geothermal area, SW Iceland, 2018-2020. Refined SeisComP earthquake locations, colour coded by year. Inverted triangles are seismic stations.



Figure 3. Seismicity in Nesjavellir (Ne) in the northern part of the Hengill geothermal area, 2018-2020. Refined SeisComp earthquake locations are colour coded by 3 -month periods and sized according to magnitude. Inverted triangles are seismic stations. Wellheads and well trajectories are turquise in map view, and well trajectories are black lines in depth view.

## Deep seated gravitational slope deformation north of the Tungnakvíslarjökull outlet glacier, in western part of the Mýrdalsjökull glacier

Þorsteinn Sæmundsson<sup>1</sup>, Páll Einarsson<sup>1</sup>, Halldór Geirsson<sup>1</sup>, Joaquin Belart<sup>2</sup>, Ásta Rut Hjartardóttir<sup>1</sup>, Eyjólfur Magnússon<sup>1</sup>, Finnur Pálsson<sup>1</sup>, Gro Pedersen<sup>1</sup>, Vincent Drouin<sup>3</sup> and Daníel Ben-Yohoshua<sup>1</sup>

<sup>1</sup>University of Iceland, Institute of Earth Sciences, Reykjavík, Iceland (steinis@hi.is)

<sup>2</sup>National Land Survey of Iceland, Akranes, Iceland

<sup>3</sup>ÍSOR, Icelandic GeoSurvey, Reykjavík, Iceland

A large deep seated gravitational slope deformation has been detected in a mountain slope north of the Tungnakvíslarjökull outlet glacier, in the western part of the Mýrdalsjökull ice cap in South Iceland. According to observations, which were based on comparison of DEM from aerial photographs from 1945 to 2019, the slope has been showing slow gravitational slope deformation since at least 1945. During that time period the total displacement is around 200 m. The data also show that the deformation rate has not been constant over this time period. The maximum deformation rate occurred between 1999 and 2004 of total of 94 m or about 19 m/year.

The mountain slope north of the Tungnakvíslarjökull outlet glaciers reaches up to around 1100 m height. The head scarp of the slide, which is almost vertical, is around 2 km wide rising from about 4-500 m in the western part up to the Mýrdalsjökull glacier at 1100 m in the east. The total sliding from the head scarp down to the present-day ice margin is around 1 km<sup>2</sup>. The total volume of the moving mass is not known as the sliding plane is not known, but the minimum volume might be between 100 to 200 million m<sup>3</sup>. The entire slope shows signs of displacement and is heavily fractured and broken up. A continuous GNSS stations which were installed in the uppermost part of the slope in August 2019 and in the lower part of the slope in 2020 have given valuable data about the displacement rate.

The area around the Tungnakvíslarjökull slide has been persistently seismically active as long as the seismic network has allowed relatively precise epicentral locations in this area, which was in the early seventies.

There are two main ideas of the causes for this deformation. One is the consequences of slope steepening by glacial erosion, followed by unloading and de-buttressing due to glacial retreat. Another proposed cause for the deformation is related to its location on the western flank of the Katla volcano. Persistent seismic activity in this area for decades may be explained by a slowly rising cryptodome, which may also explain the slope failure.

### Jökulhlaup úr jaðarlóni Flosajökuls í Langjökli

Þorsteinn Þorsteinsson<sup>1</sup>, Esther Hlíðar Jensen<sup>1</sup>, Ingibjörg Jónsdóttir<sup>2</sup>, Kristjana G. Eyþórsdóttir<sup>1</sup>, Finnur Pálsson<sup>2</sup>, Andri Gunnarsson<sup>3</sup>, Hlynur Skagfjörð Pálsson<sup>4</sup>, Gunnar Sigurðsson<sup>1</sup>, Ragnar H. Þrastarson<sup>1</sup>, Oddur Sigurðsson<sup>1</sup> og Tómas Jóhannesson<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Veðurstofu Íslands

<sup>2</sup> Jarðvísindastofnun Háskólans

<sup>3</sup> Landsvirkjun

<sup>4</sup> Jöklarannsóknafélagi Íslands

*Jökulhlaup* heitir vatnssorfin hrauntröð syðst í Geitlandi, vestan Langjökuls. Á liðnu sumri kom snöggt jökulhlaup í farveg Svartár, sem liggur um aðra hrauntröð á svæðinu. Upptökin voru í jaðarlóni, sem myndast hefur eftir síðustu aldamót við Hafrafell suðaustanvert, framan Flosajökuls.

Heimamenn á Húsafelli tóku eftir auknu rennsli í Hvítá að kvöldi 17. ágúst 2020 og sáu í könnunarflugi að hlaup hafði komið í Svartá. Þegar rennsli var í hámarki undir Hvítárbrú við norðurjaðar Húsafellsskógar vantaði lítið á að hlaupvatn næði upp undir brúargólfið. Neðar í Borgarfirði barst eðja upp í ósa áa sem falla í Hvítá og dauðir laxar fundust á engjum.

Dagana eftir hlaupið var farið á vettvang við Hvítá og Svartá, kannaðar gervitunglamyndir af svæðinu og lónið ljósmyndað í könnunarflugi, auk þess sem gengið var að því frá vesturjaðri jökulsins. Niðurstöður forkönnunar eru þessar helstar:

Jaðarlón hefur myndast í um 890 m hæð við Flosajökul, sem liggur að Flosaskarði að sunnan. Fyrir hlaup var lónið um 3.5 km langt og 0.5 km breitt og hafði þá afrennsli til vestara Flosavatns, 2 km norðar.

SENTINEL-2 gervitunglamynd sýnir að hlaupvatn er komið í farveg Svartár 17.8. kl. 13:03 og má því álykta að hlaupið hafi hafist fyrir hádegi þann dag. Talið er að hlaupið hafi verið í hámarki við Hvítárbrú í Húsafellsskógi kl. 20:30. Vatnshæðarmælir við Kljáfoss í Hvítá sýnir að rennsli eykst eftir kl. 14 og nær hámarki kl. 01:45 að morgni 18.8. Grunnrennsli var þá rúmlega 80 m<sup>3</sup>/s en nær mest 257 m<sup>3</sup>/s í hlaupinu, sem er yfirstaðið við Kljáfoss um kl. 14 þann 18.8. Hlauplitur hélst þó á ánni í nokkra daga á eftir og nýir setbunkar sáust við Hraunfossa. Á Svartáraurum bar mikið á dæmigerðu hlaupseti sem áin hafði borið fram og náði allt að 50 cm þykkt. Ekki eru vísbendingar um að jarðhiti hafi átt þátt í myndun lónsins við Langjökul og leiðnimælingar gáfu ekki til kynna að jarðhitavökvi hefði blandast hlaupvatninu.

Útlínur lónsins fyrir og eftir hlaup voru dregnar á SENTINEL-2 myndum og reiknast flatarmálið 1.29 km<sup>2</sup> fyrir hlaup en 0.46 km<sup>2</sup> eftir hlaup. Lækkun vatnsborðs við hlaup mældist um 4 m og rúmmál þess vatns sem hljóp úr lóninu er metið 3.25 milljónir rúmmetra. Kemur sú tala ágætlega heim við uppsafnað hlauprúmmál við Kljáfoss, 3.4 milljónir rúmmetra. Hlaupvatnið rann undir 2 km langt jökulhaft við Hafrafell og við útfallið úr lóninu sést að nokkurra metra þykkur jökulsporður hefur lyfst og vatnið svo þröngvað sér þar undir. Búast má við að lónið geti stækkað enn við frekari hörfun jökulsins og verður fylgst með hættu á jökulhlaupum úr lóninu á komandi árum.

20. nóvember 2020

# Frá ritstjórn Náttúrufræðingsins

Þóroddur F. Þóroddsson

Ritstjórn Náttúrufræðingsins

Í ritstjórn Náttúrufræðingsins, þar sem höfundur hefur setið frá 2014, er reglulega rætt um að í ritinu mætti vera hærra hlutfall greina og pistla um jarðfræði. Gerð verður gróflega grein fyrir fjölda greina í ritinu á sviði jarðfræði og umfangi þeirra, síðustu ár og hugleitt hvernig megi auka hlut jarðfræðinnar í ritinu.