



**Haustráðstefna
Jarðfræðafélags Íslands**

Jarðhiti og tektóník

**Heiðursgestir
Benedikt Steingrímsson, Hjalti Franzson
og Páll Einarsson**

Ágrip erinda

Haldin í sal ÍSOR,
Grensásvegi 9
17. nóvember 2017



**Haustráðstefna
Jarðfræðafélags Íslands**

Jarðhiti og tektóník

**Heiðursgestir
Benedikt Steingrímsson, Hjalti Franzson
og Páll Einarsson**

Ágrip erinda

**Haldin í sal ÍSOR,
Grensásvegi 9
17. nóvember 2017**

Umsjón:

**Þorsteinn Sæmundsson, Sýlvía Rákel Guðjónsdóttir, Sigurlaug María
Hreinsdóttir, Lúðvík E. Gústafsson og Erla María Hauksdóttir**

Dagskrá Haustráðstefnu JFÍ, 17. nóvember 2017

08:30 – 09:00 Skráning

Fundarstjóri **Ásta Rut Hjartardóttir**

09:05– 09:10 Setning

Þorsteinn Sæmundsson

09:15 – 09:30 Jarðfræði í rótum háhitakerfa

Hjalti Franzson

09:30 – 09:45 Jarðhiti og virka brotamunstrið á Snæfellsnesi

Kristján Sæmundsson

09:45 – 10:00 Short-term seismic precursors to Icelandic eruptions 1973-2014 and success rate of pre-eruption warnings

Páll Einarsson

10:00 – 10:15 How can earthquakes illuminate the tectonics of dike intrusions? Examples from the Krafla 1975-1984 and Bárðarbunga, 1996-2015 rifting events

Bryndís Brandsdóttir

10:15 – 10:30 Crustal deformation and strain rates in Hengill and the South Iceland Seismic Zone

Póra Árnadóttir

10:30 – 11:00 Kaffi

11:00 – 11:15 Suðurlandsskjálfti 2008. Áhrif á jarðhitakerfi

Daði Þorbjörnsson

11:15 – 11:30 Supercritical fluids around magmatic intrusions

Andri Stefánsson

11:30 – 11:45 IMAGE er lokið – hver var ávinningurinn?

Sæunn Halldórsdóttir

11:45 – 12:00 Catalogue of Icelandic Volcanoes (CIV)

Bergrún Arna Óladóttir

12:00 – 12:15 Flow measurements with a spinner logging tool in geothermal wells at Þeistareykir: Processing and interpretation with the aim of locating feed zones in wells

Valdís Guðmundsdóttir

12:00 – 12:15 Mat á spennu í skorpunni á Íslandi og vatnsleiðni í sprungum

Kristján Ágústsson

12:30 – 13:30 Matur

Fundarstjóri **Þorsteinn Sæmundsson**

13:30 – 13:45 Eru Hljóðaklettur og Rauðhólar í Jökulsárgljúfrum gervigígar?

Ásta Rut Hjartardóttir

13:45 – 14:00 Virkjun hraunhita í Heimaey

Sveinbjörn Björnsson

Haustráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
17. nóvember 2017

- 14:00 – 14:15 "Deciphering the deformation history of oceanic shear zones through mineral microstructures"
Jessica Lynn Till
- 14:15 – 14:30 Bárðarbunga eftir gos
Kristín Jónsdóttir
- 14:30 – 14:45 Tilraun með VSP mælingar í Kröflu
Ólafur G. Flóvenz
- 14:45 – 15:15 Kaffi**
- 15:15 – 15:30 The Laschamp Excursion and Today's Earth's Magnetic Field
Maxwell Brown
- 15:30 – 15:45 Jarðhiti neðansjávar og hafsbotnsjarðfræði í Eyjafirði
Árni Hjartarson
- 15:45 – 16:00 Kortlagning Torfufellseldstöðvarinnar
Sigurveig Árnadóttir
- 16:00 – 16:15 The IMAGE passive seismic project on Reykjanes peninsula, Iceland
Hanna Blanck
- 16:15 – 16:30 Volcanic systems and structural styles along fracture zones in the central Northeast Atlantic, possible analogue applications for Iceland
Anett Blischke
- 16:30 – 16:45 Jarðhitaleit við Ölfusá á Selfossi
Heimir Ingimarsson
- 17:00 - Móttaka**

Veggspjöld

Seismotectonics of the Geysir Area in South Iceland during the period 1995 to 2001

Ingi Þ. Bjarnason, Bergþóra S. Þorbjarnardóttir, and Ragnar Stefánsson

The Greenland-Iceland-Faroe Ridge Complex

Ögmundur Erlendsson, Árni Hjartarson, and Anett Blischke

Efnisyfirlit

Dagskrá Haustráðstefnu JFÍ, 17. nóvember 2017	i
Efnisyfirlit	iv
Ávarp formanns Jarðfræðafélags Íslands	vi
Ágrip	1
Supercritical fluids around magmatic intrusions.....	3
Andri Stefánsson, Matylda Heřmanská and Samuel Scott	
Jarðhiti neðansjávar og hafsbotsjarðfræði í Eyjafirði	4
Árni Hjartarson, Ögmundur Erlendsson og Bjarni Gautason	
Eru Hljóðaklettur og Rauðhólar í Jökulsárgljúfrum gervigígar?	7
Ásta Rut Hjartardóttir og Páll Einarsson	
Catalogue of Icelandic Volcanoes (CIV)	9
Bergrún Arna Óladóttir, Evgenia Ilyinskaya, Gudrun Larsen, Magnus T. Gudmundsson, Kristin Vogfjord, Emmanuel Pagneux, Björn Oddsson, Sara Barsotti and Sigrun Karlsdóttir	
The IMAGE passive seismic project on Reykjanes peninsula, Iceland.....	10
Hanna Blanck	
The Laschamp Excursion and Today's Earth's Magnetic Field.....	12
Maxwell Brown, Monika Korte, Richard Holme, Ingo Wardinski and Sydney Gunnarson	
Volcanic systems and structural styles along fracture zones in the central Northeast Atlantic, possible analogue applications for Iceland	13
A. Blischke, Ö. Erlendsson, B. Brandsdóttir, M.S. Stoker and C. Gaina	
How can earthquakes illuminate the tectonics of dike intrusions? Examples from the Krafla 1975-1984 and Bárðarbunga, 1996-2015 rifting events	15
Bryndís Brandsdóttir, Þorbjörg Ágústsdóttir, Jenny Woods, Clare Donaldson, Robert S. White and Páll Einarsson	
Suðurlandsskjálfti 2008. Áhrif á jarðhitakerfi.....	16
Daði Þorbjörnsson	
Jarðhitaleit við Ölfusá á Selfossi.....	19
Heimir Ingimarsson, Þórólfur H. Hafstað og Ögmundur Erlendsson	
Jarðfræði í rótum háhitakerfa.....	21
Hjalti Franzson	
Seismotectonics of the Geysir Area in South Iceland during the period 1995 to 2001	22
Ingi Þ. Bjarnason, Bergþóra S. Þorbjarnardóttir and Ragnar Stefánsson	
Bárðarbunga eftir gos	24
Kristín Jónsdóttir, Vala Hjørleifsdóttir, Halldor Geirsson, Andy Hooper, Eleonora Rivalta, Felix Rodriguez Cardozo, Magnus Tumi Gudmundsson og Sara Barsotti	
Mat á spennu í skorpunni á Íslandi og vatnsleiðni í sprungum (Estimating crustal stress and fracture permeability)	25
Kristján Ágústsson og Sigurveig Árnadóttir	
Jarðhiti og virka brotamunstrið á Snæfellsnesi	27
Kristján Sæmundsson	

Haustráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
17. nóvember 2017

Tilraun með VSP mælingar í Kröflu	29
Ólafur G. Flóvenz, Sverre Planke, Felix Kästner, Fabienne Reiser, John Millet, Gylfi Páll Hersir og Sæunn Halldórsdóttir	
Short-term seismic precursors to Icelandic eruptions 1973-2014 and success rate of pre-eruption warnings	31
Páll Einarsson	
Kortlagning Torfufellseldstöðvarinnar	33
Sigurveig Árnadóttir, Árni Hjartarson og Þorvaldur Þórðarson	
Virkjun hraunhita í Heimaey.....	34
Sveinbjörn Björnsson	
IMAGE er lokið – hver var ávinningurinn?	35
Sæunn Halldórsdóttir, Gylfi Páll Hersir og Ólafur G. Flóvenz	
Flow measurements with a spinner logging tool in geothermal wells at Þeistareykir: Processing and interpretation with the aim of locating feed zones in wells	37
Valdís Guðmundsdóttir	
"Deciphering the deformation history of oceanic shear zones through mineral microstructures"	38
Jessica Lynn Till	
Crustal deformation and strain rates in Hengill and the South Iceland Seismic Zone	39
Thóra Árnadóttir, John Haines, Daniel Juncu and Halldór Geirsson	
The Greenland-Iceland-Faroe Ridge Complex.....	40
Ögmundur Erlendsson, Árni Hjartarson, and Anett Blischke	

Ávarp formanns Jarðfræðafélags Íslands

Haustráðstefna Jarðfræðafélags Íslands árið 2017 er tileinkuð að þessu sinni þremur heiðursgestum sem allir hafa náð þeim merka áfanga að verða sjötugir í ár. Þeir eru prófessor Páll Einarsson jarðeðlisfræðingur við Háskóla Íslands, Cand. Scient. Benedikt Steingrímsson eðlisfræðingur, fyrrverandi aðstoðarforstjóri ÍSOR og Dr. Hjalti Franzson jarðfræðingur á ÍSOR. Starfsvettvangur þeirra hefur legið innan jarðhníks (tektóník/jarðskorpuhreyfinga) og jarðhitarannsóknna og er yfirskrift ráðstefnunnar því tektóník og jarðhiti.

Þessir vísindamenn hafa allir lagt mikið framlag til vísindarannsóknna bæði á Íslandi og erlendis og eiga þeir glæsilega ferla að baki sér og eru enn að.

Stjórn félagsins óskar þeim Páli, Benedikt og Hjalta til hamingju með þeirra glæsilegu ferla og vonar að íslenskt jarðvísindasamfélag fái að njóta krafta þeirra um ókomin ár. Stjórnin vill enn fremur þakka þeim, sem leitað var til um að flytja erindi á ráðstefnunni, fyrir góðar undirtektir.

Við óskum ykkur ánægjulegrar ráðstefnu og munum að maður er manns gaman.

f.h. Jarðfræðafélags Íslands

Þorsteinn Sæmundsson, formaður

Ágrip

Haustráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
17. nóvember 2017

Supercritical fluids around magmatic intrusions

Andri Stefansson¹, Matylda Heřmanská¹ and Samuel Scott^{2,3}

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

²ETH Zurich, Clausiusstrasse 25, 8092 Zurich, Switzerland

³Reykjavík University, Menntavegur 1, 101 Reykjavík, Iceland

Active volcanoes are commonly associated with high-enthalpy geothermal systems and magmatic heat sources. At the roots of the systems around the magmatic heat source supercritical fluids may form, with temperature of $>400^{\circ}\text{C}$ and enthalpy of $>3000\text{ kJ kg}^{-1}$. Utilization of such fluids may multiply power production from geothermal systems. The origin of the supercritical fluid is, however, poorly understood. It may be derived from magma degassing or conductive heating of surrounding subcritical geothermal groundwater by the magmatic intrusion. The chemistry and isotope systematics of the fluids may be used to distinguish between the two formation mechanisms. Magmatic fluids are rich in juvenile water, with elevated CO_2 , SO_2 , HCl and HF concentrations and isotope ratios (δD , $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$, $\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{37}\text{Cl}$) similar to the melt. Supercritical fluids formed upon conductive heating of surrounding subcritical geothermal groundwater are, however, characterized by similar volatile concentrations (C, S, B, Cl, F) as the subcritical fluids, with negligible concentrations of non-volatiles (Si, Na, K, Ca, Mg, Al, Fe) and isotope ratios similar to the groundwater and the surrounding rocks. The formation of supercritical fluids upon conductive heating is further predicted to result in intensive mineral formation dominated by quartz around the magmatic intrusion, whereas magma gases are known to result in intensive host rock alteration and formation of silicates, oxides and sulfides. Ascent of supercritical fluids originating from the magmatic intrusion may result in acid reservoir geothermal fluids rich in SO_4 and Cl. Alternatively, depressurization of supercritical fluids from subcritical geothermal groundwater may result in liquid condensation out of the single-phase vapor and generation of acid reservoir fluids that are Cl rich but SO_4 poor. At shallower depths, both these signatures may be overprinted by mixing with subcritical fluids and secondary processes like fluid-rock interaction and depressurization boiling.

Jarðhiti neðansjávar og hafsbotnsjarðfræði í Eyjafirði

Árni Hjartarson, Ögmundur Erlendsson og Bjarni Gautason

ÍSOR, Íslenskar Orkurannsóknir, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Norðurorka hefur staðið fyrir kortlagningu í Eyjafirði með fjölgeislaláptarmælingum að tillögu ÍSOR. Mælingarnar voru gerðar árin 2004 og 2016 og ná yfir botn fjarðarins frá Oddeyri og út undir Hauganes við vesturströndina og Þengilshöfða að austan. Að auki lét RARIK mæla allbreitt svæði milli Dalvíkur og Hríseyjar árið 2006. Margskonar jarðmyndanir sjást á fjölgeislamyndunum, t.d. hverastrýtur og önnur ummerki um virkan og kulnaðan jarðhita, botnset og ummerki lægra sjávarborðs, neðansjávarskriður, farvegi, sprungur og misgengi, bergganga, för eftir borgarísjaka og skipsflök (Árni Hjartarson o.fl. 2017). Hverastrýtur og strýturaðir eru sérstæðustu fyrirbrigðin á þessum slóðum.

Óljósar sagnir hafa lengi gengið um jarðhita á botni Eyjafjarðar. Á seinni árum hefur fengist staðfesting á tilvist þessa jarðhita og fundist hafa háir strompar, hverastrýtur, í kringum uppstreymisrásir jarðhitavökvans. Um aldamótin 2000 fundust hverastrýtur á tveimur stöðum í firðinum, út af Ystuvík og Arnarnesi og nú hafa tveir aðrir staðir komið í ljós. Strýturnar líkjast um sumt djúpsjavarstrýtum en eru gerðar úr smektítleir (saponite) á meðan djúpsjavarstrýtur eru úr anhydriti. Enn fremur má nefna að jarðhitavatnið sem kemur upp í strýtum Eyjafjarðar er ferskt en í djúpsjavarstrýtum kemur upp jarðsjór.

Hverastrýturnar úti fyrir Ystuvík fundust, eða voru réttara sagt staðsettar af nákvæmni, árið 1997 (Erlendur Bogason o.fl. 2004). Þá fékkst staðfesting á eldri sögnum um jarðhita en staðurinn var þekktur meðal sjómanna og stundum kallaður Hverinn vegna þess að í logni og sléttum sjó má greina uppstreymi. Auk þess vissu menn af hól á botninum á þessum slóðum, sem sýndur var á kortum Sjólmælinganna allt frá því fyrir 1970. Allmikið hefur verið fjallað um Ystuvíkurstýtur en með fjölgeislarmælingum Norðurorku sumarið 2016 fengust fyrstu heildarmyndirnar af þeim. Þetta eru þrjár aðalstrýtur sem rísa bratt upp frá botninum á um það bil 65 m dýpi. Þær liggja á 160 m langri línu með stefnu í NNA og mynda nokkuð samfelldan hrygg utan í kanti grunnsins sem þarna er. Einungis stærsta strýtan er virk. Hún teygir sig um 45 m frá botni og er því tindur strýtunnar um 20 m undir haffletinum. Miðstrýtan er 25 m og syðsta strýtan er 33 m há. Þetta eru hæstu hverastrýturnar í firðinum. Áætlað útstreymi er 50 L/s, hiti mælist 72°C. (Viggó Þ. Marteinsson o.fl. 2001). Fyrir utan strýturnar þrjár sjást smærri strýtur við rætur þeirra. Einnig eru strýtur á línu sunnar og vestar sem ná allt að 15 m hæð. Landslagið á botninum í kring bendir til að þar hafi kantur strandgrunnsins sigið eða hlaupið fram í neðansjávarskriðu áður en strýturnar mynduðust. Tengsl við jarðhitakerfi á landi eru óþekkt.

Hverastrýtusvæðið út af Arnarnesnöfum fannst í könnunarleiðangri Norðurorku 2004 (Bjarni Gautason o.fl., 2005) en vísbendingar um það höfðu komið frá trillukörlum í firðinum. Fjölgeislaláptarmælingar sýndu langa röð strýtulaga myndana á hafsbotninum. Þessar strýtur liggja á um 750 m langri línu með stefnu rétt austan við norður. Stutt strýturöð liggur hornrétt á aðalröðina nyrst. Lágur strýtur og þúfur eru víða á svæðinu en ekki er víst að þær séu allar tengdar jarðhitavirkni. Strýturnar eru uppi á strandgrunninu. Dýpi í nágrenni þeirra er 25 m til 50 m. Talið er að jarðhitavirkni þarna sé talsvert meiri en við Ystuvíkurstýtur. Mælst hefur 78°C hiti í hveravatninu. Arnarnesstrýturnar eru lægri en þær í Ystuvík. Sú hæsta er 13 m og nokkrar eru á bilinu 8–10 m. Svæðið liggur bæði grynna og er mun stærra en önnur strýtusvæði og er samsett af fjölmörgum strýtum af ýmsum stærðum sem sumar virðast raðast á línur en aðrar ekki. Einnig eru þar sprungur sem heitt vatn kemur upp um. Sprungur og strýturaðir stefna á milli N og NNA. Margt bendir til að jarðhitinn í Arnarnesvík tengist jarðhitakerfinu við

Hjalteyri (Guðni Axelsson og Þorsteinn Egilson, 2017). Líklegt er að hæð strýtnanna takmarkist af öldugangi, öldurof kemur í veg fyrir að þær nái að vaxa nær yfirborði en um 15 m.

Óljósar sagnir og vísbendingar hafa lengi verið á kreiki um jarðhita á Hörgárgrunni (Jón Benjamínsson 1988). Fjölgeislasmælingarnar sýna skýr merki um strýtur í Hörgárgrunnskanti sem líklegt er að séu virkar en engar beinar mælingar hafa enn verið gerðar á því. Þessar strýtur hafa verið nefndar Gásastrýtur enda skammt norðnorðaustur af Gáseyri.

Fallegar strýtur eru í strandgrunnskantinum út af Bakkaeyri rétt norður af Hörgárgrunni. Þær raðast flestar á línu sem líkist misgengisstalli með stefnu rétt austan við norður. Þessi lína gæti líka verið jarðhitasprunga. Hún stefnir á nef eða hól neðst í kantinum sem skagar lítið eitt út í Bakkaál. Þar, við rætur hólsins, eru hæstu strýturnar og mynda stutta sjálfstæða röð lítið eitt austar en línun í brekkunni. Þær strýtur sem liggja grynnt eru á um 50 m dýpi ofarlega í brekkunni sem myndar kantinn en þær dýpstu liggja neðst í kantinum þar sem sléttur botn Bakkaáls tekur við á 113 m dýpi. Hæstu strýturnar eru 13 m háar eða sambærilegar við Arnarnesstrýtur. Þessar strýtur mætti kalla Gálmastrýtur eftir strandlengjunni frá Hörgárósum að Arnarnesvík sem nefnist Gálmaströnd. Ekkert er vitað um hita eða aðra jarðhitavirkni.

Sprungur og misgengi eða önnur ummerki um höggun eru ekki áberandi í gögnunum frá Eyjafirði. Það kemur nokkuð á óvart því jarðskjálftar eru tíðir og Tjörnesbrotabeltið er skammt undan. Þverbrotabelti hefur verið talið liggja frá Dalsmynni og þvert yfir fjörðinn með stefnu á Dalvík. Upptök Dalvíkurskjálftans 1934 voru á þessu belti eða þar í grennd. Fjölgeislasmælingarnar af botninum milli Dalvíkur og Hríseyjar sýna ekki áberandi misfellur sem tengja má nýlegum sprunguhreyfingum. Sprungur koma helst í ljós á hverastrýtusvæðunum.

Heimildir

Árni Hjartarson, Ögmundur Erlendsson og Bjarni Gautason 2017. *Hafsbotsjarðfræði í Eyjafirði. Fjölgeislasmælingar, hverastrýtur, höggun, skriður, farvegir jakaför og flök*. ÍSOR-2017/053, 37 bls.

Bjarni Gautason, Hreiðar Þ. Valtýsson, Hjörleifur Einarsson, Arnheiður Eypórsdóttir, Erlendur Bogason og Sigmar A. Steingrímsson (2005). Arnarnesstrýtur: A recently discovered active shallow marine hydrothermal system in Eyjafjörður, Iceland. *American Geophysical Union: San Francisco, CA, USA*, ágríp #OS21C-02.

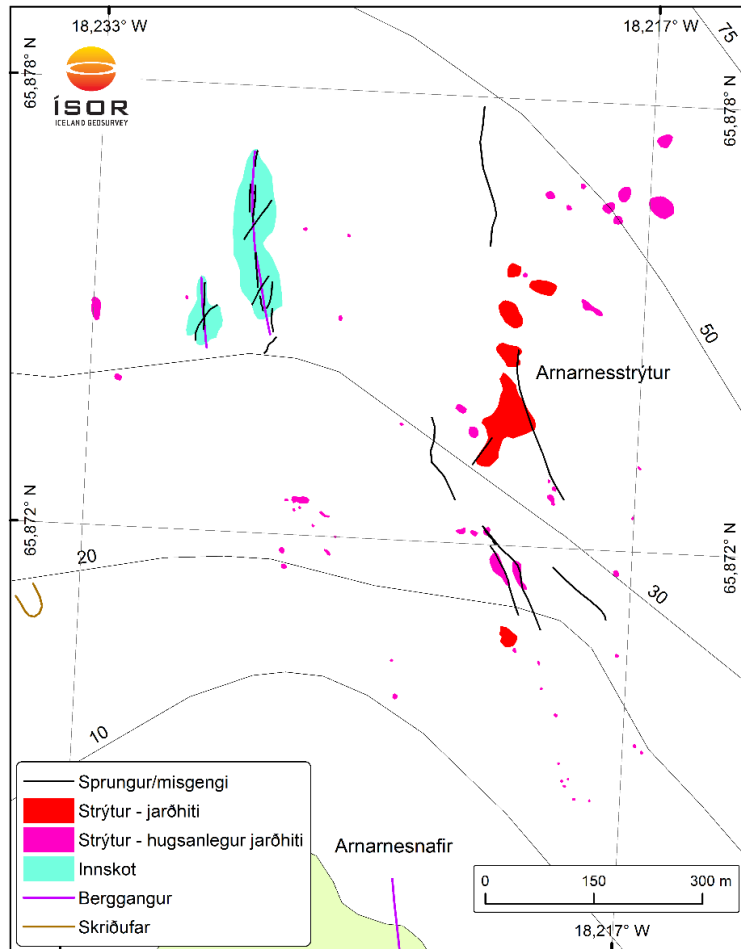
Erlendur Bogason, Gísli Viggósson, Guðný Sverrisdóttir, Haukur Þ. Haraldsson og Hreiðar Þ. Valtýsson (2004). *Strýturnar í Eyjafirði, náttúruvætti – Verndaráætlun*. Umhverfisstofnun UST-2004:17: 16 bls.

Guðni Axelsson og Þorsteinn Egilson, 2017. *Jarðhitakerfið á Hjalteyri*. ÍSOR 2017/050

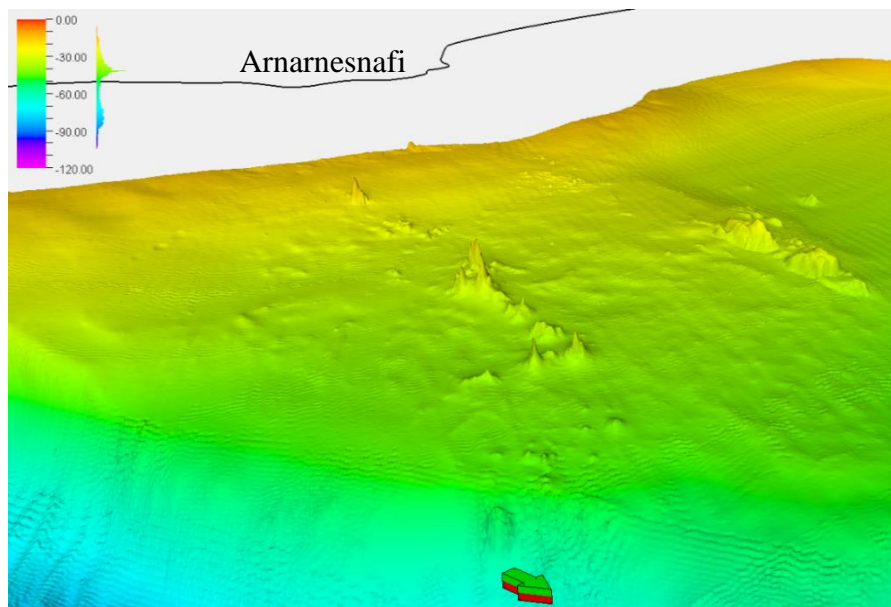
Jón Benjamínsson (1988). Jarðhiti í sjó og flæðarmáli við Ísland. *Náttúrufræðingurinn* 58, 153–169.

Viggó Þ. Marteinsson, Jakob K. Kristjánsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Dahlkvist, M., Kristján Sæmundsson, Hannington, M., Sólveig K. Pétursdóttir, Geptner, A. og Stoffers, P. (2001). Discovery and description of giant submarine smectite cones on the seafloor in Eyjafjörður, northern Iceland, and a novel thermal microbial habitat. *Applied and Environmental Microbiology*, 67, 827–833.

Haustráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
17. nóvember 2017



Arnarnesstrýtur og önnur jarðræn fyrirbrigði á grunninu út af Arnarnesnöfum.



Arnarnesstrýtur, fjölgeislamynd byggð á gögnum Norðurorku og Sjósmælinga Landhelgisgæslunnar.

Eru Hljóðaklettar og Rauðhólar í Jökulsárgljúfrum gervigígar?

Ásta Rut Hjartardóttir og Páll Einarsson

Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík (astahj@hi.is)

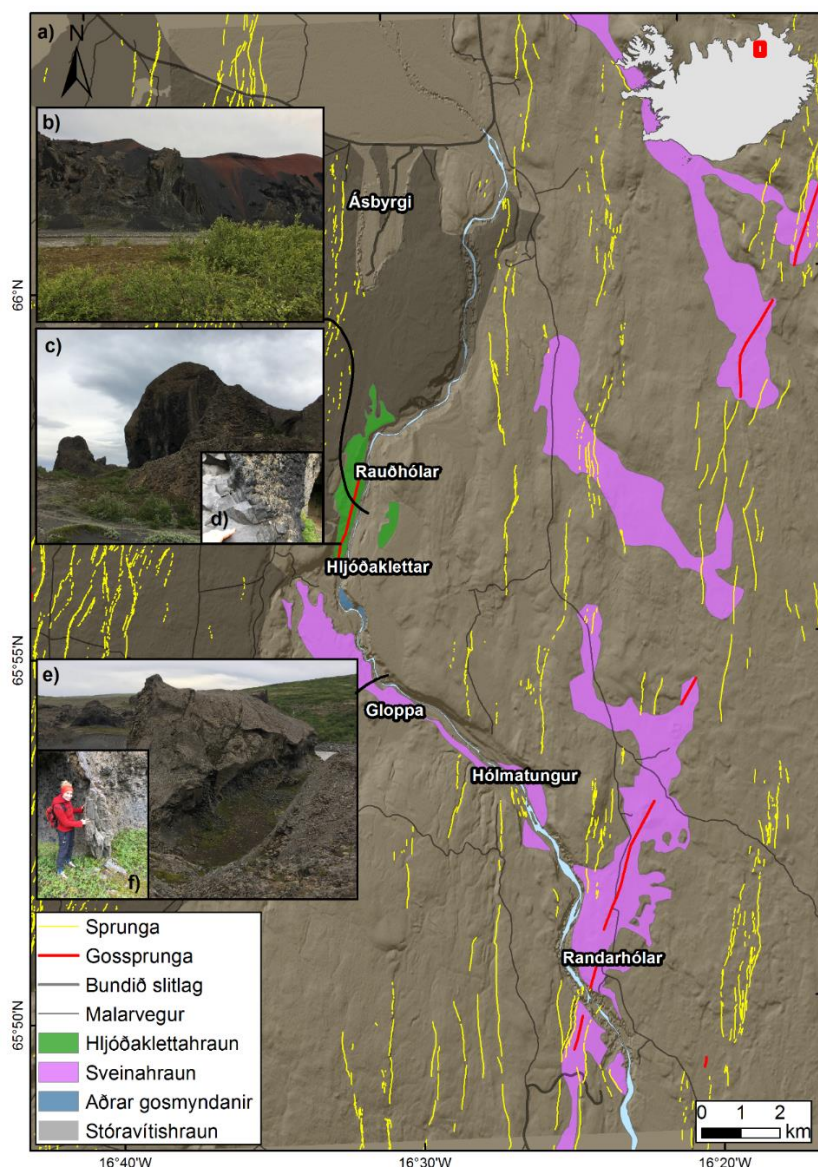
Í Jökulsárgljúfrum má finna hraun sem runnu eftir að ísaldarjökla leysti (mynd 1). Þessar hraun eru Hljóðaklettahraun og Rauðhólar, sem talin eru hafa myndast fyrir um 11.000 árum og Sveinahraun sem myndaðist í eldgosi í Randarhólum við Hafragil á svipuðum tíma (Kristján Sæmundsson o.fl. 2012; Magnús Sigurgeirsson, 2016). Nýlega hefur komið í ljós að Sveinahraunið er líklega tengd eldsumbrotum í Öskju, þegar „Skollalagið“ (S-Kolli) myndaðist (Magnús Sigurgeirsson, 2016). Þetta hraun hefur runnið niður eftir Jökulsárgljúfrum, allt niður í Vesturdal. Stórávítishraun rann einnig í Jökulsárgljúfur, skammt norðan Hljóðakletta. Það hraun er sömuleiðis talið vera myndað fyrir 11-12.000 árum, en er þó eldra en Hljóðaklettar og Rauðhólar (Kristján Sæmundsson o.fl. 2012).

Athyglisvert er að Rauðhólar og Hljóðaklettar eru í beinu framhaldi af Sveinahrauninu sem rann niður Jökulsárgljúfur frá Randarhólasprungunni í Hafragili (mynd 1). Því má velja fyrir sér hvort Hljóðaklettar og Rauðhólar og hraun þeirra séu í raun hluti af Sveinahrauninu. Þannig væru Hljóðaklettar og Rauðhólar myndaðir vegna samspils vatns (frá Jökulsá á Fjöllum) og Sveinahraunsins, og væru því gervigígar en ekki gossprungar.

Nokkur atriði gætu styrkt þessa hugmynd:

1. Hljóðaklettar og Rauðhólar liggja ekki innan sprungusveims og sprungur finnast ekki norður og suður af þeim eins og vanalegt er með gossprungur.
2. Hljóðaklettar og Rauðhólar virðist fylgja Jökulsárgljúfrum fremur en beinni línu.
3. Hraunstallur austur af Hljóðaklettum sem ætlað hefur verið að hafi myndast í Hljóðaklettagosinu er í sömu hæð yfir sjávarmáli og Eyjan í Vesturdal, en hún er hraunstallur sem myndaðist í Sveinahrauninu. Því mætti hugsa sér að þessir hraunstallar hafi myndast í sama atburði og séu leifar af sömu hrauntjörn.
4. Klettar sem eru líkir Hljóðaklettum finnast langt upp eftir Jökulsárgljúfrum, í hraunum sem ætluð hafa verið Sveinagosinu.

Ekkert þessara raka dugur eitt og sér til að sanna eða afsanna þessa tilgátu, en ef þau eru notuð til að skýra þetta sem gervigíga, þá eru til eðlilegar skýringar á öllum þessum frávikum. Stórávítishraunið var „nýrunnið“ þegar Sveinahraun rann, og því er líklegt að það hafi myndað fyrirstöðu norðan svæðisins þar sem Hljóðaklettar og Rauðhólar eru nú. Þegar Sveinahraunið rann niður eftir gljúfrinu myndaðist hrauntjörn á svæðinu í og nærri Vesturdal. Það mætti hugsa sér að gervigígar mynduðust þar sem hraunið lenti í samspili við ána, þ.e.a.s. Hljóðaklettar, Rauðhólar og fleiri slík fyrirbæri upp eftir ánni. Hljóðaklettar og Rauðhólar væru þannig ílangar gervigígamyndanir vegna þess að þetta gerðist í ílöngu gljúfrinu.



Mynd 1. a) Hraun og sprungur við Jökulsárgljúfur. Sveinahraunið rann niður eftir Jökulsárgljúfrum, en örlítið neðar liggur Hjóðaklettahraunið. b) Rauðhólar, séðir austan megin við Jökulsá á Fjöllum. c) Hjóðaklettur, utan á þessum klett finnst enn gjallkápa sem Jökulsá á Fjöllum hefur ekki náð að hreinsa af klettinum. d) Mörk gjallkápunnar og hraunsins undir. e) Finna má kletta ofar í Jökulsárgljúfrum sem líkjast mikið Hjóðaklettum, þessi mynd er tekin austan megin ár. f) Þarna má finna kletta með gjallkápu, líkt og finnst í Hjóðaklettum. Útlínur hrauna eru fengnar frá Kristjáni Sæmundssyni o.fl. (2012), sprungur og gossprungur eru frá Ástu Rut Hjartardóttur o.fl. (2016). Í bakgrunni kortsins er TanDEM-X hæðarlíkan frá þýsku geimferðastofnuninni (DLR). Vegir og ár eru frá IS50 grunni Landmælinga Íslands.

Heimildir

Ásta Rut Hjartardóttir, Páll Einarsson, Sigríður Magnúsdóttir, Þórhildur Björnsdóttir og Bryndís Brandsdóttir, 2016. Fracture systems of the Northern Volcanic Rift Zone, Iceland - an onshore part of the Mid-Atlantic plate boundary, í: Wright, T.J., Ayele, A., Ferguson, D.J., Kidane, T., Vye-Brown, C. (Ritstj.), Magmatic Rifting and Active Volcanism. The Geological Society of London, bls. 297-314.

Kristján Sæmundsson, Árni Hjartarson, Ingibjörg Kaldal, Magnús Á. Sigurgeirsson, Sigurður Garðar Kristinsson og Skúli Víkingsson, 2012. Jarðfræðikort af Norðurgosbelti. Nyrðri hluti. 1:100.000. Reykjavík, Íslenskar orkurannsóknir og Landsvirkjun.

Magnús Á. Sigurgeirsson, 2016. Eldar í Öskjukerfi fyrir um 11 þúsund árum. Náttúrufræðingurinn 86 (3-4), bls. 76-90.

Catalogue of Icelandic Volcanoes (CIV)

Bergrún Arna Óladóttir^{1,2}, Evgenia Ilyinskaya³, Gudrun Larsen², Magnus T. Gudmundsson², Kristin Vogfjord¹, Emmanuel Pagneux¹, Björn Oddsson⁴, Sara Barsotti¹ and Sigrun Karlsdottir¹

¹Icelandic Meteorological Office, Reykjavik, Iceland

²Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Reykjavik, Iceland

³School of Earth and Environment, University of Leeds, Leeds, United Kingdom

⁴Department of Civil Protection and Emergency Management, National Commissioner of the Icelandic Police, Reykjavik, Iceland

The Catalogue of Icelandic Volcanoes (CIV) is an open-access web resource intended to serve as an official source of information about volcanoes in Iceland for the public and decision makers (<http://icelandicvolcanoes.is>). It contains text and graphic information on all active volcanic systems in Iceland, as well as real-time data from monitoring systems in a format that enables non-specialists to understand the volcanic activity status. The CIV data portal contains scientific data on all eruptions since Eyjafjallajökull 2010 and is an unprecedented endeavour in making volcanological data open and easy to access.

Extensive research has taken place on Icelandic volcanism, and the results reported in numerous scientific papers and other publications. In 2010, the International Civil Aviation Organisation (ICAO) funded a three year project to collate the current state of knowledge and create a comprehensive catalogue readily available to decision makers, stakeholders and the general public. The work on the Catalogue began in 2011, and was then further supported by the Icelandic government and the EU through the FP7 project FUTUREVOLC. CIV also forms a part of an integrated volcanic risk assessment project in Iceland GOSVÁ (commenced in 2012).

The Catalogue is built up of chapters with texts and various mapped information for each of the 32 volcanic systems. The contributions can be classified into three types: 1. Text and other material (including maps and tephra grain size data) on geological aspects and eruption history. This constitutes the bulk of the information presented in the catalogue. 2. Sub-chapters on current alert level and activity status for each volcanic system, updated automatically with information from the IMO monitoring network. 3. Sub-chapters on eruption scenarios, based on the eruption history.

This work is a collaboration of the Icelandic Meteorological Office (IMO), the Institute of Earth Sciences at the University of Iceland, and the Civil Protection Department of the National Commissioner of the Iceland Police, with contributions from a large number of specialists in Iceland and elsewhere.

The IMAGE passive seismic project on Reykjanes peninsula, Iceland

Hanna Blanck

ÍSOR, Íslenskar Orkurannsóknir, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Seismological data have not been applied much in geothermal exploration in volcanic environments in the past. New approaches show them to be a valuable pre-drilling exploration tool that can help to improve the understanding of the structure, stress and dynamics present in geothermal systems. Both classical analysis of seismological data as well as newer techniques have been applied to an extensive seismic dataset recorded in Reykjanes peninsula, Iceland. This project is a part of the IMAGE project (Integrated methods for Advanced Geothermal Exploration) which has received funding from the European Community's Seventh Framework Programme under grant agreement No. 608553.

In March 2014 a dense network consistent of 20 Broadband and 10 Short Period seismometers was installed by GFZ and ÍSOR in cooperation with HS Orka on the Reykjanes peninsula in southwest Iceland. Additionally, 24 Ocean Bottom seismometers (OBS) were deployed in the Atlantic Ocean around the peninsula in August 2014 by the Alfred Wegener Institute (AWI) together with ÍSOR and GFZ. The network was designed to monitor the seismic activity along the Mid-Ocean Ridge and to image the Reykjanes geothermal system located at the tip of the peninsula. Additionally, we had access to other (semi-) permanent seismic networks in the area which provided another 30 stations. This adds up to a total of 84 seismometers in an area that is about 90 km in diameter. From this unique data set an earthquake catalogue was created which contains more than 2000 events, the majority of them inside the geothermal field and along the Mid-Ocean Ridge. The earthquakes were automatically picked and located with the Seiscomp3 software and later manually revised. Rupture mechanisms were analyzed in and around the geothermal area on the Reykjanes geothermal area

During this project another method, which is still completely new to seismics, has been successfully tested. The DAS method, which is still completely new to seismics, makes use of a fiber optic cable as a passive sensor, is applied for the first time to record earthquakes. In March 2014 such a fiber optic cable was installed to a depth of 175 m in the newly drilled borehole RN-34 in the Reykjanes geothermal area. Further, a 15 km long surface fiber optic cable connecting the Reykjanes and the Svartsengi geothermal area was available. This cable is used for telecommunication but one fiber was not in use and could be used for our measurements. For a period of 9 days in March 2015 these 2 cables were used as passive sensors. A laser beam is sent into the fiber, the light is scattered at impurities inside the fiber and partly reflected. When a seismic wave hits the fiber, it will cause deformation and change the optical path length between those impurities. This length change is then recorded as a phase change of the reflected light over time. Various tests were carried out and several earthquakes could be recorded.

Haustráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
17. nóvember 2017

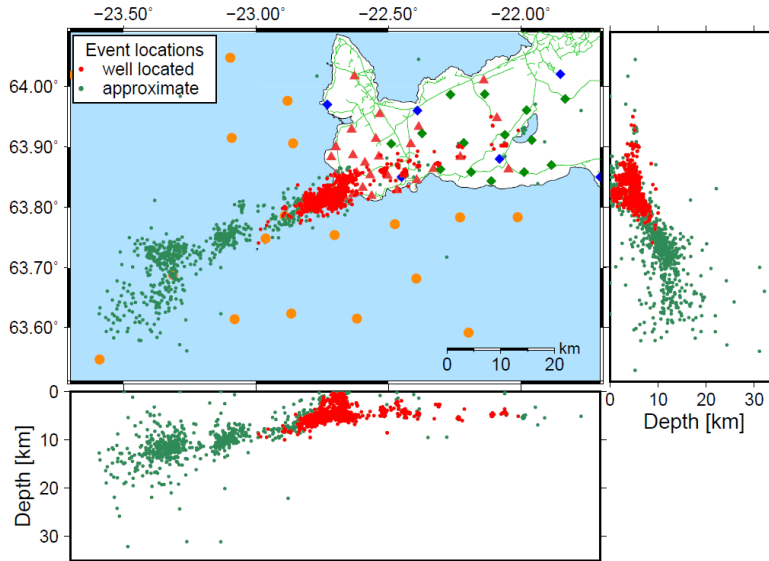


Figure 1: Temporary seismic network on Reykjanes peninsula consisting of 84 seismometers including 24 Ocean Bottom Seismometers and recorded earthquakes. Well located earthquakes are plotted red and approximate locations green.

The Laschamp Excursion and Today's Earth's Magnetic Field

Maxwell Brown¹, Monika Korte², Richard Holme³, Ingo Wardinski⁴ and Sydney Gunnarson⁵

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

²GFZ German Research Centre for Geosciences, Telegrafenberg, 14473, Potsdam, Germany

³School of Environmental Sciences, University of Liverpool, Liverpool L69 3GP, UK

⁴LPG, Université de Nantes, UMR 6112 CNRS, F-44322 Nantes Cedex 3, France

⁵Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Sturlugata 7, 101 Reykjavik, Iceland

Palaeomagnetic data from marine and lake sediments provide observational evidence of numerous geomagnetic field excursions during the Quaternary. We have developed a new temporally continuous global spherical harmonic geomagnetic field model covering 50-30 ka, which allows us to investigate the global behaviour of the most well documented of all excursions, the Laschamp (~41ka), and a less well defined excursion, the Mono Lake (~32-35 ka). Using this model we can start to understand the temporal and spatial evolution of these events, both at Earth's surface and at the core-mantle boundary, bringing insights into the processes that initiate geomagnetic excursions. Our model allows us to investigate ~7 ka of field behaviour prior to the major directional changes associated with the Laschamp excursion. During this time, we note the recurrence of field structures similar to today's South Atlantic anomaly (SAA), an area of reduced magnetic field strength that has been suggested to be the early stages of an excursion. However, the SAA-like structures prior to the Laschamp excursion are transient and do not lead to the initiation of the Laschamp excursion. Furthermore, the Laschamp and Mono Lake excursions are preceded by a series of field structures quite different to those we see today.

Volcanic systems and structural styles along fracture zones in the central Northeast Atlantic, possible analogue applications for Iceland

A. Blischke¹, Ö. Erlendsson², B. Brandsdóttir³, M.S. Stoker² and C. Gaina⁵

¹Iceland GeoSurvey, Branch at Akureyri, Rangárvöllum, 602 Akureyri, Iceland

²Iceland GeoSurvey, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík, Iceland

³Institute of Earth Science, Science Institute, University of Iceland, Askja, Sturlugata 7, 101 Reykjavík, Iceland

⁴Australian School of Petroleum, University of Adelaide, Adelaide, South Australia 5005, Australia

⁵Centre for Earth Evolution and Dynamics, University of Oslo, Sem Sælands vei 24, P.O. Box 1048, Blindern, NO-0316 Oslo, Norway

Keywords:

East Greenland, Blosseville Kyst, Iceland Plateau, Jameson Land, Jan Mayen, microcontinent, plateau basalts, pre-breakup formations, rift transition, seaward dipping reflectors, Scoresby Sund, sequence stratigraphy, volcanic margin, volcanic facies.

Abstract:

Detailed tectonostratigraphic framework modelling is being conducted for the Jan Mayen microcontinent (JMMC) and central East Greenland areas. This modelling approach implements previous regional scale models and local structural and stratigraphic mapping results that are based on densely spaced seismic reflection and refraction data, borehole and seafloor data, as well as potential field data, such as magnetic anomaly, gravity datasets. The new model spans the primary North Atlantic breakup setting from ~56-55 Ma and secondary local breakup processes from ~49-21 Ma between central East Greenland and the Jan Mayen microcontinent. The reconstructions of the Jan Mayen microcontinent and surrounding oceanic crustal evolution demonstrate a clear correlation to central East Greenland, with respect to major structural boundaries and unconformities within its stratigraphic record. The oblique rift system caused uplift with intrusive and hydrothermal vents activity along the southern and southeastern flank of the JMMC. Simultaneous igneous activity is recorded along the northeastern margin of the Blosseville Kyst in central East Greenland. Extensive lava flows and flank intrusions accompanied a ridge relocation generating an en-echelon, a-magmatic rift system from the southern extent of the microcontinent during Late Eocene to Early Oligocene (33.1Ma). Increased volcanism occurred along the southwestern flank of JMMC and the southeastern margin of the Blosseville Kyst during the final microcontinent formation in early Miocene (24-21Ma) with the complete formation of Kolbeinsey Ridge.

This is the first time that smaller-scale structural and igneous features are used for reconstructing the initiation of Iceland and its surrounding regions. We have identified many submerged volcanic systems, specifically close to fracture zones and several smaller-scale structural lineaments that assisted in the JMMC plate boundary reorganisation. Igneous complexes that formed during the Oligocene epoch (33Ma – 23 Ma), a time interval of early formation of the Iceland main land, were also identified and included in detailed plate tectonic reconstructions.

Such an understanding of the underlying deep structures is of importance for exploration projects, specifically for Iceland's low temperature areas, as they govern local changes in structural orientation of permeable structures, or the forming of regional structural barriers, such as fracture zones or micro-plates with their individual unique set of boundary conditions and tectonic history.

How can earthquakes illuminate the tectonics of dike intrusions? Examples from the Krafla 1975-1984 and Bárðarbunga, 1996-2015 rifting events

Bryndís Brandsdóttir¹, Þorbjörg Ágústsdóttir², Jenny Woods², Clare Donaldson², Robert S. White² and Páll Einarsson¹

¹Institute of Earth Science, Science Institute, University of Iceland, Askja, Sturlugata 7, 101 Reykjavík, Iceland

²Bullard Laboratories, Department of Earth Sciences, University of Cambridge, Cambridge, UK

Recent rifting events in Iceland have greatly improved our understanding of crustal formation along divergent plate boundaries, through the propagation of subsurface dikes and evolution of surface eruptive fissures. Seismicity during the initial Krafla rifting-eruption event, December 1975 - February 1996, illuminated the trajectory of a lateral magmatic intrusion, from the center of the Krafla caldera along the fissure swarm, in both directions. The dike propagated 40 km distance in about 2 hours. Focal mechanism solutions from the best constrained intrusive event, September 1977, indicated normal or reverse faulting with a strike-slip component. Epicentral zones of several rifting events are aligned in an en-echelon distribution along the fissure swarm, each zone striking perpendicular to the spreading direction. Extensive surface rifting was observed within these zones, during each event.

In August 2014, magma propagated laterally from the subglacial Bárðarbunga volcano along a 48 km long path over a 14 day period. With a dense network of modern digital instruments >30,000 earthquakes were located at 5–7 km depth along en-echelon segments of the propagating path before the dike breached the surface in an eruption on 29 August 2014. The seismicity advanced in short bursts at 0.3–4.7 km/h separated by pauses of up to 81 hours. Moment tensor solutions from the leading edge show exclusively left-lateral strike-slip faulting sub-parallel to the advancing dike tip, releasing accumulated strain deficit in the brittle layer of the rift zone. Behind the leading edge, both left- and right-lateral strike-slip earthquakes are observed. Although the dike inflated largely aseismically within the pervasive rift fabric of fissure swarm, a closer examination of the data has revealed small-magnitude, shallower LF events along sections of the dike path in the Holuhraun rift valley. In a similar way to the 2014 Bárðarbunga-Holuhraun intrusion, the 1996 Bárðarbunga-Gjálp eruption was preceded by intense seismicity within the Bárðarbunga caldera over a period of over 24 hours and lateral migration of earthquakes to the south of the caldera, were the dike reached the surface at the base of the glacier, midway between the Bárðarbunga and Grímsvötn central volcanoes. As in Krafla, LF earthquakes and abrupt decrease in seismicity were observed prior to the initiation of the Gjálp eruption.

Detailed real-time digital monitoring of LF earthquakes should be established as numerous rifting events have shown them to be important short-term seismic precursors to surface faulting and fissure eruptions.

Suðurlandsskjálfti 2008. Áhrif á jarðhitakerfi

Daði Þorbjörnsson

ÍSOR, Íslenskar Orkurannsóknir, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Þann 29. maí 2008 riðu jarðskjálftar yfir Ölfus. Upptök stærsta skjálftans, sem var um 6,3 að stærð, voru um 8 km vestnorðvestur af Selfossi. Í kjölfar skjálftanna mældu starfsmenn ÍSOR og OR vatnsborð í fjölmörgum borholum á Suðurlandi til að meta þrýstingsbreytingar í grunnvatns- og jarðhitakerfum af þeirra völdum.

Þar sem niðurstöður mælinga á vatnsborðsbreytingum í kjölfar Suðurlandsskjálftanna árið 2000 reyndust mjög merkilegar var strax ráðist í að mæla áhrif þessara skjálfta á grunnvatnsstöðu á svæðinu. Þá var upplýsingum úr síritum einnig safnað saman og öðrum upplýsingum sem hægt var að fá. Alls fengust upplýsingar úr 66 borholum allt frá Heiðmörk og austur fyrir Þjórsá. Dýpi á vatnsborð í fæstum þessum borholum er mælt reglulega og því var kappkostað að mæla vatnsborð í þeim eins fljótt eftir skjálftana og auðið var og endurtaka svo mælingarnar á næstu dögum og vikum til að meta hvort vatnsborðið hefði hækkað eða lækkað við skjálftana.

Reynsla frá vatnsborðsmælingum í jarðskjálftunum árið 2000 sýndi að breytingar á vatnshæð næstu daga eftir skjálftana voru öfug við það sem varð í skjálftunum sjálfum. Vatnshæð leitaði með öðrum orðum til baka í fyrri stöðu. Þar sem óvíða voru til mælingar rétt fyrir skjálftana þann 29. maí 2009 er mat á breytingu byggt á risi eða falli vatnsborðs næstu daga eftir atburðina. Þannig er það túlkað sem að þrýstingsaukning hafi átt sér stað þar sem vatnsborð féll dagana á eftir. Ef samtímis eru miklar breytingar á vatnshæð af öðrum ástæðum getur það haft áhrif á matið.

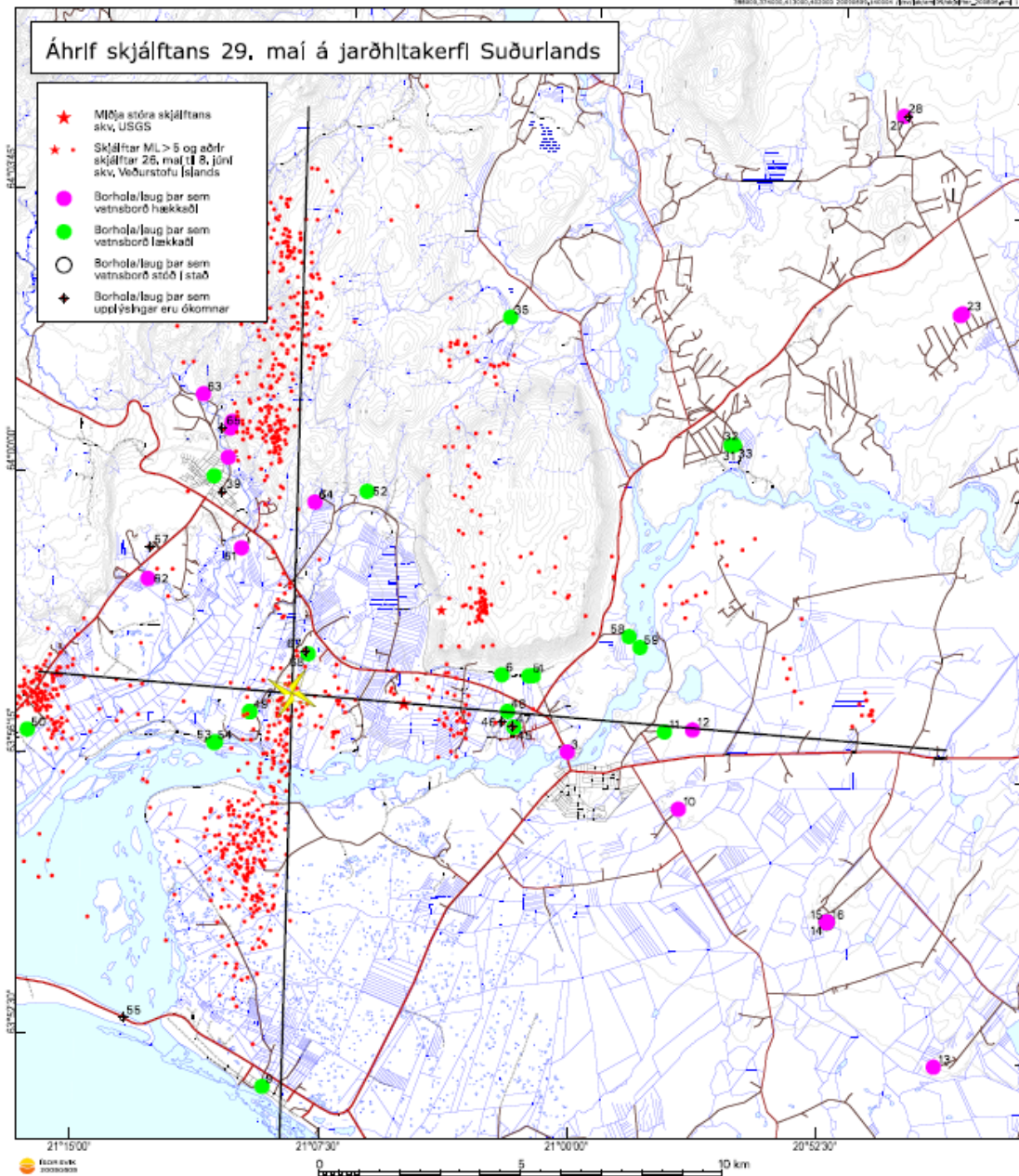
Borholurnar sem skoðaðar voru í kjölfar skjálftanna eru mjög misdjúpar. Sumar eru boraðar sem jarðhitaholur, aðrar sem ferskvatnsholur og enn aðrar sem rannsóknarholur. Það getur orkað tvímælis að bera slíkar holur saman við 1-2 kílómetra djúpar holur. Það er því æskilegt að taka gögnum úr sumum borholum með fyrirvara. Þess ber þó að geta að þær passa vel inn í heildarmyndina.

Gerð var tilraun til að ákvarða skjálftamiðju stærsta skjálftans út frá þeim borholugögnum sem liggja fyrir. Ef dregin eru tvö hornrétt plön á milli svæða þar sem þrýstilækkunar og þrýsti-hækkunar verður vart, eins og gert var eftir Suðurlandsskjálftana árið 2000 (Grímur Björnsson o. fl., 2001 a,b), ættu þau að mætast í skjálftamiðjunni.

Mynd 1 sýnir áhrif skjálftans eða skjálftanna á vatnsborð í borholum á Suðurlandi, frá Hellisheiði austur í Flóa. Við skjálftana hækkaði vatnsborð suðaustan og norðvestan við skjálftamiðjuna en lækkaði suðvestan og norðaustan við hana. Frá þessu eru þó frávik sem má að líkindum rekja til þess að fleiri en einn skjálfti varð á nánast sama tíma. Þessi ákvörðun á upptökum er nokkurs konar meðaltal eða vægismiðja af báðum skjálftunum og rúmmálsbreytingu bergs (e. volumetric strain). Á mynd 1 má einnig sjá dreifingu eftirskjálfta. Þeir verða þar sem enn er spennan í jarðskorpunni sem ekki hefur losnað að fullu í aðalskjálftunum. Á svæðinu frá því ásnir skerast og um þrjá km til norðurs er mun minna af eftirskjálftum sem skýra má með meiri spennulosun í stærsta skjálftanum.

Eins og sjá má á mynd 1 lenda holurnar við Þorleifskot á eða mjög nálægt austur-vestur plani á milli svæða þar sem þrýstingur eykst eða minnkar (hnútplani). Borholur við Árbæjarhverfi lenda á sama plani en nánast engin breyting mældist í þeim þrátt fyrir nálægð þeirra við upptök skjálftanna.

Nokkrum dögum áður en jarðskjálftarnir gengu yfir hafði verið gerð afkastamæling á grunnri borholu, VSS-18 (74368) sem er sunnan undir Ingólfsfjalli. Þar sem dæla var enn í holunni var ákveðið að endurtaka prófunina. Vatnsborð í holunni og öðrum holum í nágrenninu lækkaði við skjálftana. Við endurtekningu á prófuninni kom í ljós að niðurdráttur við dælingu úr holunni var minni en fyrir skjálftana. Útreikningar leiddu í ljós að eiginleikar holunnar sjálftrar voru óbreyttir frá því sem var en lagstreymistap hafði minnkað. Vatn átti m.ö.o. greiðari leið um jarðlögin umhverfis holuna en fyrir skjálftann (Daði Þorbjörnsson o.fl., 2008).



Mynd 1. Áhrif jarðskjálfta í Ölfusi 29. maí 2008 á vatnsborð í borholum á Suðurlandi. Grænir punktar sýna borholur þar sem vatnsborð lækkaði en vínráðir punktar sýna borholur þar sem vatnsborð hækkaði. Áætluð staðsetning upptakapunkts út frá gögnum um vatnsborðsbreytingar er merkt með gulri stjörnu. Bandaríska jarðfræðistofnunin (USGS) staðsetti stærri skjálftann og má sjá staðsetningu hennar merktá með lítilli rauðri stjörnu ríflega 2 km austan við stóru gulu stjörnuna. Holurnar hafa verið númeraðar

Haustráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
17. nóvember 2017

Heimildir:

Daði Þorbjörnsson, Guðjón Eyjólfur Ólafsson og Þórólfur Hafstað, 2008: *Árborg – Tilraunaboranir á vatnsbólssvæði*. Greinargerð ÍSOR-08083. Unnið fyrir Selfossveitur.

Grímur Björnsson, Kristján Sæmundsson og Ólafur G. Flóvenz, 2001 (a): *Áhrif Suðurlands skjálfta á jarðhitakerfi*. Tæknivísir 2001 bls. 44-51.

Grímur Björnsson, Ólafur G. Flóvenz, Kristján Sæmundsson and Einar H. Einarsson, 2001 (b): *Pressure changes in Icelandic Geothermal Reservoirs Associated with two large Earthquakes in June 2000*. Proceedings, Twenty-sixth Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University, Stanford, California, January 29-31, 2001.

Jarðhitaleit við Ölfusá á Selfossi

Heimir Ingimarsson, Þórólfur H. Hafstað og Ögmundur Erlendsson

Íslenskar orkurannsóknir (ÍSOR)

Á síðustu tveimur árum hefur verið í gangi jarðhitaleit á vegum ÍSOR við Ölfusá á Selfossi fyrir Selfossveitur. Sú leit hefur að verulegu leyti byggð á fyrri rannsóknum á svæðinu sem gerðar voru í byrjun 10. áratugar síðustu aldar af Helga Torfasyni o.fl. (1990; 1992) en athyglinni í þeim rannsóknum hafði fyrst og fremst verið beint að náttúrulegum jarðhitastöðum í og við Ölfusá. Jarðhiti á yfirborði finnst á tveimur stöðum innan Selfossbæjar, annars vegar norðan við Ölfusárbrú þar sem jarðhiti á 25-30 m breiðri og yfir 100 m langri spildu sem stefnir rétt austan við norður, og hins vegar skammt norðvestan við Selfosskirkju þar sem hiti er á um 100 langri og 25-30 m breiðri spildu sem stefnir í norð-austur. Báðir staðirnir eru á eyrum við Ölfusá og flæðir áin yfir þá þegar hátt er í henni. Jarðhiti á svæðinu við Ölfusá er líklega tengdur brotasvæði með NA-SV stefnu og uppstreymi jarðhitans sé svo um skástígar sprungur með NNA-SSV stefnu.

Snemma árs 2016 var ráðist í athuganir á möguleikum til jarðhitaöflunar á Selfossi. Þær beindust fyrst og fremst að svæðinu utan Ölfusár, allt frá Ölfusárbrú og niður með ánni til norðurs og vesturs ofan við Silungaklöpp. Þarna hafa voru boraðar fimm hitastigulsholur (SE-26 til SE-31) en þær eru 60-500 m djúpar og þar af ein (SE-28) boruð 205 m á ská undir Ölfusá. Til að byrja með var sjónum beint að líklegu hitastigulshámarki í SE-24 á Silungaklöpp en hún er norður af jarðhitasvæðinu við Selfosslaug handan árinna. Niðurstöður hitastigulsborana í grennd við holu SE-24 skiluðu ekki árangri Í stuttu máli má segja að heildarmyndin af jarðhita á svæðinu hafi ekki skýrst að neinu marki og hitamælingarnar í skáholunni SE-28 aukið á flækjustig rannsókna enn frekar.

Áfram þokaðist þó jarðhitaleitin á vesturbakka Ölfusár og snemma árs 2017 tók leitin jákvæða stefnu þegar rannsóknarholurnar SE-32 og SE-33 voru boraðar. Holan SE-32 er með mjög háan hitastigul og því líklega nærri vatnsgefandi sprungu. Holan SE-33 hitti í sprungu með um 50°C heitu vatni nálægt botni á innan við 200 m dýpi og gaf þar af leiðandi mikilvægar upplýsingar um hvernig uppstreymi jarðhitans á svæðinu er háttað.

Talið var að sprungunum halli 3-5° frá lóðréttu niður til suðausturs. Út niðurstöðum sem fengust með borunum á þessum tveimur holum lagði ÍSOR til að boruð yrði dýpri rannsóknarholan rétt sunnan við holu SE-33. Með borun hennar (SE-34) var ætlunin að bora 300-500 m djúpa holu til sprungumælinga með holusjá en jafnframt var gert ráð fyrir að hægt væri að breyta henni í vinnsluholu með rýmingu ef ástæða þætti til.

Skemmst er frá því að segja að SE-34 var boruð í apríl og maí á þessu ári og varð 864 m djúp. Holan hitti á um 73°C heitt jarðhitakerfi fyrir neðan 200 m. Ákveðið var að breyta henni í vinnsluholu eftir að hún hafði verið mæld með holusjá í borlok. Holan var rýmuð fyrir vinnslufóðringu niður á 214 m dýpi í júní og síðan dæluprófuð. Fljótlega kom í ljós að hún hafði verið fóðruð of grunnt þar sem kæling kom í ljós rétt fyrir neðan fóðringu. Fóðring var því dýpkuð síðla sumars niður á 300 m til að útloka kaldari innrennsli á rúmlega 200 m dýpi í holunni. Önnur dæluprófun var gerð á holunni núna í haust og lofa niðurstöður góðu; upp fékkst 72°C heitt vatn (15 L/s) með litlum niðurdrætti vatnsborðs. Holan er því nothæf vinnsluhola

Sprungutúlkun holusjargagna úr holunni leiðir í ljós að stríkstefna sprungna er NA-SV og halla ýmist til NV eða SA. Það er í samræmi við fyrri athuganir Helga Torfasonar o.fl.. Sprungur eða sprungusveimar má tengja við æðar í flestum tilfellum en halli virðist vera meiri en ætlað var.

Á næstu misserum munu fara fram áframhaldandi rannsóknarboranir norðan við Ölfusá til að kanna möguleika á enn frekar jarðhitavinnslu á svæðinu.



Mynd 2. Sjá má staðsetningu rannsóknarholna beggja vegna Ölfusár í kortasjá Orkustofnunar (www.map.is/os, Loftmyndir ehf.).

Heimildir

Helgi Torfason (1990). Hitaveita Selfoss. *Jarðhitarannsóknir við Selfoss fyrri hluta árs 1990*. Orkustofnun, OS-90045/JHD-26 B. 19 s.

Helgi Torfason, Magnús Ólafsson og Jens Tómasson (1992). *Hitaveita Selfoss. Rannsóknarboranir við Selfoss í desember 1991 og janúar 1992*. Orkustofnun, OS-92028/JHD-12 B. 37 s.

Þórólfur H. Hafstað og Heimir Ingimarsson (2016). *Selfoss. Jarðhiti við Ölfusá*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-16030. 15 s.

Þórólfur H. Hafstað og Heimir Ingimarsson (2016). *Selfossveitur. Hitastigull við Ölfusárbrú*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-16070. 13 s.

Jarðfræði í rótum háhitakerfa

Hjalti Franzson

ÍSOR, Íslenskar Orkurannsóknir, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Jarðskorpan á Íslandi hefur háan hitastigul. Hitnunin er hæst neðan megineldstöðva þar sem háhitakerfin ríkjja, vegna grynri hitagjafa. Þau háhitakerfi sem rannsökuð hafa verið með borunum sýna að innskot aukast neðan um 1000 m dýpis og verða ráðandi neðan 2 km dýpis. Í þessari samantekt eru rætur háhitakerfa skilgreind sem þau svæði þar sem varmanám á sér stað. Jarðfræðileg tengsl lektar í borholum hafa verið rannsökuð í nokkrum háhitakerfum, svo sem Svartsengi-Eldvörpum, Nesjavöllum og Hellisheiði, og þar hafa komið fram ákveðin tengsl við innskot. Þótt slík einkenni séu áberandi virðist sem fjöldi vatnsæða minnki er komið er niður fyrir 2 km dýpi í holunum þrátt fyrir að innskotum fjölgi.

Rannsóknir á tengslum núverandi berghita við ummyndun, með hjálp mælinga á samrunahita í vökvabólum, hafa sýnt fram á breytingar sem orðið hafa innan háhitakerfanna frá síðasta jökulskeiði til nútíma. Megin niðurstöður þessara rannsókna eru að háhitakerfin voru almennt viðameiri og heitari á jökulskeiði en þau eru í dag. Almennt er þrýstingur í grunnvatnskerfi sem umlykur háhitakerfi mun hærri, sem veldur því að ef lekatengsl myndast þar á milli veldur það innflæði í það síðarnefnda. Styrkur grunnvatnskerfa innan gosbeltis á nútíma er mjög háður sprungulekt. Aukin ferging með dýpi veldur því að sprungur sem eru opnar á yfirborði lokast er neðar dregur og við það minnkar lekt sem sést meðal annars í hitastigli neðan grunnvatnskerfanna. Á jökulskeiði má ætla að jökullinn fergi sprungur á sama máta enn frekar sem leiðir til þess að lekt á þeim minnkar og þar með líkindin fyrir samtengingu grunnvatns- og háhitakerfis. Einnig má ætla að meginhluti úrkomu á jökulskeiði nái aldrei niður í berggrunn heldur færist til sjávar sem ís. Þessi grundvallarmunur milli aðstæðna á jökulskeiði og nútíma gerir það að verkum að háhitakerfi eru einráðari og eiga síður á hættu að tengjast köldu grunnvatnskerfi á jökulskeiði en á nútíma. Aukin tengsl milli kerfa á nútíma sjást víða sem aukið varmanám í háhitakerfum, en virðist samt ekki ná mikið lengra en niður á um 2 km dýpi, en þar neðan við tekur við brattur hitastigull sem merkir þéttara berg. Slíkar breytingar sjást einkar vel á Nesjavöllum, Hellisheiði, Ölkelduhálsi og Svartsengi-Eldvörpum og svipuð einkenni sjást í háhitakerfum á Norðurlandi sem ekki er fjallað um hér. Dýpi þessa varmanáms er þó að einhverju leyti háð einstökum svæðum. Þótt einkenni aukins varmanáms sé víða að finna í háhitakerfum á nútíma er það fjarri að slíkt sé einhlýtt. Sterkar vísbendingar finnast um „nýhitnun“ innan marka þriggja háhitakerfa, byggða á samanburði berg- ummyndunar- og vökvabóluhita. Fyrsta dæmið er tengt Stampagosinu á Reykjanesi frá 1226, annað frá Eldvarpagosinu frá sama tíma. Þriðji staðurinn er Nesjavellir, en þar er ekki ljóst hvort það tengist samtíma gosvirkni. Þessi „nýhitnun“ er talin komin mun dýpra úr skorpunni, og tengjast samtíma gosgöngum. Slík tenging verður samt að hafa þá forsendu að kerfið hafi aðgang að einhverri grunnvatnskeldu sem náð hefur að flæða niður að hitagjafanum, hitna upp og streyma til yfirborðs.

Seismotectonics of the Geysir Area in South Iceland during the period 1995 to 2001

Ingi Þ. Bjarnason¹, Bergþóra S. Þorbjarnardóttir¹, and Ragnar Stefánsson²

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

²University of Akureyri, Iceland.

We present earthquake relocations with good relative accuracy for an extended area (27x27 km²) around the Geysir geothermal field in Iceland. Original phase data were received from earthquake catalog of the Icelandic Meteorological Office for the years 1995–2001, and further processed with the double-difference relative earthquake location method (Waldhauser and Ellsworth, 2000). The area encloses seismicity 7 km south and 20 km north of Geysir, in a zone extending partly into the neovolcanic zone in the west. Seismicity in the area was moderately active during the years 1995 up to 16 June 2000, but became highly induced following two large earthquakes in the South Iceland Seismic Zone (SISZ) in June 2000. Geysir is some 40 km N and NNE of the year 2000 mainshocks and in perfect strike of the fault of the earlier mainshock. The rate of seismicity tapered down in 2001, but was still higher than prior to the June 2000 events. Since 2002 the rate has been moderate.

Seismic lineation suggests two main fault populations in the study area: NNE to NE striking near vertical fault segments up to ~4 km long (possibly 10 km or ~20 km long faults, however, not delineated the whole length), and less frequent ~ENE striking segments up to ~2.5 km of length sometimes in *en echelon* arrangement. The rifting direction in the area is ~N130°E. The ENE segments are also near-vertical in the depth range 4–8 km. Right-lateral strike-slip movement has been determined on some of the NNE to NE striking fault segments in the extended Geysir area, a sense of motion comparable to N-S strike-slip faults observed in the SISZ. Assuming the same stress field source, the ENE segments are likely to be left-lateral strike-slip conjugate faults.

Near (< 5 km) to the Geysir geothermal field, we observe numerous near-vertical ~NNE to NE striking seismic patterns, that suggest movement along correspondingly oriented faults. The hypocenter depths are well-constrained in this area due to the proximity of a seismic station (< 5 km) and abundance of shear-wave travel times. Most of the seismicity lies at 0–3 km depth, which is unusually shallow for seismicity on well-defined tectonic faults in South Iceland. The presumed fault segment, feeding the Geysir geothermal field, was, however, hardly observed as far as seismicity was concerned during this period. In the two weeks following the June 2000 mainshocks, a high rate of induced seismicity occurred on the ~NNE to NE striking faults near Geysir. If the rifting direction defines the minimum stress (σ_3) direction, these fault segments are not in the optimal shearing direction. The NE striking fault segments are perpendicular to σ_3 . They may have an opening component, explaining the existence of the Geysir geothermal area.

About 11 km north of the Geysir geothermal field (2–7 km north of Mt. Sandfell), diffused patterns of seismicity are observed at depth of 4–8 km. The largest extends laterally ~1.5 and 6.5 km, and is elongated in ENE-WSW direction. These patterns may have shallower dip than the commonly observed near-vertical dips in the study area, but may be difficult to constrain (multiple faulting directions). This seismicity was more persistent during the entire period 1995–2001 than in other parts of the study area, and has been so to present. Compared to the near Geysir earthquakes, that were induced within hours and days of the 2000 mainshocks, there was a longer delay (> 2 weeks) in the main onset of induced seismicity in this area.

Unusual seismicity is observed under Mt. Högnhöfði, with faulting length vs width (depth) ratio of 3.5:8 km. Even though absolute hypocenter depths may not be well constrained in this area, faulting extends to depth of at least 8 km.

Bárðarbunga eftir gos

Kristín Jónsdóttir¹, Vala Hjørleifsdóttir², Halldor Geirsson³, Andy Hooper⁴, Eleonora Rivalta⁵, Felix Rodriguez Cardozo², Magnus Tumi Gudmundsson³ og Sara Barsotti¹

¹Veðurstofa Íslands, ²UNAM Mexico, ³Jarðvísindastofnun, ⁴University of Leeds, ⁵GFZ

Náttúruváreftirlit á Íslandi byggir að verulegu leiti á jarðskjálftamælingum. Í dag streyma allir ríflega 80 jarðskjálftamælar Veðurstofunnar gögnum í rauntíma og í hverri viku greinir sjálfvirkt kerfi um 500 skjálfta á Íslandi, staðsetur þá og reiknar m.a. stærð og brotlausnir. Í umbrotunum í Bárðarbungu, sem stóðu yfir frá miðjum ágúst 2014 til loka febrúar 2015, nam kerfið tugi þúsunda skjálfta og við upphaf umbrotanna mældust nokkur þúsund skjálftar daglega. Umbrotin einkenndust m.a. af öskjusigi sem er tiltölulega sjaldgæfur atburður og fengu vísindamenn einstakt tækifæri til ólíkra jarðeðlis- og jarðefnafræðilegra mælinga og að fá innsýn í hegðun eldstöðvarinnar. Bárðarbunguaskjan sem er 8x11 km í þvermál, seig hægt og í sama takti og hraun sem kom upp á sandsléttum norðan Dyngjujökuls. Sigið orsakaði um 80 jarðskjálfta af stærð 5 til 5,8. Gosvirknin var mest fyrstu vikurnar en smámsaman dró úr gosinu og að lokum stöðvaðist öskjusigið og hraunflæðið og sömuleiðis dró úr skjálftavirkninni.

Hálftu ári seinna (í september 2015) jókst skjálftavirknin í öskjunni á ný og stendur sú virkni yfir enn. Skjálftarnir raða sér á öskjubarminn líkt og á meðan að öskjusiginu stóð, með mestu virkni á norðurhluta öskjubarmsins og einnig mikla virkni á suðurhluta hans. Skjálftavirknin hefur magnast smám saman og þó að tíðni skjálfta hafi ekki aukist verulega mælast sífellt stærri og stærri skjálftar í þessari hrinu. Þegar þetta er skrifað hafa tveir skjálftar af stærð 4,7 mælst og tugir skjálfta um fjórir að stærð.

Í erindinu verður greint frá fylgnigreiningu á bylgjuformum öskjuskjálftanna. Fylgnigreiningin leitar að líkum skjálftum í hinu stóra gagnasetti. Hún sýnir að vorið 2015 varð greinileg breyting á bylgjuformum. Með því að leyfa andstæða fylgni (anti-correlation) kemur skýrt í ljós að umpólun á sér stað um svipað leiti og öskjusigi lýkur. Niðurstöðurnar benda til að hreyfingar á hringsprungum öskjunnar hafi snúist við fljótlega eftir að gosi lauk. Þær má því túlka sem svo að askjan hafi verið að rísa síðan vorið 2015. Sú staðreynd að öskjuskjálftarnir hafa verið að stækka með tíma gæti endurspeglad að öskjubrotið sé að styrkjast og gróa með tímanum eftir hið mikla öskjusig sem veikti sprungurnar verulega.

Mat á spennu í skorpunni á Íslandi og vatnsleiðni í sprungum (Estimating crustal stress and fracture permeability)

Kristján Ágústsson og Sigurveig Árnadóttir

ÍSOR, Íslenskar Orkurannsóknir, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Undanfarin ár hefur GFZ í Þýskalandi unnið að því að safna upplýsingum um spennuástand jarðskorpunnar. Rannsóknarverkefnið heitir „World Stress Map“. Þar hefur verið settur upp gagnagrunnur með þessum upplýsingum og eru þær aðgengilegar á netinu (<http://www.world-stress-map.org>). Einn þáttur Evrópusambandsverkefnisins IMAGE var nánari rannsókn á spennuástandi á Íslandi og var verkefnið styrkt af 7. Rammaáætluninni samkvæmt samningi 608553.

Eftir að birt hafði verið grein með niðurstöðum (Ziegler et al., 2016) var ákveðið að halda áfram með þessa kortlagningu. Fyrir valinu urðu Skagafjörður og Hveravellir og norðausturland en í fyrrnefndri grein voru nánast engar upplýsingar um þau svæði. Þessi þáttur var unninn af háskólanum í Bari (UNIBA) með þátttöku ÍSOR og einnig styrktur af IMAGE verkefninu.

Þessar athuganir miðast við að kortleggja mestu láréttu svæðisbundna spennu á Kvartertíma. Því eru ekki notaðar upplýsingar frá virkum megineldstöðum þar sem spennusviðið getur verið staðbundið og breytilegt vegna kvikuhreyfinga. Þess vegna þarf einnig að tímasetja höggun svo ekki sé verið að nota gamlar sprungur sem kunna að hafa myndast þegar spennusviðið hefur verið allt annað en nú. Dæmi um virkar sprungur á eldri svæðum eru jarðhitasprungur.

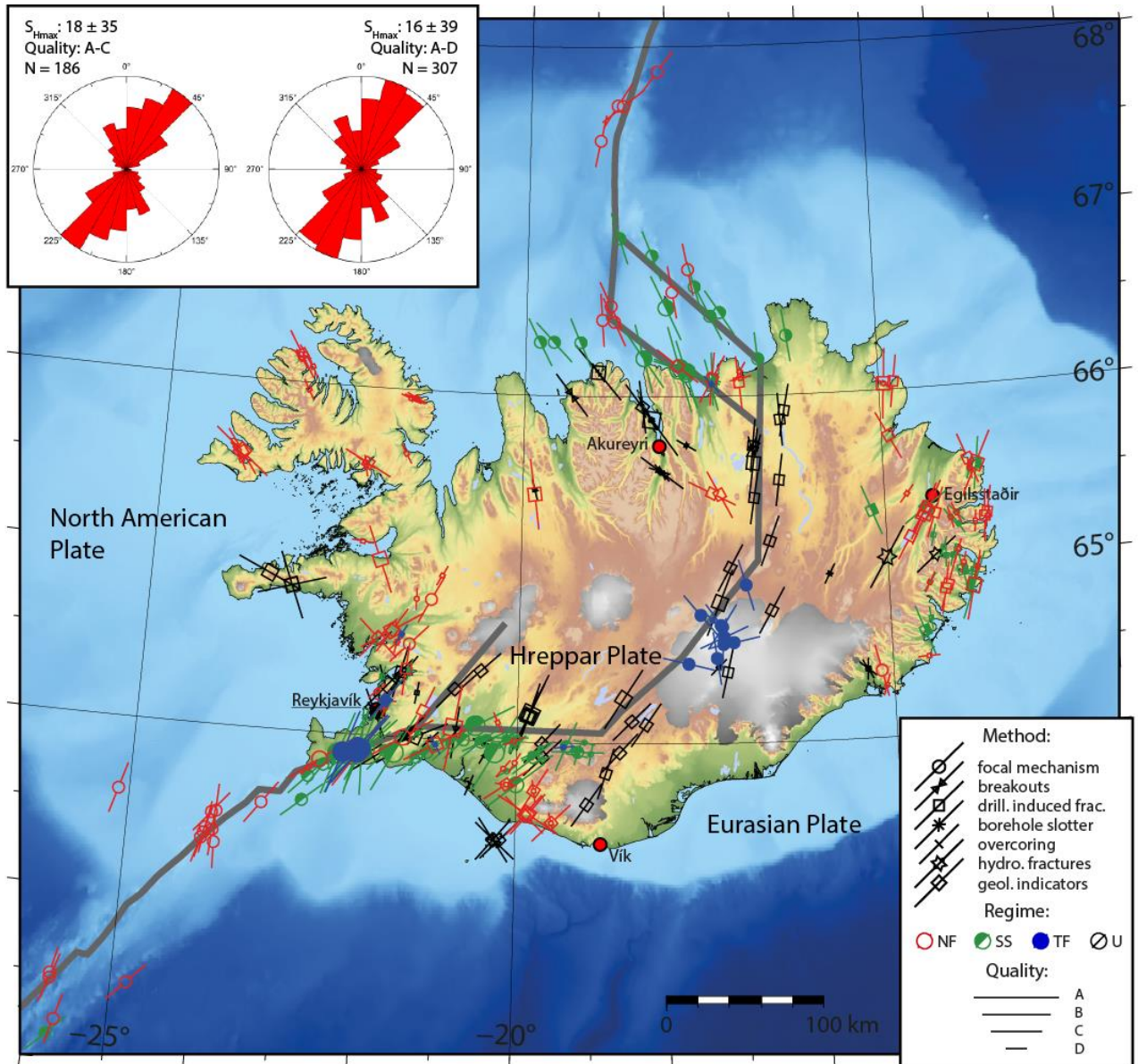
Lítið er til af beinum mælingum á spennu á Íslandi. Þessar athuganir byggja því að mestu á óbeinum mælingum. Þær helstu eru brot vegna borunar (e. breakout) og togspennusprungur í borholum og gefa þær góða hugmynd um stefnu spennusviðsins. Einnig hefur berg í borholum verið brotið með vökvaprýstingi og sprungur sem myndast gefa nokkuð öruggar upplýsingar um stefnu spennusviðsins. Þá er notast við brotlausnir á jarðskjálftum, höggun, stefnu gossprungna o. fl.

Helstu niðurstöður þessara rannsókna er að skipta má landinu í nokkur svæði með mismunandi spennusviði. Samræmi er á athugun á því dýptarbili sem mat spennu í borholum nær til og annarra athugana. Sem dæmi eru flestir skjálftar á meira dýpi en borholur ná til og því virðist spennusviðið lítið breytast með dýpi. Ennfremur eru spennubreytingar frá rekásum hér svipaðar og sést hefur á úthafshryggjum. Það er við hrygginn er mesta lárétta spenna samsíða rekás en þegar fjær dregur verður hún hornrétt á hann. Þessar rannsóknir hafa nokkuð gildi í sambandi við jarðhitaleit, einkum á lágheatasvæðum, þar sem unnt er meta líklegustu stefnur virkra sprungna.

Heimildir:

Moritz Ziegler Mojtaba Rajabi, Oliver Heidbach, Gylfi Páll Hersir, Kristján Ágústsson, Sigurveig Árnadóttir and Arno Zang, 2016. **The stress pattern of Iceland**. Tectonophysics 674 (2016) 101–113

Haustráðstefna Jarðfræðafélags Íslands
17. nóvember 2017



Jarðhiti og virka brotamunstrið á Snæfellsnesi

Kristján Sæmundsson

ÍSOR, Íslenskar Orkurannsóknir, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Laugar og volgrur á Snæfellsnesi eru mengaðar af koldíoxíði. Heitustu laugar eru 50-60°C. Nú eru rúmir tveir áratugir síðan jarðhitakerfi með lágum CO₂-styrk og mun heitari fundust þar. Tvær hitaveitur byggjast á þeim. Bæði jarðhitakerfin voru dulin, þ.e. ná ekki til yfirborðs í laugum og hverum. Hringrásarhluti slíkra kerfa (konveksjónin) einkennist af nær jöfnum eða mjög hægt vaxandi hita yfir alllangt dýptarbil. Hann nær oftast upp undir 200-300 m dýpi. Þar ofan við gera þau vart við sig með varmaleiðingu (kondúksjón) í þéttu bergi og afar háum hitastigli. Leit að þeim felst í því að boraðar eru grunnar könnunarholur til að ákvarða stigulinn (mynd 1). Svæðislægur stigull á landinu utan sýnilegra jarðhita- og kaldra grunnvatnssvæða er þekktur. Hann er á bilinu 50-85°C/km, aðallega háður aldri berggrunns. Hámarksstigull í hitafrávikum sem gefa til kynna dulin jarðhitakerfi reynist iðulega vera á bilinu 300-400°C/km. Svo fráleit gildi vísa á jarðhitakerfi.

Þessi leitaradferð hafði áður verið reynd á árunum milli 1965 og 1970. Þá fundust tvö dulin jarðhitakerfi, annað á Seltjarnarnesi, hitt á Vindheimum í Ölfusi. Að þeim rannsóknnum stóðu aðallega Guðmundur Pálmason, Jón Jónsson og Jens Tómasson. Ástæða þess að þessi leitaradferð var ekki tekin upp víðar mun hafa verið kostnaður við grunnar könnunarholur. Þær voru hafðar yfir 100 m djúpar vegna berglaganna og voru boraðar með hjólakrónu. Tók hver hola eina til tvær vikur í borun. Upp úr 1985 var farið að bora könnunarholur utan jarðhitasvæða með lofthamri og þær hafðar 50-60 m djúpar ef berglög voru sæmilega þétt. Þannig kláruðust 1-2 borholur á dag.

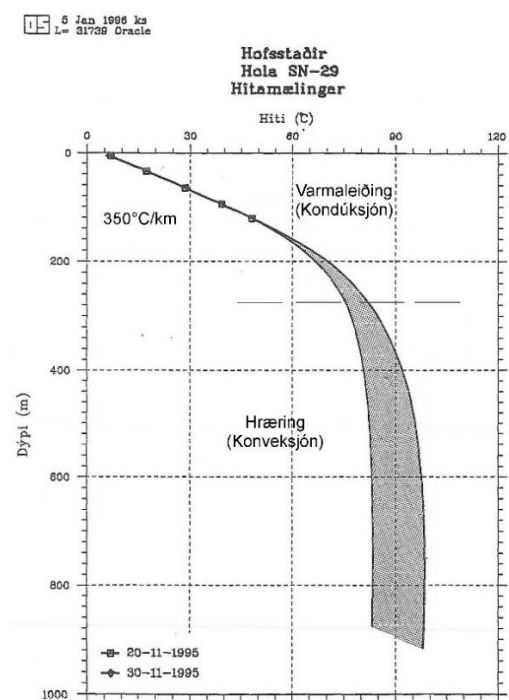
Gosreinarnar á Snæfellsnesi stefna VNV-ASA. Jarðhitinn fylgir þeim og ölkeldur með sínu CO₂ - ríka vatni. Þegar þar við bætist selta og hár hiti er vatnið ónothæft til beinnar nýtingar í hitaveitu eins og til dæmis á Berserkseyri. Þekktu CO₂-örmu jarðhitakerfin eru tvö, annað á Þórsnesi 8 km norðan við aðalgosreinina og hitt er 6 km sunnan við hana, kennt við Eiðhús. Kerfin eru ólík. Þórsneskerfið er 2 km á lengd með stefnu NV-SA og hitahámarkið gengur upp í skarpan topp. Tveir kaflar innan þess eru heitastir. Vinnsluhola hitaveitu Stykkishólms er í þeim syðri, en í þeim nyrðri er affallsvatni frá hitaveitunni dælt ofan í borholu. Greitt þrýsti-samband er á milli. Eiðhúsakerfið er meira á breiddina, en hitahámarkið línulegt með austur-vestur stefnu. Töluverður hitamunur er á þeim. Þórsneskerfið er 85°C og gefur 25 L/s við 50-60 m niðurdrátt vatnsborðs sem niðurdælingin heldur uppi, en Eiðhúsakerfið er 125°C og gefur 15 L/s úr gjósandi borholum.

Jarðhitakerfin hvort um sig voru afmörkuð með 15-20 könnunarholum, 50-60 m djúpum. Vinnsluholur hitaveitnanna eru 800-1100 m djúpar, ein í Þórsneskerfinu, en þrjár í Eiðhúsakerfinu. Þær voru boraðar í hitatoppa nema ein af Eiðhúsakerfisholunum.

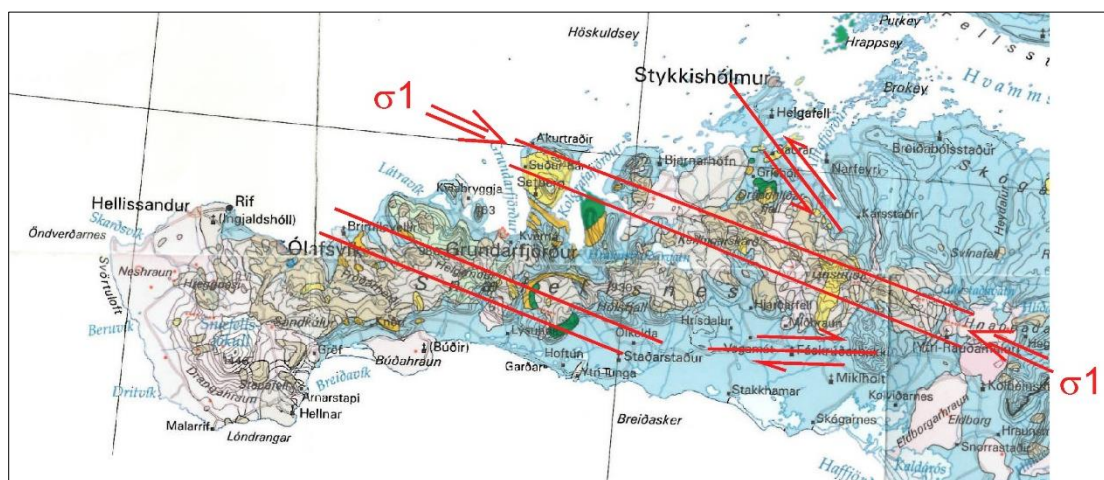
Brota- og gangastefna í tertíera berggrunninum á Þórsnesi er N50°A. Tveir bergeitlar úr basalti koma þar fyrir og fylgja sömu stefnu. Helgafell er annar, en hinn er syðst í jarðhitafrávikinu, rofinn niður í grunn. Í honum er grjótnáma frá Vegagerðinni. Samsíða hitafrávikinu norðan-verðu er berggangur skammt vestan við hámark þess. Hann var rekjanlegur með segulmælingum á 1 km löngum kafla. Annar slíkur gangur sést heima við bæ á Arnarstöðum 1200 m vestar. Þar sýndu þrjár leitarholur hitatopp næstum jafnan þeim eystri. Borun þar hitti á 87°C heitt vatn á 400 m dýpi. Vinnsla sýndi allgreið tengsl við fyrri borholuna. Þriðji gangurinn með þessari stefnu fannst nokkrum km norðaustar í landi Þingvalla. Könnunarhola þar reyndist köld. Túlkun mín á þessum NNV-SSA-göngum er að þeir séu frá sama tíma og NA-SV-gangakerfið.

Gangar (goshryggir) hornréttir á ráðandi sprungustefnu eru þekktir hér í grenndinni frá síðjökultíma þar sem eru Þjófahlaup vestan Hengils og Arnarþúfur upp af Sandskeiði.

Gosreinin áminnsta sem skásneiðir Snæfellsnes helmingar næstum hornið á milli jarðhitasprungnanna sunnan og norðan við fjallgarðinn. Ég túlka það þannig að mesti þrýstingur sé eða hafi verið láréttur í stefnu gosreinarinnar og jarðhitasprungurnar séu vensluð sniðgengi í samræmi þar við (mynd 2). Þetta er sama munstrið og í skjálftabelti Suðurlands þar sem mesti þrýstingur er hins vegar NA-SV. Vestasti hluti gosreinarinnar á Snæfellsnesi er mjósleginn, en breikkar mjög í Hnappadal þar sem mesti þrýstingur er augljóslega lóðréttur. Kringum Selfoss virðist spennusvið skjálftabeltis Suðurlands skarast við spennusvið Grímsnes-eldstöðva-kerfisins, sem bendir þá til að mesti þrýstingur færist í lóðrétt þegar það bærir á sér. Líkt gæti átt sér stað á Snæfellsnesi.



Mynd 1. Mældur hiti í 60 m djúpri borholu á Þórsnesi. Skyggða svæðið sýnir áætlaðan hita í jarðhitakerfi þar undir, miðað við reynslu sem þá (1995) lá fyrir um hita í duldu kerfum þar sem hitastigull ofan þeirra reyndist þetta hár.



Mynd 2. Spennusvið á Snæfellsnesi.

Tilraun með VSP mælingar í Kröflu

Ólafur G. Flóvenz¹, Sverre Planke², Felix Kästner^{3,1}, Fabienne Reiser⁴,
John Millet², Gylfi Páll Hersir¹ og Sæunn Halldórsdóttir¹

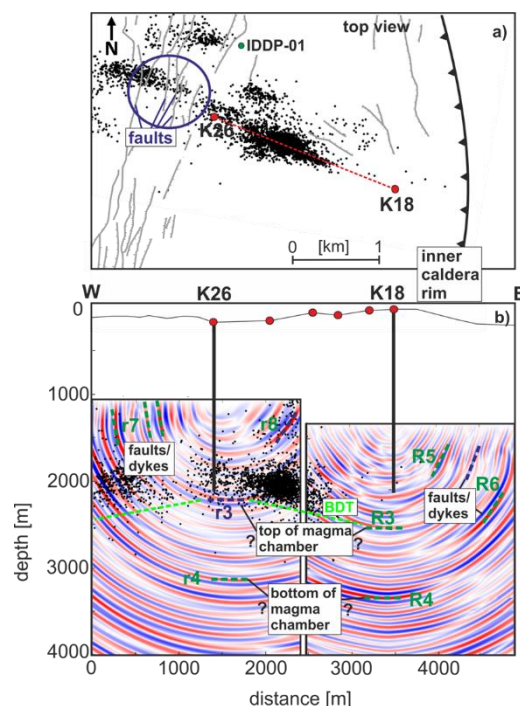
¹ÍSOR (www.isor.is), ²VBPR (www.vbpr.no), ³GFZ (www.gfz-potsdam.de), ⁴ETHZ (www.ethz.ch)

Það hefur lengi verið þekkt að erfitt er að fá nothæfar niðurstöður úr hefðbundnum endurkastmælingum í basalhraunlögum. Ástæðan felst líklega í því að hraunlögin eru mun þynnri en mælingarnar skynja og í miklum andstæðum í endurkaststuðlum við botn og yfirborð einstakra hraunlaga. Það veldur erfiðleikum við að koma orku niður í jörðina og skapar iðulega myndar flókið samliðunarmynstur á endurkastsniðum sem erfitt er að greina í raunveruleg endurköst. Þetta er reynslan úr olúidnaði og þeim fáu og takmörkuðu mælingum sem fram hafa farið á Íslandi. Vertical Seismic Profiling (VSP) er eitt afbrigði endurkastmælinga. Í stað þess að leggja út langan kapal með fjölda bylgjunema eftir línu á yfirborði jarðar og búa til hljóðbylgjur, t.d. með sprengingum, byggjast VSP mælingar á því að setja langan streng með þrjáa bylgjunemum ofan í borholu og skrá hljóðbylgjur sem búnar eru til við yfirborð. Ýmist er skotpunktur hafður rétt við mæliholu (zero-offset VSP), er á nokkrum stöðum eftir línu út frá borholunni (multi-offset VSP) eða langt frá utan línunnar (far-offset). VSP hefur almennt reynst vel til að kortleggja endurkastfleti út frá borholum og neðan við botn þeirra.

Við árslok 1993 stóðu ÍSOR (þá hluti af Orkustofnun) og Háskólinn í Ósló fyrir fyrstu tilraun sem gerð var með VSP mælingar á Íslandi (Planke og Flóvenz, 1994, 1996). Mælt var í Eyjafirði og í Nauthólsvík. Niðurstöður gáfu ákveðnar vonir um að nota mætti VSP mælingar til að finna endurköst frá meiriháttar jarðlagamótum í basaltskorpu landsins. Jafnframt kom í ljós að með því að nota litlar loftbyssu sem orkugjafa fæst gott hljóðmerki niður fyrir 2 km dýpi.

Árið 2014 gafst tækifæri á ný til að reyna VSP mælingar á Íslandi innan fjölþjóðlega rannsóknaverkefnisins IMAGE sem styrkt var úr sjöundu rammaáætlun ESB (samningur nr. 608553). ÍSOR, VBPR, GFZ og Landsvirkjun stóðu sameiginlega að tilrauninni. GFZ lagði til borholumælistrenginn og gerðu sjálfar mælingarnar, ÍSOR lagði til mælingabíl, ýmis tæki og sá um sprengingar og framkvæmd verksins, og VBPR bar þungann af úrvinnslu mælinganna með aðkomu ýmissa aðila, einkum DECO í Rússlandi. Háskólinn í Bergen lánaði öflugla loftbyssu en samanburður á hljóðgjöfum var hluti verkefnisins. Túlkun mælinganna var sameiginlegt verkefni ÍSOR og VBPR.

Tilgangurinn var að kanna hvort nota mætti VSP mælingar til að sjá endurkastfleti frá jarðlagamótum á háhitasvæðum og hvort fram kæmu endurköst frá gufupúða eða kviku. Mælt var í tveimur holum í Kröflu (KJ-18 og KJ-26). Mælt var með skotstað rétt við holu (zero-offset VSP), með skotstaði í nokkrum 9 m djúpum skotholum á línu út frá holunum (multi-offset VSP) og utan línunnar (far-offset



Mynd 3. Efri myndin sýnir afstöðu mæliholnanna og staðsetningar jarðskjálfta. Sú neðri sýnir mígrreruð endurkastsnið með helstu endurkastflötum og dýpi jarðskjálfta. Flötur r3/R3 gæti verið efra borð kvikunnar en fletir r4/R4 neðra borðið eða dýpri kvikuflötur. R5 og R6 gætu verið hliðarendurköst frá göngum. Mynd úr grein Reiser ofl. 2017.

VSP). Auk VSP mælinganna voru gerðar allmargar aðrar borholumælingar í holu KJ-18, þar á meðal hljóðhraðamæling með hátíðnihljóðbylgjum (sonic log).

IMAGE verkefninu lauk 31.10.2017 og liggja niðurstöður VSP mælinganna fyrir í skýrslu ÍSOR (Planke ofl. 2016) og þremur handritum greina sem sendar hafa verið til birtingar í JVGR (Kästner ofl., 2017, Reiser ofl. 2017 og Millet ofl 2017). Helstu niðurstöður VSP mælinganna eru eftirfarandi:

- Bæði gengur að nota loftbyssu og sprengingar (m.a. DynaCORD) við yfirborð til að fá skýrt merki niður á a.m.k. 2 km dýpi sem gefa merki í kringum 20 og 40 Hz.
- Samanburður á bylgjuhröðum samkvæmt VSP og hátíðnihljóðhraðamælingum úr KJ-18 sýnir gott samræmi milli þessara mæliaðferða.
- Skýr endurköst koma fram í VSP mælingunum, bæði frá þeim jarðlagastafla sem borholurnar skera og eins frá endurkastflötum neðan holnanna og til hliðar við þær.
- Samanburður endurkastanna við borsvarf og jarðlagamælingar í holu KJ-18 sýnir endurköst frá jarðlagamótum móbergs og hrauna og frá yfirborði innskota.
- Með því að beita „mígrasjóns-“ tækni á mælingarnar sjást endurkastfletir neðan við botn holu K-18 og líklega einnig til hliðar við hana. Sá efsti fellur saman við mörk brotgjarnrar og stökkrar skorpu og þess dýpis sem boranir hafa sýnt kviku á. Þessi endurkastflötur er því líklega efra borð kvikunnar undir Kröflu.
- Annar endurkastflötur sést enn neðar, eða á ríflega 3 km dýpi. Þar gæti verði neðra borð kvikunnar eða jafnvel annað flatt kvikulag.

Meginniðurstaðan IMAGE verkefnisins er sú að unnt er að nota VSP mælingar til að skoða innri gerð háhitasvæða. Meiriháttar jarðlagamót koma fram og líkur eru til þess að sjá megi mót kvikulaga og fast bergs. Sú VSP mæling sem hér er lýst var fremur frumstæð að gerð og ekki í þrívídd. Ef nota ætti VSP mælingar til að kortleggja yfirborð kvikulagsins þarf talsvert umfangsmeiri og þéttari mælingar en notast var við í þessari tilraun en mikilvæg reynsla hefur fengist um hvernig best er að haga slíkum mælingum.

Heimildir:

- [1] **Fabienne Reiser**, Cedric Schmelzbach, David Sollberger, Hansruedi Maurer, Stewart Greenhalgh, Sverre Planke, Felix Kästner, Ólafur Flóvenz, Rüdiger Giese, Sæunn Halldórsdóttir, Gylfi Páll Hersir, Imaging the high-temperature geothermal field at Krafla using vertical seismic profiling. Submitted to JVGR (2017).
- [2] **Felix Kästner**, Sverre Planke, Rüdiger Giese, John Millett and Ólafur G. Flóvenz. Seismic imaging in the Krafla high-temperature geothermal field, NE Iceland, using zero- and far-offset vertical seismic profiling (VSP) data. Submitted to JVGR (2017).
- [3] **John M. Millett**, Sverre Planke, Felix Kästner, Anett Blischke, Gylfi Páll Hersir, Sæunn Halldórsdóttir, Ólafur G. Flóvenz, Sigurveig Árnadóttir, Helga M. Helgadóttir, Sergey Vakulenko, Sergey Burjak, Ögmundur Erlendsson, Karl Gunnarsson, Rüdiger Giese, Jehanne C. Paris, Dougal Jerram, Halldór Örvar Stefánsson, Hanna Blanck and Egill Júlíusson. Sub-surface geology and velocity structure of the Krafla high temperature geothermal field, Iceland: Integrated ditch cuttings, wireline and zero offset vertical seismic profile analysis. Submitted to JVGR (2017).
- [4] **Sverre Planke**, Sæunn Halldórsdóttir, Gylfi Páll Hersir, Ögmundur Erlendsson, Karl Gunnarsson, Ólafur G. Flóvenz, John M. Millett, Rüdiger Giese, Felix Kästner, Volker Oye, Sergey Vakulenko, og Egill Júlíusson. IMAGE-D4.2. Summary Report of WP 4.2: Active Seismic with VSP. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2016/049. Unnið fyrir IMAGE. 75 s. + viðaukar á CD, (2016)
- [5] **Sverre Planke** og Ólafur G. Flóvenz, 1994: Integration of downhole and surface seismic data in flood basalt terrains: Implications for seismic imaging and crustal structure. AGU 1994, Fall meeting. Abstract.
- [6] **Sverre Planke** og Ólafur G Flóvenz, 1996. Seismic properties of flood basalts. In: Norw. Pet. Soc. Conference on Seismic Lithology (1996).

Short-term seismic precursors to Icelandic eruptions 1973-2014 and success rate of pre-eruption warnings

Páll Einarsson

Institute of Earth Sciences, Sturlugata 7, 101 Reykjavík

Networks of seismographs of high sensitivity have been in use in the vicinity of active volcanoes in Iceland since 1973. During this time 21 eruptions have occurred and several magmatic events, where magma has intruded into the crust without finding a way to the surface. All these events have been accompanied by characteristic seismic activity. Long-term precursory activity is often characterised by low-level, persistent seismicity, clustered around an inflating magma body. Whether or not a magma accumulation is accompanied by seismicity depends on the tectonic setting, interplate or intraplate, the depth of magma accumulation, the previous history and the state of stress. All eruptions during the time of observation had a detectable short-term seismic precursor marking the time of dike propagation towards the surface, see Figure 1 and 2 and table below. The precursor times varied between 15 minutes and 13 days. In half of the cases the precursor time was less than 2 hours. Three eruptions stand out for their long precursor time, Heimaey 1973 with 30 hours, Gjalp 1996 with 34 hours, and Bárðarbunga 2014 with 13 days. In the case of Heimaey the long time is most likely the consequence of the great depth of the magma source, 15-25 km. The Gjalp eruption had a prelude that was unusual in many respects. The long precursor time may have resulted from a complicated triggering scenario involving more than one magma chamber. The Bárðarbunga eruption at Holuhraun issued from the distal end of a dike that took 13 days to propagate laterally for 48 km before it opened to the surface. All 21 eruptions since 1975 had detectable precursors and 14 of them were noticed soon enough to lead to a public warning of the coming eruption. In 4 additional cases the precursory signal was noticed before the eruption was seen. In only 3 cases was the eruption seen or detected before the seismic precursor was verified.

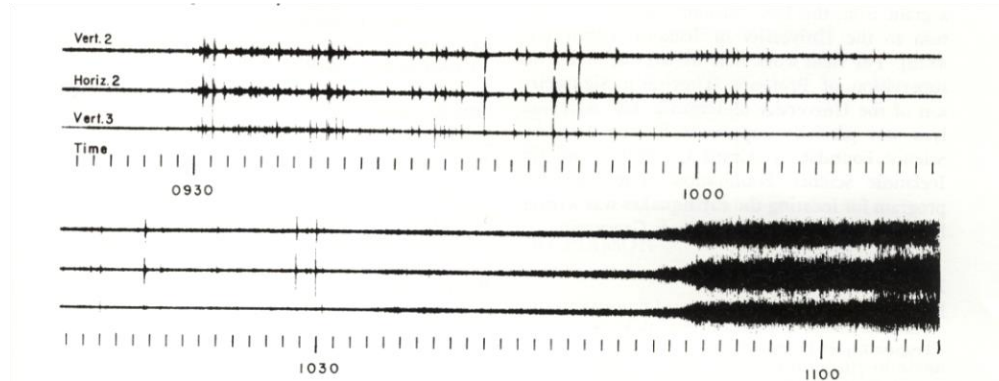


Fig. 1. Seismograms from three components of a small array operated on Surtsey island in 1966, showing the time interval 09:22 – 11:07 on August 19, showing a typical progress of precursory activity when a new lava eruption broke out on the island. A swarm of small, very local earthquakes began at 0930 h. The swarm ended by 1030 h and shortly thereafter the amplitude of the background noise increased slowly. The noise increased rapidly at 1050 h and it is inferred that this marks the beginning of the eruption.

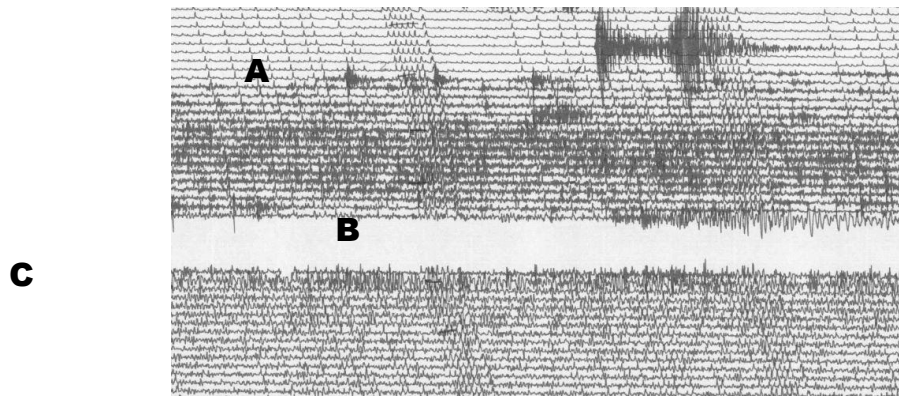


Fig. 2. The beginning of the September 1984 Krafla eruption seen at the seismic station of Skinnastaður, 40 km north of the eruption site. High-frequency tremor mixed with earthquakes is seen at 22:50 (A). A low-frequency earthquake marks the opening of surface cracks (B). The beginning of the eruption at 23:49 (C) is not accompanied by a significant seismic event. The eruption was accompanied by low-frequency tremor, but very few earthquakes.

			W	D	V	T
1966	Surtsey	Aug. 19			x	(80 min.)
1970	Hekla	May 5			x	25 min.
1973	Heimaey	Jan. 23			x	30 h
1975	Krafla	Dec. 20		x		~ 15 min.
1977	Krafla	Apr. 27	x			(1 h)
1977	Krafla	Sept. 8	x			2 ¼ h
1980	Krafla	Mar. 16	x			65 min.
1980	Krafla	July 10	x			5 h
1980	Hekla	August 17			x	23 min.
1980	Krafla	Oct. 18	x			82 min.
1981	Krafla	Jan. 30	x			7 h
1981	Hekla	April 9			x	(4 h)
1981	Krafla	Nov. 18	x			76 min.
1983	Grímsvötn	May 28		x		~ 9 h
1984	Krafla	Sept. 4	x			4 h 24 min.
1991	Hekla	Jan. 17		x		30 min.
1996	Gjálp	Sept. 30	x			~ 34 h
1998	Grímsvötn	Dec. 28		x		~ 6 h
2000	Hekla	Feb. 26	x			79 min.
2004	Grímsvötn	Nov. 1	x			2 ½ - 15 h
2010	Eyjafj. jökull	Mar. 20			x	
2010	Eyjafj. jökull	April 14	x			2 h 15 min.
2011	Grímsvötn	May 21	x			90 min.
2014	Bárðarbunga	Aug. 29	x			13 days

W warning issued. D detected first by instruments, then verified visually. V visual observation of eruption before instruments checked. T precursor time, from beginning of detected precursor until beginning of eruption. ~ timing of event is imprecise. () beginning of eruption is assumed

Kortlagning Torfufellseldstöðvarinnar

Sigurveig Árnadóttir, Árni Hjartarson og Þorvaldur Þórðarson

Faculty and Institute of Earth Sciences, University of Iceland

Kortlagning Torfufellseldstöðvarinnar fremst í Eyjafjarðardal hófst sumarið 2015 og hér um bil lokið. Svæðið, sem nær frá Gilsárdal í norðri til Hafrárgljúfurs í suðri, hefur ekki verið kortlagt eða rannsakað af nákvæmni áður og jarðsaga þess því lítt þekkt en eldstöðin er talin hafa verið virk fyrir um 6-5 milljón árum. Helstu markmið kortlagningarinnar eru að bæta við þekkingu á jarðlagaskipan svæðisins, upphleðsluhraða jarðlagastaflans, líftíma og þróun eldstöðvarinnar og varpa ljósi á tíðni, gerð og stærð eldgosa. Um það bil 1500 metra þykkur samsettur jarðlagastafli hefur verið mældur upp og kortlagður og segulstefnur hraunlaga mældar í mörkinni en aldursgreiningar á völdum hraunlögum munu síðan gefa áreiðanlegan aldur og um leið auka notagildi segulmælinganna. Jarðlagstaflinn er í meginatriðum byggður úr dílabasalthraunlögum í neðsta hlutanum, þóleiðhraunlögum þar fyrir ofan en í þeim sjást víða súr innskot. Ofan við þóleiðhraunlögin er súrt gosberg sem er þykkast í Torfufellinu sjálfu og endar rétt norðan við Lambalæk í Torfufellsdal og rétt norðan Hafrár í Eyjafjarðardal. Ofan á líparítið leggjast þóleiít- og dílabasaltsyrpur. Sérkennilegt setlag liggur víða undir súrum myndunum sem virðist innihalda gjósku, fíngerðan og jafnvel svellandi leir og viðarstein. Elstu jarðlög í staflanum eru talin vera um 8,4 milljón ára og þau yngstu um 4,9 milljón ára. Holufyllingar benda til að jarðlagastaflinn sé að mestu leyti í kabasít-tomsonít beltinu sem gefur til kynna að eldstöðin hafi ekki grafist djúpt undir yngri jarðlögum.

Virkjun hraunhita í Heimaey

Sveinbjörn Björnsson

Orkustofnun, Grensásvegi 9. 108 Reykjavík

Eldfellshraunið var á margan hátt óvenjulegt. Hraunið var hálfkristallað alkalibasalt, seigfljótandi og aðeins um 1050°C heitt. Það rann undan halla frá gígnum út í sjó og varð allt að 130 m þykkt. Gígurinn hlóð 10 – 20 m þykkri gjósku ofan á hraunið meðan það skreið burtu. Þykkt bráðins hrauns í goslok varð víða yfir 100 m. Hraunstraumurinn lagðist með ströndinni í átt að höfninni. Slökkvilið og sanddæluskip reyndu að hamla gegn framrás hraunsins með ótæpilegri vatnskælingu og bjarga hafnarmynninu. Hugmyndin var að mynda storkna garða sem beindu hraunstraumnum í aðra átt. Boranir í hraunið sýndu að vatnið náði að kæla hraunið svo að það storknaði í smásprungið berg. Bergið var mettað af 100°C heitri gufu frá yfirborði niður að bráðna fletinum, en þar jókst hitinn á fáeinum metrum upp í hita bráðarinnar. Gufan þéttist í gjóskunni við yfirborð og þéttivatnið lokaði útstreymisleiðum. Gufan var því lokuð inni milli gjóskunnar og bráðna flatarins og slapp aðeins út þar sem hraundrangar stóðu upp úr gjóskunni og efst á gígbörmunum. Fljótlega eftir að gosi lauk kviknaði áhugi á að nýta gufuna til húshitunar. Í fyrstu tilraunum voru varmaskiptar grafnir í gjóskuna eða settir í brunna. Þeir skiluðu árangri en entust skammt vegna tæringar. Auk þess voru menn hikandi vegna óvissu um hve lengi gufan mundi endast. Reikningar bentu til þess að 100 m þykk bráð mundi ekki storkna í gegn fyrr en um 14 árum eftir goslok. Á slíkum svæðum mætti því framleiða gufu með stýrðri vökvun líkt og á heitri pönnu, allt þar til vökvunin hefði étið sig gegnum bráðina og vatnið tapaðist niður úr hrauninu. Tilraunir sýndu einnig að auðvelt var að soga gufu úr hrauninu langar leiðir. Við þetta jókst tiltrú á hraunhitann svo að ákveðið var að ráðast í virkjun og leggja dreifikerfi hitaveitu í bæinn. Fyrsti áfangi var tekinn í notkun í árslok 1978 og síðasti áfanginn þegar dreifikerfið var fullbyggt um mitt ár 1982. Holræsabrunnar voru grafnir í gjallið á vökvunarreitunum og þeir tengdir við kistur með varmaskiptum og reykháfa sem soguðu gufuna úr hrauninu inn í varmaskiptana. Vatn frá dreifiveitu bæjarins kom um 35°C heitt að varmaskiptunum og fór þaðan um 80°C til bæjarins. Engan vélbúnað þurfti uppi á virkjunarsvæðinu. Vinnslukostnaður varma úr hrauninu nam um 27% af kostnaði við olúhitun. Virkjunin gekk vel fram undir 1988 en þá fór að bera á erfiðleikum í framleiðslu gufu þar sem lítið var eftir af hraunbráðinni. Hrein gufa þéttist við 100°C en loftblönduð gufa þéttist ekki fyrr en blandan hefur verið kæld niður að þeim hita sem svarar til hlutþrýstings gufunnar. Ef gufan er aðeins 30% þéttist hún ekki fyrr en við 70°C og vatnið í varmaskiptunum nær ekki hærri hita en það. Boranir í hraunið sýndu einnig að sjór hafði sótt inn frá hraunjaðrinum og náð að kæla hraunið neðan sjávarmáls. Dreifikerfið hélt fullu gildi en vinnsla hita úr hrauninu var hætt. Vestmannaeyingar tóku því það ráð að hita vatnið í rafskautakatli með ótryggri raforku. Í ljósi þess að kaup á ótryggri raforku verða nú erfiðari hafa Vestmannaeyingar undirbúið vinnslu varma úr sjó með varmadælum til að tryggja hitaveitunni nægt heitt vatn.

IMAGE er lokið – hver var ávinningurinn?

Sæunn Halldórsdóttir¹, Gylfi Páll Hersir¹ og Ólafur G. Flóvenz¹

¹ÍSOR (www.isor.is)

Rannsóknarverkefninu IMAGE (Integrated Methods for Advanced Geothermal Exploration) lauk í október 2017 (<http://image-fp7.eu/>). Verkefnið sem var til 4 ára var mjög umfangsmikið og þátttakendur voru fimmtán rannsóknarstofnanir í Evrópu auk níu fyrirtækja sem koma að rekstri jarðvarmavera eða annarrar jarðhitanýtingar. Þátttökuaðilarnir voru frá Íslandi, Hollandi, Þýskalandi, Ítalíu, Frakklandi, Sviss, Noregi, Tékklandi og Portúgal. Auk ÍSOR tóku tvö íslensk fyrirtæki þátt, HS Orka og Landsvirkjun. Gott samstarf milli allra þátttakenda verkefnisins var forsenda þess hve góður árangur náðist í verkefninu.

Markmið verkefnisins var að þróa nýjar aðferðir til að rannsaka og meta jarðhitakerfi og staðsetja borholur með markvissari hætti. Vonast var til að verkefnið yrði vettvangur áframhaldandi þróunar aðferða til að gefa sem besta mynd af jarðhitakerfum áður en boraðar eru rannsóknarholur. Nú þegar verkefninu er formlega lokið gefst tækifæri til að líta um öxl og íhuga hvernig tekist hefur til. *Var markmiðum verkefnisins náð, höfum við færst nær því að fá betri mynd sem nýist til að staðsetja borholur með markvissari hætti?*

Eins og í öðrum verkefnum sem styrkt eru af Evrópusambandinu eru markmið verkefnisins fyrirfram vel skilgreind með tímasettum vörðum og skilum í formi greinargerða og skýrslna. Hvað þessa mælikvarða varðar hefur tekist vel til og öllum formlegum skilum gagnvart Evrópusambandinu er lokið.

Heildarverkefnið var mjög metnaðarfullt og á köflum var erfitt að sjá fyrir sér að öllum markmiðum yrði náð. Sum verkefni voru erfið í útfærslu og óhjákvæmilegt að upp kæmu einhver vandamál eftir að lagt var að stað. Dæmi um þetta eru VSP (e. *Vertical Seismic Profile*) mælingar í tveimur borholum í Kröflu en svo umfangsmikil tilraun af þessari gerð hafði ekki áður verið framkvæmd í jarðhitakerfi hér á landi. Með samstilltu átaki þátttakenda frá ÍSOR, GFZ (Þýskalandi) og VBPR (Noregi) náðist að klára verkefnið og var stuðningur Landsvirkjunar og starfsfólks Kröflustöðvar forsenda fyrir því að það gekk svo vel.



Mynd 4: Ánægt starfsfólk ÍSOR í lokin á uppsetningu jarðskjálftanets á Reykjanesi.

Annað verkefni fólst í uppsetningu á 24 neðansjávar jarðskjálftamælum út af Reykjanesi. Við útfærslu þess verkefnis komu til að mynda við sögu hvalveiðibátur og stærsta varðskip Landhelgisgæslunnar en hún var einkar hjálpleg við framkvæmd mælinganna. Einstaklega vel heppnað samstarf þátttakenda frá ÍSOR, GFZ og starfsfólks HS Orku skilaði mikilvægum niðurstöðum fyrir jarðhitakerfið á Reykjanesi.

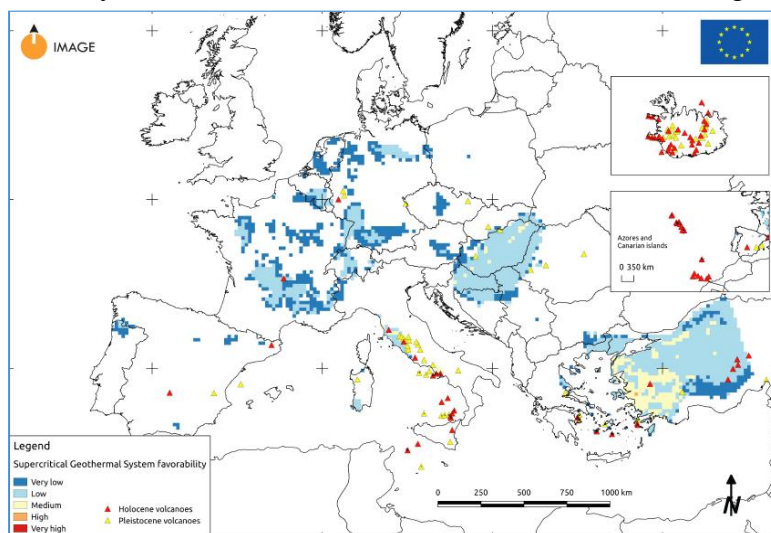
Meðal mikilvægra niðurstaðna IMAGE verkefnisins eru:

- Unnt er að nota VSP mælingar til að skoða innviði háhitasvæða. Meiriháttar jarðlagamót koma fram og líkur eru til þess að sjá megi mót kviku og fasts bergs.
- Betri upplausn jarðskjálfta á Reykjanesi og betri dýptarskynjun jarðskjálfta sem verða neðansjávar út af Reykjanesi. V_P/V_S hlutfall sýnir að umtalsverð kvika er ekki til staðar í efstu 6-7 km undir kerfinu.
- Ljósleiðari var í fyrsta skipti, að vitað sé, notaður með góðum árangri til að mæla jarðskjálftabylgjur á Íslandi.

- Gagnagrunnur yfir mismunandi bergtegundir, uppruna þeirra og eiginleika var útbúinn og verður hann í framhaldinu opinn. Viðnám borholukjarna frá Reykjanesi, Nesjavöllum og víðar og var mælt við yfirmarks aðstæður.
- Aðferð sem byggir á að framkalla vökvabólur í steindum til að meta hitastig ($>380^{\circ}\text{C}$) var þróuð og prófuð í borholu í Larderello (250°C) og í Kröflu (320°C). Tilraunir sýna að aðferðinni er hægt að beita til að mæla hitastig allt að 424°C .
- Spennusviðskort af Íslandi (e. *crustal stress*) var gefið út þar sem notast var við upplýsingar um brot vegna borunar (e. *breakouts*) og togspennusprungur úr borholum, auk brotlausna úr jarðskjálftum.
- Aðferðafræði við uppbyggingu þrívíðra jarðfræðilíkana var þróuð þar sem slíkt líkan var samhliða byggt upp fyrir Kröflu. Þeirri aðferðafræði var síðan einnig beitt á gögn frá jarðhitakerfi á Terceira-eyju (tilheyrir Azor-eyjum).
- Gagnagrunnur sem sýnir svæði innan Evrópu þar sem yfirmarksástand gæti verið til staðar í jarðskorpunni. Hér á landi má gera ráð fyrir að finna megi yfirmarksástand á 4-5 km dýpi á þeim 32.000 km² sem gosbeltið þekur.

Niðurstöður IMAGE sýna að hægt er að nota sérsníðnar aðferðir á sviði jarð- og jarðeðlisfræði til að fá betri mynd af jarðhitakerfum fyrir boranir. Í verkefninu voru margar aðferðanna þróaðar áfram og í lokin liggur fyrir fjöldi gagna sem eru opin til frekari rannsókna. Það má segja að jarðhitageirinn hafi færst enn einu skrefi nær því staðsetja borholur með árangursríkum hætti sem bæði dregur úr umhverfisáhrifum og lækkar kostnað.

IMAGE verkefnið var styrkt af ESB, 7. Rammaáætlun samkvæmt samningi No. 608553.



Mynd 5: Svæði þar sem yfirmarkshituð jarðhitakerfi kunna að leynast.

Flow measurements with a spinner logging tool in geothermal wells at Peistareykir: Processing and interpretation with the aim of locating feed zones in wells

Valdís Guðmundsdóttir

ÍSOR, Íslenskar Orkurannsóknir, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Downhole spinner measurements taken during injection tests at the end of drilling of a geothermal well give information regarding the speed of fluid flow all the way down the well. By calibrating the data the fluid velocity and the flow in liters per second may be calculated all the way down the well. The fluid flow is affected by the geometry of the well but the calibration of the data attempts to eliminate these effects. The results give insight into where fluid flows out of the well and therefore where feed zones are found in the well.

"Deciphering the deformation history of oceanic shear zones through mineral microstructures"

Jessica Lynn Till

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

Deformation at slow-spreading oceanic ridges is characterized by strain localization in structures such as low-angle detachment faults, resulting in the formation of oceanic core complexes. Ocean drilling expeditions at slow- and ultra-slow-spreading ridges have also discovered that oceanic core complexes contain abundant ductile shear zones in gabbros. In many sites, high-temperature plastic deformation features in silicates are systematically associated with high modal concentrations of Fe-Ti-oxides (ilmenite and magnetite); however, the reasons for this association have not been clearly determined. We conducted a microstructural investigation of oxide-rich shear zones from Atlantis Bank (ODP site 735B) on the SW Indian Ridge aimed at determining how oxide mineral abundances relate to strain localization in oceanic gabbros. Although recent experimental work on Fe-Ti-oxide rheology predicts magnetite and ilmenite to be weaker than most mafic silicates, the oxide grains have morphologies characteristic of crystallized melt, indicating that shear zone formation predominantly occurred at super-solidus conditions. The redistribution of Fe-Ti-oxide melts during deformation of the silicate matrix therefore likely influences the strength and strain localization behavior of oceanic gabbros more than the solid-state rheology of the oxide phases.

Crustal deformation and strain rates in Hengill and the South Iceland Seismic Zone

Thóra Árnadóttir¹, John Haines², Daniel Juncu¹ and Halldór Geirsson³

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

²GNS Science, Dunedin, New Zealand

³Dept. of Earth Sciences, Institute of Earth Sciences, University of Iceland

Here, we report results from 15 years of GPS deformation measurements in the Hengill and South Iceland Seismic Zone (SISZ). Since June 2000, annual GPS campaigns have been conducted in the area extending from Bláfjöll to Hekla. GPS station positions from campaign and continuous measurements during 2001-2015 were used to calculate station velocities and strain rates. Estimating the station velocities and strain rates for several time intervals demonstrates temporal and spatial variation of strain rates in the Hengill and SISZ. In addition to plate spreading, and post-seismic deformation, the GPS velocities in the study area are influenced by anthropogenic signals with subsidence due to geothermal exploitation and induced seismicity in Hengill, and magma accumulation below Hekla. The strain rates indicate subtle signals of post-seismic strain rate changes following the June 2000 M6.5 main shocks, but much larger strain rates are observed after the two May 2008 M6 main shocks. In addition, a strain anomaly is observed in the Ölfus area prior to the May 2008 main shocks. This study therefore indicates a difference in the character of post-seismic deformation following the June 2000 and May 2008 earthquakes, and reports a significant change in the deformation in Hengill and Ölfus after May 2008.

The Greenland-Iceland-Faroe Ridge Complex

Ögmundur Erlendsson, Árni Hjartarson, and Anett Blischke

ÍSOR, Íslenskar Orkurannsóknir, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

The Greenland-Iceland-Faroe Ridge Complex (GIFRC) has been in development since the opening of the NEAtlantic around 55 Ma. It appears as a prominent feature in all geological and geophysical data sets. Synclines and anticlines in the area will be summarised and, among others, several new ones that were revealed in seismic reflection data near to Iceland. Specifically, the offshore anticlines and synclines may be related to old rift systems prior the forming of Iceland as an insular shelf region (>24 Ma). Synclines are suggested to be manifestations of former rift axes that have been abandoned by rift jumps. These rift jumps appear to be more common inside the GIFRC region than in the ocean basins south and north of the area. They can be confirmed by the observation of cumulative crustal accretion through time as well.

The GIFRC represents a complex region of crustal accretion in 3 dimensions due to overlapping rift systems, complex interlinked rift and transform zones, and several unconformities that suggest a variable uplift and subsidence history for the ridge complex. An excellent example to visualise such processes of vertical crustal accretion and rift jumps is seen in seismic reflection data that extends along the southwestern slope of the Iceland-Faroe Ridge. They clearly display the internal structures of basement blocks, separated by a syncline and younger rift system, and the formation of an anticline across the deeply buried basement blocks that are overlain by seaward dipping reflectors (SDR).

We suggest a major hiatus (40 Ma – 24-20 Ma) and a related unconformity at the boundary of the volcanic insular shelf edge of East Iceland and the Faroe Ridge, buried beneath thick layers of sediments, 8-10 km inside the bathymetric shelf break.

Several seamounts were observed on multibeam datasets from the Vesturdjúp Basin West of Iceland, just south of the Greenland - Iceland Ridge at around 1200 m depth. Most of them are cone shaped but ridges and table mountains are also found. These seamounts appear to be much less eroded and younger than the neighbouring ocean floor and might indicate a still active flank or intra plate volcanic zone. Young tectonism with faults, grabens and transverse ridges also characterize the area and most of the volcanic cones are located along fault plans or/and within the grabens of the Vesturdjúp, giving a good example of the complexity of the GIFRC in comparison to simple ocean floor areas.