

Jarðfræðafélag Íslands

VORRÁÐSTEFNA 2004

Ágrip erinda og veggspjalda

Haldin í Öskju
14. maí 2004

Tilvitnun í ritið:

Ármann Höskuldsson, Einar Kjartansson & Richard Hey 2004: Hafsbotnsrannsóknir út af Reykjanesi.
Vorráðstefna 2004. Ágrip erinda og veggspjalda. Jarðfræðafélag Íslands, bls. 10.

Höskuldsson A., Kjartansson E., & Hay R. 2004: Continental shelf investigations off the Reykjanes peninsula (in Icelandic). Geoscience Society of Iceland, Spring meeting 2004. p. 10.

Jarðfræðafélag Íslands

VORRÁÐSTEFNA 2004

Ágrip erinda og veggspjalda

Umsjón:
Sigurður Sveinn Jónsson
ssjo@isor.is

Haldin í Öskju
14.maí 2004

Efnisyfirlit

Oxunarstig í vatni á Íslandi.....	7
Andri Stefánsson og Stefán Arnórsson	
Neðansjávar hverfjöll og árfarvegir á 75 m dýpi suður af Íslandi: Merki um lægri sjávarstöðu á síðasta jökulskeiði við Vestmannaeyjar	9
Ármann Höskuldsson, Einar Kjartansson, Richard Hey, Niel Driscoll & Robert Detrick	
Hafsbotnsrannsóknir út af Reykjanesi.....	10
Ármann Höskuldsson, Einar Kjartansson & Richard Hey	
Gliðnum Íslands í 14 milljón ár	12
Árni Hjartarson	
Gliðnum Íslands á sögulegum tíma	14
Árni Hjartarson	
Er hluti af jarðhitavatni á höfuðborgarsvæðinu frá síðasta jökulskeiði?	16
Árný E. Sveinbjörnsdóttir	
Rafleiðni í skorpu og möttli undir Íslandi.....	18
Axel Björnsson, Hjálmar Eysteinnsson og Martin Beblo	
Major and trace element relative mobility in surface- and ground waters in basalts around Snæfellsjökull volcano, W-Iceland	20
Bjarni Reyr Kristjánsson & Stefán Arnórsson	
The hydrogeochemistry of surface- and ground waters in basalts around Snæfellsjökull volcano, W-Iceland. General characteristics, mineral saturation state, and elemental origin	21
Bjarni Reyr Kristjánsson & Stefán Arnórsson	
Distribution of liquid water content in alpine and maritime snow covers.....	23
A. H. Jarosch, A. Denoth	
Formation of the steam-cap in the geothermal reservoir of Svartsengi, Reykjanes peninsula, Iceland	24
Niels Giroud and Stefán Arnórsson	
Líkanreikningar af viðbrögðum jökla á Íslandi við loftslagsbreytingum.....	25
Guðfinna Aðalgeirsdóttir, Tómas Jóhannesson, Helgi Björnsson	
Saksunarvatnsgjósulagið: útbreiðsla og uppbygging.	26
Guðrún Eva Jóhannsdóttir, Þorvaldur Þórðarson, Áslaug Geirsdóttir	
Jarðskjálftavirkni á Íslandi 2003.....	27
Gunnar B. Guðmundsson, Steinunn S. Jakobsdóttir og Bergþóra S. Þorbjarnardóttir	

Háhitakerfið á Reykjanesi. Endurskoðað jarðfræðilíkan	28
Hjalti Franzson	
Petrology and geochemistry of the Esjufjöll central volcano, SE Iceland	30
Fredrik Holm, R.G. Trønnes, K. Grönvold, H. Karlsson, H. Torfason	
Forn jökulhlaup og setmyndun í Hestvatni í Grímsnesi.....	32
Hrafnhildur Hannesdóttir, Áslaug Geirsdóttir, Gifford Miller	
Verkefnið Vatnsauðlindir Íslands.....	33
Hrefna Kristmannsdóttir, Stefán Arnórsson, Árný E. Sveinbjörnsdóttir og Halldór Ármannsson	
Mesta stærð íslenska meginjökulsins á síðasta jökulskeiði	35
Hreggviður Norðdahl, Halldór G. Pétursson, Alun Hubbard	
Breytingar á sýndaraldri sjávar, gjóskulagatímatal og geislakolsgreiningar.....	36
Jón Eiríksson, Guðrún Larsen, Karen Luise Knudsen, Jan Heinemeier og Leifur A. Símonarson	
Loftslagsbreytingar frá landnámsöld fram á okkar daga í ljósi setlaga á norðlenska landgrunninu	37
Jón Eiríksson, Guðrún Larsen, Esther Ruth Guðmundsdóttir og Karen Luise Knudsen	
Bylgjubrotsmælingar við undirbúning mannvirkjagerðar	38
Karl Gunnarsson	
First results on the fracture populations of Borgarfjörður—Hvalfjörður from aerial photographs, West Iceland.....	39
Maryam Khodayar, Hjalti Franzson, Sveinbjörn Björnsson, Skúli Víkingsson, and Guðrún Sigríður Jónsdóttir	
Field tectonic data from East Núpur/West Hagafjall, Gnúpverjahreppur, South Iceland	40
Maryam Khodayar and Hjalti Franzson	
Krísuvíkurrhinan í ágúst 2003: kortlagning brotflata með eftirskjálftum og GPS mælingum.....	41
Kristín S. Vogfjörð, Halldór Geirsson og Erik Sturkell	
Efnaskipti gruggs og sjávar í Skeiðarárhlaupinu 1996	42
Matthildur B. Stefánsdóttir og Sigurður R. Gíslason	
Tephra layers in two Greenland ice cores – Frequency, composition and origin of eruptions from 33-10ka BP (calendar ice core age)	43
Anette K. Mortensen, M. Bigler, K. Grönvold, S. Johnsen, JP Steffensen, Siwan Davies	
Drumbabót í Fljótshlíð –fornar skógarleifar – Leifar eftir jökulhlaup úr Mýrdalsjökli	44
Ólafur Eggertsson, Óskar Knudsen, Hjalti J. Guðmundsson	

Brúarjökull: setmyndunarumhverfi framhlaupsjökuls	46
Ólafur Ingólfsson	
Surface ruptures in the South Iceland earthquake of 1912.....	47
Páll Einarsson, Maryam Khodayar, and Steingrímur Þorbjarnarson and students	
Viðvaranir um jarðskjálfta. Um hagnýingu spárannsókna og mikilvægi bráðavárkerfisins. 48	
Ragnar Stefánsson, Matthew J. Roberts, Steinunn Jakobsdóttir og Gunnar B. Guðmundsson	
Dalvíkurskjálftinn og Tjörnesbrotabeltið.....	50
Ragnar Stefánsson, Gunnar B. Guðmundsson og Páll Halldórsson	
Samband mældrar úrkomu og meðalsnjósöfnunar	51
Ríkharður Friðrik Friðriksson og Haraldur Ólafsson	
BRÁÐAVÁ: an Internet-based platform for rapid visualisation and communication of tectonic activity in Iceland.....	52
Matthew J. Roberts, Ragnar Stefánsson, Páll Halldórsson, Vigfús Eyjólfsson	
Innlyksur í kristöllum — „Mohole“ að hætti Skota	53
Sigurður Steinþórsson	
Upptakagreining smáskjálfta og kortlagning sprungna á Suðvesturlandi	54
Sigurlaug Hjaltadóttir, Kristín S. Vogfjörð	
The nature and interpretation of the Goðabunga earthquakes	56
Heidi Soosalu, Kristín Jónsdóttir and Páll Einarsson	
Jarðefnafræði – jarðhitavatn og jarðgufa, tilraunir og líkanreikningar	58
Stefán Arnórsson, Andri Stefánsson, Ingvi Gunnarsson, Jón Ö. Bjarnason, Niels Giroud og Sven Þ. Sigurðsson	
Uppruni grunnvatns í Skagafirði samkvæmt athugunum á náttúrulegum kenniefnum	59
Stefán Arnórsson og Árný E. Sveinbjörnsdóttir	
Increased magma pressure under Katla volcano.....	61
Erik Sturkell, Halldór Geirsson Páll Einarsson and Freysteinn Sigmundsson	
Greinargerðaröð um ýmis atriði verðurfars á Íslandi	62
Trausti Jónsson	
Árstíðasveifla nokkurra veðurþátta á Íslandi	62
Trausti Jónsson	
The oxygen fugacity of volatile-free mantle and experimental evidence for crystal-driven redox reactions caused by lower mantle perovskite.....	63
Reidar G. Trønnes , D.J. Frost, C. Liebske, F. Langenhorst, C.A. McCammon, D.C. Rubie	

Oxunarstig í vatni á Íslandi

Andri Stefánsson og Stefán Arnórsson

Raunvísindastofnun Háskólans, Dunhaga 3, 107 Reykjavík

Mörg efni fyrirfinnast á fleiru en einu oxunarstigi í umhverfinu. Má þar nefna næringarsölt ($\text{NO}_3, \text{NO}_2, \text{NH}_4$), járn (Fe^{2+} og Fe^{3+}), mangan (Mn^{2+} og Mn^{4+}), kopar (Cu^+ , Cu^{2+}), súrefni (O_2 og H_2O), arsen (As^{3+} og As^{5+}), breinnisteinn (S^{2-} til S^{6+}). Oxunarspenna tiltekens efnis segir til um hlutfall milli oxunarstiga og er ein af mikilvægustu breytunum til að lýsa efnafræði vatnisins ásamt t.d. pH og hitatsigi. Oxunarstig vatns er lýst með spennu og vensl oxunarspennu og virkni (styrkur) tiltekens efnis á mismunandi oxunarstigi er lýst með Nernstjöfnu.

Á árunum 1996-1998 var yfir 250 sýnum safnað af köldu og heitu ($<100^\circ\text{C}$) vatni í Skagafirði og styrkur aðalefna og snefilefna mældur (Stefán Arnórsson o.fl., 2002). Jafnframt var styrkur nokkurra efna með mismunandi oxunarstig mældur, þ. e. næringarsölt ($\text{NO}_3, \text{NO}_2, \text{NH}_4$), járn (Fe^{2+} og Fe^{3+}), súrefni (O_2) og brennisteinssambanda (H_2S og SO_4). Út frá þessum efnagreiningum var dreifing efnasambanda í sýnunum reiknuð með aðstoð WATCH foritsins (Jón Ö. Bjarnason, 1994) og oxunarspenna tiltekinna efna reiknuð út frá Nernstjöfnunni. Jafnframt var oxunarstig sýna mælt á sýnatökustað með platínu rafskauti.

Niðurstöðurnar sýna að mikið ójafnvægisástand ríkir milli efna og efnasambanda sem fyrirfinnast í fleiru en einu oxunarstigi (1. mynd). Mismunurinn á reiknaðri oxunarspennu fyrir mismunandi efnahvörf er allt að 1000 mV, sem samsvarar nánast til alls stöðugleikasviðs vatns. Jafnframt er mæld oxunarspenna vatnsins með platínum rafskauti í ósamræmi við einstök efni og efnahvörf. Af þessu má draga þá ályktun að ekki er hægt að skilgreina tiltekið oxunarstig eða oxunarspennu fyrir kalt vatn og jarðhitavatn af lághitasvæðum á Íslandi. Jafnframt er ekki hægt að reikna út dreifingu efna sem fyrirfinnast á mismunandi oxunarstigi út frá mældri oxunarspennu, t.d. með platínum rafskauti, og heildar styrk efnisins í vatninu. Nauðsynlegt er að mæla öll oxunarstig tiltekens efnis ef skilja á þau ferli sem stjórna styrk efnanna í vatninu og umhverfinu.

Þegar einstök efni eru skoðuð, t.d. O_2 og H_2O annars vegar og Fe^{2+} og Fe^{3+} hins vegar, kemur í ljós að tiltekin ferli stjórna styrk þessarra efna í vatninu og hlutfallinu milli þeirra. Þannig er styrkur súrefnis í vatninu og oxunarspenna fyrir hvarfið $0,5\text{O}_2(\text{aq}) + 2\text{H}^+ = \text{H}_2\text{O} + 2\text{e}^-$ stjórnað af leysni súrefnis í vatni (KO_2) og hlutþrýsitingi súrefnis í andrúmsloftinu PO_2 eða $m\text{O}_2(\text{aq}) = \text{KO}_2 \times \text{PO}_2$. Fyrir járn í köldu vatni er styrkur á Fe^{3+} stjórnað af útfellingu á járnhydrosíði (mýrarrauða) og jafnvægi ríkir milli Fe^{2+} og Fe^{3+} í vatninu við $\text{pH} > 6$ og þar með er styrkur Fe^{2+} líka stjórnað af útfellingu á mýrarrauða. Hins vegar ríkir ekki jafnvægi milli súrefnis og járn í yfirborðsvatni þar sem efnahvörfin milli efnanna eru mjög hæg og uppsprettur súrefnis í andrúmsloftinu og járn í berginu og jarðveginum eru nánast ótæmandi, þ. e. kerfið er opið. Fyrir grunnvatn er sagan önnur. Þar er vatnið ekki í snertingu við andrúmsloftið og súrefnisstyrkurinn í vatninu lækkar ört samfara uppleysingu frumsteinda og oxunar. Hvort stöðugt ástand náist í slíkum lokuðu kerfum er óljóst.

Flest efni sem fyrirfinnast á fleiri en einu oxunarstigi í vatninu eru snefilefni (styrkur < 1 ppm). Áhrif einstakra efnahvarfa á oxunarspennuna eru því lítið. Undir slíkum kringumstæðum hefur verið sýnt fram á að oxunar/afoxunarhvörf milli yfirborðs platínu rafskautsins, súrefnis og vatnsins mynda spennu (Clavilier o.fl. 1991). Tilraunir voru gerðar á sambandi spennu platínuskaupsins, pH (6-10) og hita ($0-80^\circ\text{C}$) og vatnslausnar sem inniheldur engin efni sem geta gefið spennu. Samanburður þessarra tilrauna við mældu oxunarspennu með platínu rafskautinu á vatnssýnunum í Skagafirði benda til að mældu

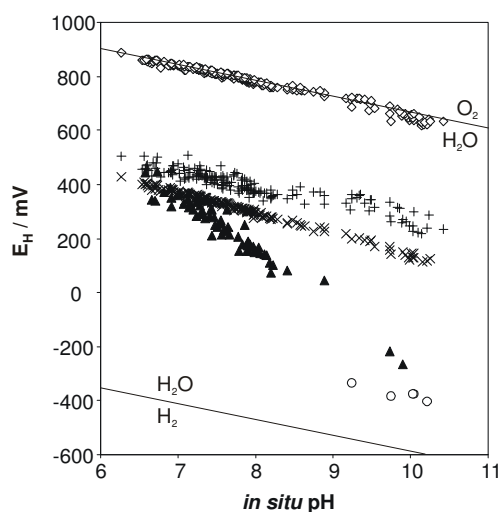
spennan stafi af fyrrigreindum efnahvörfum milli platínu rafskautsins, súrefnis og vatnsins (2. mynd) og hafi því ekkert með oxunarstig vatnsins að gera enda sé slíkt óskilgreinanlegt þar sem ójafnvægi ríkir milli efna af mismunandi oxunarstigum í vatninu.

Heimildir

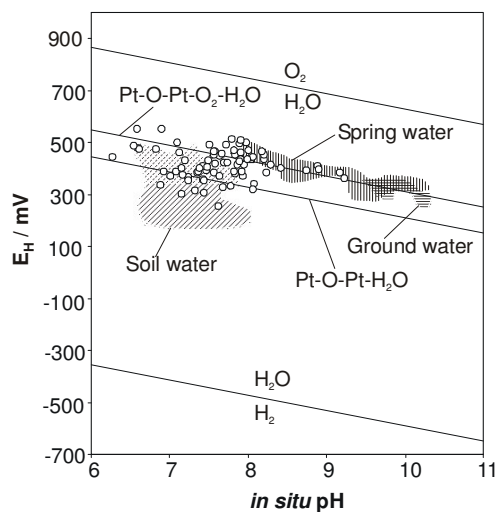
J. Clavilier, A. Rhodes og M.A. Zamakhachari (1991) Electrochemistry at platinum single-crystal surfaces in acid media – hydrogen and oxygen-adsorbtin. J. Chim. Phys. 88, 1291-1337.

Jón Ö. Bjarnason (1994) The speciation program WATCH version 2.1. Orkustofnunarskýrsla.

Stefán Arnórsson, Ingvi Gunnarsson, Andri Stefánsson, Auður Andréðóttir og Árný E. Sveinbjörnsdóttir (2002) Major element chemistry of surface- and ground waters in basaltic terrain, N-Iceland. I. Primary mineral saturation. Geochim. Cosmochim. Acta 66, 4015-4046.



1. Mynd. Samband oxunarspennu mismunandi oxunarhvarfa og pH. Tákn sýna reiknaða oxunarspennu fyrir mismunandi hálfhvörf.



2. Mynd. Samband oxunarspennu sem mæld var með platínu rafskauti og oxunarspennu sem myndast milli vatns og platínu eafskautsins.

Neðansjávar hverfjöll og árfarvegir á 75 m dýpi suður af Íslandi: Merki um lægri sjávarstöðu á síðasta jökulskeiði við Vestmannaeyjar

Ármann Höskuldsson¹, Einar Kjartansson², Richard Hey³, Niel Driscoll⁴ & Robert Detrick⁵

¹Raunvísindastofnun Háskólans, armh@hi.is, ²Hafrannsóknarstofnun, Skúlagötu, eik@hafro.is, ³University of Hawaii, USA, ⁴SCRIPPS Institute of Oceanography, USA, ⁵Woods Hole Oceanographic Institute, USA

Vestmannaeyjar standa undan suðurströnd landsins og eru gjarnan taldar bera vitni um það að Austurgosbeltið sé að teygja sig til suðurs í átt að Reykjanes hrygg. Austurgosbeltið markar plötuskil Ameríku- og Evrasíu plötunnar. Það er trú manna að plötuskilin er liggja þvert yfir landið hafi færst til fyrir um 3 milljónum ára. Færslan átti sér stað fyrst í norðrinu en síðan hafa plötuskilin verið að brjóta sér leið suður á bóginn. Vestmannaeyjar eru syðsti hluti þessa kerfis og hafa allavega tvær goshrynur átt sér stað þar á síðustu 10.000 árum. Fyrri hrinan átti sér stað fyrir um 7000 til 6000 árum og hin seinni byrjaði 1963 með gosinu í Surtsey. Síðasta gos í Eyjum átti sér stað fyrir um 31 ári, þegar eldur huldi um ¼ bæjarins.

Í júlí og ágúst árið 2003 voru gerðar fyrstu grunnrannsóknir á hafsbotninum í kringum Vestmannaeyjar. Við rannsóknirnar var notast við “SIO SUBSCAN chirp” endurkastsmæli. Tækið sendir frá sér bylgjur sem að ganga ofan í setlögin og gefa upplýsingar um lagskiptingu þeirra sem og hvort að greina megi nýleg brot sem rekja megi til eldvirkni og plötuskila myndunar. Ennfremur var notaður “Sidescan sonar” sem framkallar myndir af hafsbotninum með endurkasti bylgna af yfirborðsmyndunum. Við þessar mælingar var notast við rannsóknarskipið Bjarna Sæmundsson sem er í eigu Hafrannsóknarstofnunar. Þá var farið yfir sama svæði með EM300 fjölgeislataeki Hafrannsóknarstofnunar sem er um borð í Árna Friðrikssyni. En EM300 tækið mælir yfirborð hafsbotnsins með mikilli nákvæmni og gefur þannig mjög góðar þrívíðar upplýsingar um hann. Megin áhersla þessara rannsókna var að athuga hvort að eldvirkni á svæði stafaði af myndun plötuskila og því hvort að vænta mætti aukinnar eldvirkni á svæðinu í framtíðinni.

Mælingar á svæði rétt suð austur af Surtsey og dagsdaglega gengur undir nafninu Stórahraun komu okkur mjög á óvart. Á sjókortum er þetta svæði synt sem stór kollur er skagar upp fyrir umhverfi sitt. Mælingarnar sýndu hinsvegar að á há kollinum voru þrír myndarlegir gígar. Dýpi niður á þessa gíga er frá 75 til 100 metrar. Nánari athugun á gígnum sýnir að þeirra stærstur er um 1 kílómetri í þvermál en hinir tveir eru 400 til 500 metrar í þvermál. Svo umfangsmiklir gígar geta eingöngu hafa myndast í miklu sprengigosi og líklegast á mörkum þurr- og votlendis. Gígarnir eru mjög vel varðveittir og lítt rofnir, samanborið við aðra gíga sem að við þekkjum á svæðinu, eins og t.d. Surtsey, Jólnir og Syrtlingur, Þetta gefur til kynna að móbergsmýndun þeirra, hörðnun, hafi átt sér stað áður en að þeir fóru á kaf í sæ, þar sem að ella hefðu þeir orðið úthafsöldunni að bráð. Af þessu má draga þá ályktun að eldgos það sem að myndaði gígana hafi átt sér stað þegar gosstöðvarnar voru nærri sjávarmáli og móberg náði að myndast áður en úthafsaldan náði til þeirra. Ummerki lægri sjávarstöðu við Eyjar kom einnig fram í sniði teknu á milli lands og Eyja, en þar koma fram miklir árfarvegir á kafi í setinu. Dýpi niður á þessa árfarvegi er svipað og við Stórahraun, eða um 75 metrar. Af þessu má draga þá ályktun, að á eða við lok síðasta jökulskeiðs, hafi sjávarmál orðið allt að 80 til 100 metrum lægra en það er í dag. Í ljósi þessa má ennfremur draga þá ályktun í samhengi við eldri gögn að vestmannaeyja svæðið hafi að mestu verið íslaut á þessum tíma og myndað skaga út í hafið.

Hafsbotnsrannsóknir út af Reykjanesi

Ármann Höskuldsson¹, Einar Kjartansson² & Richard Hey³

¹Raunvísindastofnun Háskólans, armh@hi.is, ²Hafrannsóknarstofnun, Skúlagötu, eik@hafro.is, ³University of Hawaii, USA

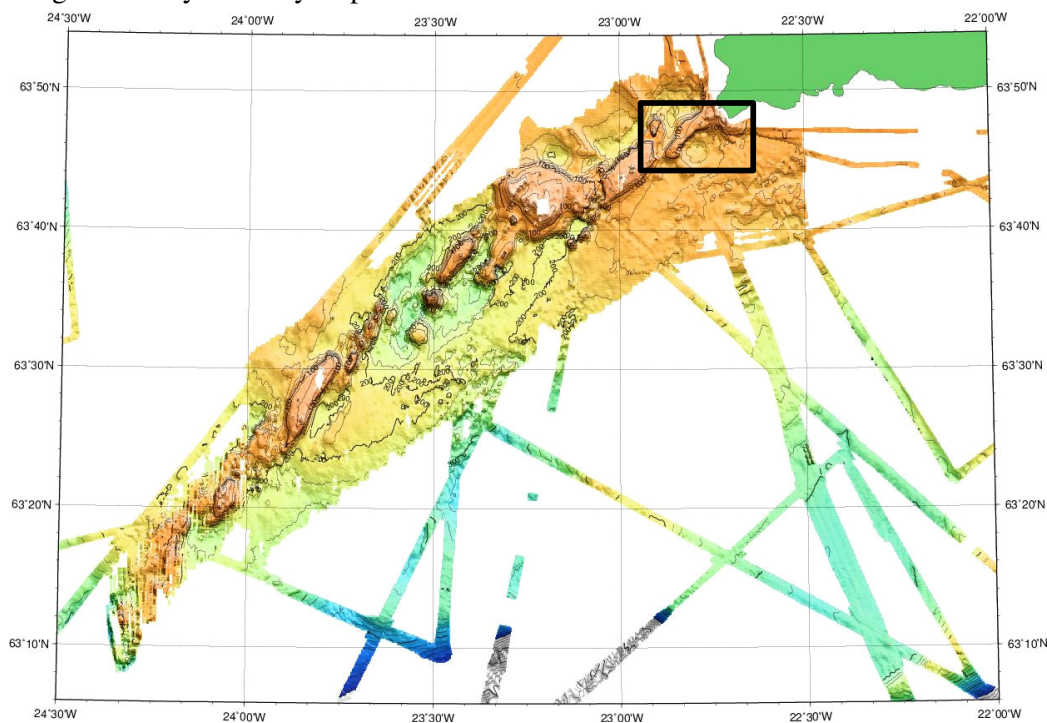
Reykjaneshryggurinn gengur á land á Reykjanesi. Hryggurinn markar plötuskil Ameríku- og Evrasíuplötunnar. Plötuskilin eru einkennileg fyrir þær sakir að þau eru ekki hornrétt á rekstefnuna. Fyrir vikið er Reykjaneshryggur ein merkilegustu plötuskil í heiminum í dag.

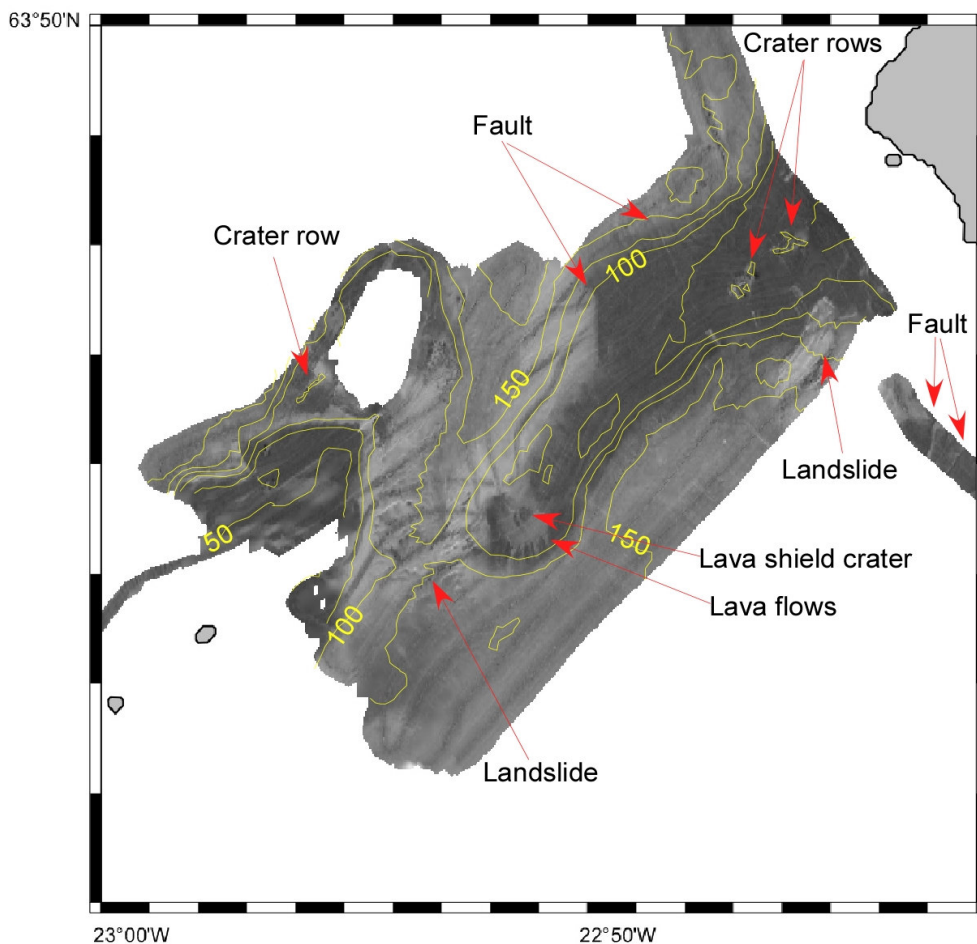
Í júlí og ágúst árið 2003 voru gerðar botnhörku og dýptarmælingar á hafsbotninum út af Reykjanesi. Farið yfir svæðið með EM300 fjölgeislatæki Hafrannsóknarstofnunar sem er um borð í Árna Friðrikssyni. En EM300 tækið mælir yfirborð hafsbotnsins með mikilli nákvæmni og gefur þannig mjög góðar þrívíðar upplýsingar um hann. Ennfremur gefur styrkur endurkast bylgna upplýsingar um gerð hafsbotnsins. Megin áhersla þessara rannsókna var að skilja eðli eldvirkni á svæðinu og því hvort að vænta mætti aukinnar eldvirkni í framtíðinni og þá hverslags eldvirkni.

Rannsóknir okkar út af Reykjanesi sýna að eldvirknin þar myndar skýrt afmarkaða hryggi, sem að sitja skáhalt yfir- og misstíga eftir flekamótunum. Á óvart kemur hversu misgengi og sprungur eru lítt áberandi á svæðinu. Líklega má tengja sprunguleysið því að á svæðinu eru sprengigos mjög algeng, en þau mynda rúmfrekar gosmyndanir sem auðveldlega geta kaffært minni sprungur og misgengi.

Athyglisverð, en óútskýrð, stefnubreyting kemur fram í gögnum frá Reykjaneshrygg. Um það bil 20° stefnubreyting verður á goskerfunum er þau stíga á land á Reykjanesi.

Myndin hér að neðan sýnir Reykjanes hrygginn eins og við þekkjum hann í dag. Dýptarmælingar sem að myndin er byggð á eru einkum fegnar með svokölluðum eingeisla mælingum. Línur út frá hryggnum eru frá Hafrannsóknarstofnun og nýja EM300 mælitæki þeirra. Ferningurinn á myndinni sýnir það svæði sem að við skoðuðum sumarið 2003.





Á myndinni hér að ofan gefur að líta kort af rannsóknarsvæðinu út af Reykjanesi. Kortið sýnir svonefnt “Back scatter” sem er í raun mælikvarði á hörkuna í botninum. Inn á myndina hafa verið dregnar jafndýptarlínur fengnar með sömu gögnum. Skýrt koma í ljós á þessari mynd misgengi, hraun, gígaraðir og skriðuföll.

Miðað við niðurstöður frá mælingum okkar í Eyjum er hugsanlegt að sléttan sem að kemur fram á um 80 m dýpi hafi myndast við lægri sjávarstöðu við Ísland fyrir um það bil 13000 árum. Gígaraðir rétt fyrir utan Reykjanes eru væntanlega framhald af Stamparöðunum, sem að eru yngstu eldgos á landi. Gígaröð sem að kemur fram rétt utan við stóra gatið í gögnunum tengist Klettinum sem að nær upp til um það bil 10 m dýpis. Athygli vekja skriðu ummerki sem að koma skýrt fram á milli Eldgjár hryggjarins og landhryggjarins. Ennfremur eru greinileg ummerki skriðufalla nær landi. Skriðuföll á þessum hryggjum geta hæglega komið af stað hafnarbylgjum “Tsunami” sem að gætu haft í för með sér alvarlegar afleiðingar fyrir strandbyggðir í nágrenninu.

Gliðnum Íslands í 14 milljón ár

Árni Hjartarson

ÍSOR, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Hinn kunni danski jarðfræðingur Niels Nielsen (1933) varð fyrstur manna til að veita því athygli að gosbelti Íslands einkennast af gliðnunarprungum og skrifaði um þær. Þar taldi hann að höggunin sýndi að Ísland væri að gliðna og að í raun væri þessi gliðnun orsök að eldvirkninni í landinu. Hann var einn af fáum fylgjendum lendrekskenningar Wegeners á þessum tíma en Wegener sjálfur hafði þá fyrir fáum árum farist í rannsóknarleiðangri á Grænlandi. Þessar hugmyndir lágu þó í láginni næstu 30 árin en á 7. áratug 20. aldar náðu þær loks almenntri viðurkenningu.

Gliðnun í Norður Atlantshafi hefur verið allvel þekkt frá því Vine (1966) birti niðurstöður byggðar á athugunum á segulreinum hafsbotnsins og adursgreiningum á þeim. Í nýjustu reiknilíkönum er hún talin vera um 1,8 cm /ár til lengri tíma litið (DeMets o.fl 1990, Ágúst Guðmundsson 2000). Elsta aldursgreinda berg á Íslandi er á útnárum landsins í austri og vestri; 15 milljón ára í Tóarfjalli á Vestfjörðum og 13 milljón ára í Gerpi. Um 480 km eru þar á milli. Aldur berggrunnins fer síðan í grófum dráttum lakkandi í átt að gosbeltunum inn til landsins. Með því að deila meðalaldri elsta bergs í austri og vestri upp í breidd landsins ætti rekhraðinn til hvorrar handar að koma í ljós:

$$480 \text{ km} / 14 \text{ m.ár} = 34 \text{ km/m.ár} = > \text{Gliðnun} = 3,4 \text{ cm/ár.}$$

Niðurstaðan er mun hærri en hinn almennt viðurkenndi gliðnunarhraði. Menn hafa raunar lengi vitað að ekki er allt með felldu varðandi gliðnunarhætti landsins en fáir hafa kafað djúpt í það mál (Walker 1975). Jarðmyndanir Gerpis og Tóarfjalls eru af flestum taldar komnar upp í fornu gosbelti, Snæfellsnes-Húnaflóa beltinu, sem og mestöll blágrýtismyndun landsins (Kristján Sæmundsson 1979, Björn S. Hardarson o.fl. 1997, Haukur Jóhannesson 1980). Grágrýti og móberg Norðurlands er hins vegar upp runnið í Norðurlandsgosbeltinu sem enn er virkt. Bein lína sem tengir Gerpi og Tóarfjall liggur því næst samsíða rekstefnunni. Rekhraði nokkurra jarðmyndana sem liggja nálægt nefndri línu hefur verið skoðaður og er sýndur í töflu hér að neðan.

	<i>Jarðmyndun</i>	<i>Tímaspönn</i> (10 ⁶ ár)	<i>Gliðnun</i> (cm/yr)
Tóarfjall	Blágrýtisstafli	9	3,4
Gerpir	Megineldstöð	13	3,5
Anómalía 5 á Austurlandi	Segulrein	10,5	3,5
Plíó-Pleistósen beltið á Norðurlandi	Gosbelti	3,3	3,5
Allt Ísland (Tóarfjall–Gerpir)	Ísland	14	3,4

Gliðnunin í þessum dæmum er furðu há og jöfn þótt jarðmyndarnir séu af ólíkum toga, upp runnar í mismunandi gosbeltum og tímabilin ólík. Dæmin liggja þó öll á eða mjög nærri tengilínu Tóarfjalls og Gerpis. Norðar fæst lægri gliðnun og við Kolbeinseyjarhygg norður af landinu er hún komin í 1,8 cm/ár. Sunnan við línuna fæst meiri gliðnun og hámarkið virðist

vera á línu þvert yfir miðju heita reitsins, en erfiðara er þó að átta sig á gliðnuninni þar en norðanlands. Síðan lækkar hún til suðurs og á Reykjanes hrygg er hún komin í 1,8 cm/ári (Árni Hjartarson 2002, 2003).

Nú kann að þykja ótrúlegt að gliðnun á Íslandi sé meiri en gliðnun á jarðskorpuflekunum sem það tilheyrir. En þá hlýtur eitthvað að vera bogið við aldursgreiningar á landinu, jarðsögulegt tímatal og segulkvarða. Bergið austanlands og vestan ætti að vera miklu eldra, 25 milljón ára eða svo. Það er líka mjög ótrúleg niðurstaða. Þriðja skýringin gæti verið sú að undir landinu leyndist fleki eða flísar af eldra bergi, eldfornri mengilandsskorpu eða gamalli úthafsskorpu (Foulger 2003, Foulger o.fl. 2003). Það gæti skýrt mikla en falska gliðnun, sýndargliðnun. Þessi fleki þyrfti þó að vera yfir 200 km breiður og um 50.000 km² að flatarmáli. Það telst heldur ekki trúleg skýring. Gliðnun Plíó-Pleistósen beltisins á Norðurlandi mælir auk þess gegn henni.

Að öllu samanlögðu er niðurstaðan sú að það sé gliðnunarhraðinn sem þarfnist endurskoðunar og hann sé í raun mun meiri en gert hefur verið ráð fyrir hingað til.

Heimildir

- Ágúst Guðmundsson 2000: Dynamics of Volcanic Systems in Iceland: Example of Tectonism and Volcanism at Juxtaposed Hot Spot and Mid-Ocean Ridge System. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 28, 107-140.
- Árni Hjartarson 2002: Ísland – Hraðfara eyja á hægskreiðum botni. *Vorráðstefna 2002. Ágrip erinda og veggspjalda*, Jarðfræðafélag Íslands 1-2.
- Árni Hjartarson 2003: Crustal Spreading in Iceland. Í: *The Skagafjörður Unconformity, North Iceland, and its Geological History*. PhD-thesis, Geological Museum, University of Copenhagen.
- Björn S. Harðarson, Fitton, J.G., Ellam, R.M. and Pringle, M.S. 1997: Rift relocation – a geochemical and geochronological investigation of a paleo-rift in NW Iceland. *Earth and Planetary Science Letters* 153, 181-196.
- DeMets, C. Gordon, R.G., Argus, D.F. and Stein, S. 1990: Current Plate motions. *Geophys. J. Int.* 101, 425-478.
- Foulger, G.R. 2003: On the apparent eastern migration of the spreading ridge in Iceland. *The Hot Spot Handbook, Proceedings of Penrose Conference Plume IV: Beyond the Plume Hypothesis*, Hveragerði, Iceland.
- Foulger, G.R., Du, Z. and Julian, B.R. 2003: Icelandic-type crust. *Geophysical Journal International* 155, 567-590.
- Haukur Jóhannesson 1980: Jarðlagaskipan og þróun rekkelta á Vesturlandi. *Nattúrufræðingurinn* 50, 13-31.
- Kristján Sæmundsson 1979: Outline of the geology of Iceland. *Jökull* 29, 7-28.
- Nielsen, N. 1933. Contribution to the physiography of Iceland with particular reference to the highlands west of Vatnajökull. *Det Kongelige Danske Videnskabs Selskabs Skrifter. Naturvidenskab og Matematik. Afd. 9, Række IV. 5.* 105 pp. Copenhagen.
- Vine, F.J. 1966: Spreading of the Ocean Floor: New evidence. *Science* 154, 1405-1415.
- Walker, G. P. L. 1975. Excess spreading axes and spreading rate in Iceland. *Nature* 255, 468-470.

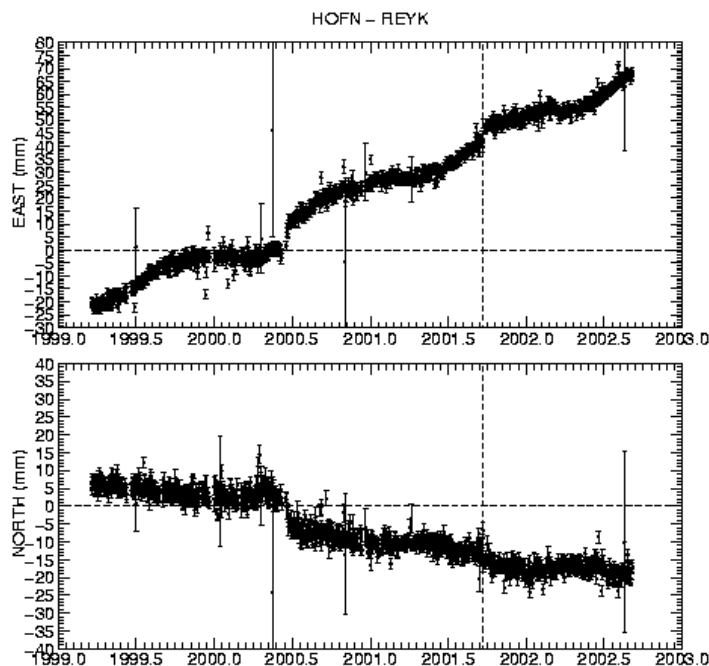
Gliðnum Íslands á sögulegum tíma

Árni Hjartarson

ÍSOR, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Margt bendir til þess að gliðnun jarðskorpunnar á Íslandi sé sé í raun mun meiri og hraðari en gert hefur verið ráð fyrir hingað til. Athuganir á línu þvert yfir norðanvert landið gefa til kynna að á síðustu 15 milljón árum hafi hún verið 3,4 en ekki 1,8 cm á ári eins og almennt mun þó talið. Gliðnunin virðist tiltölulega jöfn hvort sem litið er á alla jarðsögu landsins eða skemmri jarðsögutímabil (t.d. milljón ár). Nú hlýtur sú spurning að vakna hvort þessarar aukagliðnunar verði vart í gögnum sem spanna mun skemmri tíma t.d. 1000 ár eða jafnvel aðeins eitt ár. Það skal þó tekið fram að þessi gliðnun gæti verið lotubundin og þótt hún virðist jöfn þegar litið er til heilla jarðsöguskeiða er ekkert sem segir að hún þurfi að koma fram á stuttum tímakvarða.

Frá árinu 1999 hefur Veðurstofa Íslands rekið nokkrar síritandi GPS stöðvar til þess að mæla jarðskorpuhreyfingar og gliðnun lands (www.vedur.is). Evrópsk vísindastofnun, EUREF (European Reference Frame), rekur einnig slíkt mælanet sem spannar alla álfuna (<http://epncb.oma.be>). Þær tímaraðir sem þegar hafa fengist eru enn of stuttar til að unnt sé að spá í alla langtímapróun (myndir 1 og 2). Frá mars 1999 til apríl 2004 hefur fjarlægðin milli Reykjavíkur og Hafnar aukist sem svarar til 20,3 mm á ári (eftir að áhrif Suðurlandsskjálftanna sumarið 2000 hafa verið síuð frá).

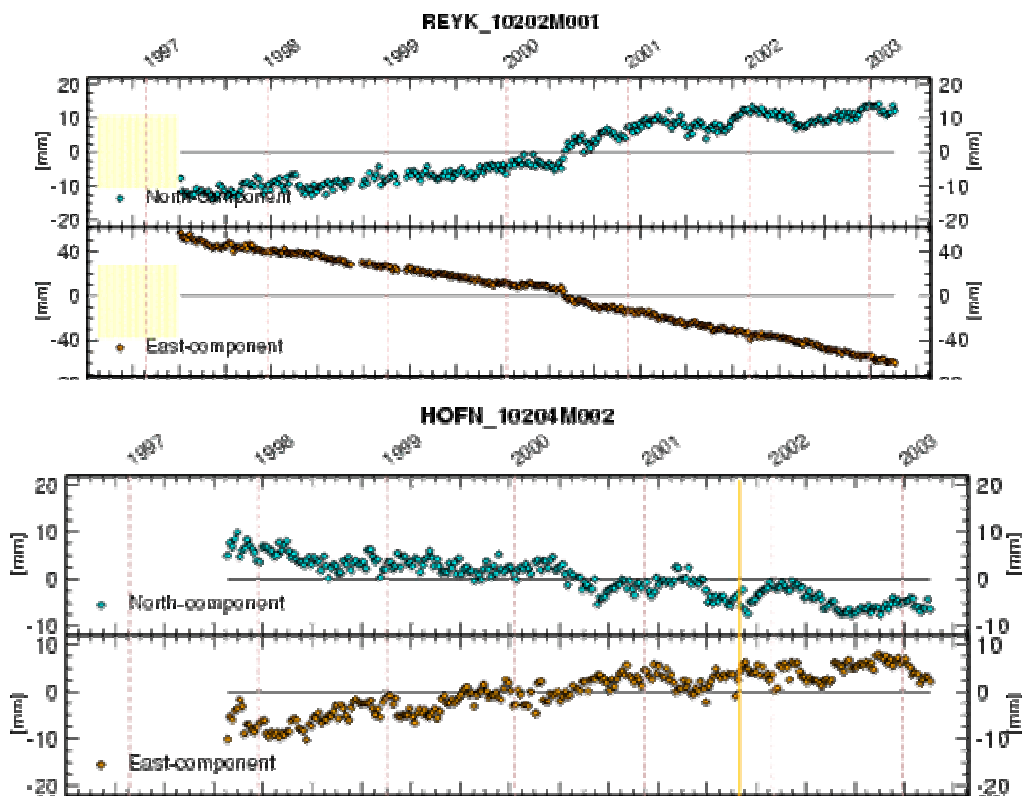


Mynd 1. Gliðnun lands eftir GPS-mælilínunni Reykjavík – Höfn. Frá mars 1999 hefur fjarlægð stöðvanna aukist um 20,4 mm á ári. Prepið í punktastafninu stafar af Suðurlandsskjálftinum í júní 2000 (Myndin er fengin af vefsíðu Veðurstofu Íslands).

Nýverið birtust athuganir á núverandi reki jarðskorpuþekanna (Sella o.fl. 2002) sem byggt er á nákvæmum gögnum, einkum GPS mælingum, frá tímabilinu 1993-2000. Skv. því gliðnar Íslandi um 20,3 $\pm$ 0,2 mm á ári. Þetta er um 10% meiri gliðnun en eldri reikningar sýndu (1,8 mm/ár, DeMets o.fl. 1990). Aukagliðnunin sem rætt var um að ofan kemur því ekki fram hér nema þá að mjög litlu leyti.

Ef Ísland gliðnar með meiri hraða en jarðskorpuþlekarnir sem það situr á ætti Austurland að nálgast meginland Evrópu. Í EUREF-gögnunum ætti það að koma fram á GPS mælinum á Höfn, og það er reyndar tilfellið. Frá 1998 hefur Höfn nálgast meginlandið að jafnaði um 4 mm á ári. (<http://epncb.oma.be/organisation.html>).

Það er athyglisvert hve GPS-mælingarnar sýna stöðuga gliðnun og hún virðist söm og jöfn hvort sem mælt er um langan veg eins og yfir Atlantshafið frá Reykjavík til Evrópu eða skamma leið eins og milli Reykjavíkur og Hafnar eða Reykjavíkur og Hveragerðis. Þetta má túlka sem hina víðfeðmu gliðnun Evrasíu- og N-Ameríkuflekanna.



Mynd 2. Tímaröð frá EUREF Permanent network. Efri ramminn sýnir rek stöðvarinnar í Reykjavík í átt frá meginlandi Evrópu. Neðri ramminn sýnir mun hægari hreyfingu stöðvarinnar í Höfn á átt að meginlandinu. Athugið mismunandi kvarða á lóðási. (Myndin er fengin af vefsíðu EUREF, <http://epncb.oma.be/organisation.html>).

Á Íslandi virðist sem lotubundin aukagliðnun eigi sér stað í svonefndum gliðnunarhrinum (rifting episodes) sem verða samfara sprungugosum og hugsanlega í stórum skjálftum á þver-gengisbeltum landsins. Í Kröflueldum (1975-1984) mældist um 7,5 m gliðnun um miðbik sprungusveimsins og um 5 m að meðaltali eftir honum endilöngum á um 80 km kafla. Tvær aðrar gliðnunarhrinur a.m.k. hafa orðið í Norðurlandsgosbeltinu á sögulegum tíma en þær urðu samfara gosunum í Öskju og Sveinagjá 1875 og í Mývatnseldum 1724-1729. Þessar hrinur voru ámóta stórar eða stærri en Kröfluumbrotin. Engar afgerandi tölur hafa verið settar fram um gliðnunina samfara þeim en vart hefur hún verið minni en í Kröflu. Samanlögð gliðnun væri því 15 m. Samkvæmt því hefur gliðnun á Mývatnssvæðinu á síðustu 1000 árum verið 18 m vegna stöðugs landreks að viðbættum 15 m í hrinum eða 33 m alls. Þetta gera 3,3 cm á ári sem er furðu nálægt þeim tölum sem fást þegar til lengri tímabila er litið.

Er hluti af jarðhitavatni á höfuðborgarsvæðinu frá síðasta jökulskeiði?

Árný E. Sveinbjörnsdóttir

Raunvísindastofnun Háskólans, Dunhaga 3, 101 Reykjavík

Á höfuðborgarsvæðinu hafa 5 aðskilin jarðhitakerfi, kennd við Laugarnes, Elliðaár, Seltjarnarnes, Reyki og Reykjahlíð (N-Reykir), verið skilgreind á grundvelli grunnvatnsfræði, hitastigs, efnafræði og gagna um vetnissamsætur (Jens Tómasson og fl., 1976). Uppruni jarðhitavatnsins hefur verið rakinn með hjálp vetnissamsæta til hálendisins norðaustur af Reykjavík, þar sem úrkoma hefur svipað samsætuhlutfall og jarðhitavatnið, en lægra (hærri mínustala) en staðarúrkoma á höfuðborgarsvæðinu (Bragi Arnason, 1976). Árið 1991 kom fram nýtt grunnvatnslíkan af svæðunum (Stefán Arnórsson og fl., 1991), að frátöldu svæðinu á Seltjarnarnesi. Það líkan gerir ráð fyrir að vatnið streymi inn á svæðin við Elliðaár og Laugarnes úr suðvestri eftir Krísuvíkursprungureininni, en inn á svæðin í Mosfellssveit er talið að vatnið streymi eftir Krísuvíkursprungureininni bæði úr suðvestri og norðaustri. Til að útskýra lág samsætugildi jarðhitavatns í Laugarneskerfinu er í þessu líkani gert ráð fyrir að það sé að hluta til frá síðasta jökulskeiði, en þá var úrkoma léttari vegna hins kalda loftslags sem þá ríkti. Áður höfðu komið fram kenningar um að vatnið í Laugarneskerfinu og kerfinu í Helgadal væri gamalt vegna óvenju háa tvívetnisauka ($d=8\cdot\delta^{18}\text{O}-\delta\text{D}$) (Árný E. Sveinbjörnsdóttir, 1988). Í líkani Stefáns Arnórssonar og fl. (1991) eru jarðhitakerfin talin vera hræringarkerfi og varmi vatnsins að mestu fenginn með staðbundnu varmanámi í rótum þeirra fornu megineldstöðva sem jarðhitakerfin tengjast. Hitastig er allt að 130 °C en samkvæmt ummyndunarsteindum (epidót) hefur hann áður verið hærri. Í fyrirlestrinum verður reynt að nota samsætur jarðhitakerfanna til að varpa frekara ljósi á uppruna og afstæðan aldur jarðhitavatnsins.

Samsætur hafa verið mældar í sýnum af jarðhitavatni af höfuðborgarsvæðinu af og til frá því samsætumælingar hófust hér á landi árið 1963. Í upphafi var eingöngu tvívetni mælt en síðan bættust súrefnissamsætur við. Engin teljandi breyting hefur orðið á samsætugildum svæðanna frá því mælingar hófust. Hins vegar er verulegur munur á samsætugildum milli svæða. Súrefnissamsætuhlutföll í jarðhitavatni á svæðunum við Elliðaár (-8,8‰) og í hluta af svæðinu við Reyki í Mosfellssveit (-8,7‰ til -9,3‰) eru svipuð og í staðarúrkomu í dag (-8,6‰) en töluvert lægri í kerfunum við Laugarnes (-9,6‰ til -9,9‰), Seltjarnarnes (-10,4‰) og Reykjahlíð (-9,2‰ til -9,6‰). Vetnissamsætur liggja á bilinu -58‰ til -74‰ og tvívetnisaukinn er breytilegur eftir svæðum frá 10 og upp í 13. Eftirtektarvert er að í engu kerfanna sést súrefnishliðrun þótt hiti nái um 130°C í dag (í Laugarnesi og Reykjahlíð – hin kerfin eru um eða undir 90°C) en hafi verið meiri hér áður fyrr samkvæmt ummyndunarsteindum.

Nýlega hefur kolefnissamsætur verið bætt við gagnasafnið. Mjög mikil breidd er í $\delta^{13}\text{C}$ gildum jarðhitavatnsins (-17‰ til -4‰) þegar litið er á svæðið í heild, en greinilegur breytileiki er milli svæða. Bein tengsl eru milli $\delta^{13}\text{C}$ og ^{14}C aldurs, þannig að $\delta^{13}\text{C}$ mælist því herra (lægri mínustala) sem ^{14}C BP aldur mælist hærri. Elliðaár- og Reykjasvæðið hafa lægstan ^{13}C styrk (stærsta mínustölu) en Seltjarnarnes og Reykjahlíð hæstan. Laugarnes liggur á milli. Þetta gæti bent til að inn á svæðin við Elliðaár og S-Reykir renni vatn sem tekið hefur í sig lífrænt kolefni úr jarðvegi, sennilega ungt. Það á hins vegar ekki við svæðin á Seltjarnarnesi og Reykjahlíð - þar er um hreint djúpvatn að ræða sem má rekja með hjálp vetnissamsæta inn á hálendið NAU af Reykjavík. Af kolefnissamsætunum má hins vegar ráða að í Laugarneskerfinu sé annars konar vatn, nefnilega blanda af léttu djúpvatni og ungu staðbundnu vatni. Þess vegna má ekki rekja uppruna þess inn á hálendið þar sem úrkoma í dag hefur sama vetnissamsætuhlutfall og jarðhitablandan. Samkvæmt frumniðurstöðum verður léttu djúpvatnið að vera enn léttara en djúpvatnsstraumurinn, sem talin er vera frá Langjökli og kemur nokkuð óblandaður upp í kerfinu á Seltjarnarnesi. Kolefnissamsæturnar virðast því

styrkja þá túlkun að í Laugarneskerfinu sé ungt staðbundið vatn blandað gömlu léttu ísaldarvatni, eins og líkan Stefáns Arnórssonar og fl. (1991) gerir ráð fyrir.

Heimildir

- Árný E. Sveinbjörnsdóttir, 1988. Samsætumælingar á vatni úr Mosfellssveit. *Raunvísindastofnun Háskólans, RH-10-88*. 19 bls.
- Bragi Árnason, 1976. Groundwater systems in Iceland traced by deuterium. *Societas Scientiarum Islandica* 42. 236p.
- Jens Tómasson, Ingvar B. Fridleifsson og Valgarður Stefánsson, 1976. A hydrological model for the flow of thermal water in SW-Iceland with special reference to the Reykir and Reykjavík thermal areas. In *United Nations Symposium on the Development and Use of Geothermal Resources in San Francisco*. 643-648.
- Stefán Arnórsson, Sveinbjörn Björnsson og Haukur Jóhannesson, 1991. Afl og orka lághitasvæða Hitaveitu Reykjavíkur. II. Vinnslueiginleikar lághitasvæðanna. *Hitaveita Reykjavíkur*. 74 bls.

Rafleiðni í skorpu og möttli undir Íslandi

Axel Björnsson¹, Hjálmar Eysteinnsson², og Martin Beblo³

¹Háskólinn á Akureyri, ²ÍSOR, ³Háskólinn í München

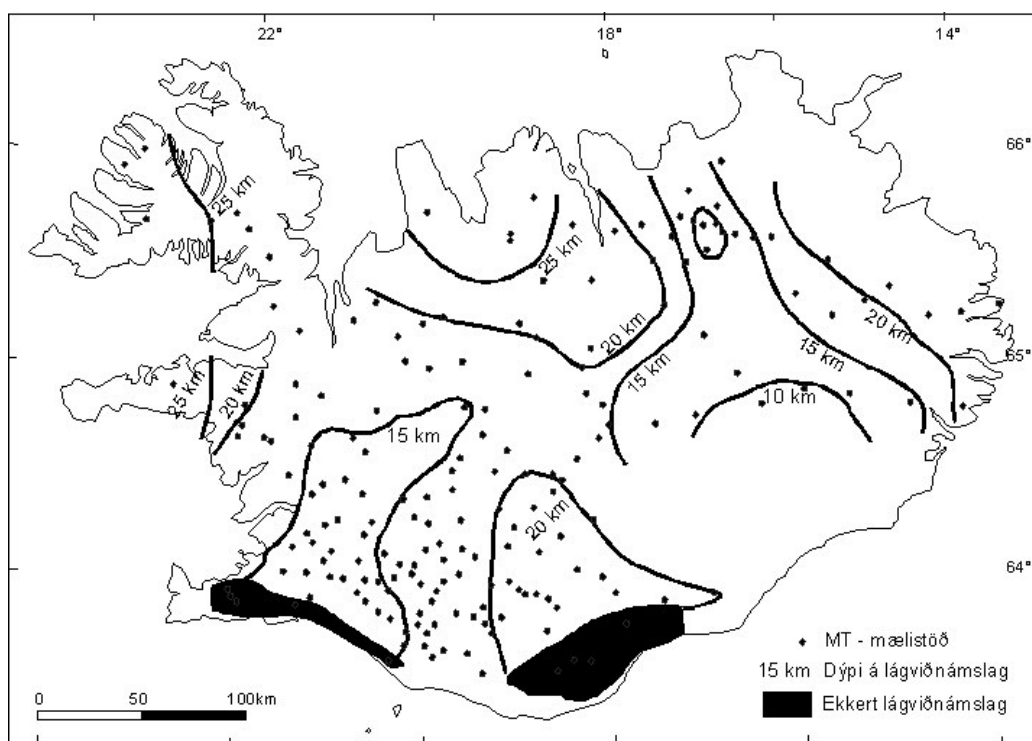
Í meira en þrjá áratugi hafa vísindamenn kannað gerð jarðskorpunnar og möttulsins undir Íslandi og sett fram tvö mismunandi líkön sem eru að hluta byggð á mismunandi túlkun á sömu skjálftafræðilegu gögnunum. Í öðru líkaninu er gert ráð fyrir að skorpan sé þunn eða um 10km þykk innan gosbeltanna en þykkni með aldri í um 25km undir tertíeru svæðunum. Skorpan er að mestu úr basalti en möttullinn fyrir neðan er úr últramafísku hlutbráðnu efni og með lægri V_P hraða en venjulegur möttull. Á mótum skorpu og möttuls er þunnt samfelld lag með mikla rafleiðni (5-10 Ω m) og er það túlkað sem hlutbráðið basalt með 5-10% bráð og hitastig í kringum 1100°C. Rafleiðnin í möttlinum (lagi 4) er minni en í basaltlaginu eða 50-100 Ω m. Þetta þunnskorpu líkan er einkum byggt á bylgjubrotsmælingum, jarðstraumamælingum (magnetotellurik, MT-aðferð) og hitastigulsmælingum í grunnum borholum. Það er í ágætu samræmi við ýmis önnur gögn úr bergfræðirannsóknunum og fræðilega líkanreikninga Guðmundar Pálmasonar um uppbyggingu jarðskorpunnar og var almennt talið lýsa skorpu og möttlinum undir Íslandi vel a.m.k. fram á tíunda tug síðustu aldar. Á þeim áratug voru gerðar umfangsmiklar bylgjubrots- og endurkastsmælingar bæði á Íslandi og umhverfis landið. Í þessum mælingum komu fram endurkastsfletir á 20-40km dýpi. Dýpið er mest nærri miðju landsins en minna nær ströndinni. Þessir fletir er ekki samfelldir en sjást misgreinilega á einstökum svæðum undir flestum mælilínum. Þessir fletir voru túlkaðir sem endurköst frá Moho. Það hefur í för með sér að skorpan væri mun þykkari en áður var talið og þykkust undir miðju landinu. Það er álitamál hvort réttlætánlegt er að kalla þennan endurkastsflöt Moho. Upprunaleg skilgreining Mohorovicic á Moho er stökk í V_P um 1km/s þ.e. úr um það bil 7,4 í 8,4km/s. Þessu er ekki til að dreifa undir Íslandi, hraðabreytingin er mun minni og hraði í möttlinum neðan endurkastsflatarins er aðeins um eða undir 8km/s. Þessar niðurstöður eru nær eingöngu byggðar á bylgjumælingum og lítið fer fyrir því að höfundar þessara líkana reyni að fella önnur tiltæk gögn að hugmyndum sínum. Ef hér væri um Moho að ræða væri efnið fyrir ofan Moho-flötinn skorpa með lægra bræðslumark en möttulefni og hitastig þyrfti að vera mun lægra en þunnskorpu-líkanið gerir ráð fyrir. Þetta þykkskorpu-líkan er einnig í mótsögn við hitastigulsmælingarnar og skýrir ekki eðli lágviðnámsins á 10-25km dýpi. Það er því enn á ný ljóst að ógerlegt er að gera trúverðugt líkan af skorpu og möttli undir Íslandi með því að byggja einvörðungu á skjálftafræðilegum stærðum. Ógerlegt er að greina á milli afbrygðilegs möttuls og afbrygðilegrar skorpu með þessum aðferðum einum. Nauðsynlegt er að nota fleiri eðliseiginleika efnisins til þess að leysa þetta vandamál.

Rafleiðni efnis er einkar hentug mælistærð til þess að meta hitastig, ástand efnis og efnasamsetningu. Það hefur gefist vel bæði við rannsóknir á úthafshryggjum og eins hér á landi að túlka saman rafleiðni sem mæld er með MT-aðferð og hljóðhraða. Þegar fleiri en ein breytistærð er notuð við gerð líkana er mun auðveldara að setja túlkuninni skorður og fella jafnframt fleiri athuganir að líkaninu sem gerir niðurstöðuna trúverðugari.

Fyrstu MT-mælingarnar voru gerðar hér á landi fyrir 1970. Síðan hafa um 250 mælingar verið gerðar vítt og breitt um landið og hafa nokkrir erlendir hópar tekið þátt í mælingum og úrvinnslu gagna ásamt Íslendingum. Góð gögn eru til frá a.m.k 150 stöðvum. Niðurstöður þessara mælinga hafa verið birtar í tímaritsgreinum eftir því sem verkið hefur unnist. Hér eru í fyrsta skipti allar nothæfar mælingar dregnar saman á einn stað og túlkun þeirra samræmd eftir því sem tók eru á. Við það fæst fyrsta heildarmynd af rafleiðni í skorpu og möttli undir landinu öllu og tilraun er gerð til að túlka niðurstöðurnar í ljósi annarra tiltækra gagna.

Mikilvægasta niðurstaða MT-mælinganna er að undir nær öllu landinu er að finna greinilegt og samfellt þunnt lag (2-10km þykkt) með hárra rafleiðni (5-10 Ω m). Dýpi á þetta lag er um 10-15km í suðvestur- og norðaustur-gosbeltum landsins. Í suðaustur- gosbeltinu er dýpi á lagið hins vegar yfir 20km og dýpst er á lagið undir elstu jarðlögum landsins á Austur- og Vesturlandi (mynd 1). Á ræmu meðfram suðurströndinni er ekkert lágviðnámslag og á Reykjanesi finnst það ekki heldur. Fyrir neðan lágviðnámslagið hækkar viðnámið í 50-100 Ω m. Það er góð fylgni á milli hitastiguls í grunnnum holum og dýpis á lágviðnámslagið. Sé hitastigullinn framlengdur línulega með dýpi gefur hann um 1100°C í lágviðnámslaginu. Einnig er fylgni á milli hámarks dýpis jarðskjálfta, ds, og dýpis á lágviðnámslagið, dl. Í skjálftabelti Suðurlands er hlutfall þessara stærða ds/dl um 0,6. Þessar niðurstöður styðja þunnskorpulíkanið þar sem lágviðnámslagið er túlkað sem hlutbráðið basalt með 5-10% bráð og hitastig í kringum 1100°C. Hærra viðnám í möttlinum stafar af því að últramafískt efni hefur herra eðlisviðnám en basalt og hlutbráð möttulsins er lægri en í skorpunni eða 2-5% og bráðin ekki samfelld. Svæðin á Suðurlandi þar sem lágviðnámslagið er ekki til staðar gætu verið utan við áhrifasvæðis möttulstróksins undir Íslandi og undir þeim gæti verið venjulegur úthafsmöttull.

Það er nærtækast að leita annarra skýringa á djúpum endurkastsflötum í möttlinum en gefa sér nánast *a priori* að þeir séu Moho. Hraðabreytingin er ekki nema 0,2-0,4km/s og hér gæti verið um fasabreytingar að ræða eða endurkast frá hlutbráðnum svæðum í möttlinum.



Mynd 1: Dýpi á lágviðnámslag undir Íslandi. Túlkað sem 5-10% basaltbráð og hitastig um 1100°C.

Major and trace element relative mobility in surface- and ground waters in basalts around Snæfellsjökull volcano, W-Iceland

Bjarni Reykr Kristjánsson¹ & Stefán Arnórsson²

¹Iceland GeoSurvey (ÍSOR), Grensásvegur 9, 108 Reykjavík, ²Science Institute, University of Iceland, 101 Reykjavík

The relative mobilities of 8 major and 18 trace elements were evaluated on the basis of 33 analyses of water samples collected in the area in 2000-2001 and on published and unpublished data on the chemical composition of basalts from the same area. Chemical analyses of local basalts for assessment of the relative mobilities are available for all elements analysed except Cd, As, Hg and S. In the case of Cd and Hg world averages for basalts were used. For S the average for Icelandic basalts was used. The As value was derived from observed As-Rb relationship in the mafic to silicic volcanic rocks of the tholeiite series in Iceland and the analysed Rb in the rocks of the study area.

The study area covers the catchment areas around the Snæfellsjökull volcano. The volcano reaches 1446 m a.s.l. and it has a 12,5 km² icecap. The surrounding area is sparsely populated and anthropogenic impact can be considered to be negligible. The western half of the study area is mostly covered with Holocene lavas and that area has little or no superficial runoff. No glacier river reaches the sea except in springtime when snow melting is at maximum.

The proportion of Cl and B of marine origin in surface- and ground waters was calculated and from the marine derived Cl, the marine contribution of all other elements was calculated using the seawater reference database. Subsequently the marine part of the total concentration in the samples can be subtracted, for any given element, to get the concentration derived from rock dissolution.

The relative mobilities (RM) of element X, were calculated from rock-derived concentration of X (X_{rw}) and boron (B_{rw}) and the ratio of X and B in local rocks (X_r/B_r):

$$RM = (X_{wr}/B_{wr})/(X_r/B_r)$$

The elements analysed can be divided into several groups, depending on their mobility. The sequence of the relative mobility of the elements was found to be: S > B = Cl ~ F ~ Mo > Hg > K > Na ~ As > Ca > Si > Mg > P > Pb > Sr > Cd ~ Zn > Cu > Ni > Ba > Mn > Cr > Al > Co ~ Fe > Ti. Sulphur, F, Hg, Mo, K, Na and As have high mobilities, or similar to those of B and Cl. Calcium, Si, Mg, P, Pb and Sr have mobilities about one order of magnitude less. Cadmium, Zn, Cu, Ni, Ba, Mn and Cr have mobilities about two orders of magnitude less than B and Cl. The last group are the immobile elements Al, Co, Fe and Ti with mobilities, about 1000 to 10,000 times less than the mobile elements. Therefore Al, Co, Fe and Ti can be considered to be almost completely retained in the rock.

The hydrogeochemistry of surface- and ground waters in basalts around Snæfellsjökull volcano, W-Iceland. General characteristics, mineral saturation state, and elemental origin

Bjarni Reykr Kristjánsson¹ & Stefán Arnórsson²

¹Iceland GeoSurvey (ÍSOR), Grensásvegur 9, 108 Reykjavík, ²Science Institute, University of Iceland, 101 Reykjavík

Sea salts in precipitation, primary mineral dissolution, and weathering mineral formation are the most important factors that influence the major and trace element chemistry of surface- and ground waters in sparsely populated coastal areas. However, biological processes also affect surface water compositions, both by removing and releasing chemical constituents to the water and by enhancing primary mineral dissolution by the production of acids.

This contribution involves an assessment of general characteristics, primary and selected secondary mineral saturation state, and elemental origin in surface- and ground waters in alkali-basalts of the outer Snæfellsnes Peninsula, W-Iceland.

The study area covers the catchment areas around the Snæfellsjökull volcano. The volcano reaches 1446 m a.s.l. and it has a 12,5 km² icecap. The area is sparsely populated and anthropogenic impact to the water chemistry can be considered to be negligible. The western half of the study area is mostly covered with Holocene lavas and that area has little or no superficial runoff. No glacier river reaches the sea except in springtime when snow melting is at maximum.

Over 40 samples of surface- and ground waters were analysed for major (Si, Na, K, Mg, Ca, S, Cl, F, CO₂, O₂, pH) and trace (H₂S, Al, As, B, Ba, Cd, Cu, Co, Cr, Fe²⁺, Fe³⁺, Hg, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, Ti, Zn, NO₂, NO₃, NH₄ and PO₄) components. Eh, temperature, discharge and electric conductivity were also determined as well as $\delta^{18}\text{O}$ and δD .

The waters of the study area are generally very low in dissolved solids (24-61 ppm), oxygen saturated and with in situ pH ranging from 7.04 to 9.25. The water temperature is low (springs 1.5-4.4°C; rivers 1.9-7.5°C) and the water chemistry is highly influenced by seawater spray. High rainfall and high permeability leads to rapid fluxing of the water with a short contact time with the rocks.

Calculated redox potential for various halfcell reactions are highly inconsistent, indicating overall redox dis-equilibrium. The surface waters and the waters of the Holocene lava aquifers are close to equilibrium with atmospheric CO₂ and have pH around 7.5. By contrast, springs issuing from interglacial lavas and hyaloclastite aquifers have much lower CO₂ partial pressures and higher pH's due to limited contact with the atmosphere's CO₂ during rock dissolution. The fact that practically all the ground water are air saturated with respect to O₂ indicating that these waters have interacted only to a limited extent with the basalt after being cut off from the atmosphere.

The primary basalt minerals olivine, augite, plagioclase, ulvöspinel and ilmenite are unstable and dissolving in all of the waters of the study area. Apatite and magnetite are stable. The aluminium rich secondary minerals, allophane, kaolinite, imogolite and gibbsite, are all substantially over-saturated with respect to the waters at lower pH's but some allophane is unstable at higher pH's. Imogolite is close to saturation at the highest pH's. Amorphous Al(OH)₃ and amorphous silica are under-saturated with respect to all the waters of the study area. On the other hand the waters are close to saturation with respect to amorphous goethite and chalcedony. The waters are substantially under-saturated with respect to the sulphate minerals, gypsum and barite. The waters are calcite under-saturated but equilibrium is

approached with increasing pH. The waters are substantially under-saturated with respect to 'Amorphous' hydroxyapatite. However, with increasing F-content and pH the 'amorphous' apatite under-saturation decreases.

The proportion of Cl and B of marine origin in surface- and ground waters was calculated, and from the calculated value of marine derived Cl, the marine contribution of all other elements, except for sulphate-S, was calculated using a seawater reference database. Other sources than sea salts and rock dissolution, for the elements (except for sulphate-S) are considered to be insignificant. Chlorine is almost completely of marine origin (99%). Sodium, B and S are mostly of marine origin (78-70%). Strontium and Mg are for the greater part rock derived (57-58%) and especially K (81%) and Ca (89%). Only a very small part of As, Ba and Mo are introduced to the waters with sea spray (2-3%). Cadmium, F, Ni, P, Cr, Fe, Cu, Ti, Zn, Mn, Al, Si, Pb, Co and Hg are almost (>99%) entirely rock derived.

Total dissolved solids derived from rock dissolution differ significantly between the aquifers in interglacial lavas and hyaloclastites where the waters from the hyaloclastic aquifers generally have undergone more rock dissolution. Water samples from the Holocene lavas contain more dissolved solids from rock than their interglacial counterparts indicating a significant decrease in the reactivity of the rocks with time. The dissolution of the mobile elements S, F, B and Mo shows patterns indicating that in the consolidated Holocene lavas, these elements could be on a readily soluble form. In hyaloclastites the same elements are not as easily available because most of them are distributed in the glass matrix and released into solution by congruent glass dissolution. Progressive rock dissolution seems to deplete the older lavas in S, F, B and Mo.

Distribution of liquid water content in alpine and maritime snow covers

A. H. Jarosch¹, A. Denoth²

¹University of Iceland, Science Institute, Geophysics Division, IS-101 Reykjavík, Iceland, ²University of Innsbruck, Institute of Experimental Physics, A-6020 Innsbruck, Austria

The nature of a snow cover differs greatly from area to area and it is highly interesting to compare the various consistencies of snow covers in diverse countries.

Two regions with different climate types which generate typically high snow covers have been selected: Iceland with a maritime climate and Austria as a representative for the alpine climate. Both climate types show different effects on snow cover physical properties and metamorphism; to minimize the effect of topography measurements sites with well matching topographies have been selected: Field measurements have been carried out in the Alpine regions near Innsbruck, Austria, and in the northern part of Iceland near the city of Akureyri.

Special attention in this comparative study was given to the vertical distribution of snow temperature, density, electric permittivity and liquid water content. Snow liquid water content was determined by using both a calibrated electronic moisture meter and freezing calorimetry.

Experimental results of a four months field study from February to May 2002 are presented.

Formation of the steam-cap in the geothermal reservoir of Svartsengi, Reykjanes peninsula, Iceland

Niels Giroud and Stefán Arnórsson

Science Institute, University of Iceland, Sturlugata 7, 101 Reykjavík

The presence of a steam-cap at the top of the Svartsengi geothermal reservoir is well known. The deep wells produce from a single phase liquid reservoir, whereas the shallow wells produce dry steam. The processes leading to the formation of the steam cap can be evaluated using the concentrations of gases in the liquid phase as well as in the steam phase.

The concentration of Ar in the fluid withdrawn for the liquid reservoir is very variable, ranging from 0.0003 to 0.0255 mmol/kg H₂O, the average being 0.0042 mmol/kg H₂O. The dry-steam wells show compositions ranging from 0.0109 to 0.3360 mmol/kg, with an average of 0.1125.

The ratio between the average composition in the liquid wells and the dry steam wells is around 0.0370, which is about thirty times the value corresponding to equilibrium distribution of Ar between liquid water and steam at 240°C, as calculated from the gas solubility data presented by Fernandez-Prini & al. (2003). This shows that the liquid reservoir is not in equilibrium with the steam cap with respect to Ar distribution between the two phases.

In the Svartsengi geothermal system, temperatures follow the boiling point curve with depth in the uppermost few hundreds meters. At greater depths the reservoir is the sub-boiling with temperatures being close to 240°C over a large depth interval. The pressure draw down, caused by the exploitation of the geothermal reservoir, has induced extensive boiling of the water towards the top of the liquid reservoir and probably its complete degassing, whereas at deeper levels the reservoir is still sub-boiling. Because of this, the Ar concentration of well discharges producing from the sub-boiling liquid reservoir would be expected to be about equal to that of air-saturated water (0.0129 mmol/kg) but it is substantially lower. The model proposed here to account for this depletion is that the observed Ar in the deep liquid reservoir is the consequence of recharge into this reservoir of shallow boiled and Ar degassed water. The Ar content of the steam cap requires adiabatic boiling of 240°C air-saturated water that corresponds to steam formation equivalent to 8% by weight of the parent water and its cooling to about 200°C. Some of this boiled and degassed water is considered to descend, probably along fractures, to recharge partially deep productive aquifers in the liquid reservoir.

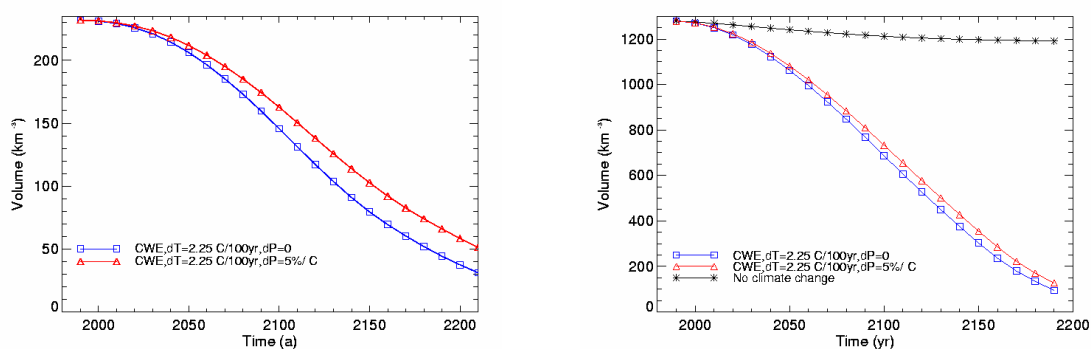
The CO₂ concentrations in the well discharges producing from the liquid reservoir wells are similar to those expected from control by equilibrium between the water and the mineral buffer clinozoisite + prehnite + calcite + quartz. The CO₂ in the liquid reservoir has been apparently been depleted somewhat but not to the same extent as Ar, as would be expected if the CO₂ in wells producing from the liquid reservoir was determined by mixing of a shallow degassed component and a deep equilibrated component. The cause is considered to be supply of CO₂ to the water from another source, possibly dissolution of hydrothermal calcite in sufficient quantity to maintain approximately equilibrium with the mentioned mineral buffer.

Líkanreikningar af viðbrögðum jökla á Íslandi við loftslagsbreytingum

Guðfinna Aðalgeirsdóttir¹, Tómas Jóhannesson², Helgi Björnsson¹

¹ Raunvísindastofnun Háskólans, ² Veðurstofa Íslands

Gert er grein fyrir líkanreikningum á Hofsjökli og Vatnajökli. Könnuð eru viðbrögð þeirra við breyttu veðurfari. Tengd eru saman flæðilíkan, sem lýsir flæðiseiginleikum jöklanna, og gráðudagalíkan, sem lýsir afkomu þeirra. Gráðudagalíkanið er stillt með afkomumælingum sem gerðar hafa verið á báðum jöklunum á tímabilunum 1988 – 2002 á Hofsjökli og 1993 – 2002 á Vatnajökli. Veðurfarsgögn frá veðurfarsstöðvum nálægt hvorum jökli um sig eru notaðar í líkanreikningunum. Veðurfarsbreytingar sem reiknað er með í líkönunum eru niðurstöður samnorræna verkefnisins Climate, Water and Energy (CWE). Þar er gert ráð fyrir að hitastig hækki um 0.015°C á miðju sumri en 0.03°C á miðjum vetri og yfir árið er hitastigsbreytingin með lögun sínusferils. Úrkomu í líkanreikningunum er annað hvort haldið fastri á núverandi gildi eða hún aukin um 5 % fyrir hverja gráðu sem hitastig hækkar. Niðurstöður þessara reikninga benda til að rúmmál Hofsjökuls helmingist eftir 100 ár. Fyrstu áratugina minnkar rúmmálið hægt en síðan eykst hraðinn næstu áratugina, ef hitastigsaukning heldur áfram. Rúmmál þess vatns sem flæðir frá jökulsvæðinu mun aukast um 0.5 m á ári eftir 30 ár vegna þess að jökulrúmmálið minnkar. Viðbrögð Vatnajökuls eru flóknari vegna þess að margir af skriðjöklum hans hlaupa reglulega fram. Þess vegna er aðeins suður og austur hluti Vatnajökuls skoðaður til að byrja með. Við núverandi veðurfar hopar Breiðamerkurjökull og hverfur inn í fjörðinn sem hann fyllir núna. Líkanreikningarnir gefa til kynna að með auknu hitastigi hopi allur suðurhluti Vatnajökuls og líkt og Hofsjökull helmingast rúmmálið á 100 árum. Hörfunin er samskonar, hæg fyrstu áratugina, en síðan eykst hraðinn. Rúmmál þess vatns sem flæðir frá þessum hluta jökulsins myndi aukast í kjölfarið um 1 m ári á 30 árum. Framhlaup skriðjökla Vatnajökuls geta þó valdið tímabundnu framskriði, jafnvel þó að veðurfar sé að hlýna.



Mynd 1: Niðurstöður líkanreikninga. Til vinstri er sýnd reiknuð rúmmálsbreyting Hofsjökuls að gefnum þeim hitastigsbreytingum sem spáð er. Línan með fernings táknum sýnir reikninga þar sem engin úrkomubreyting er og línan með þríhyrnings táknum sýnir niðurstöður þar sem gert er ráð fyrir 5% aukningu í úrkomu fyrir hverja gráðu í hitastigsaukningu. Til hægri er samskonar mynd fyrir Vatnajökul, en einnig er sýnd hörfun Breiðamerkurjökuls með línu og stjörnu táknum, sem reiknuð er með óbreyttu loftslagi.

Saksunarvatnsgjósulagið: útbreiðsla og uppbygging

Guðrún Eva Jóhannsdóttir, Þorvaldur Þórðarson, Áslaug Geirsdóttir.

Jarð- og landfræðiskor & Raunvísindastofnun Háskóla Íslands, 101 Reykjavík

Gjósulag í jarðvegi og öðrum jarðmyndunum, sér í lagi það sem dreifist yfir stórt svæði, er jafntímaflötur sem nýtist vel við tengingar, t.d. á milli umhverfa lands og sjávar. Á undanförunum áratugum hefur verið unnið markvisst að því að byggja upp gjóskutímatal fyrir nútímann á Íslandi. Þessi vinna hefur skilað sér í nákvæmu gjóskutímatali aftur að 7000 árum, en minni upplýsingar liggja fyrir um tímabilið frá 7000 árum aftur að síðjökultíma.

Markmiðið með þessu rannsóknarverkefni er að byggja upp gjóskulagatímatal fyrir síðjökultíma og fyrri hluta nútíma í á vestanverðu landinu og kanna sérstaklega útbreiðslu svo nefndrar Saksunarvatnsgjósku með athugun á setkjörnum úr nokkrum stöðuvötnum á Íslandi sem liggja á þversniði frá suðri til norðurs og tveim sjávarsetkjörnum úr Djúpáli (MD992264) og Jökulfjörðum (MD992265). Allir kjarnarnir hafa verið aldursgreindir með ^{14}C aðferðinni sem auðveldar mjög úrvinnslu gjóskutímatals fyrir nútímann á tilteknum svæðum og við aldursgreiningu á þekktum og óþekktum gjóskulögum frá síðjökultíma. Jafnframt býður þetta upp á þann möguleika að nota þekkt gjóskulög til þess að bera saman aldursgreiningar á landi og í sjó, en nota má slík gögn til þess að ákvarða viðstöðualdur sjávar umhverfis Ísland á mismunandi tímum.

Saksunarvatnsgjósulagið er þóleiðtískt lag sem talið er eiga uppruna sinn í Grímsvötnum og féll samkvæmt aldursgreiningum, fyrir um það bil 10200 árum. Það er því hentugur jafntímaflötur við upphaf nútíma og hefur mikilvægt notagildi fyrir rannsóknir sem beinast að jökulhörfun. Saksunarvatnsgjóskan hefur meðal annars fundist í Grænlandsjökli, Færeyjum og í Þýskalandi ásamt því að finnast í íslenskum jarðvegssniðum, stöðuvatnaseti og á landgrunninu í kringum Ísland. Ljóst er því að lagið hefur mikla útbreiðslu en heildarflatarmál og hugsanlegt rúmmál gjóskunnar eru ekki þekkt. Fyrstu niðurstöður benda til þess að hér sé um phreatomagmatískt gos að ræða sem orðið hefur undir jökli. Samkvæmt útbreiðslukorti er lágmarks flatarmál Saksunarvatnsgjósulagsins um 1500000 km^2 og utan Íslands er þykkt þess á bilinu 0.1-3.0 cm. Ef við göngum út frá því að meðalþykkt gjóskulagsins se um 1 cm þá er rúmmál þess að minnsta kosti 15 km^3 . Framtíðarrannsóknir munu meðal annars beinast að uppbyggingu lagsins, kornagerð og kornalögun til að unnt verði að ákvarða hvort um ræði óhreyfða eða endurflutta gjósku og hvernig gos það var sem framleiddi gjóskuna.

Litið verður á Saksunarvatnsgjósulagið sem útgangspunkt í frekari rannsóknum á gjóskulögum sem kunna að finnast ofan og neðan við gjósulagið.

Jarðskjálftavirkni á Íslandi 2003

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

Veðurstofu Íslands, Bústaðavegi 9, IS-150 Reykjavík

Í lok árs 2003 var 41 jarðskjálftastöð í SIL jarðskjálftamælanetinu. Ein ný SIL stöð, Krókóttuvötn (kvo) norðan við Hlíðarfjall í Mývatnssveit, bættist við SIL netið um mitt ár. Um 10.000 skjálftar mældust undir og við landið á árinu.

Stærsti skjálftinn varð aðfaranótt 23. ágúst kl. 02:00 og mældist staðbundin vægis-stærð hans $M_{lw}=5$. Upptök hans voru á um 4 km dýpi í Móhálsadal, milli Núpshlíðar-háls og Sveifluháls á Reykjanesi. Brotlausn skjálftans og eftirskjálftar benda til þess að brotaplan hans hafi verið á næstum lóðréttu NS hægrihandar sniðgengi. Skjálftinn fannst víða um SV-land allt austur til Víkur í Mýrdal. Í kjölfarið fylgdu hundruðir eftirskjálfta sem náðu allt norður undir Trölladyngju og suður undir Krísuvíkurlheiði.

Á árinu urðu nokkrar skjálftahrinur nyrst á Reykjaneshryggnum. Stærst var hrina við Geirfuglasker í lok apríl og mældist stærsti skjálftinn í þeirri hrinu 4,7 stig. Í lok ársins varð hrina sunnar á Reykjaneshryggnum eða um 15 km suðvestan við Eldeyjar-boða. Stærsti skjálftinn þar mældist um 4 stig.

Undir vestanverðum Mýrdalsjökli, vestan við Goðabungu, var viðvarandi skjálfta-virkni allt árið eins og verið hefur frá miðju ári 2001. Undir Kötluöskjunni var virkni mest við Austmannsbungu. Frá miðju ári 2003 hefur skjálftavirkni undir Grímsvötnum farið vaxandi. GPS mælingar sýna aukinn kvikuþrýsting undir Kötlu og Grímsvötnum. Í Skeiðarárjökli mældust nokkrar ísskjálftahrinur sem tengdust jökulhlaupum eða mikilli úrkomu. Í október mældust 2 skjálftar yfir 3 að stærð með upptök undir Dyngjuhálsi við norðvestanverðan Vatnajökul. Í nóvember var skjálftahrina við Herðubreiðartögl, austan við Öskju. Stærstu skjálftarnir í þeirri hrinu mældust um 3 stig.

Úti fyrir Norðurlandi var skjálftavirkni mest úti fyrir mynni Eyjafjarðar á Húsavíkur-Flateyjarsprungunni og einnig á Grímseyjar-Öxarfjarðar beltinu, bæði austan Gríms-eyjar og inn í Öxarfirði. Stærstu skjálftarnir á þessum svæðum voru rúmlega 3 að stærð.

Á Suðurlandi var ennþá áframhald á eftirskjálftavirkni á Holta- og Hestvatnssprung-unum frá stóru skjálftunum árið 2000 en virknin þar minnkar þó stöðugt. Undir Nesja-völlum við Hengil mældist þann 11. mars skjálfti að stærð 3 sem fannst á höfuðborgar-svæðinu og Suðurlandi. Tvær litlar skjálftahrinur mældust undir Heimaey í Vestmanna-eyjum í ágúst og nóvember en slíkar hrinur eru mjög óvanalegar þar.

Háhitakerfið á Reykjanesi. Endurskoðað jarðfræðilíkan

Hjalti Franzson

ÍSOR, Íslenzkar orkurannsóknir, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík.

Hitaveita Suðurnesja hefur nú látið bora 16 borholur á háhitasvæðinu á Reykjanesi. Dýpi holanna er breytilegt eða frá rúmum hundrað metrum niður í rúma 2,6 km. Gögnin sem fjallað er um eru fengin úr rannsóknum á svarfsýnum, sem tekin eru á 2 m bili í holunum við borun þeirra og rannsökuð í smásjám og röntgen, en einnig er höfð hliðsjón af öðrum borgögnum og jarðeðlisfræðilegum borholumælingum.

Háhitakerfið á Reykjanesi er yzt á Reykjanestánni þar sem Mið-Atlantshafshryggurinn kemur á land. Vísbendingar eru um að tvær aðskildar sprungureinar séu á þeim stað; annars vegar Stampareinin sem liggur vestanmegin á nesinu, og hins vegar Reykjanesreinin austan megin. Skjálftavirkni virðist mun meiri á þeirri fyrrnefndu. Háhitakerfið liggur að því talið er meira innan eystri reinarinnar. Söfnun og túlkun jarðfræðigagna hefur verið gerð samhliða borunum, allt frá því að fyrstu átta holurnar voru boraðar (Sveinbjörn Björnsson o.fl. 1971, Jens Tómasson og Hrefna Kristmannsdóttir 1972, Hjalti Franzson o.fl. 2002), og er sú mynd sem nú fæst af jarðhitakerfinu byggð á þeirri úrvinnslu sem fram hefur farið til þessa dags.

Upphleðsla berglaga er með nokkuð öðrum hætti en annars staðar á Reykjanesi. Talið er að bólstraberg sé ráðandi frá 2,6 km dýpi upp í um eins kílómetra dýpi. Þá tekur við sambland af túffrikari myndunum, setlögum og bólstrabergi, sem ná upp í um 100-150 m dýpi, en þar verður fyrst vart við hraunlög sem runnið hafa ofansjávar. Þessi berglagastafla er talin bera vitni um upphleðslu, sem þróaðist frá gosum á tiltölulega miklu dýpi yfir í gos á grunnsævi og að síðustu gos ofan sjávarmáls.

Borholurnar skera basaltinnskot sem í langflestum tilvikum eru nær lóðréttir berggangar. Fjöldi þeirra er breytilegur frá einni holu til annarrar, en eykst að jafnaði er neðar kemur í staflann, og nær hlutfall innskota allt að 60% neðan 2 km dýpis. Innskotin virðast verða heldur grófkristallaðri neðan við 2 km dýpi. Þéttleiki innskota virðist heldur meiri á miðju háhitasvæðinu sem styður þá hugmynd að Reykjanesreinin sé aðskilin frá Stampareininni, og hafi sinn eigin gangasveim.

Samanburður á jarðfræði holanna og lekastöðum bendir til að lekt stjórnist af stórum hluta af sprungulekt við jaðra bergganga.

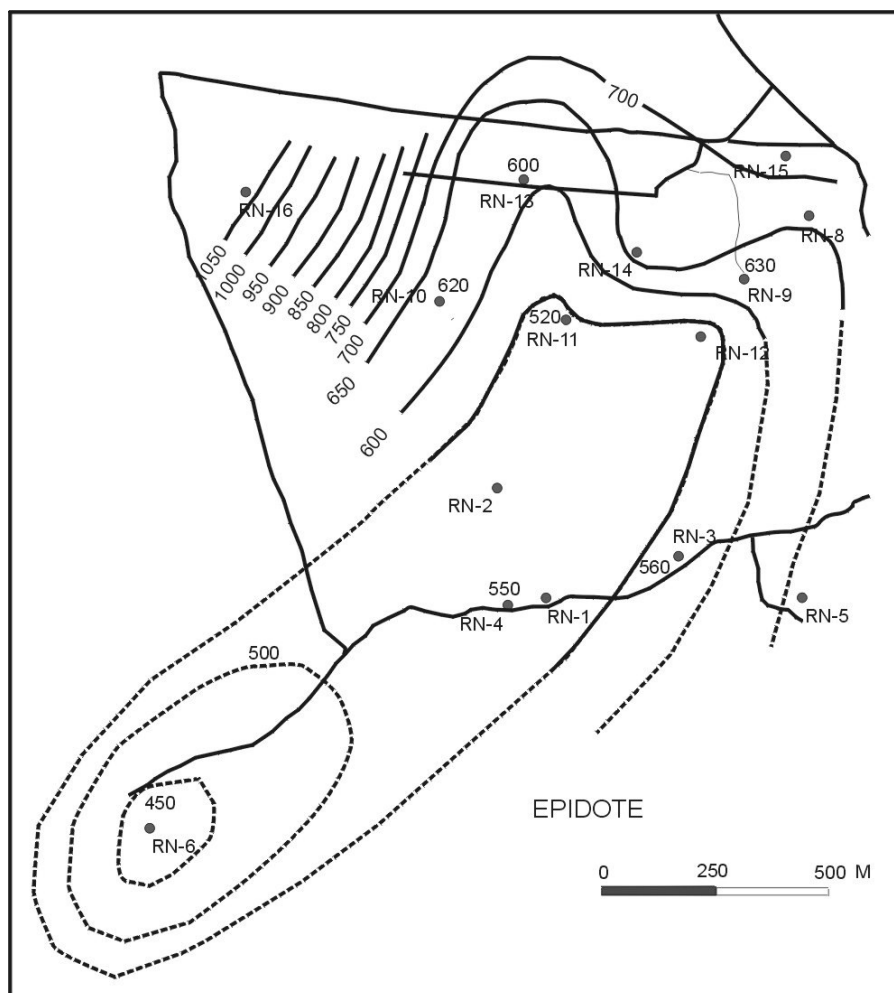
Jarðhitaummyndun í berglögum holanna spannar allan skalann frá fersku bergi yfir í kolummyndað berg með áberandi aktínólít, wollastónít og granat ummyndun. Ummyndun hefur verið notuð til að kortleggja útlínur jarðhitakerfisins, og kemur í ljós að jarðhitakerfið virðist ekki ná yfir í Stampareinina, eins og áður var talið (mynd). Slík kortlagning á ummyndun sýnir enn fremur að meginuppstreymið er á mótum NA-SV og N-S sprungustefna. Skarpar útlínur ummyndunar og röðun steinda í tíma og rúmi benda á sama hátt til að Reykjaneskerfið sé ungt og hitnandi. Rannsókn á vökvabólum bendir jafnframt til að jarðhitakerfið hafi á fyrra tímaskeiði (jökulskeiði) verið ferskvatnskerfi, en hafi þróast yfir í sjávarkerfi á nútíma.

Hjalti Franzson, Sigvaldi Thordarson, Grímur Björnsson, Steinar Þór Guðlaugsson, Bjarni Richter, Guðmundur Ómar Friðleifsson og Sverrir Þórhallsson 2002. Reykjanes high-temperature field, SW-Iceland. Geology and hydrothermal alteration of well RN-10. Proceedings, 27th Workshop on Geothermal Reservoir Engineering. Stanford University, Stanford, California, January 28-30, 2002, 233-240.

Jens Tómasson og Hrefna Kristmannsdóttir 1972. High temperature alteration minerals and geothermal brine, Reykjanes, Iceland. Contr. Min. Petrol. 36, 123-134.

Sveinbjörn Björnsson, Birna Ólafsdóttir, Jens Tómasson, Jón Jónson, Stefán Arnórsson og Stefán G. Sigurmundsson 1971. Reykjanes. Heildarskýrsla um rannsókn jarðhitasvæðisins. Orkustofnun, Jarðhitadeild. 173 s.

Áfangaskýrslur ÍSOR úr holum RN-11 til 16.



Staðsetning borhola á Reykjanesi og jafndýptarlínur á efri mörk epidóts (um 250°C).

Petrology and geochemistry of the Esjufjöll central volcano, SE Iceland

Fredrik Holm¹, R.G. Trønnnes¹, K. Grönvold¹, H. Karlsson², H. Torfason³

¹Nordic Volcanological Institute, Sturlugata 7, IS-101 Reykjavik, Iceland (fredrik@hi.is), ²Department of Geosciences, Texas Tech University, Lubbock, Texas, USA, ³ Icelandic Institute of Natural History, Reykjavik, Iceland

Esjufjöll is a young (< 0.78 Ma) flank zone volcano, resting unconformably on Tertiary tholeiitic basement 40-50 km east of the Eastern Rift Zone. Most of the volcano, including a large caldera (~ 40 km²), is covered by the Vatnajökull ice sheet. A possible eruption in 1927 constitutes the only description of historical activity, although a swarm of small tremors, that could indicate magma movements, were registered in October 2002.

The Icelandic flank zone volcanism is characterized by mildly alkaline and transitional tholeiitic products, in contrast to the tholeiitic rift zone volcanism. The alkaline lavas represent either incipient or waning volcanism in off-rift or propagating rift environments, whereas the main crustal accretion occurs by tholeiitic volcanism within the rift zones.

Esjufjöll is located in the Eastern Volcanic Flank Zone (EVFZ), between the Öraefajökull and Snæfell central volcanoes, located 30 km SSW and 75 km NE of Esjufjöll, respectively. All of the EVFZ volcanoes have erupted mildly alkaline to transitional lavas and pyroclastics, enriched in incompatible trace elements. With its location to the east of the currently active Eastern and Northern Rift Zones, the EVFZ seems to represent an incipient rift zone. Hence, Esjufjöll could be the initial phase in the formation of a rift zone that may eventually replace the currently active Eastern Rift Zone. A westward drift of the NE Atlantic plate boundary of 10-30 km/Ma relative to the surface expression of the Iceland plume causes periodic (5-8 Ma intervals) relocation of the Icelandic rift segments eastwards to new positions near the plume axis, which is currently under the NW part of Vatnajökull.

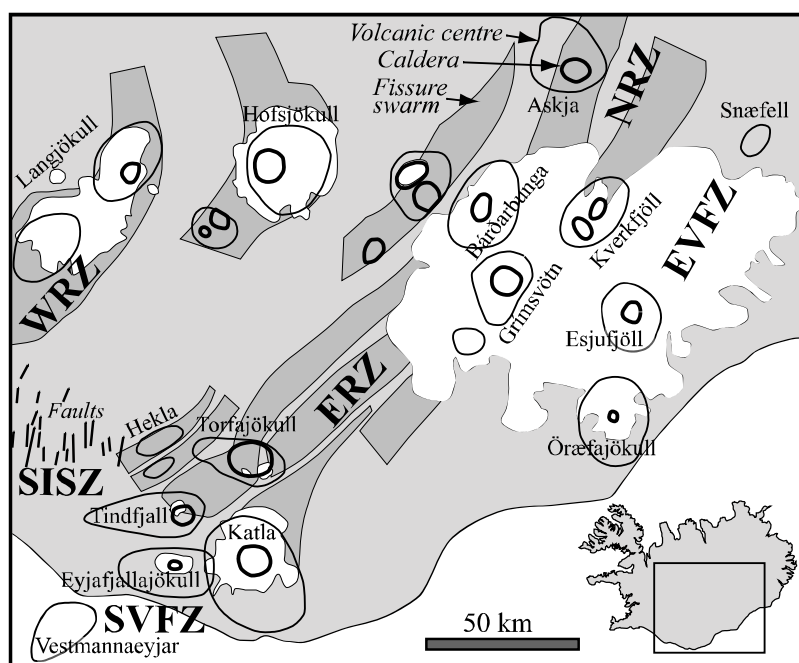
The exposed part of Esjufjöll is dominated by evolved, and mostly aphyric, basaltic rocks with 4-5 wt% MgO. Minor amounts of rhyolite occur near the northwestern margin of the exposed complex. Intermediate rocks are very scarce. The Esjufjöll basalts are mildly alkaline, with $\text{Na}_2\text{O} - 2 \geq \text{K}_2\text{O}$, and enriched in the light rare earth elements and other large-ion lithophile elements. Additional HIMU-tendencies are demonstrated by positive ΔNb -values [$= 1.74 + \log(\text{Nb}/\text{Y}) - 1.92 \log(\text{Zr}/\text{Y})$] combined with elevated Nb, Ta, Hf, Ti and Zr and high U/Th ratios. The near-aphyric Esjufjöll basalts are further characterized by positive Eu- and Sr-abundance anomalies in chondrite-normalized REE-diagrams. The positive Sr-anomalies are also found in most other Icelandic basalts, including the most primitive picrites, indicating either the presence of recycled gabbroic cumulates from subducted oceanic lithosphere in the mantle source, or partial assimilation of widespread plagioclase-rich cumulates in the lower crust. The LILE- and HFSE-enriched character of the evolved basalts demonstrates that even the primary melts were formed by relatively low-degree melting of sources with high proportions the fertile components of the Icelandic HIMU mantle. The ΔNb -value reflects the mantle source and is insensitive to the degree of partial melting. NE Atlantic and Icelandic basalts generally have positive ΔNb -values, whereas N-MORB and several other plume related OIB have negative values and fall below the Iceland array. The presence of slightly negative ΔNb values in some of the Esjufjöll samples may be explained by the evolved and contaminated character of the basalts.

The inferred low to moderate degree of partial melting of the mantle under the EVFZ is consistent with the observed crustal thickness of about 35 km. The mantle potential temperature is probably also relatively low along the eastern periphery of the Iceland plume

stem. The rise of the melt-producing mantle source may be limited by the Moho under the flank zones. In the actively spreading rift zone volcanic systems, however, the crustal separation may locally allow ascent of the melting source material to shallower crustal levels. The inferred shorter melting path beneath the EVFZ may limit the accumulated melt extraction to less than 10 %, in accordance with the enriched nature of the volcanic products.

The evolved Esjufjöll basalts appear to be affected by anatectic contributions from hydrothermally altered rift zone tholeiites, as indicated by their $\delta^{18}\text{O}$ -values of 4-5 ‰. With MgO-contents of 4.1-4.9 wt%, these $\delta^{18}\text{O}$ -values are intermediate between those of the other flank zones, where little or no anatectic contributions can be seen and those of the rift zones, where the anatectic contributions are significant. Some plagioclase-assimilation may be supported by the positive Eu- and Sr-anomalies and the presence of primitive plagioclase xenocrysts (An₈₀₋₉₀).

The Esjufjöll rhyolites differ from the other EVFZ rhyolites by having lower Al₂O₃ (< 13 %) and K₂O (< 3 %) contents, similar to rift zone rhyolites. These features are consistent with the intermediate $\delta^{18}\text{O}$ -values of the evolved basalts. The rhyolitic magma generation probably involved considerable partial melting of hydrated basaltic crust in addition to fractional crystallization, and AFC-processes may generally be more important in Esjufjöll than in the other off-rift volcanic systems.



Forn jökulhlaup og setmyndun í Hestvatni í Grímsnesi

Hrafnhildur Hannesdóttir¹, Áslaug Geirsdóttir,¹ Gifford Miller²

¹Jarð- og landfræðiskor & Raunvísindastofnun Háskóla Íslands, ²Dept. of Geol. Sciences, INSTAAR & University of Colorado, Boulder, CO.

Grímsnesi með kjarnataka (GLAD-200) frá bandaríska fyrirtækinu DOSECC. Hestvatn er jökulsorfin dæld í um 50 m h.y.s. og tilvalið til þess að svara spurningum um loftslags-/umhverfisbreytingar á síðjökultíma og fyrri hluta Nútíma (síðustu 11.500 ár). Hestvatn er staðsett um 60 km fyrir framan eina stærstu jökulgarða á Íslandi, Búðaröðina, sem taldir eru hafa myndast á Yngra-Dryas/Preboreal tíma. Vatnið er neðan hæstu sjávarstöðu á Suðurlandi og hvílir stöðuvatnaset ofan á flykkum bunka af sjávarseti, en jökulhlaupaset skilur á milli. Nákvæm athugun á endurvarps-gögnum úr vatninu og samanburður við setkjarnana gefa til kynna >25 m flykkan setbunka, með meðalupphleðsluhraða uppá >1m/1000 ár. Endurvarpsgögnin hafa verið gerð stafræn og forritið SURFER 8.0 notað til þess að “teikna” þrívíddarmyndir af setlögnum sem liggja á botni Hestvatns. Markmiðið með þeirri vinnu er að fá hugmyndir um það hvernig setuppbygging dældarinnar er háttað á ákveðnum tímabilum, og bera setkjarnana saman við þá tímaramma.

Hestvatnssetkjarnarnir gefa möguleika á því að tímasetja einangrun Hestvatns á fyrri hluta Nútíma, flar sem flessi hluti setupphleðslunnar hefur ekki náðst fyrr (sbr. kjarnar frá 1994 og 1995). Mörkin milli stöðuvatna- og sjávarsets sjást bæði á endurvarpsgögnum og með því að skoða kjarnana sjálfa. Greinilegar breytingar koma fram í segulviðtaki og kolefnisinnihaldi setsins. Einnig bendir margt til þess, að síendurteknir eðjustraumar sem fram koma á þessum mörkum, séu afleiðing tíðra jökulhlaupa. Sett er fram sú tilgáta að þessi jökulhlaup eigi í raun upphaf í Hvítárvatni sem á sínum tíma myndaði jaðarlón við hörfandi ísaldarjökulinn fyrir um 10 þúsund árum. Neðan eðjustraumanna er þykkt basískt gjóskulag, sem líklega er sama gjóskulagið og hefur fundist neðarlega í setkjörnum sem teknir voru sumarið 2003 úr Hvítárvatni. Rétt neðan við gjóskulagið eru skeljar sem nýtast munu við aldursgreiningar á setinu, gjóskulaginu og einangrun Hestvatns er jökulfarginu létti og landris varð.

Margs konar aðferðir eru notaðar til þess að endursegja sögu umhverfisbreytinga út frá Hestvatnssetkjörnunum. Þar má nefna setfræðileg einkenni, skoðun röntgenmynda, athugun á frumframleiðni með mælingum á kolefnisinnihaldi, frjókornagreining, auk þess sem sjávarsetssteingervingar eru skoðaðir í sjávarsetshluta setkjarnanna. Setkjarni úr suðurhluta vatnsins ætti að gefa góða möguleika á því að skoða fyrstu stig jökulhörfunar undir lok síðasta jökulskeiðs, og um 20 m langur kjarni úr norðurhluta vatnsins (þar af eru 10-12 m stöðuvatnaset) gefur óslitin háupplausnar gögn frá Nútíma. Þessir löngu setkjarnar koma til með að bæta við mikilvægum upplýsingum um strandsvæði Íslands á þeim tíma þegar snöggar veðurfarsbreytingar áttu sér stað fyrir 10 til 15 þúsund árum.

Verkefnið Vatnsauðlindir Íslands

Hrefna Kristmannsdóttir¹, Stefán Arnórsson², Árný E. Sveinbjörnsdóttir² og Halldór Ármannsson³

¹Háskólinn á Akureyri, Sólborg, 600 Akureyri, ²Raunvísindastofnun Háskólans, Öskju v. Vatnsmýrarveg, 101 Reykjavík, ³Íslenskar orkurannsóknir, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík.

Inngangur

Verkefnið miðar að rannsókn á efnainnihaldi og samsætum í íslensku grunnvatni, heitu og köldu bæði í lindum og borholum. Vísindalegt markmið verkefnisins er fyrst og fremst að skýra þau ferli sem stjórna styrk og hlutföllum snefilefna í vatni, en það hefur jafnframt margvísleg hagræn gildi og er miklvægt frá umhverfissjónarmiði.

Helstu markmið verkefnisins eru að skýra hvernig efna- og samsætuinnihald vatnsins breytist þegar það sígur niður í jörðina, hitnar og hvarfast við jarðveg og berg, skýra á magnbundinn hátt þau ferli sem stjórna efna- og samsætuinnihaldi vatnsins, ákvarða aldur og uppruna kalds og heits grunnvatns og afla gagna um styrk þeirra snefilmálma í vatninu sem eru mikilvægir frá sjónarhóli umhverfismengunar.

Fram til þessa hefur aðaláhersla í jarðefnafræðirannsóknum á vatni á Íslandi verið á athugun á aðalefnum en snefilefni hafa orðið útundan, bæði vegna þess að skilgreina þarf helstu útlínur ferlanna út frá hegðun aðalefna, en einnig vegna þess að ekki hafa fyrr en nú verið til ódýrar og hentugar efnagreiningaraðferðir fyrir mörg snefilefni.

Safnað er um 300 sýnum bæði af köldu og heitu vatni í mismunandi hæð og fjarlægð frá sjó og efnagreiningar fara fram bæði innanlands og utan. Verkefnið er unnið af Háskólanum á Akureyri, Raunvísindastofnun Háskóla Íslands, Íslenskum Orkurannsóknum og Samorku og styrkt af Rannsóknarráði, og Umhverfisstofnun. Jafnframt hafa margar veitustofnanir og heilbrigðiseftirlit styrkt verkefnið dyggilega.

Hagnýtt gildi verkefnisins.

Hagnýtt gildi verkefnisins felst m.a. í því að koma upp viðmiðunargrunni fyrir íslenskt vatn til nota fyrir vatnsveitur, hitaveitur og heilbrigðisyfirvöld. Viðmiðunargrunn hefur lengi vantað um íslenskt vatn til nota fyrir vatnsveitur, hitaveitur, matvælafyrirtæki og heilbrigðisyfirvöld. Einkum eru gögn um efnasamsetningu vatns sem nýtt er í minni vatnsveitum lítil og ófullkomin og almenn þekking á efnasamsetningu vatns er bágborin. Í mörgum tilfellum er ekki unnt að sanna vatnsgæði vegna skorts á gögnum og er það bagalegt og gæti reynst beinlínis skaðlegt fyrir fiskvinnsluna í landinu og aðra matvælavinnslu til útflutnings. Einnig hamlar það mengunareftirliti að ekki eru til grunn gögn um efnasamsetningu vatns. Hagrænt gildi með verkefninu er m.a. að nauðsynlegur grunnur fæst til aðlögunar að nýrri tilskipun Evrópubandalagsins um vatn.

Jafnframt vantar gagnagrunn til nota við val lagnaefna og við hönnun veitna, sem mundi minnka verulega skaða af völdum vatnstjóna. Vatnsveitur, hitaveitur, lagnamenn (hönnuðir og ráðgjafar) og tryggingafélög hafa á undanförunum árum tekið höndum saman um að finna leiðir til að lágmarka vatnstjón. Ein meginniðurstaða á úttekt þessara aðila er að rangt val á lagnaefni og óheppileg hönnun sé meginástæða tíðra tjóna. Skortur á gögnum um vatnsgerðir er eitt þeirra meginatriða sem máli skiptir. Öll gögn sem aflað er um starfandi vatns- og hitaveitur verða sett inn í gagnagrunninn lagnaval.is sem settur var á netið árið 2002, en hefur enn sem komið er litlar upplýsingar um kalt neysluvatn. Vegna þess hversu breytileg efnasamsetning íslensks vatns er og jafnframt ólík efnasamsetningu vatns í nágrannalöndum

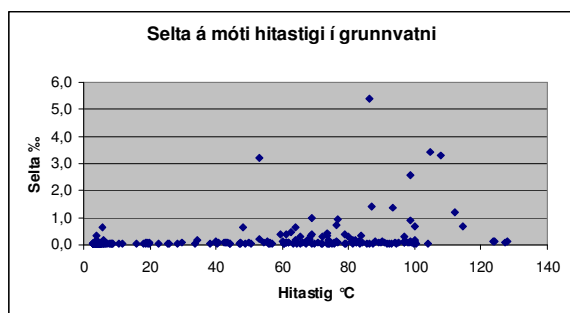
okkar er slíkur gagnagrunnur nauðsynlegur við framþróun fyrrgreindar atriða íslensku atvinnulífi til hagsbóta

Umhverfissjónarmið

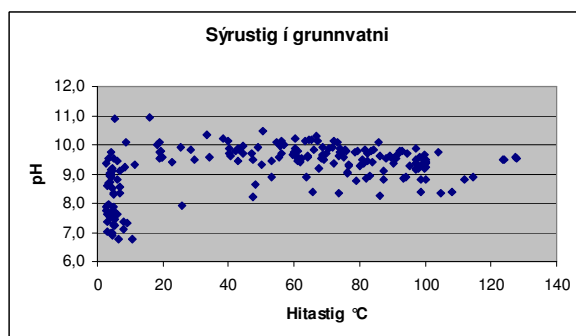
Árangur verkefnisins frá umhverfissjónarmiði er að koma upp viðmiðunargrunni um efnasamsetningu á íslensku vatni til nota við mengunareftirlit og jafnframt að afla gagna um styrk þeirra snefilmálma í vatninu sem eru mikilvægir frá sjónarhóli umhverfismengunar. Gagnagrunnurinn er mjög mikilvægur fyrir mengunarvarnir, þar sem ekki eru fyrir hendi viðmiðanir um náttúrulegan styrk. Það er einnig hagnýtt vegna mengunarsjónarmiða að skilja hvað stýrir efnaferlum helstu mengandi efna auk þess að vera fræðilega áhugavert.

Niðurstöður

Verkefnið hófst á árinu 2002. Búið er að safna 210 sýnum og verður söfnun lokið á árinu 2004. Sýnin eru frá Suðurlandi, Suðvestur- og Vesturlandi, Vestfjörðum og Norðurlandi, en á þessu ári verður einkum safnað sýnum á Austurlandi og lokið söfnun í öðrum landshlutum. Gagnasafn sem til er hjá Raunvísindastofnun Háskólans frá Skagafirði verður einnig notað við úrvinnslu. Gögnin spanna hitastigsbilið 2-150 °C og seltubilið 0,03-5,4 ‰ (Mynd 1), en það tilsvavar klóríðstyrk 2-3000 mg/l. Sýrustig sýnanna spannar pH bilið frá 6,7-11 (Mynd 2), enda er um að ræða allar gerðir vatns frá nánast yfirborðsvatni til sjóðandi jarðhitavatns og vatn sem á uppruna bæði í ungu glerkenndu móbergi og ummynduðu basalti frá Tertíer tíma.



Mynd 1. *Selta vatns á móti hitastigi í sýnum úr verkefninu.*



Mynd 2. *Sýrustig vatns á móti hitastigi í sýnum úr verkefninu.*

Snefilefnainnihald vatnsins er lágt en mjög breytilegt og flest þau snefilefni sem teljast mengandi eru í mjög lágum styrk. Styrkur cadmiums er þannig í flestum tilvikum undir næmimörkum (<0,002 µg/l) en fer upp í um 70 µg/l. Styrkur arsens er yfirleitt örfá µg/l og í mörgum tilvikum undir næmimörkum, 0,05 µg/l, en fer upp í um 40 µg/l. Styrkur kvikasílfurs er í nær öllum sýnanna undir næmimörkum (0,002 µg/l). Blý er vart mælanlegt í flestum sýnanna, í styrk undir 0,01 µg/l. Hæsti mældi blýstyrkur er 1,6 µg/l. Styrkur selens er á bilinu <0,008-0,7 µg/l.

Mesta stærð íslenska meginjökulsins á síðasta jökulskeiði

Hreggviður Norðdahl¹, Halldór G. Pétursson², Alun Hubbard³

¹Raunvísindastofnun Háskóla Íslands, ²Náttúrufræðistofnun Íslands, ³Department of Geography, University of Edinburgh

Aldursákvarðanir á skeljum sælindýra á utanverðum Reykjanesskaga benda eindregið til þess að íslenski meginjökullinn hafi á síðasta jökulskeiði náð mestri stærð sinni fyrir minna en 22.000 ¹⁴C árum BP. Fyrir um 15.000 ¹⁴C árum BP urðu mikil umskipti í veðurfari þegar hlýir sjávarstraumar náðu á ný til hafsvæðanna við landið. Í kjölfar þess tók meginjökullinn að hörfa af landgrunninu og fyrir tæpum 13.000 ¹⁴C árum BP var brún hans komin inn fyrir núverandi strendur landsins. Mjög há fjörumörk mynduðust þá á Vestur- og Norðausturlandi en aldursákvarðanir á fornum sæskeljum sýna að þessi fjörumörk eru frá Bölling tíma eða um 12.700 ¹⁴C ára gömul.

Á landgrunninu hafa bæði landform af jökulrænum uppruna og setlagakjarnar gefið mikilsverðar upplýsingar um útbreiðslu meginjökulsins við hámark síðasta jökulskeiðs. Aldursákvarðanir á leifum sælindýra úr setkjörnunum gefa til kynna að á landgrunninu hafði jökullinn náð mestri útbreiðslu á tímabilinu milli 24.950 – 15.350 ¹⁴C ár BP. Þannig hefur þekking okkar á mestu stærð jökulsins stöðugt batnað en eftir stendur ákveðið ósamræmi milli stærðar og þykktar hans og þess að há strandfjöll landsins stóðu á sama tíma upp úr jökulbreiðunni.

Niðurstöður úr þrívíðum líkanreikningum á mestu stærð meginjökulsins á síðasta jökulskeiði sýna um 330.000 km² stóran jökul sem náði all langt út fyrir núverandi strandlengju landsins. Ísaskil þessa jökuls lágu eftir endilöngu landinu frá austri til vesturs. Þessir líkanreikningar eru næmir fyrir varmaflæði á mörkum íss og undirlags sem endurspeglast í hraðfara jökulstraumum yfir gosbeltum landsins og að meginjökullinn var ekki nema um 1700 m hár með fjölda jökulskerja. Í kjölfar hlýnandi veðurfars hörfaði brún jökulsins í átt að og að lokum inn yfir núverandi strendur landsins. Stefna jökulráka í öllum landshlutum sýnir að þá skiptist hann upp í fjölda sjálfstæðra jökulhluta með staðbundnum ísaskilum yfir hálendum svæðum, eins og Vestfjörðum, Tröllaskaga og gosbeltum landsins.

Breytingar á sýndaraldri sjávar, gjóskulagatímatal og geislakolsgreiningar

Jón Eiríksson¹, Guðrún Larsen¹, Karen Luise Knudsen², Jan Heinemeier³ og Leifur A. Símonarson¹

¹Raunvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík, ²Jarðfræðideild Árósháskóla, DK-8000 Aarhus C, Danmörku, ³Eðlisfræðistofnun Árósháskóla, DK-8000 Aarhus C, Danmörku

Íslensk gjóskulög frá síðjökultíma og nútíma hafa verið greind í fimm setkjörnum frá landgrunninu fyrir norðan Ísland, og tengd við gjóskulög í jarðvegssniðum á landi og í GRIP ískjarnanum á Grænlandi. Setmyndun á landgrunninu norðan við Ísland stjórnast meðal annars af haffræðilegum þáttum. Hafstraumarnir ráða mestu um lífríkið á hverjum tíma, og þeir dreifa einnig seti, sem berst frá landi út yfir hafsbotninn. Tiltölulega hlýr og selturíkur yfirborðssjóir streymir vestur fyrir Ísland og inn yfir norðlenska landgrunnið með Irminger straumnum, en hann er grein af Golfstraumnum. Vestan og norðan við landið mætir þessi sjógerð kaldari yfirborðssjó sem er að mestu ættaður úr Norður-Íshafinu, og berst suður með Grænlandi með Austur-Grænlandsstraumnum. Við norðlenska landgrunnið á sér einnig stað blöndun við yfirborðssjó, sem berst þangað með Austur-Íslandsstraumnum, sem er kaldur og tiltölulega seltulítill. Á hverju ári á sér stað lóðrétt blöndun vegna kælingar á yfirborðssjó á veturna.

Við loftslagsbreytingar, sem rekja má til hafstraumabreytinga verður breyting á uppruna þess kolefnis, sem sjávardýr taka til sín úr sjónum. Í andrúmsloftinu blandast nýtt geislavirkt kolefni nær samstundis. Öðru máli gegnir um höfin. Aldur kolefnisins er breytilegur frá sjógerð til sjógerðar vegna mishraðrar blöndunar kolefnis frá andrúmsloftinu, og getur munurinn valdið erfiðleikum við geislakolsgreiningar á forndýraleifum í sjó. Tenging gjóskulaga frá landi út í hafsbotnsset gefur tækifæri til að meta breytingar á sýndaraldri sjávar í tímans rás. Þetta byggist á því að gjóskulögin eru tímasett með sögulegum heimildum eða með kolefnisgreiningum á landi, þar sem samsætuhlutföll kolefnis eru í jafnvægi við andrúmsloftið á hverjum tíma. Sjógerðir innihalda annað hlutfall kolefnissamsætna vegna hægari en mishraðrar blöndunar í hafinu. Mikil frávik eru milli aldurslíkana sem byggð eru annars vegar á gjóskulagatímatali og hins vegar á geislakolsgreiningum á skeljum sjávardýra. Á okkar dögum er almennt gert ráð fyrir að munurinn sé um 400 á í Atlantshafinu. Þegar Saksunarvatn gjóskan féll fyrir um 10200 kvörðuðum árum síðan var munurinn um 400 ár samkvæmt gögnum frá hafsbotninum fyrir norðan Ísland, en um 800 ár þegar Vedde gjóskulagið féll á sömu slóðum fyrir um 12000 kvörðuðum árum síðan.

Til geislakolsgreininga í landgrunnsseti norðan við Ísland hafa verið notaðar samloku-, snigla- og götungaskeljar. Breytingar á sýndaraldri með tíma eru miklu meiri en svo að skýra megi þær með óvissu í kvörðunarferli fyrir geislakolgreiningar í sjó, og nema frávikin allt að 850 árum á síðari hluta nútíma. Hugsanlegt er að skýra megi þessi frávik með innstreymi pólsjávar til landgrunnsins norðan við Ísland, en pólsjórinn er mun eldri en sú sjógerð, sem berst til landsins með Irmingerstraumnum. Fyrstu niðurstöður benda til að samræmi sé á milli frávika í sýndaraldri sjávar og breytinga á sjógerðum út frá súrefnissamsætuhlutföllum, götungasamfélögum, kísilþörungaflóru og ásynd setlaga.

Loftslagsbreytingar frá landnámsöld fram á okkar daga í ljósi setlaga á norðlenska landgrunninu

Jón Eiríksson¹, Guðrún Larsen¹, Esther Ruth Guðmundsdóttir¹ og Karen Luise Knudsen²

¹Raunvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík, ²Jarðvísindadeild Árósaháskóla, DK-8000 Aarhus C, Danmörku

Setkjarnar af hafsbotninum norðan Íslands varðveita gögn um breytingar á hafstraumum, og unnt er að aldursgreina þessar breytingar með gjóskulögum frá Íslandi. Tiltölulega hlýr og selturíkur yfirborðssjó streymir vestur fyrir Ísland og inn yfir norðlenska landgrunnið með Irminger straumnum, en hann er grein af Golfstraumnum. Vestan og norðan við landið mætir þessi sjógerð kaldari yfirborðssjó sem er að mestu ættaður úr Norður-Íshafinu, og berst suður með Grænlandi með Austur-Grænlandsstraumnum. Við norðlenska landgrunnið á sér einnig stað blöndum við yfirborðssjó, sem berst þangað með Austur-Íslandsstraumnum, sem er kaldur og tiltölulega seltulítill. Við aukið innstreymi frá Norður-Íshafinu og við tiltekin veðurskilyrði berst hafís til Íslands og þessu fylgja kuldatímabil. Djúpsjó Norðurhafa, sem er ískaldur og seltumikill nær upp á 400-500 m dýpi norðan við Ísland, og þar með dýpstu ála á landgrunninu. Hafsvæðið norðan Íslands er óvenju næmt fyrir breytingum á hafstraumum, þar sem vegast á innstreymi pólsjávar og Irmingerstraumurinn. Breytingar á lægðabrautum yfir Ísland geta haft mikil áhrif á hegðun og streymi yfirborðssjávar og útbreiðslu hafíss.

Tímatal í setlögum norðan við Ísland er byggt á gjóskulögum og stutt með geislakolsgreiningum á forndýraskeljum. Sýndaraldur sjávar er almennt talinn vera um 400 ár í Atlantshafinu. Nýjar niðurstöður frá rannsóknum á norðlenska landgrunnssetinu benda hins vegar til að sýndaraldurinn hafi verið breytilegur á síðustu árþúsundum. Gjóskulagatímatalið er sérstaklega mikilvægt á þessum slóðum, því að með því fæst aldursgreining sem er óháð sýndaraldri sjávar.

Umhverfisbreytingar síðustu 1200 ára eru raktar, og eru eiginleikar setlaganna, götunga-samfélög og hitaferill yfirborðssjávar út frá kísilþörungaflóru eru notuð til að finna breytingar á ferlum, sem einkenna umhverfið.

Bæði sumar- og vetrarhiti í yfirborðslögum sjávarins hafa tekið breytingum á þessu 1200 ára tímabili, og nemur hitasveiflan frá köldum tímabilum til hlýrri tímabila um 1-2 °C. Sumarhitinn lækkar skyndilega um 1300 e. Kr., og bæði sumar- og vetrarhiti lækka um 1600 e. Kr. Virðist vera hægt að tengja þessar breytingar, og þær breytingar sem vart verður í gerð sjávar við botn, við kólnun þegar hin svokallaða litla ísöld gekk í garð, en á okkar slóðum er hún almennt talin hafa varað frá 1300 til 1900 e. Kr. Fyrir litlu ísöld var hlýrra í sjónum norðan við Ísland og spannaði sá hlýindakafli, sem stundum hefur verið kallaður miðaldahlýskeyðið, tímabilið frá 850-1300 e. Kr. Sambærilegar breytingar sjást greinilega í gögnum frá Grænlandsjökli, og sögulegar íslenskar heimildir benda til hins sama. Á allra síðustu öldum er gotrt samræmi milli gagna frá hafsbotninum um hafískomur, og sögulegra heimilda um hafís við Íslandsstrendur.

Bylgjubrotsmælingar við undirbúning mannvirkjagerðar

Karl Gunnarsson

Íslenskar orkurannsóknir, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík. kg@isor.is

Íslenskar Orkurannsóknir hafa nú tekið við hlutverki Orkustofnunar á mörgum sviðum jarðvísindalegra rannsókna. Eitt slíkt starfssvið er notkun bylgjubrotsmælinga við jarðlagakönnun vegna mannvirkjagerðar. Saga Orkustofnunar á þessu sviði er orðin margara árutuga löng, en hér er beint sjónum að þeim kaflaskilum sem urðu árið

1991, þegar stofnuninni var falið að gera umfangsmiklar rannsóknir á tveimur mögulegum jarðgangaleiðum undir Hvalfjörð. Þetta stóra verkefni gaf tækifæri til að endurnýja búnað og þróa nýja aðferðafræði. Gerðar voru bylgjubrotsmælingar (seismic refraction) á landi og á hafsbotni eftir endilöngum gangnaleiðum. Einnig voru gerðar endurvarpsmælingar í samvinnu við Kjartan Thors (Hafrannsóknastofnun). Síðan hefur þessum aðferðum verið beitt í nokkrum verkefnum, einkum á sviði vegagerðar og vegna álvera. Sýnd eru dæmi um aðferð og niðurstöður slíkra mælinga.

First results on the fracture populations of Borgarfjörður—Hvalfjörður from aerial photographs, West Iceland

Maryam Khodayar¹, Hjalti Franzson¹, Sveinbjörn Björnsson², Skúli Víkingsson¹, and Guðrún Sigríður Jónsdóttir¹

¹Íslenskar orkurannsóknir (ÍSÖR) - Iceland Geosurvey; ²Orkustofnun; Both at Grensásvegur 9, 108, Reykjavík, Iceland, mak@isor.is

Our study of the fracture populations of Borgarfjörður-Hvalfjörður is more extensive than previous attempts, and differs from those because: (1) It covers a large area where observations are based on aerial photographs instead of satellite images. (2) The fractures were transferred from aerial photographs to topographical maps and corrections were made of the distortion associated with aerial photographs. (3) We analysed such a large fracture populations on the ground of aerial photographs. (4) We made a statistical analysis of these fractures in time and space. A few preliminary results of this study are reported here.

We observed 32,577 fractures on aerial photographs. These are undifferentiated faults, dykes, prominent mineral veins and fractures mode (I). The length of individual fractures varies from 50 m to several km. We made the statistical analysis of the tectonic pattern in two ways:

1. *Fracture distribution in time.* Fractures were divided into groups of relative age based on geological maps of W-, and SW Iceland, covering a time span of 15 Ma. Results show a noticeable evolution of the fracture pattern during the shift of the plate boundary from the Snæfellsnes Rift Zone to the Reykjanes-Langjökull Rift Zone around 6/7 Ma. From this period onward, E-W, northerly, and NW-trending fractures become more prominent. No new fracture-trends formed after this period, but the same trends are reactivated through time.
2. *Fracture distribution in space.* Fractures were divided into 6 families, based on their features known from our field studies and consistent with the simple shear scheme. These are N-S, NNE, ENE, E-W, WNW, and NW families. At first glance, the distribution of individual fracture families does neither show a striking change in the fracture density with respect to the unconformities, nor a systematic clustering in specific parts of the entire area, except small clustering locally.

The NNE family has the highest number of fractures followed by the WNW family. The NNE family has the greatest cumulative length, and the NW family the smallest. Finally, the rift parallel direction (NNE family) constitutes only 24% of the total fracture number (i.e., 1 rift parallel fracture for 3 fractures of other directions).

The analyses of the fracture populations of Borgarfjörður-Hvalfjörður are ongoing. More results will be available after we process the data with narrower time span and areas.

Field tectonic data from East Núpur/West Hagafjall, Gnúpverjahreppur, South Iceland

Maryam Khodayar and Hjalti Franzson

Íslenskar orkurannsóknir (ÍSÖR) - Iceland Geosurvey, Grensásvegur 9, 108, Reykjavík, Iceland mak@isor.is

Landsvirkjun plans hydropower projects on the river Þjórsá. To this end, we made two parallel studies in 2001, one north of the river, in the old Hreppar microplate (Khodayar and Einarsson, 2002a), and the other to the south, in the active South Iceland Seismic Zone-SISZ (Einarsson *et al.*, 2002). These studies were to provide Landsvirkjun with detailed field data on the bedrock and tectonics of Hreppar, the earthquake fractures of the SISZ, and the correlation of these earthquake fractures with the tectonic pattern of the Hreppar microplate. We extended our field investigation eastward towards Hagafjall in 2003. We report here our first results of the 2003 study.

The half-a kilometre mapped Plio-Pleistocene stratigraphic section consists of olivine tholeiite lavas, and alternating tholeiite lavas, tillites and fine-grained sediments. The facies and thicknesses of the sediments suggest valleys infilling. Dykes and several layers of sills intrude the entire series. Much younger interglacial lava, postglacial sediments and the Þjórsa lava cover unconformably part of the area.

The structural analysis of 1440 fractures shows that: (a) Faults strike dominantly NNE then northerly; dykes northerly then NNE and WNW; fractures mode (I) northerly then NNE; but mineral veins ENE then northerly. (b) The thickest dykes, with 17 m thickness and multiple injections, trend northerly, and are sometimes injected into faults. (c) A polyphase tectonics is proposed, as a single stress field does not explain the entire fracture pattern.

Major tectonically weak zones also trend northerly. As examples: (1) East of Hagi farm in Líkný, a prominent N-S fault, with 35 m vertical displacement and 40 m wide hydrothermally altered fault zone is intruded by dykes. The structure resembles dyke injection into a northerly strike-slip fault in West Iceland (Khodayar and Einarsson, 2002b), but in lack of marker horizons, the strike-slip motion of the Líkný fault could not be identified. (2) Of the three northerly dykes along the road east of Fossnesgljúfur, the thickest dyke, with 17 m thickness and a single injection, contains sub-pillow and breccia, and is likely to be very near the eruptive vent. (3) The strike and dip of the lavas around Fossnesgljúfur suggest an ancient tilted block along a northerly axis (a fault?), covered by younger strata. Severe jointing of northerly direction, along with present silica deposition, is prominent around this axis.

References

- Einarsson, P., Böttger, M., and Þorbjarnason, S. 2002. Report LV-2002/090, Landsvirkjun, 8p.
Khodayar, M., and Einarsson, P. 2002a. Reports RH-08-2002 Science Institute, University of Iceland, and LV-2002/101, Landsvirkjun, 16 p.
Khodayar, M., and Einarsson, P. 2002b. *JGR*, Vol. 107, NO. B5, 10.1029/2001JB000150, (ETG 5, p. 1-18).

Krísuvíkurrhinan í ágúst 2003: kortlagning brotflata með eftirskjálftum og GPS mælingum.

Kristín S. Vogfjörð (vogfjord@vedur.is), Halldór Geirsson og Erik Sturkell

Eðlisfræðisviði Veðurstofu Íslands.

Jarðskjálftahrinan hófst kl. 02:00:11, 23 ágúst 2003, með skjálfta af stærðinni $M_{lw}=5$ ($M_w=4.5$). Í kjölfarið fylgdu svo yfir tólf hundruð skjálftar á næstu tveim sólarhringum. Eftir það dró mjög hratt úr virkninni og var hrinunni lokið fyrir mánaðamótin. Upptök aðalskjálftans voru 3 km norðan við Krísuvík, á 4 km dýpi undir vestanverðum Sveifluhálsi og mældist hann á öllu skjálftamælaneti Veðurstofunnar. Á fyrsta degi hrinunnar urðu sjö skjálftar stærri en 3 (M_{lw}) og tveir aftur snemma næstu nótt, en flestir skjálftar voru undir 2 að stærð (M_{lw}). Stóri skjálftinn fannst víða um land, en þeir minni einungis á Krísuvíkursvæðinu. Um helmingur eftirskjálftanna raðaði sér á um 6 km langa NS línu um aðalskjálftann, og lá hún um Móhásadal frá Krísuvíkurheiði í suðri að Grænudýngju í norðri og markar skjálftadreifin útlínur brotplans aðalskjálftans. Flestir stærri skjálftanna voru einnig á þessu brotplani. Hinn helmingur skjálftanna myndaði 3 km langa, ANA læga línu austur úr miðju NS plansins og náði hún austur að Lambatanga við Kleifarvatn. Við enda hennar urðu sinn hvor $M_{lw}>3$ skjálftinn.

Besta brotlausn aðalskjálftans, sem og flestra stærri skjálfta í hrinunni, lýsir nær hreinu hægri handar sniðgengi með $N2\oplus W$ stefnu og $72\oplus$ halla til vesturs. Hins vegar er lóðrétt plan einnig möguleg lausn, en það samræmist betur dreifingu eftirskjálftana. Mesta færsla á brotleti aðalskjálftans er um 10 cm, út frá mati á jarðskjálftabylgjunum.

Við kortlagningu á brotleti aðalskjálftans og annarra stærri skjálfta er upptakagreiningu beitt til að endurstaðsetja eftirskjálftana með meirki nákvæmni. Aðferðin notar sér þá staðreynd að klukkunákvæmni í skjálftamælanetinu er 1 ms, og að bylgjuform frá nálægum smáskjálftum, sem skráðir eru á fjarlægjar mælistöðvar eru nær alveg eins, svo fremi að spennusviðið breytist lítið. Þess vegna er hægt að beita víxlfylgnireikningum á bylgjuformin (bæði P og S) á hverri stöð til að fá nákvæmar mælingar á innbyrðis tímamismun milli skjálftanna. Þessir tímamismunir eru síðan notaðir til að bæta staðsetningar skjálftanna. Við bestu skilyrði getur innbyrðis staðsetningarnákvæmnin orðið tugir metra, sem gerir sprungukortlagningu með skjálftum mögulega.

Við upptakagreininguna raðast skjálftarnir í þyrpingar um norður og suðurhluta aðalsprungunnar, en minni virkni er í miðju hennar. Saman skilgreina þyrpingarnar nær lóðréttu NS sprungu, þar sem dýptardreifing skjálftanna er frá um 5 km upp á um 1.5 km dýpi, og færslustefnur eru í góðu samræmi við færslustefnu aðalskjálftans. ANA skjálftadreifingin virðist samsett úr nokkrum styttri sprungum og þar dreifast skjálftarnir á dýptarbilið 1.5-4.5 km. Færslustefnur í skjálftunum eru breytilegar.

Tveir GPS punktar, annar austan og hinn vestan megin við skjálftasvæðið voru endurmældir í kjölfar hrinunnar, en þeir höfðu áður verið mældir í maí sama ár. Þeir sýndu 4-5 mm lárétta hliðrun í samræmi við hægri handar sniðgengishreyfingu aðalskjálftans. Líkanreikningar sýna að 10 cm jöfn færsla á 6 km langri og 3.5 km hárrí sprungu sem nær upp á 1.5 km dýpi gefur færslur af svipaðri stærð og þær mældu.

Efnaskipti gruggs og sjávar í Skeiðarárhlaupinu 1996

Matthildur B. Stefánsdóttir¹ og Sigurður R. Gíslason²

¹Umhverfissráðuneytið Vonarstræti 4, 150 Reykjavík (matthildur.b.stefansdottir@environment.is), ²Raunvísindastofnun HÍ, 107 Reykjavík (sigr@raunvis.hi.is)

Rannsóknirnar sem hér er greint frá eru síðasti hluti M.S. verkefnis sem var unnið við Raunvísindadeild HÍ á tímabilinu 1997 til 1999.

Gjálpargosið í september 1996 olli miklu jökulhlaupi. Hlaupið flutti þá með sér til sjávar a.m.k. 180 milljón tonn af gruggi á 42 klst. Gruggkornin voru yfirleitt vel núin og þakin ummyndunarsteindum. Ummyndað basaltgler var meginuppistaða gruggsins eða um 80%. Ummyndunarsteindir svo sem zeólítar og kalsít voru um 11%, en aðeins 5% var ferskt eldfjallagler. Þessar niðurstöður sýna að meirihluti gruggsins varð til við rof undir Skeiðarár-jökli í hlaupinu, en var ekki ferskt gler frá eldstöðvunum.

Mestur hluti gruggsins var af efnasamsetningu sem samsvarar efnasamsetningu glers úr Grímsvatna-Laka kerfinu. Mælt yfirborðsflatarmál gruggsins (BET) var 11,8-18,9 m²/g, sem samsvarar heildarflatarmáli upp á 2,13*10⁹-3,4*10⁹ km², en það svarar til um 0,5% af yfirborði jarðar. Svo gífurlegt flatarmál veitir mikla möguleika á efnahvörfum við sjóinn.

Til að yfirborðslög sjávar yrðu fyrir áhrifum af grugginu urðu efnahvörfin að gerast hratt, þ.e. áður en gruggið féll niður á meira dýpi. Hröð efnahvörf eru aðallega í formi adsogs/fráfalls efnahvarfa, þ.e. þegar jónir í sjónum sogast að gruggkornunum og/eða jónir sem loða við gruggið falla af. Það ræðst af yfirborðsefnasamsetningu kornsins og efnum í lausn, hvort og hve mikið af jónum dragast að korninu eða falla af því við ákveðið pH og jónstyrk.

Tilraunir voru gerðar með grugg í síuðum sjó í þeim tilgangi að fá mynd af fyrstu áhrifum gruggsins í sjónum. Hver tilraun var keyrð í ákveðið tímabil, frá nokkrum mínútum til 6 daga. Í lok hverrar tilraunar var pH mælt, og aðal- og snefilefni voru mæld fyrir og eftir hverja tilraun.

Niðurstöðurnar sýna að sum efni svo sem kísill, baríum, kadmín, kóbolt, kopar, nikkell, mangan og kvikasilfur jukust í sjónum meðan á tilraunum stóð, lítil breyting varð á kalsíum, natríum, járn og áli, en önnur minnka lítillega svo sem magnesíum, brennisteinn, blý og zink. Þessar niðurstöður má skýra með adsogs/fráfalls efnahvörfum og leysni ummyndaðs glers.

Um 0,03-0,04% kísils úr grugginu leystist upp í sjónum fyrstu tvo dagana. Langtímaleysni gruggsins var hægari en langtímaleysni fersks basaltglers.

Niðurstöðurnar voru bornar saman við mælingar á efnum sem voru uppleyst í hlaupvatninu. Magn kadmín, nikkels og kóbols sem losnuðu frá grugginu er mun meira en magn sömu efna uppleyst í hlaupvatninu. Magn uppleysts kísils og mangans í hlaupvatninu var hins vegar miklu meira en það sem efnahvörf á yfirborði gruggkornanna bættu við.

Tephra layers in two Greenland ice cores – Frequency, composition and origin of eruptions from 33-10ka BP (calendar ice core age)

Anette K. Mortensen¹, M. Bigler², K. Grönvold¹, S. Johnsen³, JP Steffensen³, Siwan Davies⁴.

¹Nordic Volcanological Institute, Grensásvegur 50, 108 Reykjavík, ²Climate and Environmental Physics, Physics Institute, University of Bern, Switzerland, ³Department of Geophysics, University of Copenhagen, Denmark, ⁴Department of Geography, University of Wales Swansea, UK

Explosive volcanic eruptions leave widespread tephra horizons, which can be used to reconstruct the volcanic history of a volcano or a volcanic region. It also provides a valuable stratigraphic tool for correlating terrestrial, marine and ice core records. In Iceland the volcanic history of the Holocene is well preserved in soil and lake sediment profiles, but for the last glacial period the soil record is lacking due to the extensive ice cover of Iceland at this time.

The Greenland ice cores represent continuous and well-dated climatic records, extending back to the last interglacial, the Eemian. The chemical traces of volcanic eruptions are preserved in the Greenland ice cores as distinct peaks of enhanced sulphate content and electrical conductivity. Previously volcanic ash shards have been identified and analysed in association with a few of these sulphate peaks, e.g. Vedde Ash and Saksunarvatn Ash.

We have performed a comprehensive screening for tephra associated with all the distinct sulphate peaks from two intervals within the NGRIP ice core; 1) Interstadial 7 to Greenland Stadial 5 (2010-1950m) and 2) the Last Glacial Termination (1705-1400m). Tephra was retrieved from 44 samples within these two sections. Major element analyses of the tephra layers provide the basis for accessing possible origin of these tephra layers. Two layers suggest that Hekla volcano existed in late Allerød.

For the Last Glacial Termination the GRIP ice core has been selectively screened for tephra based on the tephrochronology of the NGRIP ice core. A geochemical and morphological comparison between the tephra in the two cores has produced positive correlation between 6 layers, among which are Saksunarvatn and Vedde Ash. The GRIP ice core site is located 300km to the south of the NGRIP ice core site. The correlation of tephra layers between these two ice core sites thus provides evidence for cases of wide dispersal of the distal ash plumes.

Drumbabót í Fljótshlíð –fornar skógarleifar – Leifar eftir jökulhlaup úr Mýrdalsjökli

Ólafur Eggertsson¹, Óskar Knudsen², Hjalti J. Guðmundsson³

¹Rannsóknastöð Skógræktar Mógilsá, ²Jarðfræðistofan og Verzlunarskóli Íslands, ³Umhverfis- og heilbrigðisstofa Reykjavíkur

Sumarið 2003 fóru höfundar í rannsóknarferð að fornum skógarleifum sem finnast við Þverá í Fljótshlíð (1 mynd). Staðurinn nefnist Drumbabót og einkennist af miklum fjölda lurka sem standa u.þ.b. 20-60 cm upp úr sendnum árframburði. Flatarmáli svæðisins er u.þ.b. 100 hektarar. Lurkarnir reyndust allir vera birki (*Betula pubescens*) og sjást víða leifar af hvítum berki á þeim (1.mynd). Flestir lurkarnir hafa sviðaða hallastefnu, til suð vesturs.

Fjöldi lurka á hektara var gróflega mældur og reyndist þéttleikinn vera 500-600 tré á hektara (10.000 m²). Þvermál var mælt á nokkrum lurkum, 50 til 100 cm frá rótarhnyðju, og mældist það að meðaltali vera 17.8 cm. Gildustu lurkarnir eru yfir 30 cm í þvermál sem er sambærilegt við sverari birkitré skóga landsins í dag.

Grafið var með nokkrum lurkum og kom þá í ljós að þeir eru í lífstöðu (*in situ*) og situr rót þeirra í sendnum 40-70 cm þykkum móajarðvegi. Ofan á mónum er um 50 cm þykkt sandlag. Undir mónum er malarlag



a



b

1 mynd. a. Trjálurkar í Drumbabót, Fljótshlíð. **b.** Birki sem stendur upp úr sandinum

Sneiðar voru teknar af 5 lurkum til vaxtar og áhringjarannsókna. Niðurstöður sýna að eiginaldur (áhringjafjöldi) er á bilinu 70–100 ár. Mælingar á breiddum áhringja sýnir að trén hafa drepist samtímis, því áhringurinn næst berki hefur myndast sama árið í þeim öllum.

Breidd áhringjanna gefur einnig upplýsingar um vaxtarskilyrði trjáanna. Há fylgni er milli sumarhita og áhringjabreiddar í birkitrjám á Íslandi og er meðalbreidd áhringjanna í lurkunum í Drumbabót svipuð og meðalbreidd áhringja í birkitrjám í Bæjarstaðarskógi á árunum 1930 til 1940. En sumarhiti á því tímabili er sá hæsti síðan hitamælingar hófust.

Þessi forrannsókn sem fram hefur farið á skógarleifunum sýnir að skógurinn hefur eyðst í miklu jökulhlaupi sem komið hefur úr Mýrdalsjökli. Áhringjarannsóknir á lurkunum sýna að skógurinn hefur drepist í einum atburði.

Tilurð lurkanna gefur möguleika á að aldursgreina hamfarahlaupið með mikilli nákvæmni með tækni sem felur í sér að framkvæma 3-5 geislakolsgreiningar á sama drumbi (wiggle-matching). Valin hafa verið 3 sýni úr sömu trjasneið með ákveðin áhringjafjölda (ára fjöldi)

milli geislakolssýnanna en þannig fæst nákvæmur raunaldur þegar geislakolsaldurinn verður leiðréttur. Markmið aldursgreininganna er að fá nákvæman aldur á hlaupinu sem felldi trén í Drumbabót.

Þekkt eru sex jökulhlaup sem til vesturs úr Mýrdalsjökli, fjögur þeirra á tímabilinu frá því fyrir 6200 til 1400 árum (óleiðréttur geislakolsaldur, BP), hin tvö eru talin eldri (Smith o.fl. 2002). Yngsta hlaupið samkvæmt Smith o.fl. (2002) varð því fyrir um 1400 árum og er mögulegt að það hafi valdið eyðingu skóga í Drumbabót. Einnig greinir Guðrún Larsen o.fl. (2001) frá súru öskulagi sem talið er eiga uppruna í gosi sem varð vestanlega í Mýrdalsjökli og olli hlaupi til vesturs niður á Markarfljótsaura. Guðrún Larsen o.fl. telur það vera yngsta þekkta sprengigosið sem orðið hefur í Kötlu. Aldursgreiningar á jurtaleifum sem lágu ofan á þessu öskulagi gáfu aldurinn 387-412 e.kr (1675 +/- 12 BP), (Guðrún Larsen o.fl. 2001). Hugsanlega hafa þessi eldsumbrot valdið hlaupi niður Markarfljótsaura og þannig eyðingu skógarins við Drumbabót.

Sem framhald rannsókna á Drumbabót er æskilegt að aldursgreina móajarðvegin sem rætur trjánna sitja í og fá þannig fram aldur og myndunarsögu mósins. Þannig fæst lágmarksaldur næst síðasta hamfarahlaups sem fór yfir Markarfljótsaura.

Drumbarnir eru allir álíka háir, þetta bendir til þess að skógurinn hafi grafið undir þykku lagi af framburði jökulhlaups. Enda er þekkt að þar sem flóð fara yfir skóga verður mikið straumfall og þess vegna mikil setmyndun. Það sem vantar ofaná trén hefur rotnað burt vegna þess að grunnvatnsstaða í setinu hefur legið í þeirri hæð sem drumbarnir standa nú í. Þegar grunnvatnsstaða lækkaði aftur á þessu svæði, e.t.v. í tenglum við það að Markarfljóti er nú stýrt, hófst rof á svæðinu og setið hefur blásið frá drumbunum. Við teljum því að jökulhlaupasetið hafi í upphafi verið töluvert þykkara í Drumbabót en það er nú.

Með rannsóknum á skógarleifunum í Drumbabót gefst tækifæri til að aldursgreina á mjög nákvæman hátt hamfarahlaup sem fór yfir Markarfljótsaura og líklega allar Landeyjar líklegast vegna umbrota í Kötlu. Niðurstöður beinna aldursgreininga á skógarleifunum lágu ekki fyrir við ritun þessa ágríps.

Heimildir:

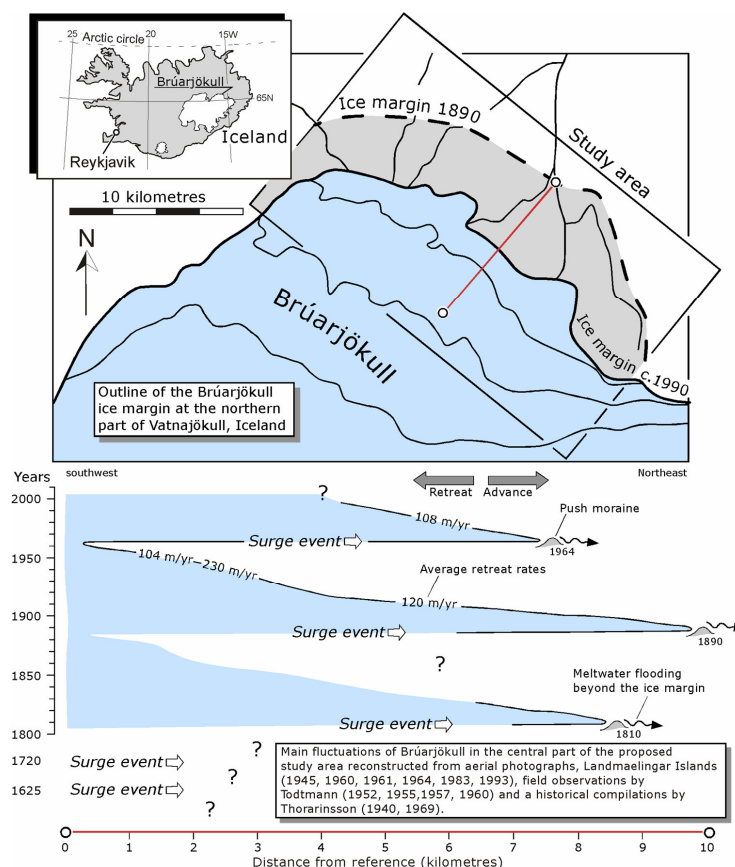
- Larsen, G., Newton, A.J., Dugmore, A.J., and Vilmundardóttir, E.G., 2001. Geochemistry, dispersal, volumes and chronology of Holocene silicic tephra layers from the Katla volcanic system, Iceland. *Journal of Quaternary Science* 16 (2) 119-132.
- Smith, K.T., Dugmore, A.J., Larsen, G., Vilmundardóttir, E.G., Haraldsson, H. 2002. New evidence for Holocene Jökulhlaup routes west of Mýrdalsjökull. The 25th Nordic Geological Winter Meeting January 6th-9th, 2002, Reykjavík, 196.

Brúarjökull: setmyndunarumhverfi framhlaupsjökuls

Ólafur Ingólfsson

Jarð- og Landfræðiskor Háskóla Íslands og Jarðfræðastofnun Raunvísindastofnunar Háskólans

Síðustu árin hefur skilningur manna aukist á þýðingu ísstrauma, þ.e. skriðjökla sem hreyfast mjög hratt, fyrir stöðugleika og leysingu jökulskjalda síðustu ísaldar. Rannsóknir á ísstraumum hafa verið bundnir við virka slíka á Suðurskautslandinu og í Grænlandi. Þar er vandkvæðum háð að kanna virkni íssins á undirlag og áhrif hraðs flæðis á landmótun og setmyndun. Framhlaupsjökla, sem ganga hratt fram um takmarkaðan tíma, staðna síðan og hörfa, setja merki á setmyndun, landform og landslag. Þessi ummerki gætu svipast þeim sem ísstraumar síðustu ísaldar hafa sett. Í fyrirlestrinum verður kynnt nýtt alþjóðlegt rannsóknarverkefni við Brúarjökul. Höfuðmarkmið verkefnisins er að kanna setmyndunarumhverfi og landmótun virks framhlaupsjökuls, með því að rannsaka þróun setmyndunar og landslags, og tengsl við jökulvirkni og veðurfar samhliða framhlaupi. Þannig er rannsókninni beint að gagnverkunum veðurfars-jökulferla-setmyndunar-landmótunar í tíma og rúmi. Beitt verður jöklafræðilegum, jarðfræðilegum, setfræðilegum og landmótunarfræðilegum aðferðum. Útvinna verður framan við jökuljaðar Brúarjökuls og innan marka framhlaupa jökulsins frá 1964 og 1890. Þess er vænst að niðurstöður verkefnisins muni varpa ljósi á eðli og mynd ummerkja eftir jökla sem hreyfast á svipaðan hátt og ísstraumar síðustu ísaldar, og nýtast við túlkun á virkni ísaldarjökla.



Surface ruptures in the South Iceland earthquake of 1911

Páll Einarsson^{1,2}, Maryam Khodayar^{1,3}, and Steingrímur Þorbjarnarson^{1,2} and students of the courses Tectonics and Current Crustal Movements in the Faculty of Science of University of Iceland in 2003

¹Science Institute, University of Iceland, ²Faculty of Science, University of Iceland, ³Íslenskar orkurannsóknir (ÍSÖR), Reykjavík, Iceland

The 1912 earthquake occurred near the eastern end of the South Iceland Seismic Zone, a transform zone connecting the two parallel rift zones in South Iceland. It was the largest earthquake in Iceland in the twentieth century. In spite of its occurring in the early years of instrumental observation its magnitude of $M_S = 7$ is well determined. This event provides an important link between the destruction areas and the magnitude, which has been used to estimate the magnitude of earthquakes in the area from 1700 to the beginning of the 20th century when seismographs became available. The 1912 earthquake also played an important educational role for the recognition of surface structures associated with large strike-slip earthquakes in the South Iceland Seismic Zone. Surface fractures from the earthquake have been mapped by several authors and at different scales and degrees of completeness. The faults of the 1912 event were the main subject of a field project of two student groups of the University of Iceland in the autumn of 2003. GPS-instruments were used to map in detail all known surface fractures in the source area of the earthquake. In this presentation we describe the main characteristics of the faults, many of which have been studied before. Furthermore, we add more detailed maps of all the rupture segments and describe a few features that have not been described before.

The mapped fractures form a N-S elongated pattern located in the central part of the destruction zone of the earthquake. The pattern is segmented. Individual fractures within each segment have a northeasterly trend and show a strong en-echelon arrangement. The arrangement is mostly left-stepping indicating right-lateral motion. Right-stepping arrangement indicative of left-lateral motion on conjugate segments is also found in several places. Push-up structures, small hillocks, and sinkholes are prominent structures that connect most of the fracture segments. Most segments are located on a straight line extending from Galtalækur in the north to Selsund in the south, of a total length of 11 km. There is indication that the fractures were originally traceable for longer distance. This line is the surface expression of the main source fault of the earthquake. There are splay fractures branching off from the main fault at Bjólfell, Haukadalur and Hólar. An intricate mesh of conjugate fractures was mapped near Haukadalur, partly mixed with frost cracks in the surface soil. The most spectacular fault structures are observed on the N Selsund segment, west of Selsund. There the main fault trace is marked by large push-ups and tension gashes. Several conjugate segments and splays can also be identified.

In addition to evidence found earlier, we found evidence for an earlier slip-event on the N Selsund segment. A streambed immediately west of the segment is conspicuously straight, most likely fault controlled. Furthermore, one of the push-ups forms an island in a pond. A contemporary account states that “.. an island in the pond was uplifted ..”. This indicates that the push-up in the pond was there before the 1912 event.

By comparing the 1912 surface structures, such as push-ups, with the structures found in the source areas of the June 2000 earthquakes we conclude that the displacements in 1912 were at least a factor of two larger than in 2000.

Viðvaranir um jarðskjálfta. Um hagnýingu spárannsókna og mikilvægi bráðavárkerfisins

Ragnar Stefánsson, Matthew J. Roberts, Steinunn Jakobsdóttir og Gunnar B. Guðmundsson.

Veðurstofu Íslands, ragnar@vedur.is.

Frá því um 1988 hafa vísindamenn frá mörgum löndum tekið þátt í rannsóknarverkefnum á Íslandi sem miða að jarðskjálftaspám. Sérstakar náttúrulegar aðstæður á Íslandi gera landið kjörið til slíkra rannsókna, og hafa þær þegar skilað markverðum grunnvísindalegum niðurstöðum. Út úr þessu hafa líka komið niðurstöður sem mjög geta bætt stöðu okkar til gagnlegra viðvarana. Á Veðurstofunni er nú verið að þróa bráðavárkerfi til að nýta þessar niðurstöður, rauntímamælingar og aðra nauðsynlega þekkingu hratt og örugglega til að bæta upplýsinga- og viðvörunarþjónustu.

Fyrsta fjölþjóðlega verkefnið í jarðskjálftaspám var norræna SIL verkefnið á árunum 1988-1995. Megin árangur þess verkefnis var uppbygging sjálfvirks jarðskjálftamælinga- og úrvinnslukerfis, SIL kerfisins. SIL kerfið gerir okkur kleift að vinna úr smáskjálftum margvíslegar upplýsingar um ástand og gang mála niðri í jarðskorpunni. Vegna þess hve kerfið er næmt má segja að við getum fengið út úr mælingunum nær samfelldar upplýsingar um spennuástand, breytingar á spennustefnu og hreyfingar á sprungum í skorpunni. PRENLAB verkefni, verkefni sem studd voru af Evrópusambandinu 1996-2000, tóku til miklu fleiri þátta jarðfræðilegrar þekkingar heldur en jarðskjálftafræðinnar einnar. Þessi verkefni, sem hafa verið undir íslenskri forystu, sem og önnur skyld verkefni, SMSITES og RETINA, byggðust mjög mikið á langtímaspám eða viðvörunum um Suðurlandsskjálfta sem voru að þróast síðustu tvo áratugina fyrir skjálftana. Suðurlandsskjálftarnir tveir árið 2000 urðu báðir þar sem þeim hafði verið spáð 10 árum áður. Gagnleg skammtíma viðvörun var svo gefin út um seinni skjálftann, 21. júní, árið 2000, 25 klukkustundum áður en hann brast á. Mikilvægar rannsóknarniðurstöður úr PRENLAB verkefnunum og árangur í spám og gagnlegum viðvörunum hér á landi, sköpuðu grundvöll PREPARED verkefnisins 2003-2005, sem líka er stutt af ESB. PREPARED verkefninu er ætlað að hagnýta niðurstöður fyrri rannsókna og reynsluna af Suðurlandsskjálftunum 2000 til að móta og efla aðferðir til að undirbyggja viðvaranir til langs eða skamms tíma. Bráðavárkerfið nýja, (BRÁÐAVÁ eða EWIS á ensku), er verkefni, sem íslenska ríkið og RANNÍS styðja. Því er svo ætlað að vera hjálpartæki til að nýta á sem árangursríkastan hátt og í rauntíma alla þá þekkingu sem er fyrir hendi til að freista þess að spá fyrir um jarðskjálfta og eldgos.

Þegar við tölum um spá eða skjálftaviðvörun, er átt við að reyna að átta sig á ástandi og þróun á jarðskjálftahættusvæðum m.t.t. þess að geta á hverjum tíma gripið til viðeigandi ráðstafana til að draga úr hættum, sem hugsanlegir jarðskjálftar gætu valdið. Í þessu skini eru gefnar upplýsingar eða viðvaranir þar sem leitast við að meta sem best má vera líklegan upptakastað og líkleg áhrif. Það má skipta þessu viðvörunarferli í 5 þætti:

- 1) Viðvörun gefin árum eða mánuðum fyrir ætlaðan skjálfta, um stærð og umfang áhrifasvæðis: Slík viðvörun hefur þann tilgang að efla ýmiss konar aðgerðir til að bæta viðbúnað á svæðinu, bæði almannavarnaraðgerðir, sem og auknar mælingar og úrvinnsla.
- 2) Viðvörun vikum eða dögum á undan skjálfta: Almannavarnarviðbrögð og viðbrögð björgunarsveita rifjuð upp og æfð, einnig ýmsar æfingar meðal almennings án þess þó að viðvörunin sé gerð opinber. Viðeigandi nærsviðsmælingar eflar.
- 3) Klukkustunda eða mínútna fyrirvari: Lokaviðbúnaður til að búa sig undir að varasamur jarðskjálfti gæti skolið á hvenær sem er innan skamms. Rauntímamælingar og eftirlit

geta leitt til meiri nákvæmni í tíma. Mikilvægt er að meta hvenær slíku viðvörunartímabili lýkur. Þessi viðvörun yrði ekki frekar en hinar fyrri látin fara til almennings nema gegnum Almannavarnir.

- 4) Jarðskjálftinn brestur á: Úrvinnsla samtímagagna um áhrif jarðskjálftans sem og ráðgjöf, sem miðar að því að draga úr skaðsemi hans fyrir fólk og samfélag. Spá um eftirskjálfta og áhrif þeirra.
- 5) Í framhaldi skjálftans. Upplýsingar til almennings um eðli jarðskjálftans, ásamt mati eða viðvörunum um framhald virkninnar og hugsanlega tengda skjálfta.

Varðandi öll þessi stig er Bráðavárkerfið mikilvægt tæki sem vísindamenn geta nýtt sér til samtímarannsókna. Það inniheldur aðferðir til hraðrar úrvinnslu og mats á hættum, sem og upplýsingar um fyrri atburði. Það inniheldur tæki til hraðra samskipta milli vísindamanna og samskipti við almannavarnir, önnur stjórnvöld og almenning.

Í erindinu verða tekin dæmi af fyrri atburðum til að lýsa ofan nefndum viðvörunarskrefum.

Dalvíkurskjálftinn og Tjörnesbrotabeltið

Ragnar Stefánsson, Gunnar B. Guðmundsson og Páll Halldórsson

Veðurstofu Íslands, ragnar@vedur.is.

Dalvíkurskjálftinn árið 1934 hefur verið metinn 6.2-6.3 á stærð, eða heldur minni en Suðurlandsskjálftarnir árið 2000. Þetta gæti verið vanmat miðað við Ms kvarðan sem við höfum notað fyrir stóra skjálfta hér á landi. Skjálftinn olli miklum skemmdum, aðallega á Dalvík, en líka langt fram í Svarfaðardal, á Árskógsströnd og í Hrísey. Það eru engar sögulegar heimildir um annan viðlíka skjálfta á þessu svæði. Almenn séð eru mjög litlar heimildir um sögulega jarðskjálfta á Norðurlandi þangað til fer að líða á 18. öld. Þetta er athyglisvert þegar það er haft í huga að á 20. öld eru tveir jarðskjálftar þarna sem voru af stærðinni 7 eða rúmlega það og svo tveir aðrir sem nálgast 6.5 og ollu nokkru tjóni. Líklega er virknin á 19.öld sambærileg. Ýmsar skýringar hafa verið nefndar á þessu, svo sem að annálar mundu ekki geta um skjálfta nema að talsvert af torfhúsum hefðu hrunið. Af ýmsum ástæðum væri hins vegar ekki rétt að búast við eins miklu hruni fyrir norðan eins og fyrir sunnan, m.a. af því oft hefðu upptök skjálftanna verið utan við ströndina. Líklega er þetta mikilvægasta skýringin, þó benda megi á fleira.

Tjörnesbrotabeltið, svokallað, er þríhyrningslaga brotasvæði sem markast af norðurströndinni frá Öxarfirði í austri og vestur fyrir Skagafjörð og Kolbeinsey í norðri. Það tengir saman eða tekur upp, með hægri handar skælingu, opnun á mislægum gliðnunasvæðum Norðurlands annars vegar og Kolbeinseyjarhryggjarins hins vegar. Samkvæmt jarðskjálftamælingum er svæðið margbrotið, þar sem skiptast á virk gliðnunarbelti og virkar norður-suður eða austur-vestur sniðgengissprungur, sem eru mismunandi virkar á mismunandi tímabilum. Svo virðist sem opnun á gliðnunarbeltunum Norðanlands geti tengst eftir mismunandi leiðum að Kolbeinseyjarhryggnum. Það er því alveg hugsanlegt að svæði sem hefur verið virkt með stórum skjálftum s.l. tvær aldir, hafi ekki alltaf verið eins virkt.

Húsavíkur-Flateyjarbrotabeltið, er oft talin eina þróaða þvergengissprungan (transform fault) á Íslandi, þótt sú staðhæfing sé nokkur einföldun. Um hana er bæði sniðgengi og gliðnun. Hún virðist tengja saman opnun í norður gosbeltinu, einkum í Þeistareykjarsprungusveimnum, og opnun í NS gliðnunarbelti norður af Eyjafirði. Það er hins vegar fjarri lagi að að Húsavíkursprungan taki upp með sniðgengi og gliðnun alla tenginguna milli norður brotabeltisins og Kolbeinseyjarhryggjarins. U.þ.b. 30 km belti með hægri handar þvergengisskælingu liggur til vesturs með strönd Tröllaskaga. Sé litið til jarðskjálftarannsókna benda þær til þess að þarna hafi stórir skjálftar (M 6-7) leyst út á NS vinstrihandar misgengjum hlið við hlið með 20-30 km millibili, þar af tveir á síðustu öld og einn á 19. öld. Skjálftadreif norðarlega á Tröllaskaga hefur oft verið túlkuð sem röksemd fyrir þriðja misgenginu, svokölluðu Dalvíkurmisgengi. Hér er þó miklu fremur um að ræða virkni við suðurendann á NS jarðskjálftasprungum á þessu svæði.

Sé litið til jarðskjálftamælinga og landmótunar bendir marga til þess að á svæði norðan Tröllaskaga séu leifar þvergengisbeltis á móta Húsavíkur-Flateyjarmisgenginu, sem er orðið læst fyrir austur-vestur hægrihandar þvergengisskjálftum. Hægrihandar skælingin leysist hins vegar úr læðingi með NS vinstri handar sniðgengisskjálftum, sem hugsanlega tengjast veikleikum frá gamalli gliðnun og gangainnskotum, sem eru þekkt þarna með sömu stefnu.

Það er ekki fráleitt að ætla að skjálftarnir á síðustu öldum allt frá Skjálftanda og vestur í Skagafjarðarmynni sé tímabundið fyrirbæri sem eigi rætur í miklum gliðnunaratburðum í norðurgosbeltinu á 18. og 19. öld. Það er þó ekki víst að þessu tímabili skjálfta upp við landsteinana sé lokið að þessu sinni. Það er hins vegar líklegt að Kröflu-Öxarfjarðar gliðnunin

mikla 1975-1980 hafi í miklu meira mæli leyst út til norðurs, um Grímseyjarbeltið, þótt ekkert vísindalegt mat hafi verið lagt á það enn hversu mikið það sé.

Hugsanlegt er að skjálftaleysið í annálum fyrir 1700 sé raunverulegt, þ.e.a.s. að skjálftar hafi aldurnar þar á undan verið norðar innan Tjörnes brotabeltisins. Kanski erum við að skríða aftur inn í slíkt tímabil eftir atburðahrinu vestur með norðurströndinni s.l. 250 ár. Þetta þyrfti að rannsaka betur bæði með ítarlegri skoðun sögulegra heimilda sem og með líkanagerð af svæðinu, sem getur skýrt þær mælingar sem eru fyrir hendi.

Samband mældrar úrkomu og meðalsnjósöfnunar

Ríkharður Friðrik Friðriksson og Haraldur Ólafsson

Veðurstofu Íslands og Háskóla Íslands

Á Hveravöllum á Kili hefur verið starfrækt veðurstöð frá árinu 1965. Mældir eru allir helstu þættir veðurs á 3 klst fresti allan sólarhringinn og einnig eru gerðar viðamiklar snjósmælingar. Mælingar á snjósöfnun, vindi og hita eru notaðar til að meta úrkomu og eru þær bornar saman við úrkomumælingar. Í ljós kemur að beinar úrkomumælingar vanmeta stórlega úrkomuna, ekki síst í hvassviðri. Með reikningum sem byggja á mældri úrkomu, vindhraða og lofthita má áætla raunverulega úrkomu, en hún reynist vera 150% – 350 % af mældri úrkomu fyrir meðalvindhraða frá 2 m/s upp í 12 m/s. Miðað er við að lofthiti sé undir 0°C. Settar eru fram reiknireglur til að finna raunverulega úrkomu við mismunandi vindhraða.

BRÁÐAVÁ: an Internet-based platform for rapid visualisation and communication of tectonic activity in Iceland

Matthew J. Roberts, Ragnar Stefánsson, Páll Halldórsson, Vigfús Eyjólfsson

Physics Department, Icelandic Meteorological Office <matthew@vedur.is>

Continuous, sensor-based measurements of earthquake activity are essential to Iceland's monitoring and assessment strategy for tectonic hazards. Using a national array of digital seismometers linked to a central computer system, the Icelandic Meteorological Office observes tectonic seismicity in real-time. The detection and analysis capability of this network has resulted in a unique catalogue of micro-seismicity, which can be utilised for hazard identification and risk mitigation purposes. However, progress in data acquisition techniques has created a temporal gap between scientists' ability to acquire data rapidly in digital form and their ability to assess its immediate significance against historic data. Hence, a fundamental obstacle exists because timely hazard identification relies on instant access to recent and historic geophysical data and related scientific resources. Rapid, effective dissemination of geophysical results calls for an Internet platform for dual scientific and public use.

In this presentation, we outline the design of BRÁÐAVÁ: a purpose-built, Internet-based platform for rapid visualisation and communication of recent and historic tectonic activity. The overarching aim of BRÁÐAVÁ is to develop geophysical tools to maximise Iceland's ability to mitigate the risks caused by geologic hazards. Geoscientists and civil-defence representatives are the project's primary users, but later versions of the system will be refined for public access. We use a geographical information system (GIS) and Internet technology in tandem to unite seismic results with geologic information in a Website environment. This approach allows instant overviews of present and past seismicity levels in any geographic region. Users interact with BRÁÐAVÁ via a multi-tiered Web page, which displays options for presenting time-series data in either map or graph format. The Website also hosts a database, which comprises scientific publications, customised hazard summaries, pre-processed information for civil defence purposes, and annotated map and image resources. BRÁÐAVÁ conforms to accepted standards for GIS data exchange, thus ensuring the future integration and exchange of diverse datasets.

The main strength of BRÁÐAVÁ is the system's capacity to deliver time-dependent seismic results with unsurpassed ease and speed via the Internet. When seismicity levels and other related geophysical parameters depart from expected behaviour, BRÁÐAVÁ fosters time-dependent insight into a region's tectonic history. For well-instrumented sites with time-series records spanning several episodes of tectonic unrest, recognition of anomalous changes in tectonic activity can serve as the basis for issuing intermediate-term public warnings in the form of factual statements.

Future BRÁÐAVÁ work will focus on the development of "event probability" maps that dynamically integrate real-time, multi-parameter data in a GIS. It is anticipated that such maps will serve as baseline data for emergency management of future earthquake-volcano crises. Reaching the goal of a clickable risk map requires the development of numerical algorithms from diverse empirical data. Through collaborative European research, the necessary algorithms are in preparation, and we foresee their routine usage in BRÁÐAVÁ by 2006.

Innlyksur í kristöllum — „Mohole“ að hætti Skota

Sigurður Steinþórsson

Raunvísindastofnun Háskólans

Kringum 1960 var á döfinni sú hugmynd að bora niður fyrir Moho-mörkin til að sannreyna hver væri samsetning efri möttulsins. Borholan, sem að vísu var aldrei boruð vegna kostnaðar, nefndist „Mohole.“ Einhverjir Skotar bentu á að demantapípur geri sama gagn og hola þessi, því í þeim eru sýnishorn af öllu því bergi sem varð á vegi kimberlít-kvikunnar á leið hennar af 180 km dýpi eða svo. Slíkar pípur, sem þegar eru fyrir hendi og gera miklu betur en standa undir sér fjárhagslega, mætti því nefna „Scotchman's Mohole,” en Skotar eru, sem kunnugt er, allra manna hagsýnastir.

En það eru ekki bara demantapípur sem flytja sýnishorn úr neðra til yfirborðsins, það gera kristallar líka sem bera í sér kviku-innlyksur af mismunandi dýpi. Bergbráð sem kemur upp á yfirborðið í megineldstöðvum hefur yfirleitt haft viðstöðu í grunnstæðu kvikuhólfi þar sem margs konar ferli hafa breytt samsetningu hennar, og upprunalegir kristallar, sem bárust að neðan upp í kvikuhólfið, ýmist eyðst eða fallið út. Kvika sem gosið hefur utan megineldstöðva getur hins vegar hafa stigið rakleiðis til yfirborðsins frá upprunastað sínum og borið með sér ármyndaða kristalla. Þetta á ekki síst við um pikrít-hraun sem í er mikil fjöld kristalla af ólivíni og króm-spínli. Með könnun á kristöllum þessum og gler-innlyksum í þeim, má leita svara við spurningum eins og: a) á hvaða dýpi myndaðist kristallinn? b) hver var samsetning bráðarinnar á því dýpi? c) úr hvernig möttulbergi myndaðist bráðin? d) hver er ildisþrýstingur í möttlinum? e) hver er styrkur vatns í frumbráð? f) á hvaða dýpi mettast bráðin af CO₂ og S? Og svo framvegis.

Ekki liggja ennþá fyrir svör við öllum þessum spurningum, enda eru þau ekki ævinlega einhlít og sýnist sitt hverjum. Þó liggur eftirfarandi fyrir um hérland pikrít-hraun: a) Króm-spínlar hafa borist af 90-20 km dýpi en ólivín-kristallar af 50-20 km dýpi. b) MgO er 10-15% í innlyksum Cr-spínils en 7-10% í ólivíni. Styrkur „utangarðsefna“ getur verið mjög breytilegur milli innlyksa í kristöllum úr sama sýni — t.d. K₂O frá 0,01 til 0,35%. Sama á við um lanthanoíð (REE) sem ýmist eru „sneydd“ eða „auðguð“ í léttum REE. c) Þetta bendir til þess að hlutar bráðarinnar eigi uppruna í granat-peridótíti og aðrir í spíníl-peridótíti jafnframt því sem snefilefnin gefa vísbendingu um misleitun möttul. d) Ildisþrýstingur í jarðmöttlinum virðist vera hinn sami og í hraunum á yfirborði, nefnilega nálægt „FMQ-púffernum.“ e) Reynt var að mæla vatn og CO₂ í nokkrum innlyksum með „innrauðri ljósgleypni“ (FTIR) en tæknilegir örðugleikar reyndust óyfistíganlegir: í ólivíni úr Vatnsheiðardyngju mældist þó H₂O = 0,16 ± 0,05% og í þremur sýnum úr Háleyjarbungu mældist ekkert vatn. Svör við spurningum um styrk og mettunarstig reikulla efna í frumbráð bíða því frekari rannsókna.

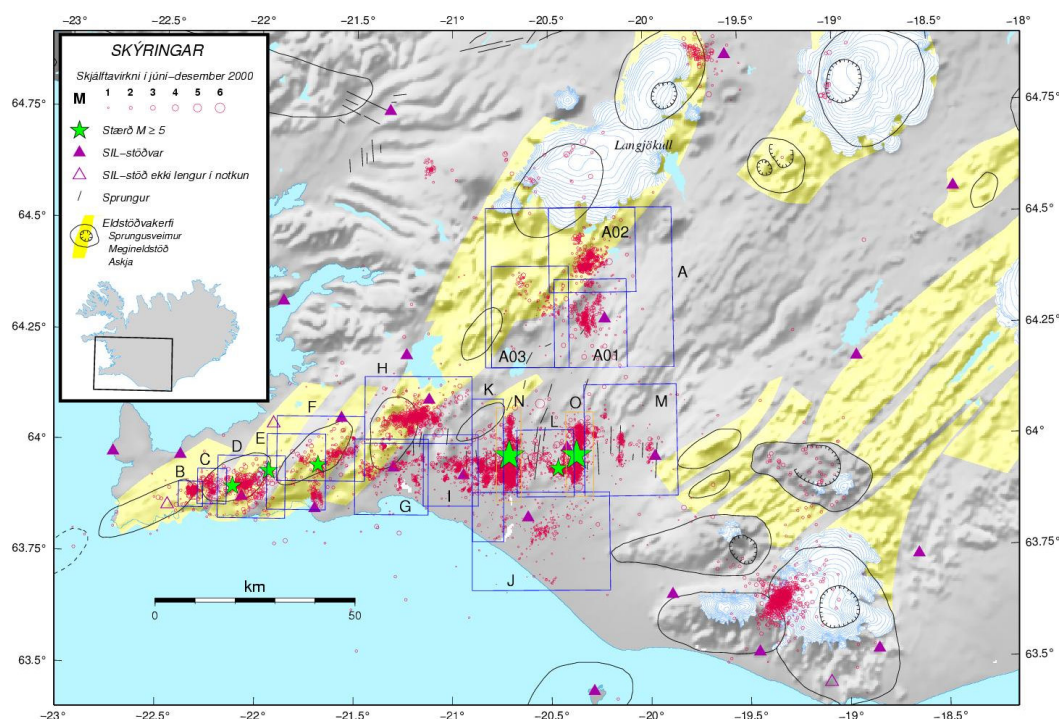
Í stuttu máli er svo að sjá sem kristallar í hnefastóru hraunsýni hafi myndast yfir stórt dýptarbil í möttlinum, að hver hraunmyndun sé samsett úr ótal „kvikudropum“ sem bráðnað hafa hver á sínu dýpi og þróast síðan á leiðinni til yfirborðsins, allt að 100 km leið. Að króm-spínlarnir beri í sér sýni af „frumbráð“, þ.e. þeir kristallist mjög skömmu eftir að bráðin myndast, en að innlyksurnar í ólivíni séu „þróaðri.“ Að möttulstrókurinn undir Íslandi sé misleitur (heterogen), og að bráðnun í honum hefjist á a.m.k. 90 km dýpi og haldi áfram upp að 20 km dýpi. Og loks, að þeir sem forsóma króm-spíníl og einungis kanna innlyksur í ólivíni, fái ekki nema hálfa myndina, nefnilega einungis kristalla sem mynduðust við 10-17 kbar þrýsting (20-50 km dýpi) en ekki hina sem kristölluðust við hærri þrýsting.

Upptakagreining smáskjálfta og kortlagning sprungna á Suðvesturlandi

Sigurlaug Hjaltadóttir, slauga@vedur.is; Kristín S. Vogfjörð, vogfjord@vedur.is

Veðurstofu Íslands, Bústaðarvegi 9, 150 Rvk

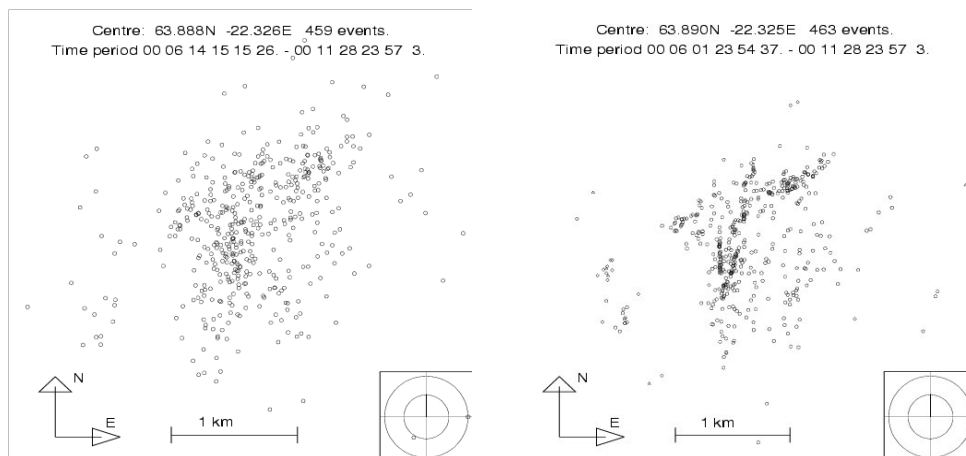
Í kjölfar Suðurlandsskjálftanna 17. og 21. júní 2000 fylgdu þúsundir minni skjálfta víða á Suðvesturlandi. Á mynd 1 má sjá skjálftavirknina frá júní til desember umrætt ár. Á þessu tímabili mældust rúmlega nítján þúsund skjálftar á Suðurlandsbrotabeltinu, Reykjanesskaga og sunnan Langjökuls og þar af varð meira en helmingur þeirra á stóru sprungunum tveimur (Holta- og Hestfjallssprungum). Skjálftarnir hafa þegar verið staðsettir á hefðbundinn hátt en mun betri staðsetningar má fá með því að beita afstæðri staðsetningaraðferð sem einnig hefur verið nefnd upptakagreining. Aðferðin byggir á þeirri staðreynd að bylgjuform smáskjálfta, sem verða í hrinum og á afmörkuðu svæði, eru oftast mjög lík, sér í lagi ef skjálftarnir verða á sömu eða sams konar sprungum. Farbrautir bylgnanna verða nánast þær sömu og eini munurinn á ferðatíma stafar af tiltölulega lítilli fjarlægð milli skjálftanna, miðað við fjarlægð í stöð. Þetta þýðir að hægt er að meta afstæðan komutíma skjálftanna á hverri stöð með mikilli nákvæmni með því að nota víxlfylgniaðferð (cross correlation) og þar af leiðandi fá betri staðsetningar.



Mynd 1: Jarðskjálftavirkni í júní-desember 2000. Stærstu atburðir eru merktir með stjörnum. Ferhyrningarnir sýna svæðaskiptinguna sem notuð er við að endurstaðsetja.

Upptakadreif skjálftanna skilgreinir marga helstu virku sprungufleti í jarðskorpu Suðvesturlands og markmiðið er að nota nýju staðsetningarnar til að kortleggja þessar sprungur, sem margar hverjar sáust ekki áður. Ennfremur er samtúlkun skjálftadreifinnar og brotlausna skjálftanna notuð til að meta skriðstefnu/hreyfistefnu á sprungunum. Á mynd 2 má sjá skjálfta á svæði B (vestan í Fagradalsfjalli) fyrir og eftir upptakagreiningu. Þetta er gott

dæmi um hversu góðar niðurstöður hægt er að fá með aðferðinni. Á hægri myndinni (nýjar staðsetningar) koma í ljós sprungumynstur, sem ekki sást fyrir.



Mynd 2: Staðsetningar skjálfta á svæði B fyrir (vinstri) og eftir (hægri) upptakagreiningu.

Sýndar verða niðurstöður frá stóru sprungunum tveimur (Holta- og Hestfjalls-sprungum) sem stærstu skjálftarnir urðu á, Hengilssvæði, Reykjanesskaga og Geysissvæðinu (sunnan Langjökuls). Eftirskjálftavirkni sýnir mjög vel sprungufleti Holta- og Hestfjallsskjálftanna. Virkni á Holtasprungunni virðist ekki vera samfelld, heldur er hún mest í miðjunni og út til endanna. Sprungan hefur strikstefnu 7° og henni hallar um 85° til vesturs. Skjálftarnir verða flestir á dýptarbilinu 4-10 km. Virknin virðist vera samfelldari á Hestfjallssprungunni. Henni hallar einnig örlítið til vesturs (88°) og strikstefnan er nærri 360° . Skjálftar í nyrðri endanum ná niður á 6-7 km dýpi en sprungan dýpkar um allt að 3 km til suðurs. Langflestar minni sprungurnar, sem kortlagðar hafa verið, hafa norðlæga eða norðnorðaustlæga strikstefnu, eru nánast lóðréttar og sýna aðallega hægri sniðgengisfærslu. Undantekningar sjást þó á Hengilssvæði og á Reykjanesskaga, þar sem einnig sjást sprungur sem hafa austur-vestur strikstefnu og aðallega vinstri sniðgengisfærslu. Þessar niðurstöður eru í samræmi við þær athuganir sem gerðar hafa verið á svæðunum á yfirborði og heildarfærslu á Suðvesturlandi vegna landreks.

Áhugavert verður að tengja saman sprungurnar og yfirborðsummerki, þar sem þau sjást. Kort af þessum virku sprungum er mikillvægt innlegg í rannsóknir á spennusviði á Suðvesturlandi og getur komið að gagni við áætlanir um skipulagningu mannvirkja og rannsóknir og kortlagningu á jarðhitasvæðum. Dýptardreifing skjálftanna sýnir að upptök skjálfta eru grynri á jarðhitasvæðunum við Geysi og Krísuvík miðað við virkni á nálægum svæðum.

The nature and interpretation of the Goðabunga earthquakes

Heidi Soosalu¹, Kristín Jónsdóttir² and Páll Einarsson³

¹Nordic Volcanological Institute, ²Department of Earth Sciences, University of Uppsala, ³Science Institute, University of Iceland

Katla is one of the most seismically active volcanoes in Iceland. Earthquakes occur in two distinct areas: either within the Katla caldera or at the Goðabunga rise by the western caldera rim. Seismicity in the Goðabunga area has characteristically a seasonal pattern, as earthquakes concentrate in the latter part of the year. This feature is suggested to be triggered by high groundwater pressure in the caldera roof and deloading of the thin crust above the Katla magma chamber due to the summer melting of the glacier (Einarsson and Brandsdóttir 2000).

Since 1999 Katla has shown signs of unrest. In July 1999 a small glacial flood lasting a few hours was observed, accompanied by abnormal seismicity. It was possibly caused by a magma intrusion or even a small subglacial eruption. In 2002 seismic activity in the Goðabunga area rose dramatically and earthquakes have occurred continuously ever since.

A network of four portable seismometers was run at Katla in the spring-summer 2003, with one station directly at the locus of the Goðabunga activity. These observations were combined with the data of the permanent SIL seismometer network, run by the Icelandic Meteorological Office. This is the best-quality data set available for the Goðabunga earthquakes and enables us to make geological interpretations of the activity.

So far the Goðabunga earthquakes have typically been observed to have volcanic characteristics: signals consist principally of low frequencies, P-wave arrivals are emergent and S-wave arrivals unclear or non-existent. It was not known if the volcanic appearance is an intrinsic feature of these events or not. Observations made by the close Katla network provide a new view upon the nature of the Goðabunga earthquakes, and reveal that a great deal of the appearance of the signals is caused by path effects.

Seismic observations on Goðabunga, made in 12 Mar – 20 Jun 2003, show that:

- Earthquakes have high-frequency appearance and clear P- and S-arrivals at the close-by station. Sometimes the high-frequency onset is followed by a low-frequency coda.
- More distant stations see low-frequency signals. Path effects vary with direction: attenuation of higher frequencies is stronger at stations close to the caldera than at a more distant station on the south side of the volcano.
- The closest station observed continuous seismicity with small earthquakes occurring on an hourly basis.
- Multiple events are common. Often a very small event precedes a bigger one occurring within seconds.
- Goðabunga events are small in magnitude, typically < 2 .
- Earthquakes are shallow, mainly within uppermost 2 km, and cluster tightly, in an area of dimensions of 3-4 km.

According to the spatial distribution of the Goðabunga earthquakes a possible interpretation is that they are indications of an intruding cryptodome. It can have started its propagation towards the surface some time around 1999, possibly triggered by a basaltic intrusion. This may lead to a silicic dome-building eruption in the Goðabunga area, which should be taken into consideration when estimating the eruption hazard at Katla.

At least for the last three decades, i.e. the period of accurate epicentral determination, the seismicity distribution at Katla has shown a remarkably persistent pattern. The tight clustering of epicentres at Goðabunga and within the caldera, as well as the eccentric position of the Goðabunga cluster have been the subject of speculation for some time. According to Fink and Anderson (2000) domes may have steady or episodic growth, with emplacement times ranging from a few hours to many decades. Our suggestion of a cryptodome implies that the Goðabunga dome has existed for a long time, at least some decades, being the ultimate cause of the seismicity in the area. Until about 1999 the activity was just at the appropriate level so that seasonal factors could act as triggers. Since the beginning of the current period of unrest the dome propagated closer to the surface, and the seasonal seismicity merged into continuous activity, more directly linked to the cryptodome itself.

References:

P Einarsson, B Brandsdóttir, Jökull, 49 (2000) 59-73

JF Fink, SW Anderson, In: Encyclopedia of Volcanoes, Academic Press (2000) 307-319

Jarðefnafræði – jarðhitavatn og jarðgufa, tilraunir og líkanreikningar

Stefán Arnórsson, Andri Stefánsson, Ingvi Gunnarsson, Jón Ö. Bjarnason, Niels Giroud og Sven Þ. Sigurðsson

Raunvísindastofnun Háskólans, Dunhaga 3, 107 Reykjavík

Á síðustu árum hafa farið fram víðtækar rannsóknir við Raunvísindastofnun Háskólans á sviði jarðefnafræði jarðhitavatns og jarðgufu, tilraunum á stöðugleika efnasambanda í jarðhitavatni, fjöliliðun kísils og útfellingum ásamt því að unnið hefur verið að endurgerð og mikilli stækkun á forritinu WATCH. Rannsóknirnar hafa verið unnar af starfsmönnum Raunvísindastofnunar Háskólans og framhaldsnemum við Háskóla Íslands, í samstarfi við Íslenskar Orkurannsóknir (ÍSOR), Jarðhitaskóla Sameinuðupjóðanna og Háskólann á Akureyri og styrktar af ofangreindum aðilum ásamt RANNÍS, Orkuveitu Reykjavíkur, Hitaveitu Suðurnesja og Landsvirkjun.

Megintilgangur rannsókna er tvíþættur. Annars vegar að skilgreina styrk aðal- og snefilefna í jarðhitavatni og jarðgufu og hins vegar skýra á magnbundinn hátt hvaða ferli stjórna styrk efnanna í jarðhitavatninu og í jarðgufunni. Slíkar upplýsingar sem þessar hafa bæði fræðilegt og hagnýtt gildi varðandi skilning á jarðhitakerfum og efnafræði jarðhitavatns og jarðgufu, nýtingu jarðhita og umhverfismálum tengt jarðhita. Verkefnið sem unnið hefur verið að má skipta í þrjá flokka. Í fyrsta lagi söfnun og efnagreiningar á jarðhitavatni og jarðgufu og túlkun gagna. Má þar nefna rannsóknir á styrk snefilefna (t.d. As, Mo, W, Sb, B og Hg) í háhitavatni og jarðgufu, styrk eðalgastegunda og suðuferli í háhitakerfum, náttúrulegur bakgrunnsgildi snefilefna í jarðhitavatni og samspil jarðhitavatns, frumsteinda og ummyndunarsteinda. Í öðru lagi er unnið að tilraunum á sviði efnafræði jarðhitavatns. Má þar nefna mælingar á stöðugleika efnasambanda járn í jarðhitavatni, fjöliliðun kísils og niðurdælinu jarðhitavatns í jarðhitakerfi og útfellingar á myndlausum magnesíum-, ál- og kísil efnasamböndum. Þessar tilraunir eru gerðar í þeim tilgangi að túlka niðurstöður á jarðefnafræði jarðhitavatns. Í þriðja lagi er unnið að endurgerð forritsins WATCH sem reiknar út dreifingu efnasambanda í jarðhitavatni (speciation calculations) ásamt því að líkja eftir efnahvörfum vatns og bergs og þróun jarðhitavatns með tíma (reaction progress modeling). Forritið mun verða mun fullkomnara og viðameira en eldri útgáfa, innibera um 400 efnasambönd, og yfir 100 steindir ásamt því að geta líkt eftir efnahvörfum vatns og bergs. Reikningar sem þessir eru undirstaða allra túlkunar á jarðefnafræði jarðhitavatns og jarðgufu ásamt líkangerð á þróun jarðefnafræði jarðhitakerfa

Uppruni grunnvatns í Skagafirði samkvæmt athugunum á náttúrulegum kenniefnum

Stefán Arnórsson og Árný E. Sveinbjörnsdóttir

Raunvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík

Náttúruleg kenniefni hafa verið mikið notuð til að meta uppruna grunnvatns og rennislíleiðir. Mælingar á tvívetni ($\delta^2\text{H}$), súrefni-18 ($\delta^{18}\text{O}$), þrívetni (^3H), klór (Cl) og bór (B) í 253 sýnum af köldu grunnvatni og jarðhitavatni á vatnasviði Héraðsvatna í Skagafirði veita athyglisverðar upplýsingar um uppruna vatnsins og rennislíleiðir í berggrunni.

Þrívetni

Grunnvatn í uppsprettum og borholum í meginlandi Skagafjarðar inniheldur yfirleitt ekki mælanlegt ^3H . Ef ^3H finnst í mælanlegu magni í þessu vatni, er pH-gildi þess tiltölulega lágt og frávik frá kalsítmættun veruleg. Hvorttveggja bendir til blöndunar grunnvatnsins við yfirborðsvatn en yfirborðsvatn í dag inniheldur ^3H sem nemur 10-14 TU. Kalt grunnvatn á hálendinu sunnan Skagafjarðardala og hátt í Blönduhlíðarfjöllum inniheldur svipaðan styrk ^3H og yfirborðsvatn. Jarðhitavatn á hálendinu inniheldur nokkru kægra ^3H , eða 7-12 TU. Styrkur ^3H sýnir að grunnvatn í Skagafirði er eldra en frá sjöttu áratug síðustu aldar þegar kjarnorkusprengjutilraunir voru gerðar andrúmsloftinu. Hins vegar er kalt grunnvatn á hálendinu fárra ára og jarðhitavatn fárra áratuga í mesta lagi eða þá að jarðhitavatnið er blanda af gömlu ^3H snauðu vatni og köldu grunnvatni á svæðinu.

Klór og bór

Yfirborðsvatn á láglandi Skagafjarðar inniheldur 10-20 ppm Cl en á hálendi er styrkurinn 1-2 ppm. Uppruni Cl í þessu vatni er að langmestu leyti sjávarsölt í úrkomunni. Hlutfallið Cl/B í þessu vatni er svipað og í sjó eða nokkru lægra. Lægra hlutfall orsakast af úrskolun efnanna úr bergi. Grunnvatn og jarðhitavatn á hálendi inniheldur svipaðan styrk sjávarættaðs Cl og yfirborðsvatn. Af því er ályktað að þetta vatn sé staðbundin úrkoma að uppruna. Sjávarættað Cl í grunnvatni austan megin Skagafjarðar er einnig svipað og í yfirborðsvatni í fjöllum þar. Þessi niðurstaða ásamt landslagi bendir til þess að þetta grunnvatn sé ættað úr fjöllum austan megin dalsins. Á hinn bóginn er innihald sjávarættaðs Cl í jarðhitavatni sem kemur fram í uppsprettum og borholum niður í Skagafjarðardal svipað eða nokkru hærri en Cl í úrkomu sem fellur í dalnum í dag. Þetta vatn er því að mestu staðbundin úrkoma að uppruna.

$\delta^2\text{H}$ og $\delta^{18}\text{O}$

Gildi fyrir $\delta^2\text{H}$ og $\delta^{18}\text{O}$ liggja á bilinu -75 to -120‰ og -8.5 to -14.5‰. Í flestu yfirborðsvatni í lækjum og ám og grunnvatni sem er <50°C falla gildin nálægt hinni hnattrænu úrkomulínu. Á hinn bóginn er mýrarvatn og vatn í stöðuvötnun nokkuð auðgað af $\delta^{18}\text{O}$ miðað við $\delta^2\text{H}$. Það er talið orsakast af uppgufun. Yfirborðsvatn, grunnvatn og jarðhitavatn á hálendinu hafa svipuð gildi fyrir $\delta^2\text{H}$ og $\delta^{18}\text{O}$ en það bendir til þess að bæði kalt grunnvatn og jarðhitavatn á þessu svæði sé staðbundin úrkoma að uppruna. Samsætuinnihald grunnvatns sem kemur fram austan megin Skagafjarðar er svipað og í lækjum og ám úr fjöllum. Þar er því uppruni þessa grunnvatns. Gildi fyrir $\delta^2\text{H}$ í jarðhitavatni niðri í dalnum eru nokkuð lægri og enn lægri fyrir jarðhitavatn vestan megin í dalnum. Vatnið vestan megin í dalnum hefur oft lægri $\delta^2\text{H}$ -gildi en nú finnst í úrkomu hér á landi og talsvert lægri en finnst í úrkomu (yfirborðsvatni) á vatnasviði Héraðsvatna. Talið er að í þessu vatni sé grunnvatnspáttur sem féll sem úrkoma fyrir meira en 10.000 árum þegar veður var mun kaldara en nú og úrkoman á hverjum stað því "léttari". Þetta vatn sýnir einnig umtalsverða súrefnishliðrun og er það í samræmi við háan aldur vatnsins.

Grunnvatnslíkan

Grunnvatn og jarðhitavatn á hálendinu sunnan Skagafjarðardala er staðbundið regnvatn að uppruna. Samkvæmt vitneskju um lekt berggrunns er grunnvatn sem kemur fram í uppsprettum og borholum austan megin Skagafjarðar einhverra alda til árþúsunda ára gamalt og upprunnið í fjöllum austan megin dalsins. Jarðhitavatn vestan megin Skagafjarðar inniheldur þátt sem er meira 10.000 ára gamall. Styrkur sjávarættaðs Cl í sumu þessu vatni bendir til þess að það sé staðbundin úrkoma að uppruna en annað jarðhitavatn á þessu svæði inniheldur þó meira sjávarættað Cl en vænta má úr úrkomu. Mögulegt er að hluti hins sjávarættaða Cl hafi sigið niður í berggrunninn þegar svæðið var undir sjó í lok ísaldar eða við upphaf nútíma. Jarðhitavatn sem kemur til yfirborðs í botni Skagafjarðardals hefur $\delta^2\text{H}$ -gildi sem liggja á milli þeirra sem eru austan og vestan megin dalsins og sjávarættað Cl sem liggur á milli þess sem er í staðbundinni úrkomu og úrkomu sem fellur á hálendið. Þetta vatn er talið blanda af staðbundinni úrkomu og úrkomu sem fallið hefur á hálendið en það gæti einnig innihaldið vatnsþátt sem féll sem úrkoma fyrir nútíma.

Increased magma pressure under Katla volcano

Erik Sturkell¹, Halldór Geirsson¹ Páll Einarsson² and Freysteinn Sigmundsson³

¹Icelandic Meteorological Office, Reykjavík, ²Science Institute, University of Iceland, Reykjavík, ³Nordic Volcanological Institute, Reykjavík

The unrest of the Katla volcano that likely started in the summer of 1999 continues without declining. The most seismically active area in Mýrdalsjökull is under Goðabunga, but until now all of the measured deformation only suggests sources within the caldera or at the caldera rim. However, GPS measurements have successfully been performed once in the Goðabunga area (and will be repeated in summer of 2004). The earthquakes in the caldera region often appear in minor swarms. The largest earthquakes originate in the caldera area, and they can be as strong as 5 in magnitude, whereas earthquakes in the western part (Goðabunga) rarely exceed M3.5. After the jökulhlaup at Sólheimajökull in July 1999 both optical levelling tilt measurements and campaign GPS measurements were conducted. The tilt measurements showed no detectable displacements from the Katla volcano, but indicated inflation in the neighbouring Eyjafjallajökull volcano. For the Katla volcano, campaign GPS measurements on nunataks within the ice cap, at Enta and Austmannsbunga, have provided very valuable information. The first measurements at the nunatak stations were performed in 1993, and repeated for the first time in July 2000. The two stations display outward displacement from the centre of the caldera during this period, indicating that magma accumulation had started. Two continuous GPS stations at Sólheimaeiði (SOHO) and Láguhvolar (HVOL), that were installed in the autumn 1999, complement the Katla geodetic network, at its southern edge. The stations display outward displacements (southward) from the volcano centre. The southward displacements observed at the continuous stations is not uniform in time and shows periods with accelerated southward displacements. This suggests that magma inflow may be at a variable rate. Since 2000, the nunatak sites have been visited annual and recently twice a year. The GPS measurements for the period 2000 to 2003 display an outward horizontal displacement from the centre of the sub-glacial caldera and uplift. Those displacements fit well with a point source of magma accumulation at 5 km depth. Since 2000, the measured sub-surface volume increase is $\sim 0.01 \text{ km}^3$. For comparison, it is about two orders of magnitude smaller than the eruptive products of the 1918 Katla eruption (about 1 km^3). The most recent GPS measurements (January 2004) reveal anomalous displacement in the area between Enta and Austmannsbunga. It does not fit with a point source model, but rather a dyke close to the caldera rim is suggested. Further measurements and modelling are needed to confirm these observations and interpretation. Katla volcano shows elevated seismic activity, inflation, eventual intrusive activity and increased geothermal activity. All of these signals, and the continuation of the unrest, suggest that the volcano is approaching the end of an inter-eruptive period.

Greinargerðaröð um ýmis atriði veðurfars á Íslandi

Trausti Jónsson

Veðurstofu Íslands

Kynning á útgáfu greinargerðaraða höfundar um ýmis atriði veðurfars á Íslandi. Mörg þessara atriða hafa ekki fengið teljandi umfjöllun til þessa. Greinargerðirnar eru allar aðgengilegar á pdf-formi á netsíðum Veðurstofunnar <http://www.vedur.is/utgafa/greinargerdir/>. Í fyrirlestrinum verða sýnd nokkur línurit úr greinargerðunum, en þær eru

Langtímasveiflur:

1. Snjóhula og snjókoma
2. Úrkoma og úrkomutíðni
3. Sjávarhiti
4. Illviðrabálkar
5. Hitabylgjur og hlýir dagar
6. Kuldaköst og kaldir dagar

Sveiflur:

1. Dægursveifla vinds í júnímánuði
2. Dægursveifla hita á Íslandi
3. Árstíðasveiflur á Íslandi
4. Árstíðasveiflur í háloftunum yfir Keflavík
5. Ský í veðurathugunum í Reykjavík

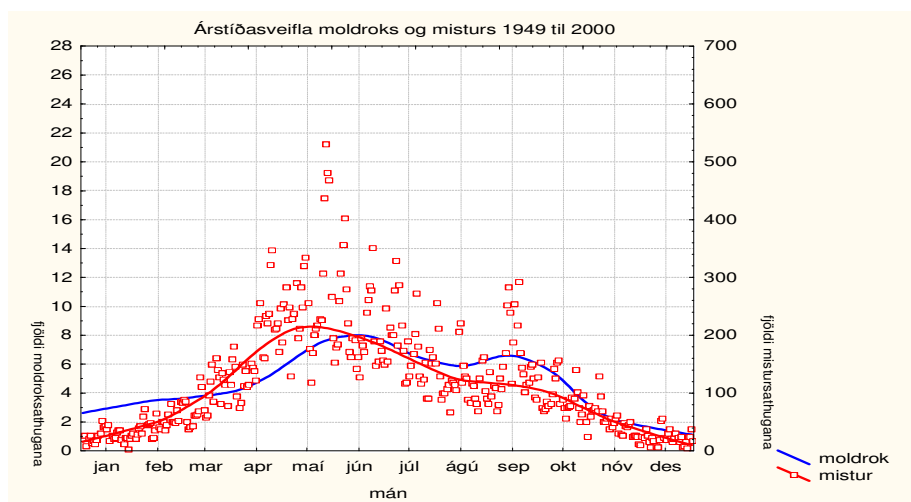
Árstíðasveifla nokkurra veðurþátta á Íslandi

Trausti Jónsson

Veðurstofu Íslands

Fjallað er um efni úr greinargerðinni *Sveiflur 3. Árstíðasveiflur á Íslandi*, en greinargerðin er í flokki sem fjallar um veðurfar á Íslandi, hún er aðgengileg á pdf-formi á netsíðum Veðurstofunnar <http://www.vedur.is/utgafa/greinargerdir/>

Niðurstöður greinargerðarinnar verða kynntar eins og tími gefst til.



Mynd 22. Árstíðasveifla misturs og moldroks 1949 til 2000

The oxygen fugacity of volatile-free mantle and experimental evidence for crystal-driven redox reactions caused by lower mantle perovskite

Reidar G. Trønnes^{1,2}, D.J. Frost³, C. Liebske³, F. Langenhorst³, C.A. McCammon³, D.C. Rubie³

1 Nordic Volcanological Institute, University of Iceland, Natural Sciences Building, Sturlugata 7, 101 Reykjavik (rgt@hi.is), 2 From June 2004: Geological Museum, UNM, University of Oslo, P.O.Box 1172 Blindern, N-0318 Oslo, Norway (r.g.tronnes@nhm.uio.no), 3 Bayerisches Geoinstitut, Universität Bayreuth, D-95440 Bayreuth, Germany

The activity of oxygen in volatile-free solid upper mantle can be calculated from equilibria involving mineral components with different oxidation states. The abundant element iron occurs in a combination of divalent (ferrous) and trivalent (ferric) form in several minerals in the upper mantle. The most sensitive oxygen barometers are based on the aluminous phases, spinel and garnet, which have the highest $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}_{\text{total}}$ ratios.

A common and sensitive ferrous-ferric iron equilibrium for spinel peridotites is:



The equilibrium constant for this reaction is: $K = [\text{a}_{\text{mt}}^2 * \text{a}_{\text{fs}}^6] / [\text{f}_{\text{O}_2} * \text{a}_{\text{fa}}^6]$, where a_{mt} , a_{fs} and a_{fa} are the activities of magnetite in spinel, ferrosillite in orthopyroxene and fayalite in olivine, respectively, and f_{O_2} is the oxygen fugacity.

$$\ln K = 2 \ln \text{a}_{\text{mt}} + 6 \ln \text{a}_{\text{fs}} - \ln \text{f}_{\text{O}_2} - 6 \ln \text{a}_{\text{fa}} = -\Delta G / RT$$

$$\log \text{f}_{\text{O}_2} = 2 \log \text{a}_{\text{mt}} + 6 \log \text{a}_{\text{fs}} - 6 \log \text{a}_{\text{fa}} + \Delta G / 2.303RT$$

The latter equation shows that the oxygen fugacity is a function of the concentration of the ferric iron component (magnetite) in spinel. Several effects may lead to decreasing oxygen fugacity with increasing pressure in mantle peridotite through the upper mantle and the transition zone. The most important of such effects is the gradual increase in the proportion of majoritic garnet as the pyroxenes progressively dissolve into the garnet with increasing pressure. The volumetric increase in a Fe^{3+} -bearing garnet phase results in dilution of the Fe^{3+} -component and therefore a reduced oxygen fugacity. The mantle transition zone may well reach Fe-metal saturation.

The lower mantle is strongly dominated by aluminous Mg-Fe-silicate perovskite. This mineral constitutes 80-90 volume% of the lower mantle and therefore about 50 % of the Earth's total volume. Aluminous perovskite accommodates surprisingly large amounts of Fe^{3+} .

High-pressure multianvil experiments were performed on starting materials in the systems $\text{FeO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, $\text{CaO-FeO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2$, and complex peridotite compositions with iron is present only as Fe^{2+} . The experiments were carried out at variable oxygen fugacities, using sample capsules of Re, C and Fe, and the Fe-contents of individual phases in the run products were determined by a combination of ELNES and Mössbauer spectroscopy. The incorporation of ferric iron in perovskite appears to be independent of the ambient oxygen fugacity, but correlated with the Al-content. A strong crystal-chemical Fe^{3+} -affinity in aluminous perovskite results in appropriation of oxygen by FeO-reduction. The redox reaction $3\text{FeO} = \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{Fe}$ is clearly indicated in experiments with C- and Fe-capsules. Metallic Fe is precipitated both within and next to the perovskite crystals, even in C-capsules. TEM-investigations illustrate that the scale of metal exsolution ranges down to 20-30 nm.

Perovskites with 0.07-0.25 Fe_{total} and 0.03-0.12 Al per formula unit of 2 cations have $\text{Fe}^{3+}/\text{Fe}_{\text{total}}$ ratios of 0.3 to 0.8 in equilibrium with Fe^{2+} -dominated ferropericlasite. For an 8-cation formula, the most essential end members of aluminous perovskites may be expressed

as $M_4Si_4O_{12}$, $M_3Al_2Si_3O_{12}$, $M_3Fe^{3+}AlSi_3O_{12}$ and $M_4Al_2Si_2O_{11}$, where M denotes divalent cations in cubic coordination. The oxygen-vacancy- and $Fe^{3+}Al$ -components constitute 10-30 and 10-50 mol%, respectively, whereas the pyrope component is generally less than 5 mole%. Strong positive correlations between the total Al-content and the $Fe^{3+}Al$ - and O-vacancy components and weak positive correlations between Fe_{total} and these components are observed.

For typical mantle compositions, more than 60% of Fe in perovskite will be ferric, based on the results from our experiments and mass balance calculations. This implies that the bulk Fe^{3+} content of the lower mantle is more than ten times that of the upper mantle. Perovskite must therefore sequester oxygen by the reduction of ferrous iron to metallic iron, unless the lower mantle is strongly enriched in oxygen relative to the upper mantle. For a significant material transport between the upper and lower mantle, the lower mantle should contain about 1 wt% Fe-dominated metal, forming as material enters the perovskite stability field. If minor amounts of the Fe-metal have segregated to the core since the lower mantle formed, the oxygen content of the mantle may have increased, from a reduced state at the end of core separation, to the level of the present upper mantle. Although a minor metal phase will not significantly influence the elastic properties of the lower mantle, the substitution mechanism of Al and Fe^{3+} is likely to have a strong influence on the elastic and seismic properties of perovskite. A metal phase present in the lower mantle has also important consequences for the siderophile element budget of the Earth.