



Haustráðstefna Jarðfræðafélags Íslands

til heiðurs Sigurði Steinþórssyni,
prófessor í jarðfræði við Háskóla
Íslands, á 70. afmælisári hans

Ágrip erinda

Haldin í sal Arion Banka,
Borgartúni 19, Reykjavík
26. nóvember 2010



Haustráðstefna Jarðfræðafélags Íslands

til heiðurs Sigurði Steinþórssyni,
prófessor í jarðfræði við Háskóla
Íslands, á 70. afmælisári hans

Ágrip erinda

Haldin í sal Arion Banka,
Borgartúni 19, Reykjavík
26. nóvember 2010

Umsjón:

Þorsteinn Sæmundsson, Ívar Örn Benediktsson og Theódóra Mattíasdóttir

Dæmi um tilvitnun í ritið:

Páll Einarsson 2010: Sigurður Steinþórsson, ferill, fræði og fleira. Haust ráðstefna JFÍ 2010. Ágrip erinda. Jarðfræðafélag Íslands, 65 bls.

Dagskrá Haustráðstefnu JFÍ, 26. nóvember 2010

09:00 – 09:30 Skráning

Fundarstjóri **Guðrún Eva Jóhannsdóttir**

09:30 – 09:40 Setning

Þorsteinn Sæmundsson

09:40 – 10:00 Sigurður Steinþórsson, ferill, fræði og fleira
Páll Einarsson

10:00 – 10:20 Stafar endurkastsflötur á um 40 km dýpi undir Íslandi af fasabreytingum í möttli?
Guðmundur Heiðar Guðfinnsson

10:20 – 10:40 Útfellingar sem myndast í kjölfar eldgosa á Íslandi
Sveinn Jakobsson & Kristján Jónasson

10:40 – 11:10 Kaffi

11:10 – 11:30 Einkenni tvö þúsund metra jarðlagastafla neðan Vestmannaeyja
Hjalti Franzson

11:30 – 11:50 Dínámísk kvikublöndun í Eyjafjallajökulsgosinu
Olgeir Sigmarsson

11:50 – 13:00 Matur

Fundarstjóri **Lúðvík Eckardt Gústafsson**

13:00 – 13:20 Oxun bergkviku
Níels Óskarsson

13:20 – 13:40 Segulviðsfrávik við Stardal og orsakir þess: yfirlit um rannsóknir 1968-2010
Leó Kristjánsson

13:40 – 14:00 Einu sinni var ankaramít – nokkrir molar um útbasískt berg og rekbeltasögu Íslands
Kristján Geirsson

14:00 – 14:20 Upphaf gosbeltis
Haukur Jóhannesson

14:20 – 14:40 Grænavatnsbruni og Laxárhraun yngra
Ármann Höskuldsson

14:40 – 15:00 Gossaga lesin úr dulmáli gjósku
Bergrún A. Óladóttir

15:00 – 15:30 Kaffi

15:30 – 15:50 Eldgos á Reykjanesskaga á 8. og 9. öld
Magnús Á. Sigurgeirsson & Kristján Sæmundsson

15:50 – 16:10 Súrefnisþrýstingur í háhitapressum
Sigurður Jakobsson

16:10 – 16:30 Megineldstöðvar - skorpu- eða möttuluppruni? Skilaboð frá samsætum
Karl Grönvold

16:30 – 16:50 Jarðskorpuhreyfingar og innviði Eyjafjallajökuls
Sigrún Hreinsdóttir

16:50 – 17:00 Samantekt
Sigmundur Einarsson

17:00 - Móttaka til heiðurs Sigurði

Efnisyfirlit

Dagskrá Haustráðstefnu JFÍ, 26. nóvember 2010.....	i
Efnisyfirlit.....	iii
Ávarp formanns Jarðfræðafélags Íslands.....	v
Ágrip erinda.....	1
Sigurður Steinþórsson, ferill, fræði og fleira	3
Páll Einarsson	
Stafar endurkastsflötur á um 40 km dýpi undir Íslandi af fasabreytingum í möttli?	5
Guðmundur H. Guðfinnsson	
Útfellingar sem myndast í kjölfar eldgosa á Íslandi	11
Sveinn P. Jakobsson og Kristján Jónasson	
Einkenni tvö þúsund metra jarðlagastafla neðan Vestmannaeyja.....	15
Hjalti Franzson	
Dýnamísk kvikublöndun í Eyjafjallajökulsgosinu	21
Olgeir Sigmarsson, Ármann Höskuldsson, Guðrún Larsen, Þorvaldur Þórðarson	
Oxun bergkviku metin með greiningu Fe(III)/Fe(II) í bergi.....	25
Níels Óskarsson	
Segulsviðsfrávikið við Stardal og orsakir þess: yfirlit um rannsóknir 1968-2010.....	29
Leó Kristjánsson, Haraldur Páll Gunnlaugsson, Suzanne A. McEnroe og Karl Fabian	
Einu sinni var ankaramít - nokkrir molar um útbasískt berg og rekbeltasögu Íslands	35
Kristján Geirsson	
Upphaf gosbeltis.....	39
Haukur Jóhannesson	
Grænavatnsbruni og Laxárhraun yngra	41
Ármann Höskuldsson, Charlotte Dyhr og Tore Dolvik	
Gossaga lesin úr dulmáli gjósku.....	45
Bergrún Arna Óladóttir, Guðrún Larsen og Olgeir Sigmarsson	
Eldgos á Reykjanesskaga á 8.-9. öld	49
Magnús Á. Sigurgeirsson og Kristján Sæmundsson	
Súrefnisprýstingur í háhitapressum.....	53
Sigurður Jakobsson	
Megineldstöðvar – skorpu- eða möttuluppruni? Skilaboð frá samsætum	51
Karl Grönvold	
Innviðir Eyjafjallajökuls og jarðskorpuhreyfingar	53
Sigrún Hreinsdóttir, Freysteinn Sigmundsson, Andy Hooper, Þóra Árnadóttir, Rikke Pedersen, Matthew J. Roberts, Níels Óslarsson, Amandine Auriac, Judicael Decriem, Páll Einarsson, Halldór Geirsson, Martin Hench, Benedikt G. Ófeigsson, Erik Sturkell, Hjörleifur Sveinbjörnsson og Kurt L. Feigl	
Sigurður Steinþórsson: Rita- og ráðstefnuskrá	55

Ávarp formanns Jarðfræðafélags Íslands

Haustráðstefna Jarðfræðafélags Íslands árið 2010 er tileinkuð Sigurði Steinþórssyni prófessor í jarðfræði við Háskóla Íslands, á 70. afmælisári hans. Sigurður er flestum jarðfræðingum vel kunnur hvort sem er sem samstarfsmaður, samstarfsaðili, vinur eða kunningi. Flestir jarðfræðingar á Íslandi hafa auk þess verið þeirrar ánægju aðsnjótandi að hafa haft Sigurð sem kennara. Á sinni löngu starfsævi hefur Sigurður áorkað miklu og eftir hann liggja mörg stórverk á sviði jarðfræðinnar þó aðallega í bergfræði íslensks storkubergs, myndun þess og ummyndun.

Sigurður hefur ritað fjölmargar greinar og skýrslur og er ritlisti hans orðinn langur og nær allt aftur til ársins 1965. Aftast í þessu hefti er listi yfir ritaðar heimildir sem Sigurður hefur tekið saman. Listinn gefur glögga mynd af ferli Sigurðar og þeim viðfangsefnum sem hann hefur unnið að á tæplega fimm áratuga langri starfsævi sinni.

Eins og sjá má af ritlista Sigurðar þá hefur hann víða komið við í rannsóknum sínum og eftir hann liggja mörg stórverk. Samfara rannsóknum sínum og kennslu hefur hann einnig verið ötull við að miðla þekkingu sinni til almennings, meðal annars á vísindavef Háskóla Íslands og í fjölmörgum bókum. Nánar er fjallað um ævi og störf Sigurðar í ágripi Páls Einarssonar á bls. 3.

Fyrr á árinu kviknaði sú hugmynd í stjórn Jarðfræðafélags Íslands að tileinka haustráðstefnu félagsins Sigurði sjötugum. Leitað var til jarðvísindamanna, sem á einn eða annan hátt tengjast Sigurði eða hans rannsóknarsviðum, um að halda erindi. Stjórn félagsins vill þakka þeim sem leitað var til fyrir jákvæð viðbrögð.

Jarðfræðafélag Íslands óskar Sigurði innilega til hamingju með glæsilegan starfsferil og vonar að íslenskir jarðfræðingar fái að njóta sérþekkingar hans um ókomin ár.

f.h. Jarðfræðafélags Íslands

Þorsteinn Sæmundsson, formaður

Ágrip erinda

Sigurður Steinþórsson, ferill, fræði og fleira

Páll Einarsson

Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík

Sigurður Steinþórsson ólst upp í Vesturbæ Reykjavíkur á árum seinni heimsstyrjaldar og eftirstríðsárunum, þeim miklu umbreytingatímum íslensks þjóðfélags. Hann fetaði hefðbundinn menntaveg Vesturbæinga, um Melaskóla, gagnfræðaskólana við Hringbraut og Vonarstræti og Menntaskólann í Reykjavík, þar sem hann lauk stúdentsprófi 1960. Jarðfræðimenntun sína sótti Sigurður til Skotlands og Bandaríkjanna. Hann tók BS Hons gráðu við Háskólann í St. Andrews 1964 og PhD við Princetónháskóla 1974. Þessi ár voru byltingarár í jarðvísindum og ein af vöggum þeirrar byltingar var Princeton. Kenning um hafsbótsskrið, síðar fleka-kenningin, og kenning um heita reiti og möttulstróka settu nýja ramma utan um þekkingu og skilning á jörðinni og þeim ferlum sem að verki eru. Sigurður var boðberi hinna nýju kenninga þegar hann sneri til Íslands og hóf störf við Háskóla Íslands, fyrst sem sérfræðingur á Atvinnudeild Háskólans 1964-1966 og síðan við Raunvísindastofnun Háskólans 1970-1974. Þar var hann í framfarðasveit ungra og framsækinnna vísindamanna sem hófu störf við nýstofnaða Raunvísindadeild. Það kom í hlut þessa fólks að skipuleggja og móta nám í raunvísindum við HÍ og rannsóknarstarf á Raunvísindastofnun. Sigurður varð dósent við Raunvísindadeild 1974 og prófessor síðan 1983. Hann var forseti Raunvísindadeildar 1993-1995. Rannsóknarsvið Sigurðar er innan bergfræði og þar hefur meginhluti kennslu hans einnig verið. Hann hefur verið ötull kennari og telja má fullvíst að næstum allir starfandi jarðfræðingar á Íslandi hafi verið nemendur hans. Sigurður er höfundur margra greina um rannsóknir sínar og samstarfsfélaga og hafa þær birst í virtustu tímaritum. Margar þeirra hafa fjallað um bergfræði íslensks storkubergs, myndun þess og ummyndun. Segja má að grein þeirra Sigurðar, Nielsar Óskarssonar og Guðmundar Sigvaldasonar frá 1982, sem gjarnan er kennd við Stykkishólm, hafi lagt grunn að skilningi manna á myndun íslenskra bergtegunda sem enn stendur. Sérlega drjúg hefur einnig verið samvinna Sigurðar við eðlisfræðinga á Raunvísindastofnun sem beita Mössbauer-hrifum við rannsóknir á oxunarstigi steinda. Sigurður hefur einnig komið að rannsóknum á eldgosum og sögu eldvirkni á Íslandi, gerði meðal annars merka rannsókn á öskulögum í borkjarna frá Bárðarbungu. Þá hefur Sigurður verið óþreytandi við að skrifa fræðsluefni fyrir almenning, bæði í tímarit og nú síðustu árin á Vísindavefnum. Sigurður er ekki einhamur og hefur lagt sín lóð á vogarskálarnar víðar en í vísindum. Hann er slyngur klarinettleikari og hefur leikið með áhugasveitum, svo sem Sinfóníuhljómsveit áhugamanna og Sinfóníuhljómsveit Reykjavíkur sem starfaði á áttunda áratugnum. Hann er í stjórn Kammermúsíkkúbbsins sem heldur uppi metnaðarfullu tónleikahaldi. Sigurður skrifaði um árabíl tónlistargagnrýni í dagblaðið Tímann sem þóttu með skemmtilegustu skrifum um það efni. Þá hefur Sigurður lagt til ótal pistla um tónverk og tónlistarmenn í efnisskrár tónleika.

Stafar endurkastsflötur á um 40 km dýpi undir Íslandi af fasabreytingum í möttli?

Guðmundur H. Guðfinnsson

Íslenskar orkurannsóknir, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Inngangur

Endurkastsfletir sem koma fram í jarðskjálftamælingum hafa verið túlkaðir sem mörk jarðskorpu og möttuls undir Íslandi á allt að rúmlega 40 km dýpi undir miðju landinu. Til samanburðar er dæmigerð þykkt úthafsskorpu innan við 10 km og meðalþykkt meginlandsskorpu er talin vera milli 30 og 40 km. Ef þessi túlkun er rétt bendir það til að jarðskorpan undir Íslandi sé mun kaldari en hitastigull efst í skorpunni og varmaflæði á yfirborði gefa ástæðu til að ætla. Þessar rannsóknir voru jafnframt taldar sýna að skorpan undir Íslandi sé þykkust í gosbeltinu um mitt landið en þynnist þaðan til vesturs og austurs. Slíkt þversnið af landinu er í ósamræmi við ríkjandi hugmyndir um hvernig ný jarðskorpa verður til í gosbeltunum við gliðun og færist í gagnstæðar áttir við landrek.

Aðrir hafa komið fram með þá tilgátu að það sé röng túlkun að endurkastsfletirnir sýni mörk skorpu og möttuls heldur sé um að ræða breytingar í eiginleikum möttulsins. Hér verður sú tilgáta studd nokkrum rökum sem byggjast á niðurstöðum bergfræðitilrauna og sú skýring sett fram að jarðeðlisfræðilegu mælingarnar nemi í raun hamskipti möttulsins frá spíníleridótíti í plagíóklasperidótít.

Merki um endurkastsfleti djúpt undir Íslandi

Í ICEMELT-tilrauninni var sprengt og bylgjubrotsmælingar notaðar til að fá þversnið gegnum jarðskorpuna á Íslandi (Darbyshire o.fl. 1998). Mælt var 310 km langt snið frá Skaga í norðri þvert yfir landið yfir á suðausturströndina. Í ljós komu endurkastsfletir djúpt undir landinu á allt að 40 km dýpi sem túlkaðir voru sem Moho, þ.e. mörk möttuls og skorpu. Samkvæmt túlkun Darbyshire o.fl. (1998) á gögnunum er skorpan þykkust undir gosbeltinu í norðvestanverðum Vatnajökli yfir miðju ætlaðs möttulstróks, þar sem hún er 38-40 km þykk, en skorpan þynnist þaðan til norðurs og suðurs og er um 25 km þykk undir Skaga. Í seinni grein (Darbyshire o.fl. 2000) þar sem unnið hefur verið úr fleiri skjálftamælingagögnum og þyngdarmælingum er þessi túlkun staðfest. Í þeirri grein er birt mynd af öllu landinu þar sem jarðskorpan er þykkust undir norðvestanverðum Vatnajökli, allt að 40-41 km þykk, og þynnist í allar áttir þaðan. Foulger o.fl. (2003) notuðu gögn frá neti jarðskjálftamæla sem námu fjarlæga jarðskjálfta á tveggja ára tímabili og komust að svipaðri niðurstöðu. Mynd 1 sem er komin frá Foulger o.fl. (2003) sýnir jafndýptarlínur fyrir mörk möttuls og skorpu undir Íslandi samkvæmt túlkun höfundanna.

Vísbendingar frá tilraunabergfræði um breytingar í möttlinum á um 40 km dýpi

Önnur hugsanleg túlkun á djúpu endurkastsflötunum er sú að þeir séu ekki mörk möttuls og skorpu heldur fyrirbrigði innan möttulsins. Þá vaknar sú spurning hvort einhverjar breytingar eigi sér stað í möttlinum á þessu dýpi sem gætu skýrt endurkastsfletina. Tilraunabergfræðin er eitt öflugasta sviðið innan jarðvísinda til að svara slíkum spurningum.

Allt bendir til að efri möttull sé að mestu gerður úr peridótíti þó vísbendingar séu um misleitni, ekki síst undir Íslandi. Peridótítið er talið að meginhluta lherzólít, en aðalsteindir þess eru ólivín, ortópýroxen og klínópýroxen. Auk þess er Al_2O_3 -rík steind hluti af steindafylkinu, granat, spínill eða plagíóklas, en granat er stöðugt við hæstan þrýsting og plagíóklas við lægstan. Með háþrýstitalraunum hefur verið sýnt fram á að breytingin frá spínillherzólíti yfir í plagíóklaslherzólít verði við þrýsting kringum 1 GPa sem samsvarar u.þ.b. 30 km dýpi í möttlinum. Erfitt hefur verið að ákvarða þessi hamskipti möttulsins nákvæmlega með tilraunum á náttúrulegum sýnum. Hitastigið er ekki ýkja hátt og viðeigandi skilyrði eru þau að sýnin séu annað hvort óbráðin eða mjög lítið bráðin meðan á tilraununum stendur. Við slíkar aðstæður er mjög erfitt að ná efnajafnvægi. Hins vegar er hægt að gera viðeigandi tilraunir í einfaldari efnakerfum þar sem mikið er af bráð og því tiltölulega auðvelt að ná efnajafnvægi en jafnframt nýta tilraunaniðurstöðurnar til að skýra aðstæður þar sem mjög lítil bráð er til staðar. Slíkra gagna hefur verið aflað með tilraunum í efnakerfunum $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-Na}_2\text{O}$ (CMASN) (Walter & Presnall 1994) og $\text{CaO-MgO-Al}_2\text{O}_3\text{-SiO}_2\text{-FeO}$ (CMASF) (Gudfinnsson & Presnall 2000). Presnall o.fl. (2002) sameinuðu síðan niðurstöður þessara rannsókna til að sýna hvernig hamskiptin frá spínillherzólíti yfir í plagíóklaslherzólít verða í möttlinum. Í ljós kemur að mörk þessara hamskipta eru bein lína á hitastigs-þrýstingsmynd með jákvæðan halla en plagíóklaslherzólít er þeim megin línunnar þar sem hitinn er lægri (mynd 2). Þetta þýðir að þegar hlutbráðið möttulefni ris og verður fyrir þessum hamskiptum án þess að entrópía tapist eykst bráðnunin. Líklega verður þó tiltölulega lítil aukin bráðnun þar sem Clapeyron-halli línunnar er ekki mikill. Efnakerfið CMASNF inniheldur um 99% af massa möttulsins. Þau oxíð sem vantar og eru líkleg til að hafa teljandi áhrif á stöðugleika hinna mismunandi fasa í bráðnu lherzólíti eru TiO_2 , K_2O , P_2O_5 og Cr_2O_3 . Einu mælanlegu áhrif þeirra þriggja fyrst nefndu eru mjög líklega þau ein að lækka hitastig um fáeina tugi gráða. Cr_2O_3 hefur hins vegar mikil áhrif á stöðugleika spínils og veldur því að spínillherzólít er stöðugt við yfirborðsprýsting. Libourel (1991) komst að því að í kerfinu CMAS- Cr_2O_3 verða hamskiptin frá spínillherzólíti í plagíóklaslherzólít við 1249°C við yfirborðsprýsting. Keshav o.fl. (2008) hafa síðan rannsakað hamskiptin frekar í kerfinu CMASF- Cr_2O_3 og eru niðurstöðurnar í góðu samræmi við niðurstöður Libourel (1991). Viðbót á Cr_2O_3 hækkar hitastig við hamskiptin um fáeinar gráður og veldur því að hamskiptalínan nær til yfirborðs líkt og mynd 3 sýnir.

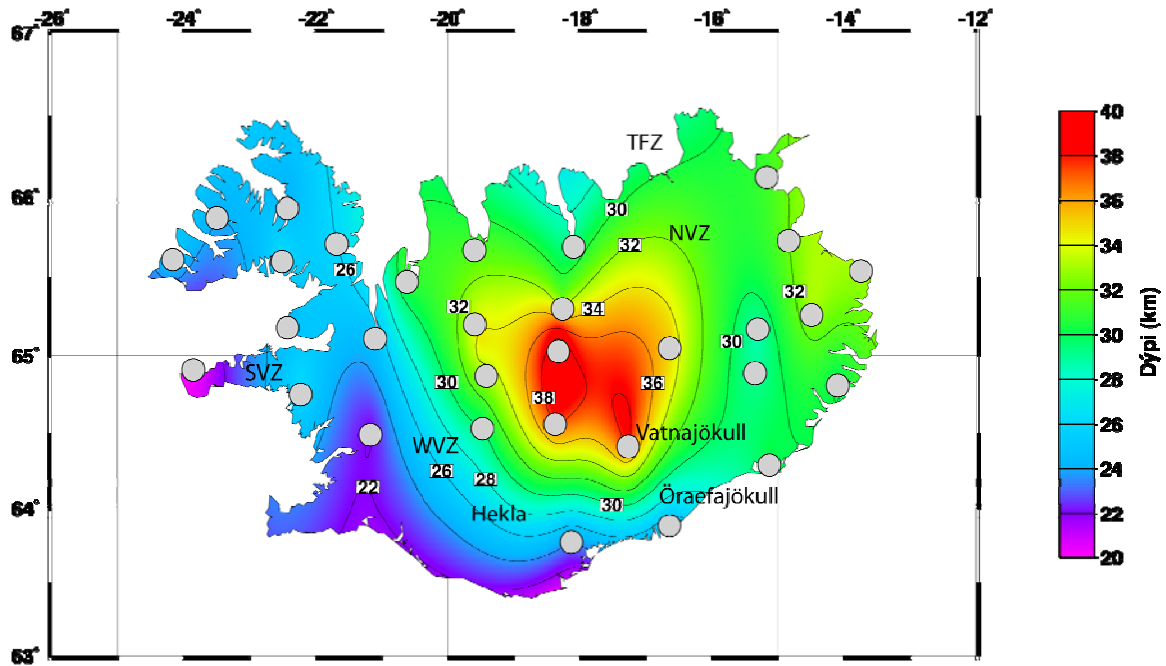
Hamskiptin undir Íslandi

Mjög miklar líkur eru á að möttullinn undir miðju Íslandi sé lítilllega bráðinn þegar hann ris og nær því dýpi þar sem spínillherzólít tekur að umbreytast í plagíóklaslherzólít. Tilraunaniðurstöðurnar sem voru ræddar hér á undan eiga því vel við. Eiginleikar hamskiptanna virðast vera þannig að það gæti orðið tiltölulega skörp breyting, m.a. vegna þess hve margir fasar eiga í hlut og varíans kerfisins eftir því lágur og að lega hamskiptanna í hitastigs-þrýstingsrúmi er ekki sérlega næm fyrir breytileika í efnasamsetningu möttulsins. Jafnframt er líklegt að eðlis-massi möttulefnisins minnki töluvert við að spínillherzólít breytist í plagíóklaslherzólít. Það

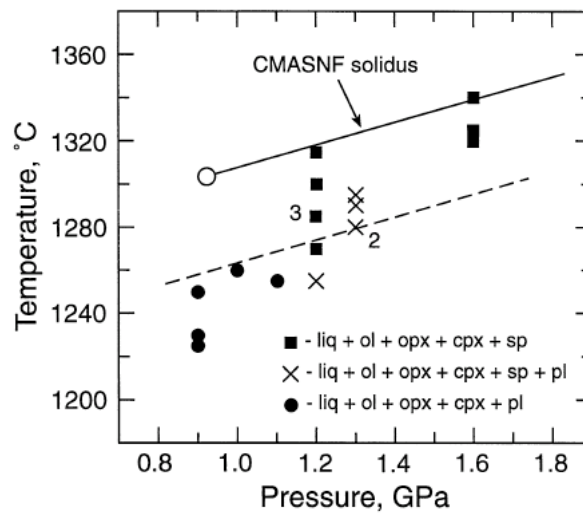
stafar bæði af því að töluvert af plagióklasi myndast, margfalt meira en magn spinils sem eyðist, og að hlutfall ólivíns og bráðar vex. Þetta eykur líkurnar á að ferlar jarðskjálftabylgna verði fyrir mælanlegum áhrifum í þessum hluta möttulsins. Mynd 3 sýnir hitastigsferla hlutbráðins spinillherzólits sem rís og byrjar að bráðna og verða fyrir hamskiptum annars vegar á 40 km dýpi og hins vegar 30 km dýpi. Sjá má að hitastigið þar sem fyrrnefndi ferillinn sker hamskiptalínuna er um 1325°C en um 20°C lægri í síðara tilfellingu. Í náttúrulegu kerfi er hitastigið í fyrrnefna tilfellingu tæplega 1300°C. Ef sú túlkun er rétt að endurkastflöturinn á um 40 km dýpi stafi af breytingu á spinillherzólíti yfir í plagióklaslherzólít þýðir þetta að hitastig möttulsins á þessu dýpi undir miðju Íslandi sé tæplega 1300°C og að möttullinn sé heitastur undir þessum hluta landsins. Hitastigið fellur tiltölulega hægt í allar áttir frá miðjunni og er t.d. innan við 20°C lægra í gosbeltinu við norðurströnd landsins.

Heimildir

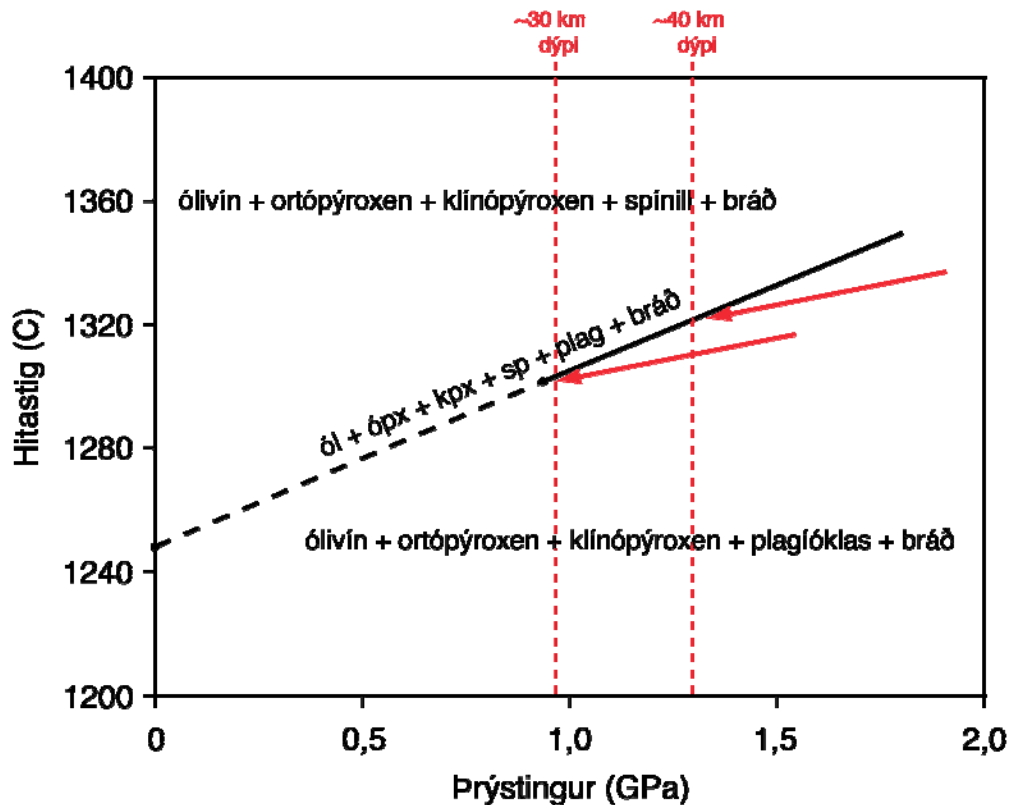
- Darbyshire, F.A., Bjarnason, I.Th., White, R.S. og Flóvenz, Ó.G. 1998. Crustal structure above the Iceland mantle plume imaged by the ICEMELT refraction profile. *Geophys. J. Int.* 135, 1131-1149.
- Darbyshire, F.A., White, R.S. og Priestley, K.F. 2000. Structure of the crust and uppermost mantle of Iceland from a combined seismic and gravity study. *Earth Planet. Sci. Lett.* 181, 409-428.
- Foulger, G.R., Du, Z. og Julian, B.R. 2003. Icelandic-type crust. *Geophys. J. Int.* 155, 567-590.
- Gudfinnsson, G.H. og Presnall, D.C. 2000. Melting behaviour of model lherzolite in the system CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-FeO at 0.7-2.8 GPa. *J. Petrol.* 41, 1241-1269.
- Libourel, G. 1991. Chromium in basalts: An experimental study. *EOS transactions, American Geophysical Union, Fall Annual Meeting*, 547.
- Keshav, S., Tirone, M., Gudfinnsson, G. og Presnall, D. 2008. Melting in the system CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-Cr₂O₃ spanning the plagioclase-spinel lherzolite transition at 7 to 10 kbar: experiments versus thermodynamics. *American Geophysical Union, Fall Meeting 2008*, abstract #V43B-2150.
- Kinzler, R.J. and Grove, T.L. 1992. Primary magmas of mid-ocean ridge basalts, 1. Experiments and methods. *J. Geophys. Res.* 97, 6885-6906.
- Presnall, D.C. Gudfinnsson, G.H., og Walter, M.J. 2002. Generation of mid-ocean ridge basalts at pressures from 1 to 7 GPa. *Geochim. Cosmochim. Acta* 66, 2073-2090.
- Walter, M.J. og Presnall, D.C. 1994. Melting behavior of simplified lherzolite in the system CaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂-Na₂O from 7 to 35 kbar. *J. Petrol.* 35, 329-359.



Mynd 1. Dýpi niður á mörk möttuls og skorpu undir Íslandi samkvæmt greiningu Foulger o.fl. (2003). (Birt með leyfi höfundar.)



Mynd 2. Hitastigs-þrýstingsmynd sem sýnir legu hamskiptanna milli spinillherzólíts og plagióklas-herzólíts á bræðslumörkum, annars vegar í kerfinu CMASNF (heil lína; Presnall o.fl. 2002) og hins vegar í náttúrulegu kerfi (punktar, ferningar, krossar og brotin lína; Kinzler & Grove 1992). Plagióklas-herzólít-steindafylkið er stöðugt við lægri hita. (Úr grein Presnall o.fl. 2002.)



Mynd 3. Hitastigs-þrýstingsmynd sem sýnir legu hamskipta milli spínillherzólíts og plagíóklasherzólíts á bræðslumörkum. Óbrotni hluti línunnar hefur verið ákvarðaður með tilraunum í CMASN- og CMASF-kerfunum (Presnall o.fl. 2002) en brotna lína sýnir framlengingu línunnar í punkt sem Libourel (1991) ákvarðaði í kerfinu CMAS-Cr₂O₃ við eina loftþyngd. Rauðu línurnar sýna hitastigsferla möttulefnis sem byrjar að bráðna og verða fyrir hamskiptunum annars vegar á 40 km dýpi og hins vegar á 30 km dýpi.

Útfellingar sem myndast í kjölfar eldgosa á Íslandi

Sveinn P. Jakobsson og Kristján Jónasson

Náttúrufræðistofnun Íslands, Urriðaholtsstræti 6-8, 210 Garðabær

Eins og kunnugt er myndast ýmiss konar útfellingar í eldgosum, eða í kjölfar þeirra. Þessar eldfjallaútfellingar mynda skánir við gígop, á yfirborði hrauna, og í hraunhellum. Flestar útfellinganna myndast beint úr hraunkvikugasi sem streymir út um op í kólnandi berginu, aðrar myndast úr vatnsgufu og þá einkum í hraunhellum og gígum. Útfellingarnar eru margar viðkvæmar fyrir úrkomu og veðrun og endast því yfirleitt ekki lengi nema í hellum. Til skamms tíma var þessum útfellingum lítið sinnt hér á landi, en á áttunda áratugnum reið Niels Óskarsson (1981) á vaðið með rannsókn sinni á útfellingum frá nokkrum nýlegum eldgosum.

Alþjóðlegt teymi hefur undanfarin 18 ár rannsakað íslenskar eldfjallaútfellingar með röntgenbrotgreiningu og rafeindasmásjargreiningu (S. P. Jakobsson og félagar 1992; 2008). Í fyrsta áfanga var rannsakað 131 sýni af útfellingum úr Heklugosinu 1947-1948, Öskjugosinu 1961, Surtseyjargosinu 1963-1967, Eldfellsgosinu 1973 og Heklugosinu 1991. Þessum sýnum hefur nær eingöngu verið safnað af starfsmönnum Náttúrufræðistofnunar. Áhersla hefur verið lögð á greiningar á útfellingum úr þremur síðustu gosunum. Röntgenbrotgreiningarnar hafa verið gerðar á steindafræðideild Háskólans í Kaupmannahöfn (E. Leonardsen, S. P. Jakobsson, T. Balić-Zunić), og rafeindasmásjargreiningarnar í Háskólanum í Bari á Ítalíu (A. Garavelli, D. Mitolo, P. Acquafredda).

Eldgosin í Surtsey 1963-1967, Heimaey 1973 og Heklu 1991

Í Surtsey greindust 34 tegundir útfellingasteinda, algengastar voru gifs, ópall-A, kalsít, halít, flúorít, ralstonít, thenardít, anhydrit og hematít. Í Eldfelli og Eldfellshrauni greindist 31 tegund, algengastar voru anhydrit, ópall-CT, ralstonít, gifs, hematít, ópall-A og tvær óþekktar steindategundir. Í útfellingum úr Heklugosinu 1991 greindust 36 tegundir, algengastar voru ralstonít, ópall-A, malladrít, hematít og tvær óþekktar steindategundir. Hinn mikli tegundafjöldi steinda í öllum þremur eldfjöllunum kom mjög á óvart. Þá reyndist tegund eins og ralstonít, sem ekki hafði áður greinst á landinu, algeng meðal útfellinganna, en aftur á móti var brennisteinn sjaldgæfur.

Hiti var yfirleitt mældur um leið og útfellingu var safnað. Hæstur hiti mældist í Eldfelli 1995, 420° C, þá höfðu myndast þar anhydrit, gifs og hematít. Í helli í Surtsey sem kallaður hefur verið “Grillið”, mynduðust dropasteinar úr vatnsgufu við 65°-100° C, þeir voru úr halíti, kainíti, löweíti, gifsi og thenardíti og urðu allt að 45 cm langir. Í Heklu mældist allt að 500°C við yfirborð, þar höfðu myndast m.a. malladrít, ópall-A og þrjáráður ókunnar steindir.

Meirihluti útfellingasteindanna tilheyrir þeim flokkum steinda er nefnast halíð og súlföt, en einnig er nokkuð um oxíð og karbónöt. Vatnsríkar steindir eru ríkjandi og allnokkrar steindanna leysast upp í vatni. Í ljós kom að 32 steindanna höfðu ekki áður fundist hér á landi. Í gagnagrunni Náttúrufræðistofnunar Íslands voru áður skráðar 230 steindategundir, og þá eru afbrigði ekki talin með. Hér er því um verulega aukningu í fjölda íslenskra steindategunda að ræða.

Súlföt voru algeng í Surtsey, einnig nokkrar tegundir karbónata og halíða. Í Eldfelli voru súlföt sömuleiðis algeng en karbónöt voru aftur á móti mjög sjaldgæf. Ætla mætti að myndun súlfata og halíða í þessum eldfjöllum hafi verið tengd sjónum, en með vísun til þess að þessar tegundir útfellinga var einnig að finna í Öskju 1961, er líklegra að skýringa sé að leita í efnasamsetningu bergkvikunnar. Í Heklu voru flúoríð (undirflokkur halíða) yfirgnæfandi og súlföt voru sjaldgæf. Í gosbergi frá Heklu hefur ætíð mælst mikið af flúor og má ætla að bergkvikan undir Heklu sé óvenju rík af þessu reikula efni. Það er því talið að samsetning bergkvikunnar ráði samsetningu útfellinganna, a. m. k. að verulegu leyti.

Eldgosin í Heklu 1947-1948 og Öskju 1961

Í Heklugosinu 1947-1948 myndaðist mikið af útfellingum. Þær tegundir sem við greindum þaðan, voru þær sömu og fundust í Heklugosinu 1991. Í Öskjugosinu 1961 myndaðist lítið af útfellingum. Það kom á óvart að þar er um að ræða sömu, eða sambærilegar steindir, og var að finna í grunnnum hellum í Surtsey.

Nýjar steindir fyrir vísindin

Í Surtsey, Eldfelli og Heklu greindust 27 tegundir steinda sem ekki voru áður þekktar í náttúrunni. Nokkrar þeirra hafa áður verið búnar til í tilraunastofum. Við höfum skipt þessum steindum í fjóra hópa: nýjar, samþykktar heimssteindir (2 tegundir); nýjar, að hluta greindar sem nýjar steindir (4 tegundir); líklegar nýjar steindir (5 tegundir); og hugsanlegar nýjar steindir (16 tegundir).

Tvær tegundir hafa þegar verið samþykktar (Balić-Zunić og félagar 2009; Garavelli og félagar 2010) sem nýjar heimssteindir af Alþjóða Steindafræðisambandinu (IMA), eldfellít $\text{NaFe}(\text{SO}_4)_2$ og heklaít KNaSiF_6 . Eldfellít fannst í norðausturrima Eldfells, í 240 m hæð, og heklít í austurgosprungunni sem var virk í Heklugosinu 1991, í 1105 m hæð. Eldfellít kristallast mónóklínt, kristallarnir eru plötulaga og gulgrænir, og meðalstærð þeirra er aðeins 15x3 míkrómetrar. Heklít kristallast rombískt, kristallarnir eru litlausir og meðalstærð þeirra er 40x20 míkrómetrar.

Gosið á Fimmvörðuhálsi 2010

Hafin er rannsókn á útfellingum úr gosinu á Fimmvörðuhálsi með röntgenbrotgreiningu og rafeindasmásjargreiningu. Farnar hafa verið fimm söfnunarferðir, þar af ein meðan á gosinu stóð. Til þessa hafa verið greindar þar 7 tegundir steinda: thenardít (Na_2SO_4); ralstonít ($\text{Na}_x\text{Mg}_x\text{Al}_{2-x}(\text{F},\text{OH})_6\cdot\text{H}_2\text{O}$); steindin HD ($(\text{NH}_4(\text{Fe},\text{Co})_2\text{F}_6)$); og sennilega apthitalít ($(\text{K},\text{Na})_3\text{Na}(\text{SO}_4)_2$), sjá mynd 1; carnallít ($\text{KMgCl}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$); anhydrit (CaSO_4); og halít (NaCl), sjá mynd 2. Mjög hár hiti hefur mælst við sýnatöku, eða allt að 800°C. Aðstæður eru óvenjulegar þar sem aska frá Eyjafjallajökli hefur bakast í þétt túff á heitum svæðum. Undir þessari skán virðast vera kjöraðstæður til myndunar útfellinga og varðveislur þeirra.

Jarðhitakerfi

Fylgst hefur verið með kólnun gosmyndana í Surtsey og Eldfelli. Þar hafa útfellingarnar myndast í aðgreindum, grunnum, jarðhitakerfum í hraunum og gígum. Þessi hitakerfi eru skammlíf, oftast kólna þau niður á nokkrum árum eða áratugum. Langlífasta hitakerfið er í Eldfelli á Heimaey, en það hefur nú verið virkt í ríflega 35 ár en fer hægt kólnandi. Þess ber að geta að hraunið við Eldfell er óvenju þykkt, eða nær 100 metrar. Hitakerfin virðast hafa verið mun skammlífari í Surtsey, og líklega einnig í Heklu.

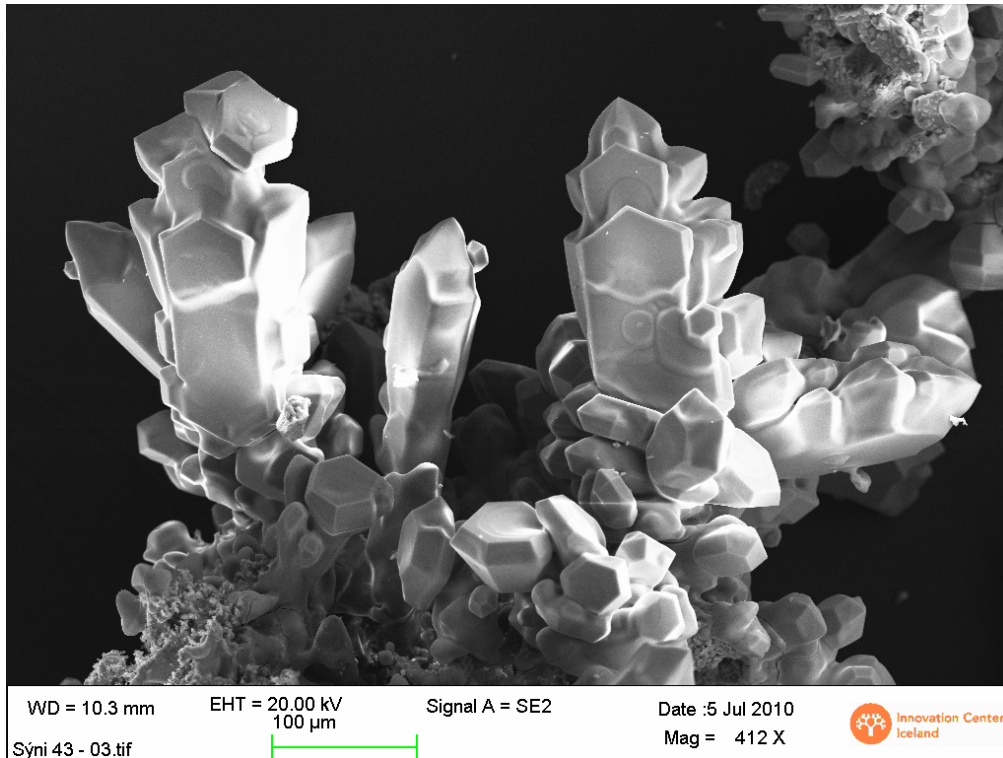
Í Eldfelli má sjá hvernig eldfjallagasið hefur valdið ætingu á berginu og fjarlægt úr því flestar katjónir nema Si og hluta af Ti. Bergið verður þá hvítt eða hvítgult. Flestar þær katjónir sem þvegist hafa út úr berginu er að finna í útfellingunum. Talið er líklegt að þetta ferli skýri að verulegu leyti tilurð útfellinganna í eldfjöllunum þremur. Aðrar útfellingar, t. d. í grunnum hellum í Surtsey og Öskju, hafa fallið út úr vatnsgufu sem líklega á rætur sínar að rekja til grunnvatns eða sjávar.

Eldfjallaútfellingar myndast á hitasvæðum sem eru skammlíf og grunnstæð. Lítil virkni einkennir hitasvæði af þessu tagi og rennandi vatn sést ekki á yfirborði. Tegundaauðgi er mikil en þó hafa þar ekki fundist leirsteindir og brennisteinn er sjaldgæfur. Þessi hitasvæði eru tengd gosvirkni á yfirborði jarðar.

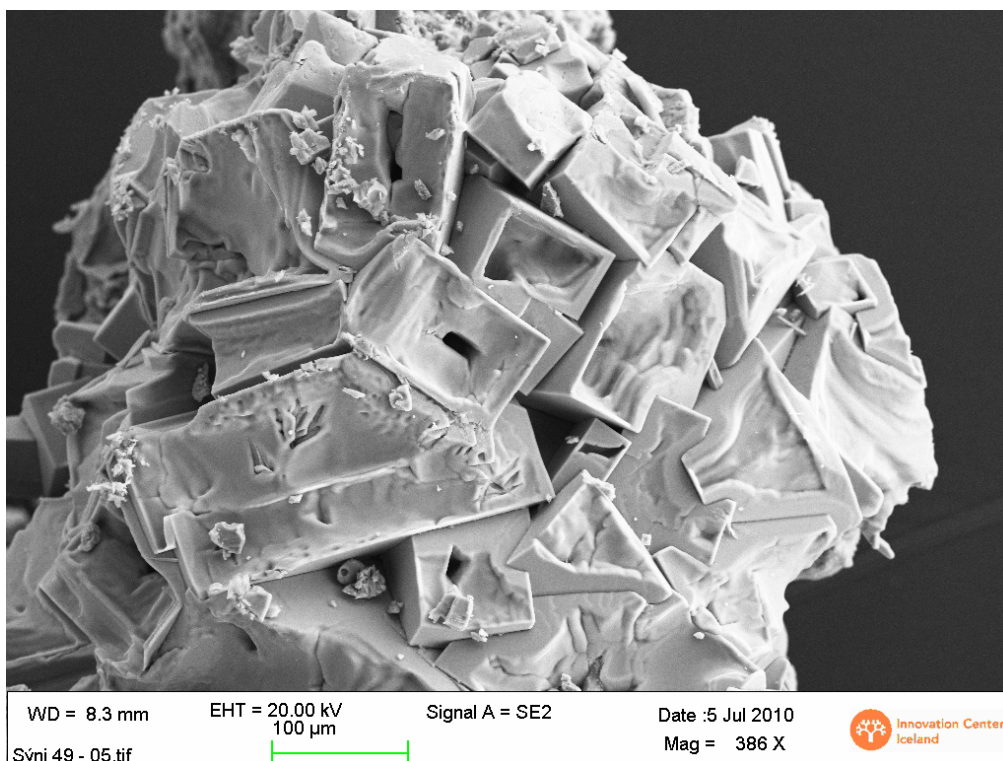
Útfellingar á yfirborði svokallaðra háhitasvæða, eins og t. d. í Krisuvík, Torfajökulsvæðinu og Kröflu, eru af öðrum toga. Hér er um að ræða langvarandi jarðhitavirkni sem á sér djúpar rætur. Vatns- eða gufumyndun er mikil og hitastig og samsetning fasa stjórnað af víðtæku samspili vatns og bergs. Leirsteindir myndast í miklu magni og brennisteinn er yfirleitt algengur. Mun færri tegundir steinda myndast en þegar um eldfjallaútfellingar er að ræða.

Heimildir:

- A. Garavelli, T. Balić-Zunić, D. Mitolo, P. Acquafredda, E. Leonardsen & Sveinn P. Jakobsson 2010. Heklaite, KNaSiF_6 , a new fumarolic mineral from Hekla volcano, Iceland. *Mineralogical Magazine* 74, 45-55.
- Niels Óskarsson 1981. The chemistry of Icelandic lava incrustations and the latest stages of degassing. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 10, 93-111.
- Sveinn P., Jakobsson, Sigurður S. Jónsson & E. S. Leonardsen 1992. Encrustations from lava caves in Surtsey, Iceland. A preliminary report. *Surtsey Research Progress Report* 10, 73-78.
- Sveinn P., Jakobsson, E. S. Leonardsen, T. Balić-Zunić & Sigurður S. Jónsson 2008. Encrustations from three recent volcanic eruptions in Iceland: The 1963-1967 Surtsey, the 1973 Eldfell and the 1991 Hekla eruptions. *Fjölrit Náttúrufræðistofnunar* 52, 65 bls.
- T. Balić-Zunić, A. Garavelli, P. Acquafredda, E. Leonardsen & Sveinn P. Jakobsson 2009. Eldfellite, $\text{NaFe}(\text{SO}_4)_2$, a new fumarolic mineral from Eldfell volcano, Iceland. *Mineralogical Magazine* 73, 51-57.



Mynd 1. Útfelling í sprungu í Goðahrauni á Fimmvörðuhálsi, sennilega aphthitalít $((K,Na)_3Na(SO_4)_2)$. Myndin er tekin í rafeindasmásjá Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands.



Mynd 2. Útfelling í gjalli í Magna á Fimmvörðuhálsi, halít (NaCl). Myndin er tekin í rafeindasmásjá Nýsköpunarmiðstöðvar Íslands.

Einkenni tvö þúsund metra jarðlagastafla neðan Vestmannaeyja

Hjalti Franzson

Íslenskar orkurannsóknir, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Inngangur

Hitaveita Suðurnesja lét bora 2277 m djúpa borholu, HH-8, á Heimaey síðla vetrar 2005 í þeim tilgangi að finna heitt vatni til upphitunar byggðar á eyjunni (Haukur Jóhannesson 2002, Hjalti Franzson o.fl. 2010). Fyrir er önnur 1500 m djúp hola, HB-1, sem boruð var 1964 við Skiphelli á norðvestur hluta eyjunnar í sama tilgangi (Guðmundur Pálmason o.fl. 1965, Jens Tómasson 1970, 1989). Einkenni jarðlaga í holu HH-8 voru rannsökuð með ýmsum hætti. Þar þar fyrst að telja smásjárrannsóknir á svarfsýnum sem tekin eru á tveggja metra bili í borun, borhraða, jarðlagamælingar svo sem víddar-, viðnáms-, nifteinda-, gamma- og hljóðsjármælingar auk hitamælinga.

Meginmál

Hola HH-8 er staðsett rétt sunnan Helgafells og nærri syðri enda gossprungu Eldfells (mynd 1). Jarðlagastaflinn er sýndur á myndum 2 og 3 og er gerður úr eftirfarandi þremur hlutum:

Vestmannaeyjamyndun 0-280 m. Á þessu dýptarbili finnst þrjár gosmyndanir; Hraunlög úr Helgafelli sem ná niður á 60 m dýpi. Þar neðan við fer holan inn í Sæfellsmyndun og er botn hennar talinn vera á um 208 m. Neðan hennar kemur líklegt móbergsset og síðan túffmyndun sem nær niður í 280 m dýpi. Setlagastafl 280-718 m. Þessi setlög eiga sér hliðstæðu í holu HB-1 við Skiphelli. Í efri hlutanum koma fyrir tvö basaltlög sem kunna að vera innskot, en erfitt að aðgreina frá gosmyndunum. Neðan 363 m dýpis koma setlög með breytilegri kornastærð frá sandsteini niður í silt. Frá 450-726 m sýna viðnámsmælingar kerfisbundnar endurtekningar í viðnámi sem skipta setlögnum í fjögur 55-90 m dýptarbil. Samkvæmt jarðlagagreiningu eru þau talin sýna breytingar frá fremur grófum sandsteinslögum yfir í silt. Vísbendingar eru um að þau endurspegli breytingar í setлагаupphleðslu frá jökulskeiði yfir í hlýskeið og minnkandi fjarlægð frá strönd. Bólstrabergs- og setlagastafl 718-2277m. Þessi 1560 m þykki jarðlagastafl skiptist í amk. 12 tímaskeið bólstrabergs- og móbergsmyndana sem eru aðskildar af setlögum. Setlögin eru af svipuðum toga og finnst fyrir ofan. Fleiri en ein gosmyndun getur verið innan hvers gosskeiðs. Tilvist bólstrabergs bendir til staðbundinnar gosvirkni. Setlögin á milli gosmyndana gefa til kynna að upphleðsluhraði þeirra sé í heildina ráðandi miðað við bólstrabergsskrokkana. Talið er að uppruna setlaganna sé að leita til þeirra svæða á „meginlandinu“ þar sem „alkalísk-milliröð“ gosvirkni er ríkjandi.

Sjávardýraleifar, sem aðallega eru skeljar, eru algengar í setlögnum allt frá 280 m niður á botn holunnar, eins og sýnt er á mynd 3. Aðgreining þeirra í tegundir hefur ekki verið gerð, en rannsókn á setlagabrotum sem komið hafa til yfirborðs í gosum í Vestmannaeyjum og á suðurströnd gefa til kynna mikinn fjölbreytileika (Leifur Símonarson 2010). Mynd 3 sýnir einnig þá staði þar sem súr og ísúr bergbrot fundust í greiningu þunnsneiða.

Gosberg í Vestmannaeyjum tilheyrir alkalísku bergröðinni (Sveinn Jakobsson 1968, 1979). Þótt einungis hafi verið gerðar þunnsneiðagreiningar af einingum í holunni sýna þær afar svipaða bergsamsetningu og gosmyndanir Vestmannaeyja, og á það bæði við bólstrabergsmyndanirnar og bergbrot sem finnst í setlögnum sjálfum. Undantekning frá því gæti verið

neðan 2000 m dýpis þar sem gerð steinda í gosmyndunum bendir fremur til póleiísku berg-
raðarinnar.

Eigi þær tilgátur við rök að styðjast að 60-90 m setlagabunki endurspegli upphleðslu eins
jökulskeiðs/hlýskeiðs og að alkalísk einkenni berglagastaflans megi finna a.m.k. niður á 2000
m dýpi, gefur það til kynna að virkni eystra gosbeltisins neðan Vestmannaeyja hafi hafízt fyrir
meira en 2 milljónum ára.

Þakkarorð

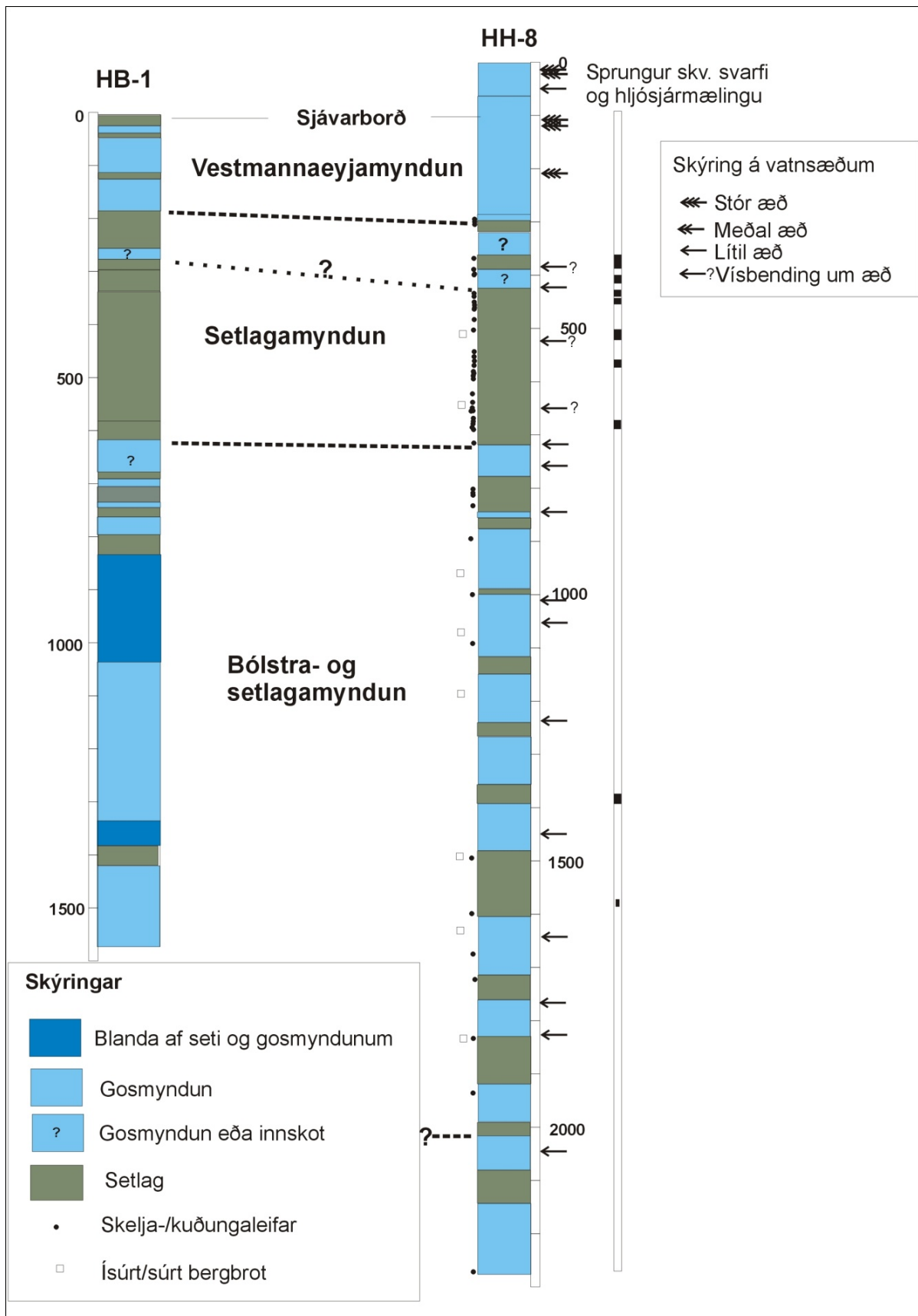
Hitaveita Suðurnesja, nú HS-orka, leyfði góðfúslega birtingu þessara rannsóknargagna.

Heimildir

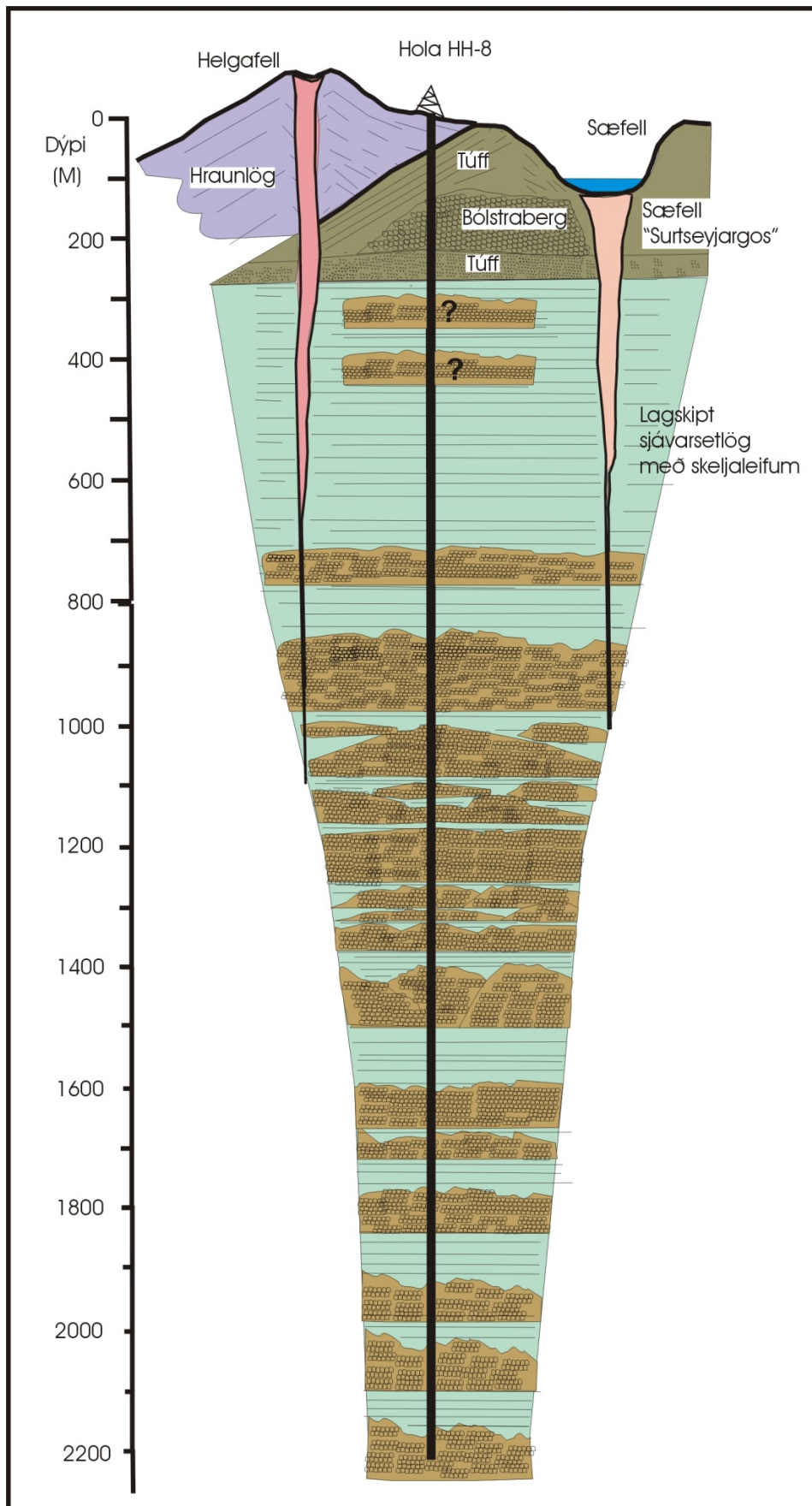
- Guðmundur Pálmason, Jens Tómasson, Jón Jónsson og Ísleifur Jónsson (1965). *Djúpborun í Vestmannaeyjum*. Raforkumálastjóri, Jarðhitadeild og Jarðboranir ríkisins, 51 s.
- Haukur Jóhannesson (2002). *Vestmannaeyjar. Könnun á jarðfræði og tillögur um boranir eftir heitu vatni*. Orkustofnun, Rannsóknasvið, OS-2002/068, 14 s.
- Hjalti Franzson, Grímur Björnsson, Ragnar Ásmundsson og Anett Blische 2010: *Heimaey – hola HH-8. Borun og rannsóknir*. Skýrsla ÍSOR-2010/027, 115 s.
- Jens Tómasson (1970). *On the origin of sedimentary water beneath Vestmann Islands*. Jökull 17, 300–311.
- Jens Tómasson (1989). *The alteration and diagenesis of tuffs and tuffaceous sediments*. Water-Rock Interaction Symposium 1989, 683–686.
- Leifur Símonarson 2009: *Steingervingar og eldgos*. Haustráðstefna JFÍ. Ágrip erinda. Jarðfræðafélag Íslands, bls. 37-40.
- Sveinn P. Jakobsson (1968). *The geology and petrography of the Vestmann Islands*. Surtsey Research Progress Report IV:113–132.
- Sveinn P. Jakobsson (1979). *Petrology of Recent basalts of the Eastern Volcanic Zone, Iceland*. Acta Naturalia Islandica 26, 103 bls.



Mynd 1. Horft til suðurs frá Eldfelli. Hólarnir í forgrunni eru suðurendi gossprungunnar frá 1973. Jarðborinn Sleipnir sést hægra megin við enda hennar. Sæfell er í bakgrunni.



Mynd 2. Einfaldað jarðlagasnið af holu HH-8 og tengsl við holu HB-1 sem staðsett er um 2,5 km NNA HH-8.



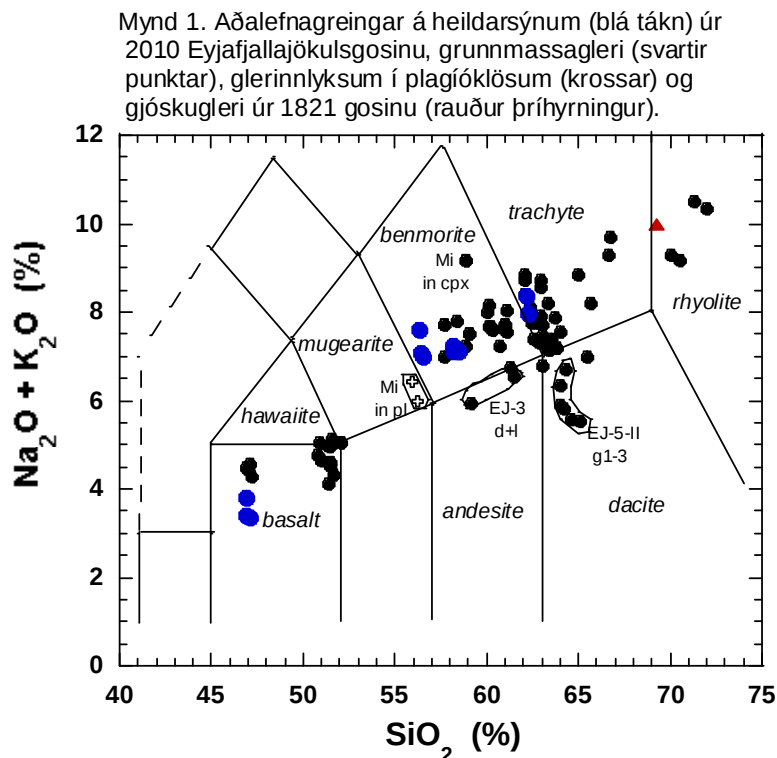
Mynd 3. Líkan af jarðlögum í berggrunni Vestmannaeyja.

Dýnamísk kvikublöndun í Eyjafjallajökulsgosinu

Olgeir Sigmarsson^{1,2}, Ármann Höskuldsson¹, Guðrún Larsen¹, Þorvaldur Þórðarson³

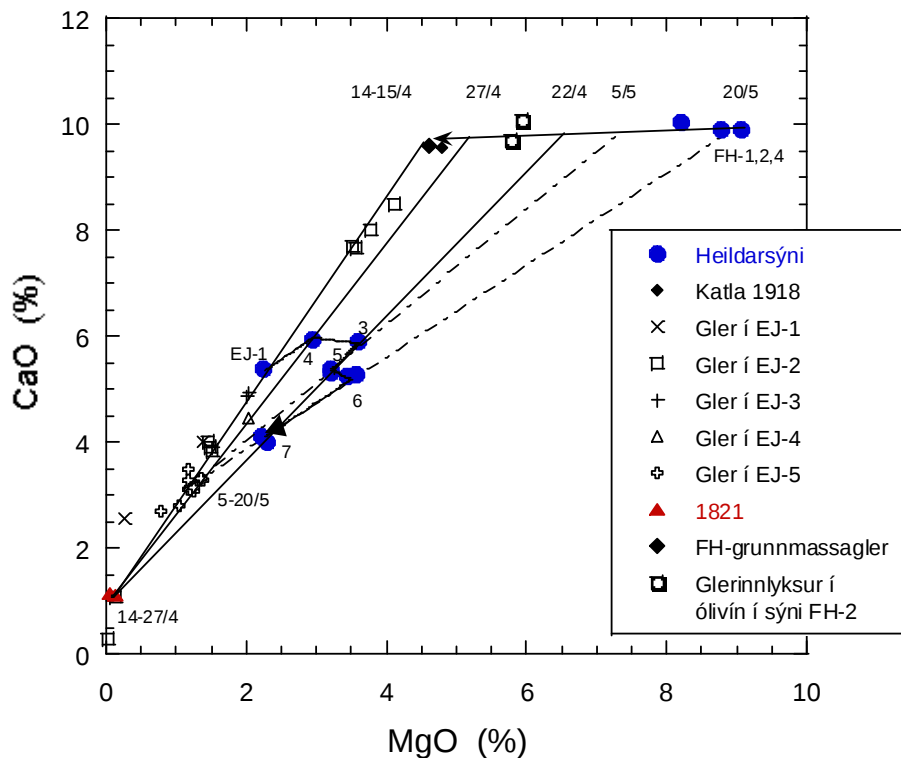
¹Institute of Earth Sciences, Science Institute, University of Iceland, 101 Reykjavík, Iceland. ²Laboratoire Magmas et Volcans, CNRS-Université Blaise Pascal-IRD, 63038 Clermont-Ferrand, France. ³School of GeoScience, University of Edinburgh, Grant Institute, Edinburgh EH9 3JW, UK

Síðasta eldgos Eyjafjallajökuls var mjög fróðlegt náttúrufyrirbæri ekki síst vegna fjölbreytileika í goshegðun og samfarandi breytileika á kvikugerð sem kom upp á yfirborð. Gosið hófst með sprungugosi á Fimmvörðuhálsi seint þann 20. mars þar sem tveir strombólsskir gígar hlóðust upp í kröftugri kvikustrókvirkni. Basaltkvikan, sem afgangið að miklu leyti í gígnum, rann seig norður af hálsinum ofan í gilin tvö, Hrunagil og Hvannárgil. Eftir rúmlega þriggja vikna basaltframreiðslu slokkaði í gígnum en þann 14. apríl hófst sprengigos úr toppgíg Eyjafjallajökuls. Splundrun ísúrrar kviku varð vegna gasútleysinga í gosrás og hraðrar kælingar á u.þ.b. 1050 °C heitri kviku vegna snertingar við jökulbráð. Afleiðing var mjög fínkornótt aska sem truflaði flugumferð um stóran hluta Evrópu. Þessi freatómagmatíski gosfasi entist í eina viku áður en gosrásin einangraðist frá jöklinum. Þá tóku við vúlkanskar sprengingar með tilheyrandi gasríku bomburegni og hraunrennsli niður undir Gígjökli en kraftur þeirra dvínaði eftir því sem leið á aprílmánuð og fyrstu daga maímánaðar. Þann 5. maí jókst síðan sprengikrafturinn á ný samhliða miklu brennisteinsútstreymi en degi áður urðu mjög djúpir skjálftar nálægt mörkum skorpu og möttuls. Virknin lognaðist síðan út af og um 22. maí má telja að gosinu hafi lokið.



Alls gusu þrjár bergtegundir, samkvæmt staðlaðri alþjóðlegri flokkunaraðferð sem byggir á summu natríum- og kalíoxíða sem falli af styrk kísiloxíðs í heildarefnasamsetningu bergs (sk. TAS-línurit; mynd 1): fyrst millibasalti á Fimmvörðuhálsi en síðan benmoríti úr toppgígnum og trakýti í lok gossins. Basaltið varð alkalískara og frumstæðara í lok gossins á Fimmvörðuhálsi, og innihélt umtalsvert magn af ólivín og plagióklas dílum ásamt klínópyroxen og magnetíti. Frumstæðustu ólivíndílarnir höfðu allt 86% Fo þátt og krómríkar spínellinnlyksur. Benmorítið var aftur á móti steindasnautt en með fjölbreytilegt samsafn steinda: plagióklas, klínópyroxen, ólivín, magnetít, apatít og pýrít. Jafnframt gaus súrum hnyðlingum sem innihéldu trídýmít, anorþóklas, ferróhedenbergít og flúorít. Sem dæmi um samsetningarbreytileika steindanna þá spannaði feldspatið samsetningarbilið frá An 86% til An 1%. Þann 5. maí gaus kvika sem innihélt ólivín með Fo80 í kjarnanum en Fo50 við jaðarinn og hálfbráðinn ólígóklas sem virðist hafa hitnað upp fyrir bræðslumark vegna innstreymis heitrar og djúpstæðrar kviku. Grunnmassagler basaltsins hefur mjög svipaða samsetningu og Kötlubasalt (mynd 2) en hraðkælda glerið sem kom upp í byrjun sprengigossins hefur mjög breytilega samsetningu (basískt, ísúrt og súrt gler). Þessi mikli breytileiki kvikugerða bendir eindregið til ófullkomnaðrar kvikublöndunar eða skorts á tíma til betri blöndunar á ólíkum kvikutegundum fyrir gos.

Mynd 2. Styrkur CaO sem fall af styrk MgO í heildarsýnum (FH: Fimmvörðuhálsi; EJ: Eyjafjallajökull), grunnmassagleri, glerinnlyksum í ólivínnum og 1821 gjósku. Sýndur er þróunarvektor kviku sem orðið hefur fyrir aðskilnaði ólivíns og plagióklas frá frumstæðu basalti og tengir saman basalt-samsetningu af Fimmvörðuhálsi og Kötlubasalts. Blöndunar-línur basalts og súrrar kviku eru líka sýndar. Dagsetningar á mismunandi samsetningum basalts og súrrar bráðar gefur til kynna hversu dýnamísk kvikublöndunin var í gosinu.



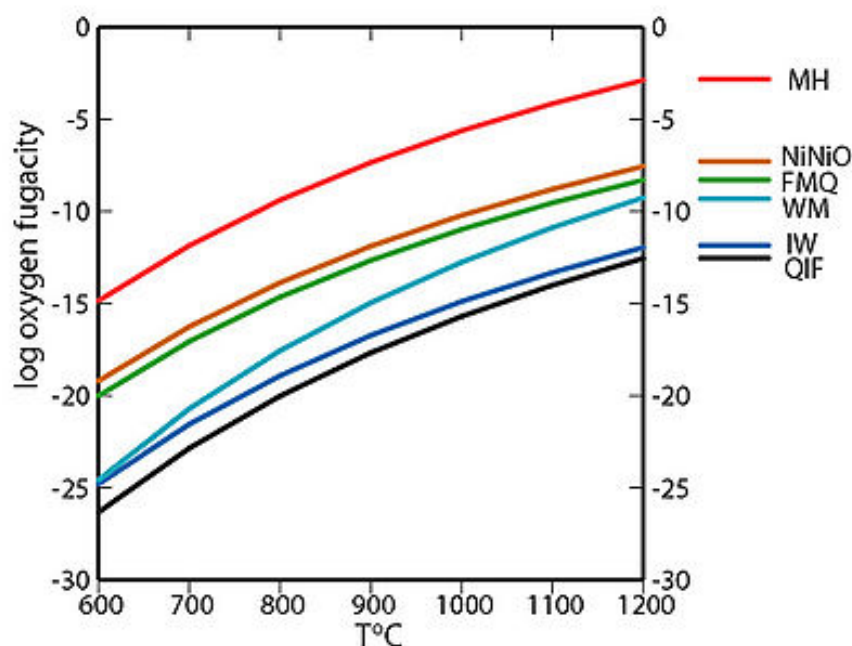
Líklegast er að frumstætt basalt hafi skotist inn undir lítið virka eldstöð og upp að hálfstorknuðu súru innskotsbergi (hugsanlega mynduðu í síðasta gosi; 1821-23) sem hamlaði frekara risi basaltsins upp í gegnum skorpuna. Á leið sinni að neðan hefur basaltið tapað stórum hluta af uppleystum rokgjörnum efnum í gasfasa og kristallast því að hluta til. Innstreymi frumstæða basaltsins varð því að finna sér aðra leið upp á við sem endaði með gosi á Fimmvörðuhálsi. Upphitun súra innskotsbergsins og samsöfnun af gasi úr þróaða basaltinu braut loks leið upp á við í samræmi við skjálfta í miðri skorpunni skömmu áður en kvikan reis og gaus upp um toppgíginn. Basaltsamsetningin sem blandaðist fyrst við súra bergið er af þróaðri samsetningu (svipað Kötlubasalti) en breyttist með tímanum og varð að lokum lík þeirri sem gaus á Fimmvörðuhálsi (mynd 2). Súраста kvikan kom í lok gossins þegar hlutur basalts í kvikublönduninni var orðinn mun lægri en áður. Eyjafjallajökull virðist því eiga nóg af súrri kviku í iðrum sér sem líklegast er afgösuð og kraftlítill og þarf því á hita og krafti frá basaltinu að halda til að verða goshaef. Því virðist sem basaltvirknin stjórni goshegðun Eyjafjallajökuls þó oftar gjósi hann súrri kviku.

Oxun bergkviku metin með greiningu Fe(III)/Fe(II) í bergi

Níels Óskarsson

Jarðvísindastofnun Háskólans, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík

Bergbráð er vökvahluti bergkviku og tekur til alls fljótandi efnis og uppleystra lofttegunda í því. Bergkvika er aftur á móti bergbráð að viðbættum þeim kristöllum, sem í henni eru. Náttúrulegt gler kemst mjög nærri því að vera storknuð bergbráð og í þessu spjalli er rætt um gler og bergbráð sem eitt og hið sama. Til þess liggja ærin rök að hlutfall þrigilds og tvígilds járns Fe(III)/Fe(II) í gleri endurspeglar ríkjandi hlutþrýsting súrefnis við storknun þess. Ef uppleyst járn, allt eða að hluta, myndar oxíð í bráðinni ráða efnahvörfin $2\text{FeO} + \frac{1}{2}\text{O}_2 = \text{Fe}_2\text{O}_3$ hlutfallinu Fe(III)/Fe(II) sem þannig endurspeglar hlutþrýsting súrefnis í bráðinni. Hvörf steinda, sem stýra súrefnisþrýstingi, eru vel skilgreind (Myers, J and H. P. Eugster, 1983) en þau helstu eru rakin á mynd 1.

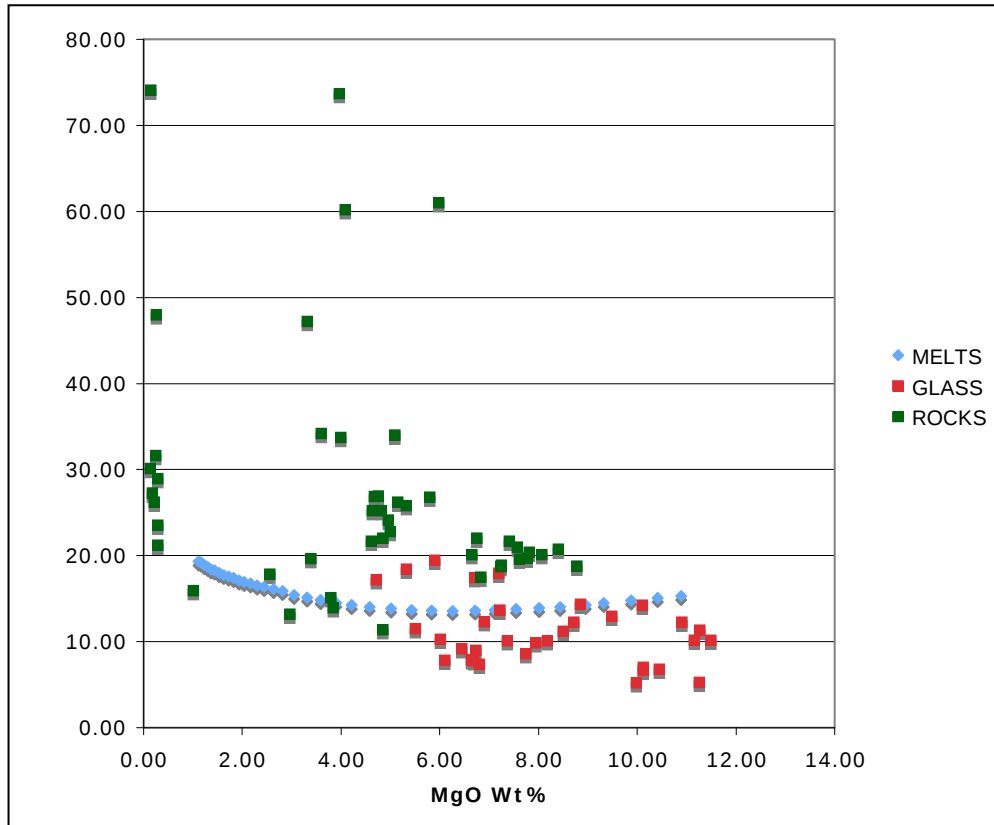


Mynd 1. Myndin sýnir $-\log f\text{O}_2$ á móti hitastigi, $T^\circ\text{C}$, fyrir nokkur kvörðuð efnahvörf. Yfirgnæfandi meirihluti gosbergs og basaltglers liggur milli FMQ- og MH hvarfanna. Myndin er gerð eftir jöfnum B. R. Frost í bókinni: *Mineralogical Society of America "Reviews in Mineralogy" Volume 25, "Oxide Minerals: Petrologic and Magnetic Significance"* (D. H. Lindsley, editor) (1991) (MH, magnetit-hematit; NiNiO, nikkell-nikkell oxíð; FMQ, fayalít-magnetit-kvarz; WM, wústít-magnetit; IW, járn-wústít; QIF, kvarss-járn-fayalít).

Sambandið milli súrefnisprýstings og Fe(III)/Fe(II) hlutfallsins í bergbráð hefur verið kvarðað og er notað í forritum, t.d. MELTS (Ghiorso *et al.*, 1995), til að reikna Fe(III)/Fe(II) hlutfall bráðarinnar sem fall af hitastigi. Þótt sú kvörðun sé e.t.v. ekki endanleg er gott samræmi milli mismunandi forrita eða innan við hálfu log-einingu.

Fe(III)/Fe(II) hlutfall í Mg-ríku bólstragleri úr úthafsbasalti er gjarna lágt eða um 0,05-0,08. Dulkornótt berg innan við bólstraglerið er aftur á móti oxaðra með Fe(III)/Fe(II) hlutfall um 0,15-0,30 (Christie *et al.*, 1986). Fe(III)/Fe(II) gildin fyrir dulkornótta hlutann eru mjög nálægt reiknuðu Fe(III)/Fe(II) hlutfalli við FMQ-hvörfin á liquidus-hita bergsins en bólstraglerið bendir jafnan til lægri súrefnisprýstings, sem nemur um 1-2 log-einingum. Bent hefur verið á (Christie *et al.*, 1986) að munurinn milli bólstrabergs og bólstraglers sé kominn til vegna oxunar bólstrabergsins þegar vetnisgas tapast úr bráðinni. Ef rétt reynist myndu þau ferli leiða til þeim mun meiri oxunar, sem kvikan væri vatnsríkari. Nokkrar rannsóknir liggja fyrir um oxunarstig járns í íslensku basaltgleri og öskulögum, m.a. (Óskarsson *et al.*, 1994; Helgason *et al.*, 1998).

Í þessu spjalli er greint frá Fe(III)/Fe(II) greiningum á basalti; bæði gleri og bergi af samsetningum frá frumstæðu olivín-þóleiíti (10% MgO) til þóleiíts (4,5% MgO). Einnig er greint frá Fe(III)/Fe(II) greiningum af ísúru og súru gosbergi. Til að sýna oxunarstig með hliðsjón af samsetningu bergsins er hundraðshluti Fe(III) af heildarjárni sýnt á móti MgO í berginu í mynd 2. Til að tengja þessar stærðir oxunarstigi járns við FMQ-hvörfin er sýndur reiknaður ferill (MELTS) fyrir jafnvægiskristöllum basalts (10% MgO) frá liquidus-hita við 3 kb (1259°C) og niður í 900°C. Við kristöllum basaltsins má líta á MgO sem (ó)línulegan mælikvarða á jafnvægishita.



Mynd 2. Oxunarstig járns á móti MgO fyrir gler og berg. Lóðrétti ásinn er hundraðshluti Fe(III) af heildarjárni. Bláir tíglar sýna reiknaða jafnvægiskristöllun skv. forritinu MELTS (Ghiorso *et al.*, 1995) við 3 kb þrýsting og 0,2% vatnsinnihald. Liquidus-hiti bergsins (lengst til hægri) er 1259°C en hver punktur sýnir 10°C hitastigslækkun. Rauðir ferningar tákna glersýni en grænir ferningar tákna bergsýni.

Það kemur greinilega fram á mynd 2 að glerið er að jafnaði undir FMQ hvörfunum en þetta er samt ekki algilt. Munurinn er mestur í Mg-ríku basalti en milli 5% MgO og 7 % MgO er jafn algengt að glerið liggi yfir FMQ-hvörfunum. Þótt það sé staðfest á mynd 2 að langmestur hluti bergsýnanna liggur hátt yfir FMQ-hvörfunum er einnig staðfest að þróað basalt, ísúrt berg og rýólít liggja einnig á FMQ-ferlinum. Svo gæti virst að kenningin um oxun vegna vetnistaps, sem er óhjákvæmileg, gæti skýrt oxun í hluta basaltsýnanna. Samt er ótrúlegt að þess sjái helst stað í basalti, þar sem vatnsmagnið er lægst og mest af tvígildu járni. Enn ótrúlegra er að vatnsríkt ísúrt og súrt berg storkni án þess að oxast vegna vetnistaps, sé sú oxun yfirleitt af þeirri stærðargráðu að þess sjái stað í Fe(III)/Fe(II) hlutfallinu.

Sú tilgáta er sett fram hér að oxun bergs sé að mestum hluta til komin vegna utanaðkomandi vatnsgufu. Það er staðfest að Fe(III)/Fe(II) hlutfallið í frumstæðri basaltbráð liggur undir FMQ-hvörfunum. Það er því óhjákvæmilegt að fyrsta oxun, sem bergið verður fyrir stilli hlutfallið nálægt FMQ-hvörfunum. Svo virðist sem oxunarstig kviku geti dvalið á FMQ-hvörfunum þar til utanaðkomandi oxunaráverki ofgerir hvarfarýmd bergbráðarinnar. Hér kemur einmitt fram sú staðreynd að stjórnun súrefnisþrýstings á einungis við um bergbráðina og því meiri sem kristöllun efnisins er þeim mun skemur getur bráðin haldið í við utanaðkomandi oxun. Mismunurinn milli oxunarstigs bólstraglers og bólstrabergs gæti þá skýrst af því að glerþekja bólstranna er engan veginn gufuheld eftir að kólnunarsprungur myndast á hitabilinu 600-700 °C og oxun bólstrabergsins gæti þá verið vegna utanaðkomandi vatnsgufu. Oxun vegna vetnistaps og áhrifa frá því vatni sem uppleyst var í bráðinni er

vissulega til staðar. Þetta er sjáanlegt í oxuðum rákum við loftbólufleti í straumflögóttu ísúru og súru bergi þar sem upphaflegt vatnsmagn hefur að líkindum verið um 1-5%. Hitt er ólíklegra að þessa sjái stað í frumstæðu basalti þar sem vatnsinnihaldið er um 0,1-0,3%.

Niðurstaðan af þessum greiningum er sú að oxunarstig bergs getur vissulega gefið vísbendingu um þætti í goshegðun, einkum hvort grunnvatn hefur eimast upp við gosrásina og valdið oxun bergsins. Einkum er áhugavert að kanna að hvort oxun og breyting í samsætu hlutfalli súrefnis helst í hendur í þeim hraunum þar sem samsætu hlutfallið er breytilegt.

Heimildir

- Myers, J and H. P. Eugster, 1983, The system Fe-Si-O: Oxygen Buffer Calibrations to 1500K, Contrib, Min. Petrol, 82, 75-90.
- Christie, D. M., I. S. E. Carmichael and C. H. Langmuir, 1986, Oxidation state of mid-ocean ridge basalt glasses, Earth Planet. Sci. Lett., 79, 397-411.
- Helgason, Ö., Steinþórsson, S., Kristján Jónsson, Óskarsson, N., Jiang, J., Mössbauer studies on tephra from post-glacial eruption in southern Iceland. *Hyperfine Interactions C-3*, bls. 356-359 (1998).
- Óskarsson, N., Ö. Helgason and S. Steinþórsson, 1994: Oxidation state of iron in mantle-derived magmas of the Icelandic rift zone. *Hyperfine Interactions*, 91: 733-737.
- Ghiorso, M. S., and R. O. Sack, (1995) Chemical Mass Transfer in Magmatic Processes. IV. A Revised and Internally Consistent Thermodynamic Model for the Interpolation and Extrapolation of Liquid-Solid Equilibria in Magmatic Systems at Elevated Temperatures and Pressures. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 119, 197-212

Segulsviðsfrávikíð við Stardal og orsakir þess: yfirlit um rannsóknir 1968-2010

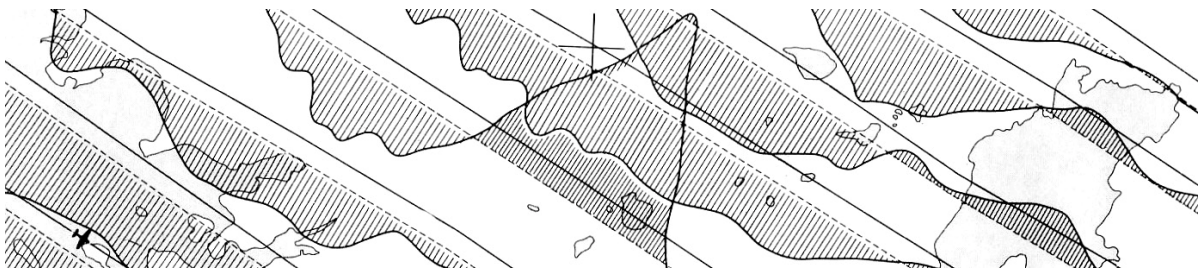
Leó Kristjánsson¹, Haraldur Páll Gunnlaugsson², Suzanne A. McEnroe³
og Karl Fabian³

¹Jarðvísindastofnun Háskólans, ²Eðlis- og stjarnfræðistofnun Árósháskóla,

³Jarðfræðistofnun Noregs, Þrándheimi

Inngangur - fyrstu rannsóknir

Á Íslandi hafa fundist mörg frávik (óreglur, anomalies) í jarðsegulsviðinu sem stafa af óvenjulegri segulmögnun bergsins undir yfirborðinu. Eitt það stærsta fannst 1968 við Stardal sunnan Esju, 8-10 km í þvermál og um 4500 nT í 900 m hæð (mynd 1, Sigurgeirsson 1970). Í 360 m hæð náði það >7000 nT (sjá kort í Kristjánsson 1987). Í bylgyubrots-jarðsveiflumælingum víða um land (, Fig. 37 í Pálmason 1971) var áætlað að efra borð „lags 3“, sem oftast var á 2,5-4 km dýpi, næði upp á um 0,5 km dýpi við Stardal. Áður var vitað um hæð í þyngdarsviðinu þar, um 10 mGal og 8 km að stærð (Einarsson 1954).



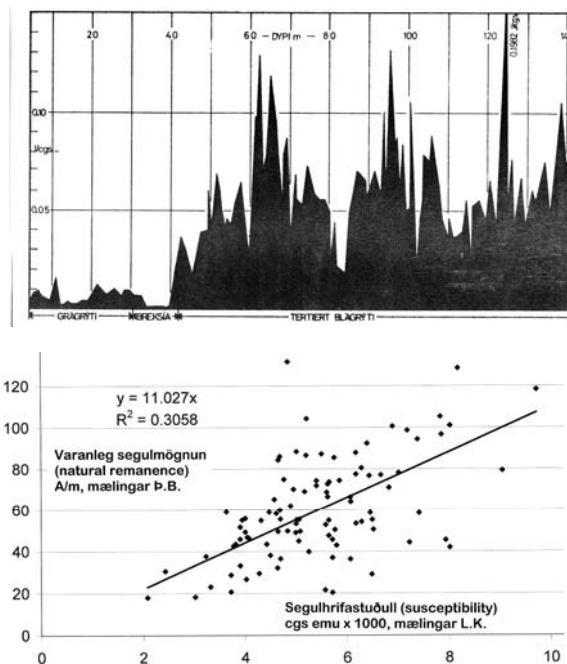
Mynd 1. Bútur af flugsegulkorti (Sigurgeirsson 1970) frá Kollafirði austur fyrir Þingvallavatn. Stardals-hæðin er inni í aflangri lægð sem væntanlega stafar af bergi frá hinu „öfuga“ Matuyama-segulskeiði.

Tilvist segulfráviksins vakti umræður og tilgátur. Gerðar voru mælingar á segulsviðinu á jörðu niðri (Kristjánsson 1969, Búason 1971) og náði fráviksgildi þess mest um 27000 nT. Líkanreikningar bentu til að segulfrávikíð mætti að miklu leyti hugsast samsett úr tveim toppum. Annarsvegar væri það um 7 km breið hæð að hámarki um 5000 nT á jörðu niðri, hinsvegar toppur astantil í henni sem stafaði frá hlut að flatarmáli um 200 x 600 m. Hlutturinn næði upp að 50-70 m dýpi og heildar-segulmögnunin í honum væri 50-60 A/m.

Í millitíðinni hafði komið í ljós að þarna var megineldstöð með öskjusigi (Friðleifsson og Tómasson 1972, Friðleifsson og Kristjánsson 1972, Friðleifsson 1973, 1985). Áþekk segul-, þyngdar- og bylgyhraðafrávik koma fram í fleiri megineldstöðvum og má ímynda sér að þau tengist t.d. keilugöngum eða gabbróhleifum. Það er þó lítt rannsakað enn. Aldur rétt segulmagnaðs bergs innan Stardalsöskjunnar hefur verið áætlaður um 2 milljónir ára.

Borun og rannsóknir á kjarnasýnum til 1973

Boraðar voru þrjár holur á svæðinu 1969-71 (Friðleifsson og Tómasson 1972), ein nálægt toppi segulfráviksins. Tekinn var kjarni niður á 143 m dýpi og síðan svarf að 200 m. Skoðun borkjarnans og mælingar á sýnum gáfu til kynna að grágrýti og brotaberg væri á fyrstu 41 metranum, en síðan tóku við um tuttugu hraunlög úr talsvert ummynduðu ólivín-þóleiiti. Það var nokkuð þétt í sér, en rúmþyngd þess þó aðeins um $2,5 \text{ g/cm}^3$. Lögin höfðu mjög sterka varanlega segulmögnun (natural remanence). Mælingar (Búason 1971, sjá mynd 2) úr 103 sýnum sýndu að styrkur segulmögnunarinnar flókta tilviljanakennt með dýpi en var að meðaltali 61 A/m. Þetta er mjög hátt: í íslenskum tertíer-hraunum er meðaltal þessa eiginleika um 4 A/m og afar sjaldgæft að finna hærri gildi en 40 A/m. Leitað var að sterkt segulmögnuðu bergi í opnum þarna í kring en ekkert fannst. Halli segulstefnunnar í sýnunum var að meðaltali $+81^\circ$, með staðalfrávik 4° sem er mjög lítið.



Mynd 2. T.v.: graf (Steinþórsson og Sigvaldason 1971) af styrk segulmögnunar í Stardals-kjarnanum sem fall af dýpi niður á 143 m. T.h.: vensl tveggja seguleiginleika í þeim sýnum af 41-143 m dýpi sem enn eru til.

Svonefndur segulhrifastuðull (susceptibility) endurspeglar nokkurn veginn innihald bergsins af magnetíti (Fe_3O_4), þannig að 1% af rúmmáli til gefur 0,0022 cgs-einingar. Í sýnum úr Stardal fékkst (Búason 1971, L.K. óbirt) meðaltalið 0,0054 á meðan meðaltöl úr syrþum tertíerhraunlaga eru um 0,002 einingar og kvarterhraun gefa enn lægra. Jákvæð vensl (Mynd 2 t.h.) voru milli segulhrifastuðulsins og styrks hinnar varanlegu segulmögnunar, sem bendir til þess að í sýnunum sé oxunarstig magnetítsins nokkuð svipað (Wilson o.fl. 1968).

Bergfræði margra sýna af borkjörnunum var rannsökuð (Steinþórsson og Sigvaldason 1971) í smásjá, með röntgengeislum og efnagreiningum (þar með snefilefni) og eitt sýni með örgreini. Járninnihald þessa bergs reyndist í hærri lagi miðað við íslensk hraun yfirleitt. Einna athyglisverðast var að járníð væri að óvenju miklu leyti í magnetíti. Það magnetít var einungis lítillaga oxað í átt að maghemiti, $\square\text{-Fe}_2\text{O}_3$ og titansnautt (meðan magnetítíð í íslensku blágrýti inniheldur oft talsvert títan) en samvaxið við litla ilmenítstafi. Einnig sáust í Stardals-sýnunum hópar smárra kúbískra magnetítkorna.

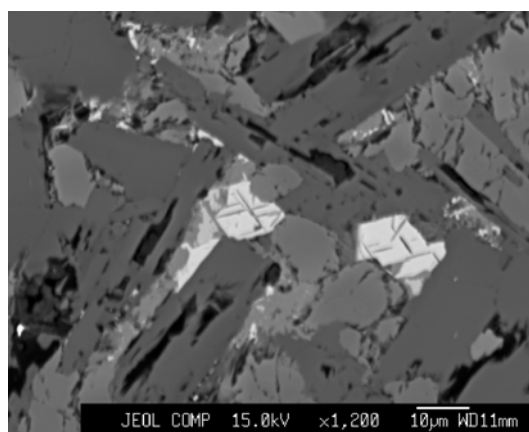
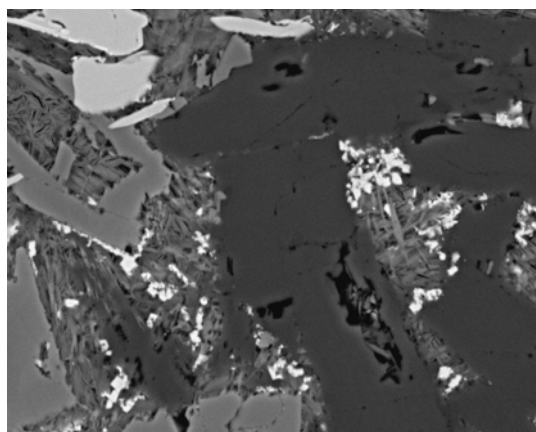
Við upphitun nokkurra sýna í segulsviði (thermomagnetic analysis, Friðleifsson og Kristjánsson 1972) var staðfest að meginsegulefnið í hinum sterkt segulmagnaða hluta kjarnans væri nokkuð hreint magnetít, eitthvað oxað (cation-deficient) og breyttist að hluta í hematít ($\square$ - Fe_2O_3) við upphitun í lofti. Við riðstraums-afseglun fimm sýna að 60 mT breyttist stefna segulmögnunarinnar lítið: það segir m.a. að seigjusegulmögnun (viscous remanence) sé ekki til staðar. Í fjórum sýnanna var fremur auðvelt að eyða segulmögnuninni með riðstraums-sviðinu: helmingur hennar var horfinn við um 20 mT sviðstyrk. Það benti til þess að kornagerð magnetítsins væri svipuð og oftast gerist í tertíerbergi hér (sjá aftast).

Niðurstöður rannsókna 1968-73 og óleyst vandamál

Hina sterku segulmögnun Stardalshraunanna mátti sem sagt skýra að nokkru með hinu háa magnetítinnihaldi þeirra. Að öðru leyti gátu orsakir hennar legið í tilviljanakenndum aðstæðum, til dæmis óvenju sterku segulsviði við myndun hraunanna (að hluta vegna sterkrar segulmögnunar laga fyrir neðan) eða miklum kólnunarhraða. Ýmislegt varðandi tilvist háa segulsviðstoppsins var þó enn á huldu, til dæmis: varð hinn 200 x 600 m hraunastafla til sem hluti öskjufyllingar? Stafar lítill breytileiki segulhallans í kjarnanum af mjög hraðri upphleðslu? Hversvegna koma álíka segulmagnaðir hraunastaflar ekki fyrir í öðrum megineldstöðvum landsins? Hversvegna er svona mikið magnetít í hraununum? Er það upprunalegt eða orðið til við síðari ummyndun?

Rannsóknir 1990-2010

Fátt gerðist í þessum málum fram undir 1990 en þá birtust tvær greinar þar sem meðal annars var fjallað um bergfræði segulsteindanna í Stardal út frá mælingum með Mössbauertækni (Helgason o.fl. 1990, Steinþórsson o.fl. 1992). Mæld voru 28 Stardalssýni af dýpi milli 15 og 175 m auk 10 sýna af dæmigerðum íslenskum hraunlögum (flestum utan gosbeltanna). Kom þar enn fram að í sterkt segulmagnaða hluta Stardalskjarnans er magnetítið mjög hreint en í flestum hinum íslensku hraunlagasýnunum var auk títánómagnetíts talsvert af maghemíti sem höfundar telja hafa orðið til úr því við jarðhitaummyndun.



Mynd 3. Rafeindasmásjármyndir, um 100 μm á breidd. Á þeirri vinstri (ST60, Gunnlaugsson o.fl. 2006) eru að ofan t.v. stór magnetítkorn með útleystum ilmenitstöfum sem koma betur fram um miðbik hægri myndarinnar (ST88, S.A.M. og K.F., óbirt). Á báðum sést mikið af litlum magnetítkornum.

Eftir 1999 spratt enn upp áhugi á Stardalshrauninum þegar segulsviðsmælingar gervihnatta á braut um Mars gáfu til kynna tilvist mjög segulmagnaðs bergs þar: meðalsegulumögnunin er varlega áætluð a.m.k. 50 A/m (Acuña o.fl. 1999). Þá voru gerðar ýmsar athuganir á segul-eiginleikum og bergfræði nokkurra sýna úr Stardalskjarnanum og ítarlegar athuganir á steindum í tveim þeirra (Gunnlaugsson o.fl. 2004, 2006, Vahle o.fl. 2007).

Niðurstöður fyrrnefndu höfundanna eru m.a. að hluti magnetítsins í kjörnunum (væntanlega litlu kúbísku kornin sbr. Steinþórsson og Sigvaldason (1971), sjá Mynd 3) sé mjög hreinn (þ.e. Ti-snauður) og hafi orðið til úr ólivíni við upprunalega storknun bergsins. Síðari greinin tekur undir þennan möguleika en telur að litlu magnetítkornin geti einnig hafa orðið til við síðari ummyndun. Það sjónarmið passar þó ekki vel við niðurstöður úr Reyðarfjarðarboruninni 1978 (Bleil o.fl. 1982) þar sem sekúndert magnetít með sterka segulmögnun kom ekki fram fyrr en á dýpi þar sem epidót var orðið algengt. Til þess þarf nokkuð hærri hita en til myndunar klóríts sem er í Stardalskjarnanum (Steinþórsson og Sigvaldason 1971, Vahle o.fl. 2007) en í honum er ekki epidót. Síðarnefndu höfundarnir töldu segulmögnun Stardalsberg-sins að mestu stafa frá stærri magnetítkornunum fremur en þeim litlu kúbísku. Gunnlaugsson o.fl. (2006) uppgötvuðu hinsvegar að stærri kornin, sem hægt væri að rannsaka sérstaklega eftir segulskiljun mulinna sýna, hefðu lægri afseglunarsvið (coercivity) en sýnin almennt. Ennfremur bentu þeir á að í tilteknum íslenskum bergsýnum þar sem háhitaummyndun ólivíns hafi líklega átt sér stað, væri segulmögnunin ~3000 A/m á vigtarhlutfall magnetíts meðan samsvarandi tala fyrir „venjuleg“ hraun er ~450 A/m. Meðaltal fyrir Stardal er 1300 A/m, líklega samsett úr báðum þáttum.

Í nýlegum óbirtum rannsóknum (S.A.M. og K.F.) m.a. á segulheldnilykkjum (hysteresis curves) 12 sýna úr kjarnanum kemur fram að kornagerð hins segulmagnaða efnis teljist að meðaltali vera „pseudo-single-domain“ (PSD, sjá Dunlop 2002) sem er millistig milli „single-domain“ og „multi-domain“ gerða. Korn af öllum þessum gerðum gætu þó verið til staðar. Í smásjá (Mynd 3 t.h.) sést mikið af <1-2 μm magnetítkornum kringum sílíköt og eru þau minnstu ekki með ilmenítútfellingum. Færri korn eru af stærð >10 μm , sundurskorin af ilmenítþynnum eins og áður var komið fram. Staðfest er með mælingum á mettunar-segulumögnun sýnanna við upphitun, að Curie-hitastig þeirra er um 580°C sem kemur heim og saman við hreint magnetít. Hin sterka segulmögnun bergsins tengist að líkindum hinu mikla magni af PSD-efninu.

Helstu heimildir

(ítarleg skrá er á www.raunvis.hi.is/~leo/vef_rit_bibliographies.html)

- Búason Þ. (1971) Óbirt gögn um segulsviðs- og segulmögnunarmælingar, Raunvísindastofnun Háskólans.
- Friðleifsson I.B. (1973) Petrology and structure of the Esja Quaternary volcanic region, south-west Iceland. D. Phil. thesis, Oxford University, 264 bls.
- Friðleifsson I.B. (1985) Jarðsaga Esju og nágrennis. Árbók Ferðafélags Íslands 1985, 141-172.
- Friðleifsson I.B., Kristjánsson L. (1972) The Stardalur magnetic anomaly, SW-Iceland. Jökull 22, 69-78.
- Friðleifsson I.B., Tómasson J. (1972) Jarðhitarannsóknir á Stardalssvæðinu 1969-1971. Fjölrítuð skýrsla, Orkustofnun og Hitaveita Reykjavíkur, 14 bls.
- Gunnlaugsson H.P., Helgason Ö., Kristjánsson L., Steinþórsson S. (2004) Samanburður Mössbauerrófa af bergi frá Íslandi og Mars. Raust 2(2), 63-70.
- Gunnlaugsson H.P., Helgason Ö., Kristjánsson L., Nørnberg P., Rasmussen H., Steinþórsson S., Weyer G. (2006) Magnetic properties of olivine basalt: application to Mars. Phys. Earth Planet. Inter. 154, 276-289.
- Helgason Ö., Steinþórsson S., Madsen M.B., Mørup S. (1990) On anomalously magnetic basalt lavas from Stardalur, Iceland. Hyperf. Interact. 57, 2209-2214.
- Kristjánsson L. (1969) Um bergsegulmælingar. Fjölrítuð skýrsla, Raunvísindastofnun Háskólans, 26 bls. Einnig óbirt gögn 1969-71.
- Sigurgeirsson Þ. (1970) Aeromagnetic survey of SW-Iceland. Science in Iceland 2, 13-20. Einnig: A survey of geophysical research related to crustal and upper mantle structure in Iceland. J. Geomagn. Geoelectr. 22, 213-221, og segulsviðskort í kvarða 1:250.000 útg. af R.H.
- Steinþórsson S., Sigvaldason G. E. (1971) Skýrsla um bergfræðirannsóknir við Stardal. Fjölrít, Raunvísindastofnun Háskólans, 12 bls. Útdráttur: Studies of drill cores from an unusual magnetic high in SW-Iceland. EEPPC Symposium, Reading, U.K.
- Steinþórsson S., Helgason Ö., Madsen M.B., Koch C.B., Bentzon M.D., Mørup S. (1992) Maghemite in Icelandic basalts. Mineral. Mag. 56, 185-199.
- Vahle C., Kontny A., Gunnlaugsson H.P., Kristjánsson L. (2007) The Stardalur magnetic anomaly revisited: new insights into a complex cooling and alteration history. Phys. Earth Planet. Inter. 164, 119-141.

Einu sinni var ankaramít - nokkrir molar um útbasískt berg og rekbeltasögu Íslands

Kristján Geirsson

Umhverfisstofnun, Suðurlandsbraut 24, 108 Reykjavík

Í um 500 m hæð, beggja vegna Gljúfursárdals í Vopnafirði er að finna athyglisvert hraunlag. Lagið er 10-15 m þykkt, gráleitt og fínkornótt og fersklegt að sjá, en holur eru þó að stórum hluta fylltar af kabasíti og thomsoníti. Í handsýni eru áberandi dílar af svörtum pýroxen og flöskugrænu - rauðbrúnleitu ólivíni. Plagíóklasdílar eru hins vegar engir. Efnagreining sýnir að hér er um útbasískt berg að ræða með 14,89% MgO.

Undir smásjá vekja fyrst athygli stöku stórdílar af vellaga pýroxeni, um og yfir 1 sm að stærð, sem umlykja fjöldann allan af lítið eitt ávölum ólivín- og krómspínildílum. Stórdílarnir eru krómríkir, með um og yfir 1,3% Cr_2O_3 og samsetninguna $\text{Wo}_{40}\text{En}_{55}\text{Fs}_5$. Beltun er lítil sem engin. Að auki eru í hrauninu óreglulegir ágítadílar með mun minna krómminnihald (<0,5 %) og með samsetninguna $\text{Wo}_{40}\text{En}_{50}\text{Fs}_{10}$. Virðist lögun þeirra frekar ráðast af hraðri kristöllun heldur en ójafnvægi við kviku. Pýroxendílarnir eru um 5% rúmmáls hraunsins.

Ólivín er algengasta steindin í dílafasa og mælist 8-25% rúmmálsins, mest neðarlega í hrauninu. Stakir ólivíndílar eru vellaga með lítið eitt ávala ferska kjarna en jaðrar þeirra hafa ummyndast yfir í iddingsít. Greina má í þeim stöku innlyksur af krómspínli. Samsetning kjarna stöku dílanna og þeirra sem eru inni í pýroxenstórdílunum er sú sama, Fo_{87} , en einnig finnast stakir smadílar af lítið eitt frábrugðinni samsetningu (Fo_{85}).

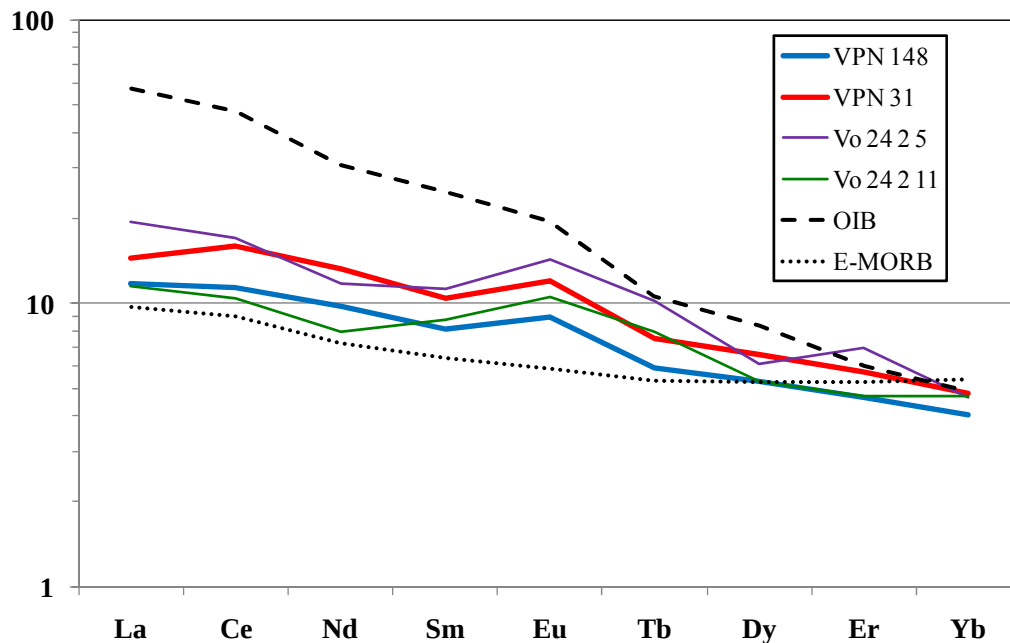
Krómspínill er sjálfstæður dílafasi auk innlyksa í pýroxenstórdílum og ólivín. Samsetning hans er nokkuð breytileg, þar sem innlyksur eru ríkari af Cr og Mg, en Fe vex frá innlyksum yfir í sjálfstæða díla og í kristalla í grunnmassa. Hlutur Ti er hins vegar nokkuð stöðugur að undanskildum jöðrum díla og í stöku grunnmassakristöllum þar sem sjá má beltun eða samkristöllun yfir í títánómagnetít. Styrkur TiO_2 er tiltölulega hár, eða um 1%.

Eins og ljóst er af framangreindri lýsingu sker hraunlagið í Gljúfursárdal sig markvert frá útbasísku bergi frá rekbeltum nútímans þar sem ólivín og plagíóklas eru ríkjandi dílafasar með krómspínli. Steindasamsetning þess svipar hins vegar til innskotsins í Hvammsmúla undir Eyjafjöllum sem Sigurður Steinhórssen lýsti í grein sinni í Acta Naturalia Islandica árið 1964.

Í hinni klassísku bergfræði var útbasískt gosberg með ólivín og pýroxendílum flokkað sem ankaramít en í samræmi við samþykktir Alþjóða jarðfræðisambandsins hefur sú nafngift verið felld niður og byggir flokkun útbasíks gosbergs í dag eingöngu á efnasamsetningu (sjá Le Bas, 2000). Í samræmi við það teljast öll framangreind berglög í dag til sömu berggerðar, pikríts.

Berg frá tertíera staflanum hefur almennt verið talið til þóleiítbergraðarinnar, myndað í rekbeltum hvers tíma. Athygli hefur vakið lítil hluti útbasíks bergs og að kvikan er frábrugðin þeirri sem myndast í miðjum rekbeltum nútímans. Þegar leitað er að nútíma samsvörun við eldvirkni frá tertíer er því frekar lítið til jaðra rekbelta. T.d. hefur berg frá Kerlingarfjöllum verið borið saman við þekktar megineldstöðvar frá tertíer, s.s. Þingmúla.

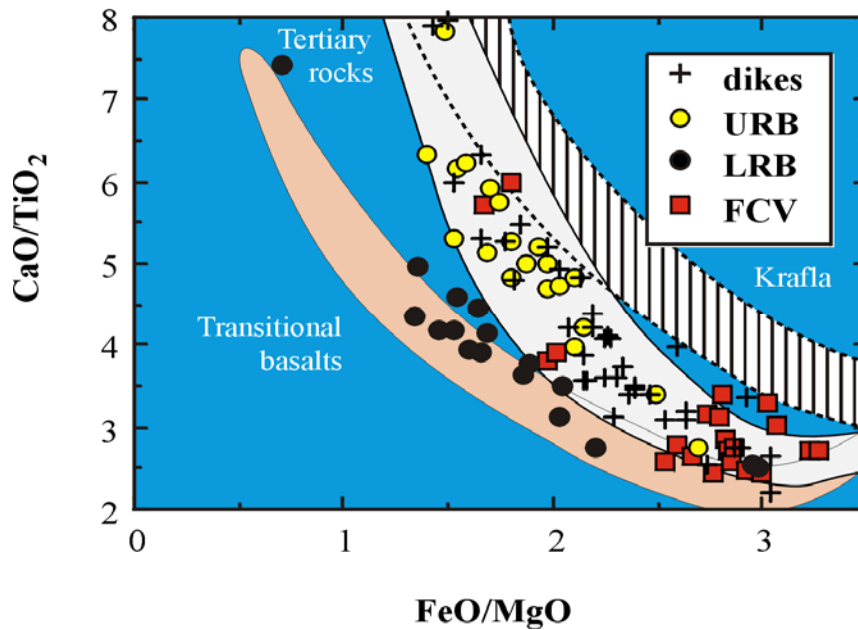
Pikrítið í Vopnafirði er hluti af hraunlagasyrpu sem liggur ofan á og hefur kaffært hraunlög frá megineldstöð sem kennd hefur verið við Fagradal (Kristján Geirsson, 1993). Hraunlög syrpu eru flest ólivínbasalt þó einstaka þóleiítbasalt hafi verið greint í feldi. Hraunlagasyrpan sker sig frá þróunarlínu annars basalts á svæðinu þar sem það er greinanlega ríkara af Ti, Fe, Mg, Na, Ni og utangarðsefnum s.s. K, Ba, Rb og Zr, en snauðara af Si, Ca og Cr miðað við þróunarstöðu (mælt sem FeO^*/MgO). Róf lanþanóíða í hraunlagasyrpunni (hér eftir nefnd LRB) er lítið eitt brattara en í öðrum sýnum af svæðinu og fellur á milli rófs auðgaðs möttuls (E-MORB) og eyjabasalts (OIB), sjá mynd 1. Nánari skoðun á glerinnlyksum í krómspínli úr pikrítinu (Ingvar A. Sigurðsson, óbirt gögn) sýnir að róf lanþanóíða í þeim fellur á svipaða línu og heildargreining bergsins (mynd 1). Rófið endurspeglar því raunveruleg einkenni frumkvikunnar sem steindirnar síðan kristölluðust úr og styrkir tengsl innan syrpu og sameiginlegan uppruna hennar.



Mynd 1. Róf lanþanóíða (REE) af sýnum frá Vopnafirði.

(VPN148 Pikrít (14,89% MgO), VPN 31 ólivín-millibasalt (8,46% MgO), Vo 24 2 5 og Vo 24 2 11 glerinnlyksur í spínli í pikrítinu (Ingvar A. Sigurðsson, óbirt gögn), OIB róf eyjabasalts, E-MORB róf auðgaðs möttuls. Greiningar sýndar sem hlutfall af frumstæðum möttli (MacDonough & Sun 1995).)

Á mynd 2 eru þróunarlínur basalts frá Vopnafirði bornar saman við þrjú dæmi frá mismunandi stöðum og tímum, í fyrsta lagi þróun basalts í nútíma megineldstöð frá miðju rekbeltinu (Krafla), í öðru lagi hinn hefðbundna þóleiítaska þróunarferill bergs frá tertíer og í þriðja lagi ferill millibasalts frá Suðurlandsgosbeltinu. Basalt frá Fagradalsmegineldstöðinni, sýni af göngum frá Vopnafjarðarsvæðinu og hluti flæðibasaltsýna (syrpa URB) falla ljúflega inn í hinn hefðbundna þóleiítaska feril meðan LRB-syrpan víkur frá hinum fyrri og fellur á þróunarferil nútíma millibasalts. Engir gangar á svæðinu falla í hóp LRB-syrpu og gefur það vísbendingu um að uppruni hennar sé fyrir utan svæðið, mögulega fyrir sunnan ellegar vestan.



Mynd 2. Samband FeO^*/MgO og CaO/TiO_2 í basalti frá Vopnafjarðarsvæðinu.

(URB Efri flæðibasaltsyrpa, LRB Neðri flæðibasaltsyrpa (millibasalt), FCV Fagradalsmegineldstöðin, dikes gangar. Svæði millibasalts, tertíers bergs og bergs frá Kröflu, frá ýmsum heimildum, sjá nánar Kristján Geirsson (1993)).

Maalö og Sveinn P. Jakobsson (1980) sýndu fram á að með auknum þrýstingi við kristöllum breytist samkristöllum pikríts frá rekbelti frá cr-sp,ol,plag í cr-sp,ol,px, líkt og er í hraunlaginu í Gljúfursárdal. Samkristöllum á ólívín, krómspínli og krómríku ágíti bendir því til myndunar á meira dýpi en gengur og gerist í hefðbundnu rekbelti, hvað þá í kvikuhólfi eða kvikulagi í skorpu. Af framansögðu er þó ljóst að steindasamsetning og efnisgerð pikrítsins verður ekki skýrð eingöngu með meiri kristöllumarþrýstingi heldur liggur skýringin í kvikugerð og uppruna syrpu. Tilvist „ankaramíts“-pikríts, gerð steinda þess og efnafræði LRB-hraunlagasyrpu bera því öll að sama brunni, nefnilega að hér er um að ræða syrpu af millibasalti í tertíera staflanum.

Áður hefur verið ýjað að því að Vopnafjarðarmegineldstöðin sé mynduð fyrir ríflegum 14,5 Mía (Kristján Geirsson, 1993, 2002) og nýlegar aldursgreiningar (Erwan Martin, óbirt gögn) hafa frekar bætt í og sýna að elstu lög megineldstöðvarinnar liggja nær 15 Mía. Hér er því um að ræða elsta berg af austanverðu landinu og er u.þ.b. jafngamalt og elsti hluti Vestfjarða. LRB-millibasaltsyrpan er nokkuð yngri, sennilega um 14 Mía ef miðað er við aldursgreiningar af lokaframleiðslu Fagradalsmegineldstöðvarinnar.

Fyrirspurn hjá Náttúrufræðistofnun Íslands leiddi í ljós að tilvist „ankaramíts“-pikríts í tertíera staflanum er ekki algert einsdæmi. Hjá stofnuninni eru á skrá nokkur sýni frá utanverðum Vestfjörðum sem höfðu verið skráð sem ankaramít. Ekki er síður merkilegur moli af sambærilegu bergi sem kom upp með vörpu báts 50 sjómílar SA af Gerpi. Efnagreiningar á sýnunum frá Vestfjörðum (Sveinn P. Jakobsson, óbirt gögn) lenda á sama ferli og millibasaltið frá Vopnafirði. Ekki liggur þó fyrir hvort í kring um þessi hraunlög séu einnig syrpu af millibasalti en óneitanlega er freistandi að skoða það mál frekar.

Þótt ekki hafi verið gerð sérstök leit að bergtegund þeirri sem einu sinni kallaðist ankaramít annars staðar á tertíerum svæðum er ansi merkileg dreifing þessara sýna í tíma og rúmi, austast og vestast á landinu. Út frá legu þeirra í staflanum er svo að sjá að pikrítið í Vopna-firði, það sem kom upp frá Gerpisgrunni og það sem greint hefur verið frá á Vestfjörðum sé frá sama tímaskeiði. Millibergröðin er einkennandi fyrir endamörk rekbelta og mót þeirra og alkalískrar eldvirkni utan rekbelta, sbr. t.d. Suðurlandsgosbeltið sem hefur verið túlkað sem framsækið rekbelti sem bræðir sig suður á bóginn inn í gamla kalda skorpu og sem liður í rekbeltaflutningi. Björn S. Harðarson o.fl. (1997) hafa leitt að því rök að fyrir u.þ.b. 15 Má hafi átt sér stað rekbeltaflutningur þar sem Snæfellsnesrekbeltið hafi tekið við af eldra rekbelti. Millibasaltsyrpur á svipuðum tíma passa ágætlega við þá mynd.

Heimildir

- Björn S. Harðarson, Fitton, J.G., Ellam, R.M. og Pringle, M.S., 1997: Rift relocation – a geochemical and geochronological investigation of a palaeo-rift in northwest Iceland. *Earth and Planetary Science Letters*, v. 153, bls. 181-196
- Kristján Geirsson, 1993: *Pétrologie d'une série tholéitique complète: le volcan central de Fagradalur, nord-est de l'Islande*. Óbirt doktorsritgerð. Université Pierre et Marie Curie, Paris VI, 218 bls.
- Kristján Geirsson, 2002: The Fagradalur Central Volcano, NE Iceland. Í: Sigurður Sveinn Jónsson (ritstjóri). *The 25th Nordic Geological Winter Meeting January 6th- 9th, 2002 in Reykjavik, Iceland*, Abstract Volume.
- Le Bas, M.J., 2000: IUGS Reclassification of the High-Mg and Picritic Volcanic Rocks. *Journal of Petrology*, v. 41, bls. 1467-1470.
- MacDonough, W.F. og Sun, S.-s., 1995: The composition of the Earth. *Chemical Geology*, v. 120, bls. 223-253.
- Maaløe, S., og Sveinn P. Jakobsson, 1980: The PT phase relations of a primary oceanite from the Reykjanes peninsula, Iceland. *Lithos*, v. 13, bls. 237-246.
- Sigurður Steinþórsson, 1964: The Ankaramites of Hvammsmúli, Eyjafjöll, Southern Iceland. *Acta Naturalia Islandica*, v. II,4, 32 bls.

Upphaf gosbeltis

Haukur Jóhannesson

Barðavogi 44, 104 Reykjavík

Höfundur hefir reifað þá hugmynd að gosbeltin flytjist til með reglubundnum hætti og að gosbeltaflutningar séu regla en ekki undantekning í jarðfræði Íslands. Í þessum fyrirlestri verður rætt um hvernig upphaf eða byrjun á gosbelti á sér stað.

Þegar gosbelti flytur sig til og byrjar á nýjum stað þá brýtur það upp eldri jarðskorpu. Í jarðlagastaflanum birtist það sem mislægi og þeim fylgja yfirleitt þykkir setlagabunkar. Bestu dæmin um slík mislegi eru Botnsmislægið yst á Vestfjörðum, Húsavíkur- eða Tröllatungumislægið í Steingrímsfirði og Hreðavatnsmislægið í Borgarfirði. Þar leggjast yngri jarðlög ofan á snaraðan stafla. Í flestum tilvikum munu mislægin sýna ástand utan sjálfs gosbeltisins þ.e.a.s. seinni tíma rof hefir opnað sýn í útjaðar þess.

Líkön af því hvernig nýtt gosbelti hefst hafa oft verið sett fram og eru þau öll keimlík. Möttulefni streymir upp og lyftir jarðskorpunni uns hún rifnar og þá sígur það svæði þar sem framtíðar gosbeltið verður. Í þessum líkönum er gert ráð fyrir að það verði mikið sig á jöðrunum. Þetta sig ætti að koma fram sem stór misgengi.

Gosbelti landsins voru skoðuð með þetta í huga og þá kemur í ljós að tvö stykki skera sig verulega úr. Annað er svæðið frá Þingvallavatni og upp með Langjökli vestaverðum en hitt er við Þeistareyki frá Tjörnesi og suður um Mývatnssvæðið. Á þessum svæðum eru misgengi sem eru óvanalega stór. Því er varpað hér fram að þetta séu einkenni á upphafi gosbeltis og stangast það á við þá skoðun sem uppi hefir verið meðal jarðfræðinga að Vesturgosbeltið sé gamalt og á síðasta snúningi. Þvert á móti bendir ýmislegt til að Vesturgosbeltið, þ.e. stykkið frá Þingvallavatni og norður fyrir Langjökul sé jarðfræðilega ungt. Eitt af því sem styður það er að þær þrjár megineldstöðvar sem þar eru, Geysis-, Prestahnúks- og Þjófadalaeldstöðvarnar, virðast lítt þróaðar og eru þær mikið frábrugðnar eldstöðvunum í gosbeltisstúfnum sem kenndur er við Hofsjökul. Hér er því varpað fram að norðurhluti Vesturgosbeltisins og Norðurgosbeltið séu jarðfræðilega ung fyrirbrigði og virknin hafi hoppað annars vegar frá Hofsjökli og vestur á Langjökulssvæði og hins vega frá Fjallgarðagosbeltinu og vestur á Öskju/Þeistareykjasvæðið.

Þegar dreifing dyngja er skoðuð þá kemur í ljós að þær eru að mestu bundnar við Vestur- og Norðurgosbeltin. Þær tengjast þeim bútum í gosbeltinu sem hér er haldið fram að séu mjög ungir. Það er vart tilviljun. Þessar dyngjur eru efnafræðilega fremur frumstæðar. Þegar hið forna Snæfellsnesgosbelti fór í gang fyrir um átta milljónum ára mynduðust þýkkar syrpur af dyngjubasalti sem sjá má á Skarðsströnd beint ofan við Tindamislægið. Þarna gæti verið samsvörun.

Grænavatnsbruni og Laxárhraun yngra

Ármann Höskuldsson, Charlotte Dyhr og Tore Dolvik

Jarðvísindastofnun Háskólans, Háskóla Íslands, Norræna eldfjallasetrið, Öskju,
Sturlugötu 7, 101 Reykjavík

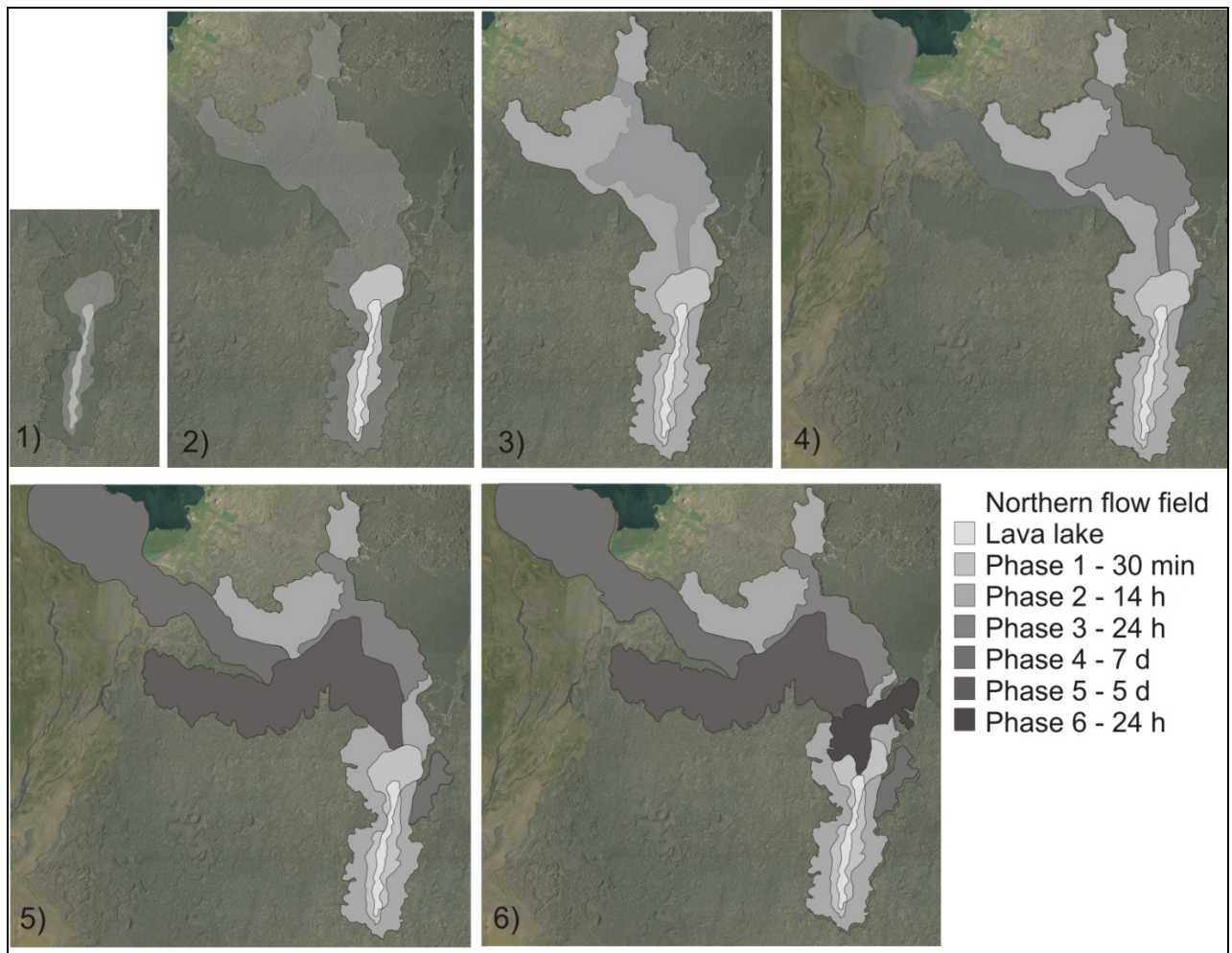
Inngangur

Grænavatnsbruni og Laxárhraun yngra eru eldvörp talin tilheyra eldstöðvarkerfi kenndu við Heiðarsporð. Kristján Sæmundsson (1991) hefur gert ýtarlega grein fyrir jarðfræði Kröflu-svæðisins og bent á að eldur var uppi í þessum tveim eldstöðvum á Hólselda tímabili Kröflu-eldstöðvarinnar. Þrátt fyrir að bergfræði þessara eldvarpa sé sviðuð þá kemur berlega fram að Laxárhraun yngra rennur yfir og liggur ofan á Grænavatnsbruna hraunum þar er þau koma saman. Í þessu greinakorni munum við gera grein fyrir framgangi eldgoss er myndaði Grænavatnsbruna og stikla á nokkrum lykilatriðum á gostíma Laxárhrauns yngra. Ennfremur munum við kynna nýjar ^{14}C aldursákvarðanir gerðar á koluðum leifum safnað undir sitt hvoru hrauninu.

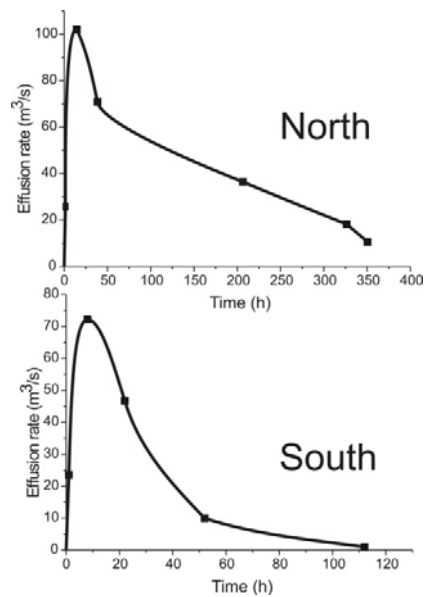
Grænavatnsbruni

Hraun Grænavatnsbruna þekja um 10 km^2 lands. Þau skiptast í tvo vel aðgreinda hraunbleðla, hér nefnt syðri og nyrðri bruni. Syðri bruninn kemur upp á tveimur skástígum sprungum með NNA stefnu, 0,7 og 1,2 km löngum (talið frá suðri). Hann þekur um 2 km^2 lands og er þykkastur næst gígum, um 20 m. Fyrstu hrauntaumarnir hafa verið mjög þunnfljótandi og myndað um 0,5 m þykka hrauntauma er má finna í útjaðri hraunflákans. Heildarrúmmál hraunsins er metið $0,03\text{ km}^3$, miðað við meðalþykkt upp á 15 m. Nyrðri hrauntaumurinn þekur um 8 km^2 lands og kemur líka upp um tvær megin sprungur með NNA stefnu, 0,9 og 0,6 km löngum talið frá suðri. Þykkt hraunflákans er mest næst gígum og í meginhraunelfunni er frá þeim liggur til NV og út í Grænavatn, um 20-25 m. Um 0,5 m þunnar spýjur standa víða undan meginhraunflákanum og má rekja til upphafs eldgossins. Kvikan sem upp kom í þessu eldgosi er plagíóklas dílótt ólivín-póleítt, þar sem plagíóklas dílar mynda minna en 10% í gjókusýnum. Til að meta framgang eldgossins voru mældar þykktir á efri skorpu hraunanna. Þykktir voru breytilegar á milli hrauntauma og í samræmi við uppbyggingu hrauntraða er frá gígum liggja. Þykktir voru síðan umreiknaðar í tíma samkvæmt jöfnunni $C = 0,00779 \sqrt{t}$ þar sem C er skorpu þykkt og t er tími sem fór í að mynda hana (Hon o.fl. 1994). Þannig var hægt að greina hraunþekjuna í sundur með tilliti til tíma og fá hugmyndir um þann tíma er eldgosið varði.

Samkvæmt þessum mælingum mun syðra hraungosið hafa staðið yfir í um fjóra og hálfan dag en það nyrðra að hámarki í 14 daga. Framganginn má síðan meta með því að kortleggja hraunflákana og mæla skorpupykktir innan hverrar einingar fyrir sig (mynd 1). Slíkar mælingar gefa góða hugmynd um framleiðni í eldgosinu. Samkvæmt því mun hámarki hafa verið náð á fyrstu 24 stundunum en farið síðan dalandi eins og gjarnan er háttur eldgosa (mynd 2). Til að ákvarða aldur Grænavatnsbruna flettum við upp hluta af þunnum hrauntaum og söfnuðum koluðu lyngi og grasi undan hrauninu. Sýnið var sent til Árósa til greiningar. Niðurstaðan var ^{14}C aldur 2156 ± 33 ár. Það gefur leiðréttan almanaks aldur á bilinu 359-260 fyrir Krist.



Mynd 1. Myndin sýnir þróun nyrðri hraunfláka Grænavatnsbruna.



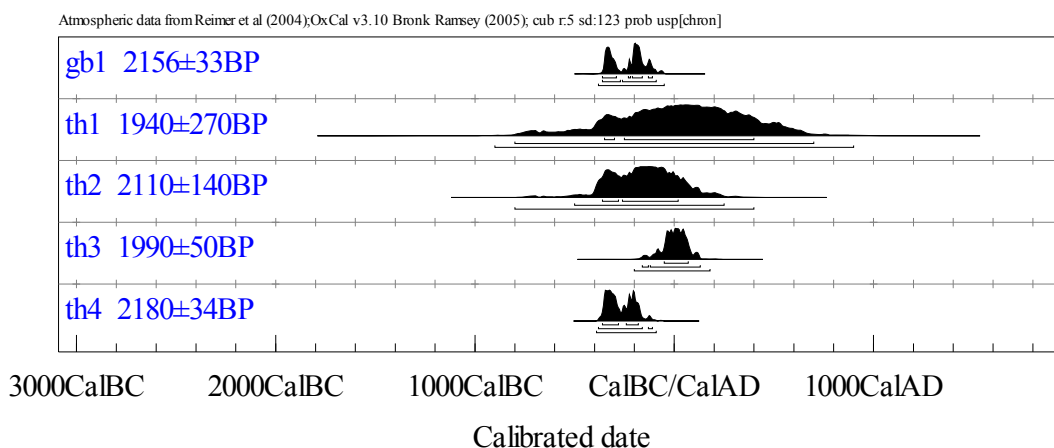
Mynd 2. Myndin sýnir hvernig framleiðni var háttáð í syðri og nyrðri hraunflákum Grænavatnsbruna. Ef sprungurnar hafa opnast á sem næst sama tíma hefur gosi lokið í syðri fláknum mun fyrr en í þeim nyrðri. Gos í nyrðri flákanum hefur hinsvegar staðið yfir í allt að 14 daga.

Laxárhraun yngra

Laxárhraun yngra rennur frá gígaröð er skiptist í tvennt og nefnist Þrengslaborgir í suðri og Lúðentsborgir í norðri. Gígaröðin er um 12 km löng. Hraunið rann vestur af frá gígaröðinni út í Mývatnslægðina og þaðan niður Laxárdal og til sjávar í Aðaldal (Sigurður Þórarinnsson 1951 og 1979, Kristján Sæmundsson 1991). Laxárhraun þekur um 220 km² lands. Þykkt þess mælist að meðaltali nærri 20 m, þar sem það safnast fyrir í lægðum og á nær flötu undirlendi í Aðaldal. Rúmmál þess mun því vera nærri 4,4 km³. Kvikan sem upp kom í þessu eldgosu er nauðalík þeirri er brann í Grænavatnsbruna. Hún er plagióklas dílött ólivínþóleítt. Dílainnihald í gjósku er litlu minna en 10%.

Í Mývatnslægðinni er mikið af gervígígum er eiga ættir að rekja til þess að Laxárhraun yngra rann yfir mýrlendi og flóa hins forna Mývatns. Gervígígarnir við Mývatn eru með þeim stærstu og myndarlegustu sem finnast á landinu og hefur því safnast töluverð hraunbráð í lægðina áður en tók að gjósa gervígígagösum. Til að nálgast tímasetningar í eldgosinu voru skorpupykktir mældar vestan við Mývatn, nærri útfalli hraunsins niður í Laxárdal. Þar háttar svo til að hraunið hefur runnið undan skorpunni, líklega þegar hraunið fann sér loks farveg niður Laxárdal. Með því að nota jöfnu Hons og félaga (1994) getum við komist að því hvenær undanrennslið hófst. Niðurstöður þessara mælinga gefa til kynna að hraunið hafi staðið uppi í lægðinni í allt að 30 daga áður en það fór að renna að ráði niður í Laxárdal.

Til að fá hugmyndir um tilurð og tímasetningar hvenær gervígígagösum byrjuðu í Mývatnslægðinni er hinsvegar hægt að notast við bergfræði kvikunnar er upp kom og breytingar á henni eftir að hún byrjar að renna á yfirborði. Mælingar á gjósku við Þrengslaborgir sýna að kvikan er smádílalaus. Hinsvegar þá sýna mælingar á gjósku frá gervígígum að vöxtur smádíla er komin á veg í kvikunni. Bera þar hæst plagióklas og ólivín. Vexti plagióklas er erfitt að henda reiður á þar sem margar og mismunandi tilraunir sýna fram á mjög ójafnan vaxtarhraða. Hinsvegar sýnir ólivín mun reglulegri hraða og því má nota hann til að áætla þann tíma sem liðinn er frá því að hraunið yfirgefur gosrás og gervígígagösum byrja. Samkvæmt okkar mælingum mun stór hluti gervígíganna við Mývatn hafa byrjað að gjósa um tveim dögum eftir að kvikan yfirgaf gosrás.



Mynd 3. Aldursákvarðanir gerðar á koluðum jurtaleifum undan Laxárdalshrauni yngra og Grænavatnsbruna. Sýni th1, th2 og th3 eru frá Guðmundi Kjartanssyni og félögum 1964. Sýni gb1 er undan Grænavatnsbruna og sýni th4 er undan syðri enda Þrengslaborga.

Grænavatnsbruni og Laxárdalshraun yngra

Þrjár aldursákvarðanir voru gerðar á koluðum jurtaleifum undan hrauninu niður í Laxárdal. Þessar niðurstöður gáfu ^{14}C aldur í kringum 2110 $\pm$ 140, 1940 $\pm$ 270 og 1990 $\pm$ 50 ár (Guðmundur Kjartansson og fleiri 1964). Kolaðir kvistir er safnað var undan sambreyskju syðri enda þrengslaborga voru sendir til Árósa í greiningu. Niðurstöður gáfu aldurinn ^{14}C 2180 $\pm$ 34 ár og eru því í góðu samhengi við fyrri greiningar. Samanburður á kolaleifum undan Grænavatnsbruna og Laxárdalshrauni hinu yngra sýna hinsvegar að aldursmunur þeirra er svo lítill að erfitt er að greina í sundur með þessari aðferð. Það kemur heim og saman við fyrri hugmyndir Kristjáns Sæmundssonar (1991). Athuganir á lagmótum hraunanna tveggja sýna að hvergi er Laxárdalshraun yngra rauðbrennt af Grænavatnsbruna. Það teljum við vera merki þess að Grænavatnsbruni hafi verið fullkólnaður þegar þrengslaborgir og Lúdentsborgir stóðu í ljósum logum. Við teljum því myndanirnar ekki samtíma heldur myndaðar með stuttu millibili í líkindum við þá atburði er við sáum í síðustu Kröflueldum. Þá hófust umbrotin á smáum eldgosum, en atburðirnir urðu ávalt meiri með hverju eldgosi (Páll Einarsson 1991).

Heimildir

- Guðmundur Kjartansson, Sigurður Þórarinnsson og Þorleifur Einarsson (1964) C^{14} -aldursákvarðanir á sýnishornum varðandi íslenska kvarterjarðfræði. Náttúrufr. 34, pp. 97-160.
- Hon, K., Kauahikaua, J., Denlinger, R. & MacKay, K. 1994: Emplacement and inflation of pahoehoe sheet flows; observations and measurements of active lava flows on Kilauea Volcano, Hawaii. Geological Society of America Bulletin 106, 3, 351-370
- Kristján Sæmundsson (1991) Jarðfræði Kröflukerfisins. Í: Náttúra Mývatns, ritstj.: Arnþór Garðarsson, og Árni Einarsson. Hið Íslenska Náttúrufræðifélag.
- Páll Einarsson (1991) Umbrotin við Kröflu 1975-89. Í: Náttúra Mývatns, ritstj.: Arnþór Garðarsson, og Árni Einarsson. Hið Íslenska Náttúrufræðifélag.
- Sigurður Þórarinnsson (1951), Laxárgljúfur and Laxárhraun: A Tephrochronological Study Geografiska Annaler, Vol. 33, pp. 1-89
- Sigurður Þórarinnsson (1979) The postglacial history of the Mývatn area. OIKOS 32, 17-28

Gossaga lesin úr dulmáli gjósku

Bergrún Arna Óladóttir¹, Guðrún Larsen¹ og Olgeir Sigmarsson^{1,2}

¹Jarðvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík. ²Lab. Magmas et Volcans, CNRS-Université Blaise Pascal, Clermont-Fd., France

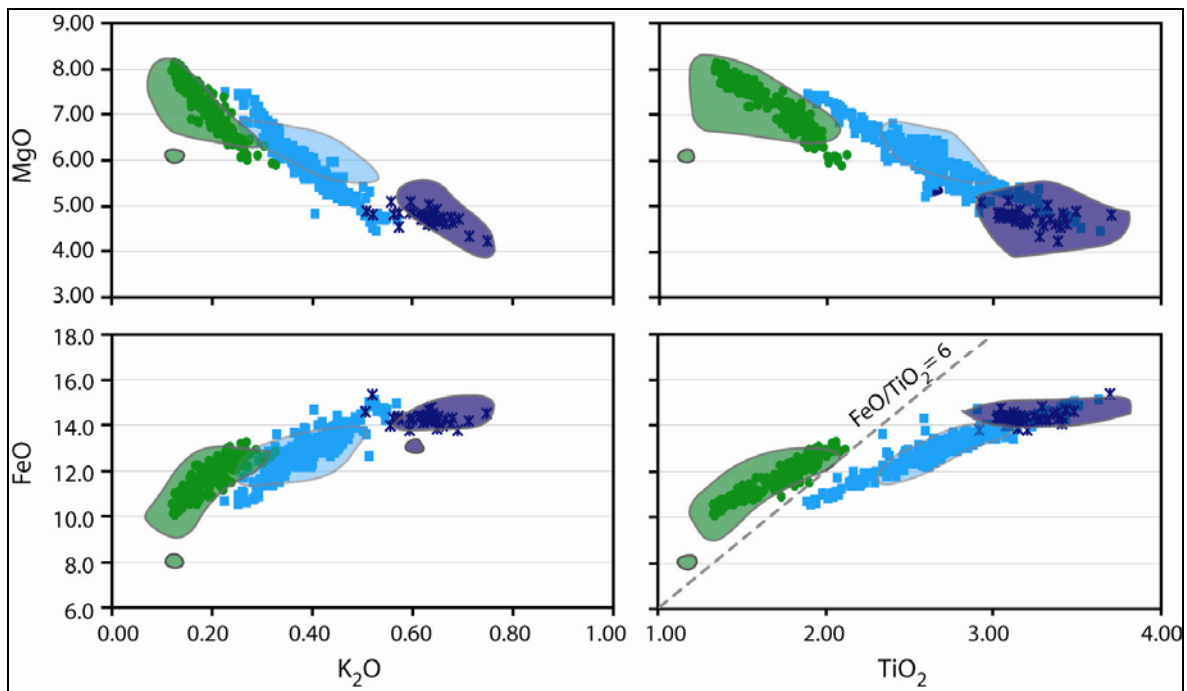
Sumarið 1972 dvaldi allstór hópur jökla- og vísindamanna á Vatnajökli við djúpborun í Bárðarbungu undir forystu Braga Árnasonar efnafræðings. Borunin og framkvæmd hennar var sú fyrsta sinnar tegundar hér á landi og var undibúin af Sigurði Steinþórssyni meðal annarra góðra manna. Sigurður skoðaði gjóskulög í kjarnanum með það fyrir augum að aldurssetja ískjarnann og studdist við ritaðar heimildir, kornastærðagreiningu og efnasamsetningu gjóskunnar greinda með örgreini (Sigurður Steinþórsson 1977). Páll Theódórsson (1973) skrifar í lýsingu sinni á borleiðangrinum: „Eftir stóð Bárðarbunga stolt og ósigruð í haustblíðunni og beið þess, að veðurguðirnir legðu enn eitt vetrarlag á hinn mikla skjöld, sem gæti orðið óbörnum kynslóðum vísindamanna rannsóknarefni“. Um 30 vetrarlögum síðar kviknaði áhugi minn á gjósku og voru rannsóknir á gjóskulögum varðveittum í Vatnajökli þá langt á veg komnar. Leiddu þær í ljós lotubundna tíðni í eldstöðvum undir jöklinum sem nær hámarki á 130 til 140 ára fresti og er að mestu stjórnað af virkni Grímsvatna (Guðrún Larsen og fleiri 1998). Vissulega geymir Vatnajökull mikinn leyndardóm sem að hluta til var ljóstrað upp við djúpborunina sumarið 1972 en þó er sá galli á gjöf Narðar að ísinn í jöklinum er einungis 800-1000 ára gamall og því er einungis hægt að rannsaka viðburði frá sögulegum tíma í jöklinum (Sigurður Steinþórsson 1977, Guðrún Larsen og fleiri 1998). Til að svipta hulunni af eldri atburðum þarf því að leita annað, ýmist í jarðveg, vötn eða út í sjó.

Við rannsóknir á forsögulegri gossögu eldstöðvakerfanna Grímsvatna, Bárðarbungu og Kverkfjalla var gjóska mæld í jarðvegssniðum umhverfis jökulinn, aldrei lengra en 30 km frá jökuljaðri, og sýnum safnað kerfisbundið. Lengst náðu jarðvegssniðin um 7600 ár aftur í tímann. Efnasamsetning gjóskunnar var mæld í örgreini og var hún notuð til að rekja uppruna gjóskunnar með samanburði við áður birtar greiningar á gosefnum frá viðkomandi eldstöðvakerfum. Hinar nýju aðalefnagreiningar mynda þrjá hópa sem hver um sig stjórnast af kvikuþróun bergrada. Þrátt fyrir að hóparnir þrír auðveldi greiningu uppruna gjósku frá eldstöðvakerfunum þremur er enn örlítil skörun á efnasamsetningu þeirra (mynd 1), sérstaklega milli Grímsvatna og Kverkfjalla. Snefilefna-greiningar voru framkvæmdar með “*laser ablation inductively coupled plasma mass spectrometry*” (LA-ICP-MS) til að skera úr um uppruna þeirra sýna sem skarast við aðalefnagreiningu. Samnýting aðal- og snefilefna við upprunagreiningu gjósku hefur því bætt nútímagjóskutímatatal umhverfis Vatnajökul umtalsvert.

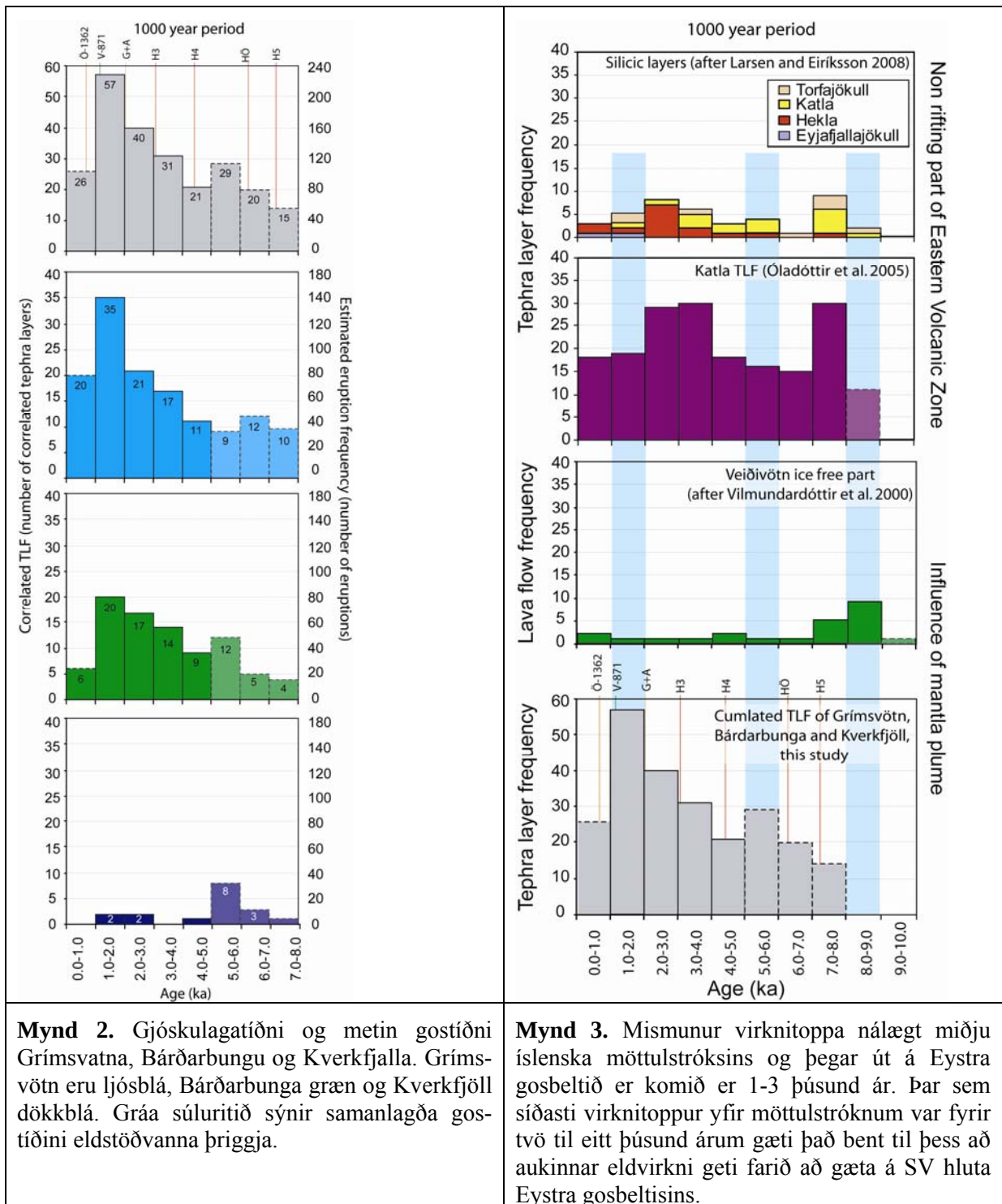
Eftir upprunagreiningu gjóskunnar og tengingar milli jarðvegssniða má áætla heildargostíðni viðkomandi eldstöðvakerfa. Til að fá mat á heildargostíðni eldstöðvakerfanna var reiknaður stuðull út frá samanburði á fjölda þekktra gjóskulaga á sögulegum tíma og þeim fjölda sem fannst í jarðvegssniðum umhverfis jökulinn. Stuðullinn reyndist vera fjórir fyrir eldstöðvakerfin þrjú, þ.e. einungis eitt af hverjum fjórum gjóskulögum frá þessum eldstöðvakerfum varðveitist í jarðvegi umhverfis jökulinn. Við tengingu jarðvegssniða voru alls voru notuð 21 leiðarlög allt í kringum jökulinn, þau helstu eru V-1477, Ö-1362, H-1158, V-871, K-Hrafkatla, G+A, H3, H4, HÖ, H5. Basísk gjóska milli leiðarlaganna var tengd út frá upphleðsluröð og efnasamsetningu. Grímsvötn, Bárðarbunga og Kverkfjöll hafa myndað 70% gjóskulaga sem finnast umhverfis Vatnajökul. Grímsvötn eru virkust bæði á sögulegum og forsögulegum tíma og hafa gosið að meðaltali 7 sinnum á 100 árum á forsögulegum tíma eða

alls ~540 sinnum síðustu 7600 árin. Næst kemur Bárðarbunga með um 350 gos á sama tíma eða um 5 gos á hverjum 100 forsögulegum árum. Kverkfjöll reka lestina með ~70 gos eða 0-3 gos á hverjum 100 árum, en virknin einkennist af löngum goshléum (allt upp í 1200 ár; mynd 2).

Öll eldstöðvakerfin þrjú höfðu hægt um sig á tímabilinu frá því fyrir 5000 til 2000 árum síðan en það er fremur rakið til djúpstæðra ferla í jarðskorpunni en til breytilegra umhverfis- aðstæðna s.s. breytinga á jökulfargi og íspekju. Á forsögulegum tíma sést eitt til þrjú þúsund ára munur á virknotoppum í eldstöðvum yfir íslenska möttulstróknum annars vegar og hins vegar í eldstöðvum á SV hluta Eystra gosbeltisins þar sem áhrif flekareks gætir lítið eða ekki. Síðasti virknotoppur yfir möttulstróknum var fyrir tvö til eitt þúsund árum síðan sem bendir til að aukinnar eldvirkni geti farið að gæta á SV hluta Eystra gosbeltisins (mynd 3).



Mynd 1. Aðalefnasamsetning Grímsvatna, Bárðarbungu og Kverkfjalla. Þekkt svið aðalefnasamsetningar eldstöðvakerfanna þriggja eru sýnd með lituðum svæðum (Jakobsson 1979; Nicholson 1990; Hémond og fleiri 1993; Kokfelt og fleiri 2006), nýjar efnagreiningar eru sýndar með punktum. Grímsvötn eru ljósblá, Bárðarbunga græn og Kverkfjöll dökk blá. Hlutfallið FeO/TiO_2 greinir vel á milli Grímsvatna og Bárðarbungu. Mjög erfitt er að greina á milli Grímsvatna og Bárðarbungu.



Heimildir

- Guðrún Larsen, Magnús Tumi Guðmundsson og Helgi Björnsson 1998. Eight centuries of periodic volcanism at the center of the Iceland hotspot revealed by glacier tephrostratigraphy. *Geology* **26** (10): 943-946.
- Páll Theódórsson 1973. Djúpborun í Bárðarbungu 1972. *Jökull* **23**:67-69.
- Sigurður Steinþórsson 1977. Tephra layers in a Drill core from the Vatnajökull Ice Cap. *Jökull* **27**: 2-27.
- Sveinn P. Jakobsson 1979. Petrology of recent basalts of the Eastern Volcanic Zone, Iceland. *Acta Naturalia Islandia* **26**: 1-103.
- Nicholson, H. 1990. The magmatic evolution of Krafla, NE Iceland. Unpublished PhD thesis, University of Edinburgh, Edinburgh, p. 286.
- Hémond, C., Arndt, N.T., Lichtenstein, U., Hofmann, A.W., Óskarsson, N. and Steinthórsson, S. 1993. The Heterogeneous Iceland Plume - Nd-Sr-O isotopes and trace-element constraints. *Journal of Geophysical Research-Solid Earth* **98** (B9), 15833-15850.
- Kokfelt, T.F., Hoernle, K., Hauff, F., Fiebig, J., Werner, R. and Garbe-Schonberg, D. 2006. Combined trace-element and Pb-Nd-Sr-O isotope evidence for recycled oceanic crust (upper and lower) in the Iceland mantle plume. *Journal of Petrology* **47**(9), 1705-1749.

Eldgos á Reykjanesskaga á 8. og 9. öld

Magnús Á. Sigurgeirsson og Kristján Sæmundsson

Íslenskar Orkurannsóknir, Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Kortlagning og aldursgreiningar á hraunum á Reykjanesskaga hefur leitt í ljós að eldvirknin síðustu 10.000 árin einkennist af gosskeiðum sem vara í 400-600 ár. Á milli gosskeiðanna eru um 600-800 ára goshlé. Á hverju gosskeiði verða flest eða jafnvel öll eldstöðvakerfin á skaganum virk. Gossaga síðustu tveggja gosskeiða er allvel þekkt og myndin af því þriðja síðasta óðum að skýrast. Um eldri gosskeið liggja fyrir takmarkaðar upplýsingar enn sem komið er, þó bætist smám saman við ný vitneskja. Tímasetning hrauna á Reykjanesskaga byggir annars vegar á C-14 aldursgreiningum á gróðurleifum undan hraunum og hins vegar á gjóskulagatímatali.

Gjóskutímatalið byggir á Heklu- og Kötlulögum ásamt gjóskulögum sem eiga upptök í sjó við Reykjanes. Landnámslagið (LNL), frá því um 870 e.Kr. (Karl Grönvold o.fl. 1995), finnst um allan skagann og er eitt mikilvægasta leiðarlagið. Á seinni hluta nútíma, síðustu 4500 árin, er stutt á milli gjóskulaga í jarðvegssniðum og tímatalið því notadrygt en neðar verður það hins vegar mun gisnara, sem takmarkar notagildi þess (Magnús Á. Sigurgeirsson og Árný Erla Sveinbjörnsdóttir 2000).

Frá síðasta gosskeiði eru þekktir þrennir eldar, þeir fyrstu á 10. öld og hinir síðari á 12. og 13. öld. Hraun frá fyrstu eldunum eru í Brennisteinsfjallakerfinu, s.s. Tvíbollahraun, Breiðdalshraun, Húsfellsbruni, Selvogshraun og Kristnitökuhraunið. Þrjú fyrstnefndu hraunin hafa verið aldursgreind (Jón Jónsson 1983). Mögulegt verður að teljast að einhver þessara hrauna hafi brunnið á 11. öld. Öll liggja þessi hraun ofan á Landnámslaginu og undir Miðaldalaginu (ML) frá 1226.

Við kortlagningu hrauna í Brennisteinsfjöllum og í Krýsuvíkurkerfinu síðustu tvö sumur kom í ljós að þar er að finna hraun sem liggja fast undir Landnámslaginu. Lítill sem enginn jarðvegur er sjáanlegur þar á milli. Næsta þekkjanlega gjóskulag undir þessum hraunum, eða gjalli frá upptakagígum þeirra, er Heklugag sem er 1400-1500 ára gamalt (kallað „Gráa lagið“ vegna sérstaks litar). Yfirleitt er nokkur jarðvegur á milli „Gráa lagsins“ og hraunanna. Út frá afstöðu hraunanna til gjóskulaga teljum við að þau séu frá 8.-9. öld (mynd 1). Ljóst er að hraunin tilheyra síðasta gosskeiði en ekki því næsta á undan sem varð fyrir um tvö þúsund árum. Síðasta gosskeið lengist því um allt að 200 ár og spannar tímabilið frá um 750-1240 e.Kr., eða um 500 ár.

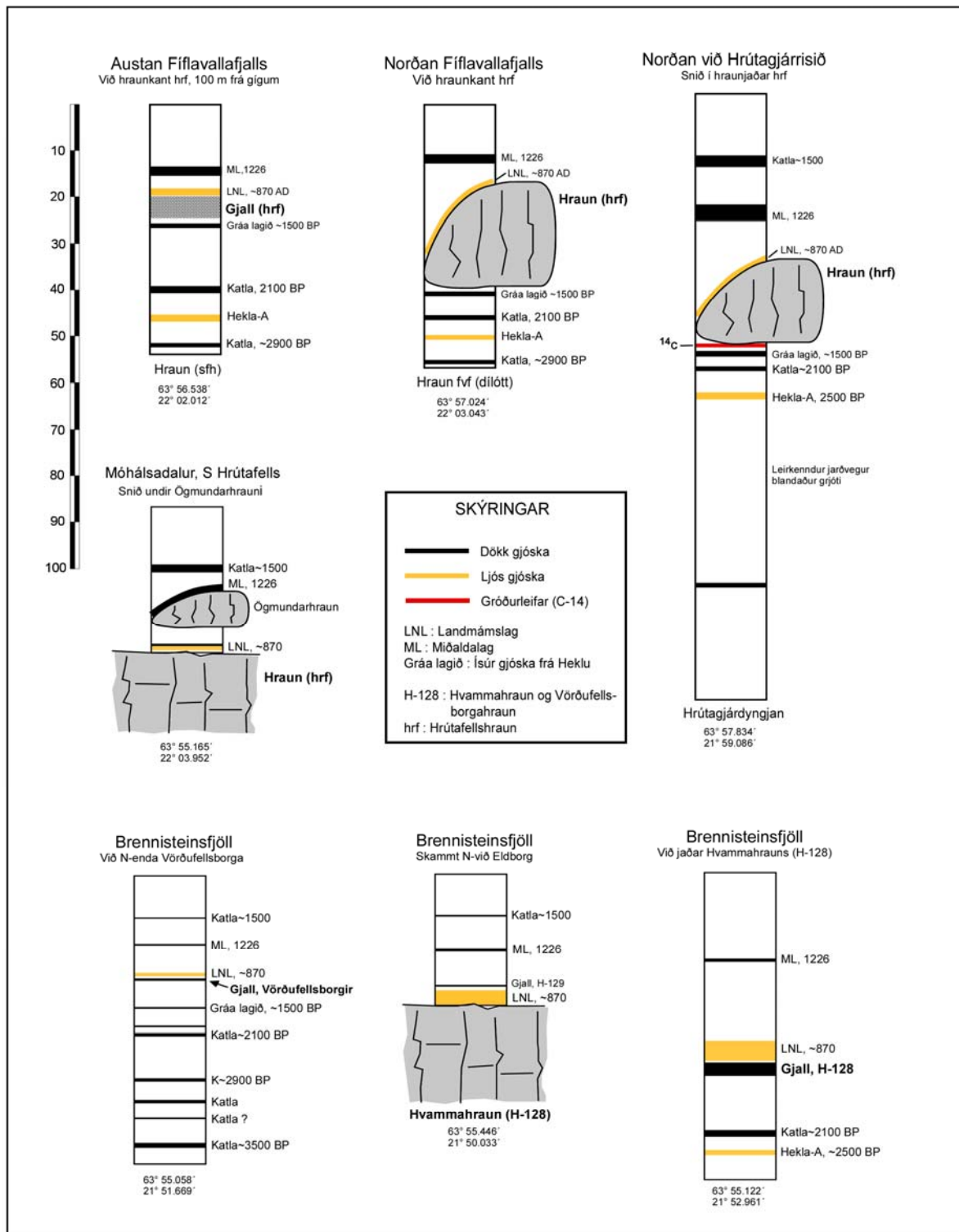
Hraunin sem um ræðir er annars vegar að finna í Brennisteinsfjallakerfinu og hins vegar í Krýsuvíkurkerfinu. Í Brennisteinsfjöllum eru það Hvammahraun og Vörðufellsborgahraun (hl28 á mynd 2). Upptök þess fyrstnefnda eru í gígaröð efst í Brennisteinsfjöllum. Stærsti gígurinn heitir Eldborg. Síðarnefnda hraunið kemur frá gígaröð nokkru sunnar, vestan undir Vörðufelli, sem nefnd er Vörðufellsborgir. Skammur tími hefur liðið á milli gosanna. Hraunin eru ungleg og hafa stundum verið talin meðal sögulegra hrauna. Jón Jónsson (1978, 1983) taldi þau ekki með í þeim hópi en þó vera mjög ung. Hraunin þekja til samans ríflega 40 km² og runnu ofan úr fjöllum á nokkrum stöðum, s.s. um Hvamma í átt að Kleifarvatni og fram af Herdísarvíkurfjalli um Lyngskjöld og nokkur fjallaskörð þar fyrir austan.

Í Krýsuvíkurkerfinu er hraun frá líkum tíma í Móhálsadal (hrf á mynd 2). Upptök þess eru á um sjö kílómetra langri gígaröð, talsvert slitróttri. Á nýlegu jarðfræðikorti af Reykjanesskaga er hraunið nefnt Hrútafellshraun (hrf) (Kristján Sæmundsson o. fl. 2010). Stærstu gígarnir eru Lækjarvallagígar austan við Djúpavatn. Lítill hraunfláki sem aðgreinist frá meginhrauninu er á risspildu Hrútagjárdyngju. Ofan á henni, skammt norðvestur af gíg dyngjunnar, hefur opnast tveggja kílómetra löng gossprunga sem gefið hefur frá sér hraun sem er um 0,66 km² að flatarmáli. Meginhraunið er hins vegar um 6,8 km² að lágmarki en syðsti hluti þess er hulinn af Ögmundarhrauni, sem er frá 12. öld (Sigmundur Einarsson o.fl. 1991).

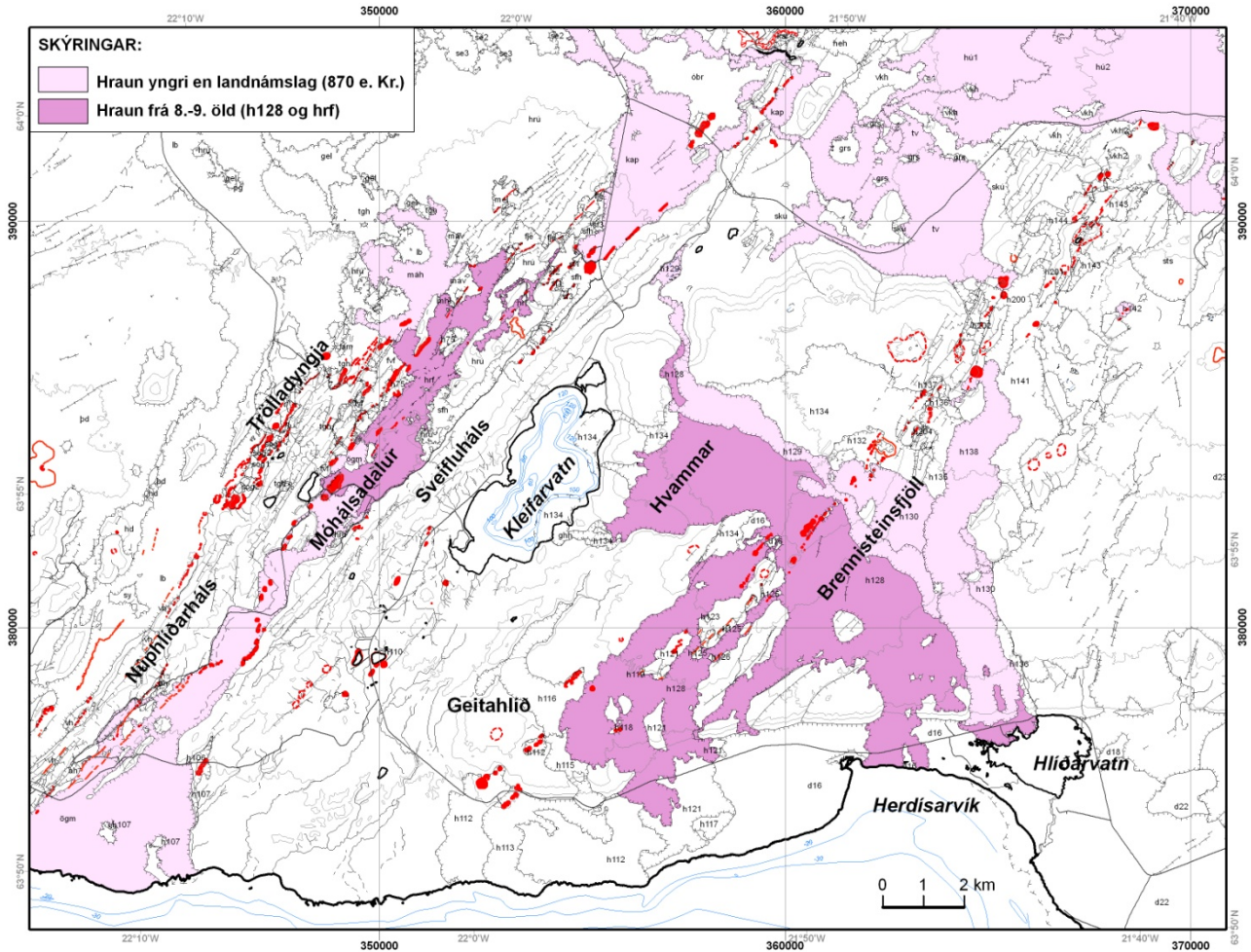
Út frá afstöðu hraunanna til gjóskulaga verður ekki annað séð en að þau séu öll mynduð á mjög svipuðum tíma. Ekki er þó víst að eldar hafi verið uppi í báðum eldstöðvakerfunum samtímis, en skammt hefur liðið á milli þeirra. Úr þessu mætti mögulega fá skorið með aldursgreiningum á koluðum gróðurleifum og mó undan hraunum og gjalli. Slík sýni hafa nýverið náðst frá tveimur stöðum. Annar staðurinn er norðan við rissvæði Hrútagjárdyngju og hinn í Sogum. Sýnin hafa verið send til greiningar.

Á báðum svæðunum, þ.e. í Móhálsadal og í Brennisteinsfjöllum, hafa hlaðist upp stórir gjall- og klepragígar sem bendir til að gosin hafa verið kröftug og staðið nokkuð lengi. Hraunin í Brennisteinsfjöllum ná yfir stórt svæði. Gosvirknin þar hefur smám saman færst í einn megingíg sem gefið hefur frá sér mikið af hrauninu. Hvammahraun er að mestu úfið og illfært apalhraun en umhverfis gígasvæðið er helluhraun. Talsverð hraunbunga með dyngjulögun er við aðalgígin. Bergfræðirannsókn hefur ekki farið fram á hraununum, en samkvæmt athugunum Jóns Jónssonar (1978) er Hvammahraun fremur ólívínríkt.

Eldarnir á 8.-9. öld bæta nokkru við þá mynd sem við höfum af eldvirkni á Reykjanesskaga. Til dæmis er nú ljóst að á sama gosskeiðinu hefur gosið tvisvar í sama eldstöðvakerfi. Einnig bendir nú flest til að gosskeiðin séu nokkru lengri en talið hefur verið, en vísbendingar um það hafa einnig komið fram varðandi gosskeiðið fyrir um 2000 árum.



Mynd 1. Jarðvegssnið í Móhalsadal, við Hrótagjá og í Brennisteinsfjöllum.



Mynd 2. Útbreiðsla hrauna frá 8. og 9. öld á Reykjanesskaga. Einnig eru sýnd hraun frá sögulegum tíma (heimild: Kristján Sæmundsson o. fl. 2010).

Heimildir

- Jón Jónsson, 1978. Jarðfræðikort af Reykjanesskaga (1:25 000). Orkustofnun OS-JHD-7831, 303 bls. (greinargerð ásamt kortum).
- Jón Jónsson, 1983. Eldgos á sögulegum tíma á Reykjanesskaga. Náttúrufræðingurinn, 52, bls. 127-139.
- Karl Grönvold, Niels Óskarsson, Sigfús J. Johnsen, Clausen, H. B., Hammer, C. U., Bond, G., Bard, E., 1995: Express Letters. Ash layers from Iceland in the Greenland GRIP ice core correlated with oceanic and land sediments. Earth and Planetary Science Letters, 135, 149-155.
- Kristján Sæmundsson, Haukur Jóhannesson, Árni Hjartarson, Sigurður G. Kristinsson, Magnús Á. Sigurgeirsson, 2010. Jarðfræðikort af Suðvesturlandi (1:100 000). Íslenskar orkurannsóknir.
- Magnús Á. Sigurgeirsson og Árný Erla Sveinbjörnsdóttir, 2000. Forsöguleg gjóskulög á Suðvesturlandi. Vorráðstefna 2000, dagskrá og ágrip erinda. Jarðfræðafélag Íslands.
- Sigmundur Einarsson, Haukur Jóhannesson og Árný Erla Sveinbjörnsdóttir, 1991. Krísuvíkureldar II. Kapelluhraun og gátan um aldur Hellnahrauns. Jökull 41, bls. 61-78.

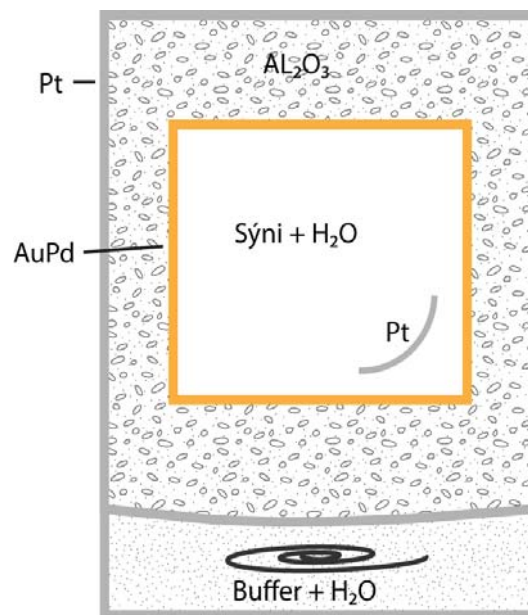
Súrefnisprýstingur í háhitapressum

Sigurður Jakobsson

Jarðvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7, IS-101 Reykjavík

Inngangur

Sýnahylki (capsules) sem notuð eru í háþrýsti-tilraunum verða ekki einungis að þola háan þrýsting og hitastig heldur mega þau ekki hvarfast við sýnið eða breyta því á neinn hátt. Það eru einna helst eðal-málmar ss. Pt, Pd, Au, og Ag sem uppfylla þessi skilyrði en þó eru ýmsir annmarkar á notkun þeirra; Au og Ag hafa tiltölulega lágt bræðslumark og henta því ekki við tilraunir á t.d. basalti sem hefur bræðslumark um 1200 °C; platína, sem mikið hefur verið notuð í sýnahylki, hefur mun hærra bræðslumark en leysir til sín járn úr sýninu; platínu-grafít hylki koma í veg fyrir járntapið en einskorða tilraunirnar við lágan súrefnisþrýsting, og þannig hafa flest efni sem til greina koma einhverja alvarlega galla. Á seinni árum hafa fastblöndur af Au og Pd (Au₇₅₋₈₀Pd₂₀₋₂₅) verið notaðar í stað platínu en þær hafa bræðslumark í kringum 1220 °C við 1 atm og hafa þann kost að leysa ekki járn úr sýninu (Kawamoto and Hirose, 1994).

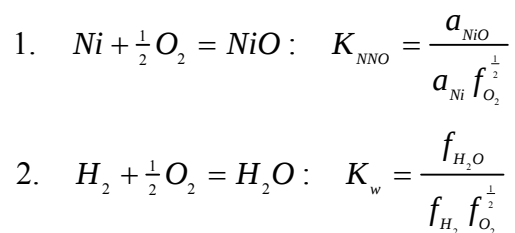


Mynd 1. Þverskurður af sýnahylki

Kolefni ferðast í gegn um alla eðalmálma við hátt hitastig (Watson, 1987) og það gerir vetni einnig (Chou, 1986). Þennan eiginleika vetnis má nota til að stjórna súrefnisþrýstingi í tilraunum en jafnframt má búast við að vatn tapist úr sýnum, eða bætist við (Hall et al., 2004), ef engar ráðstafanir eru gerðar til að stjórna vetnisflæðinu.

Algengast er að nota svokallaða súrefnisbúffera (Fe-FeO, Ni-NiO, Co-CoO) í tvöföldu sýnahylki til að stjórna vetnisflæðinu og þar með súrefnisþrýstingi í tilraunum, og er súrefnisbúffer og vatn haft í ytra hylkinu en sýnið í því innra (mynd 1).

Efnahvörf í ytra hylkinu eru:



Ni hvarfast við súrefni og myndar NiO, og svo lengi sem bæði Ni og NiO eru til staðar er súrefnisþrýstingur fasti. Ef Ni og NiO eru hreinir fasar verður virkni þeirra $a_{Ni} = a_{NiO} = 1$. Þar sem súrefnisþrýstingnum er stjórnað af búffernum verða vetnis- og vatnsþrýstingurinn í *jöfnu* 2 einnig að föstum stærðum. Svipaðar jöfnur má rita fyrir Fe-FeO, Co-CoO og fleiri búffera af þessari gerð. Í innra sýnahylkinu leysist vatn í sýninu ef hitastig er hærra en sem nemur solidus og jafnframt verða efnahvörf skv. *jöfnu* 2 en þar sem vetni flæðir gegnum AuPd-hylkið verður vetnisþrýstingur sá sami og í ytra hylkinu og þar með súrefnisþrýstingurinn.

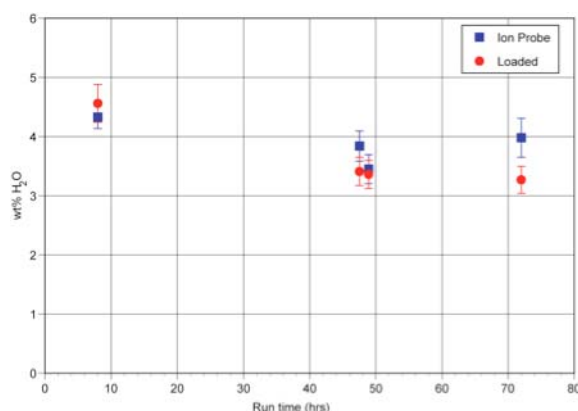
Tilraunir

Tilraunir með sýnahylki einsog sýnt er á *mynd 1* fóru fram við 1200 °C og 10 kPa og stóðu yfir í 8-72 klst. Megintilgangurinn var að kanna hvort innri sýnahaldarinn héldi vatni, en erfiðlega hefur gengið að koma í veg fyrir vatnstap úr sýnahylkjum, (Hall et al., 2004) og hvort takast mætti að stjórna súrefnisþrýstingi. Könnuð voru áhrif tveggja búffera: Ni-NiO sem við þessar aðstæður ætti að vera í jafnvægi við $\log fO_2 = -7.42$ og Co-CoO sem gefur $\log fO_2 = -8.86$.

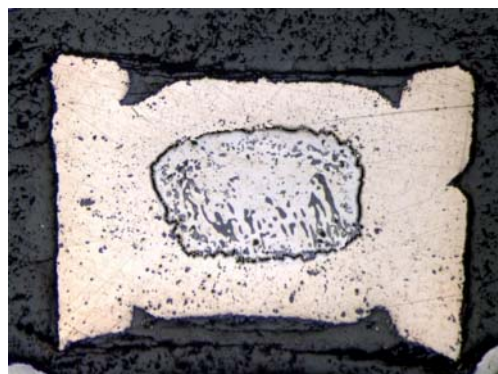
Vatn

Á *mynd 2* má sjá samanburð á vatnsmagni sýnanna fyrir og eftir tilraun. Vatnsgreiningarnar voru gerðar í jónagreini Edinborgarháskóla og í ljós kemur að niðurstöður eru innan skekkjumarka nema í tilrauninni sem lengst varði, en þar sýnir jónagreinin um fjórðungi meira vatn en lagt var upp með. Vetnisflæði í innra hylkið skýrir ekki þessa vatnsaukningu, því þar á ekki að vera súrefni til staðar til að hvarfast við vetnið og mynda vatn, en yfirleitt hefur verið talið útilokað að súrefni flæði í gegnum eðalmálma, jafnvel við háan hita.

Frekari tilraunir, þar sem ýmist þurrt albit eða járn voru höfð í innra hylkinu, leiddu hinsvegar í ljós að súrefni virðist einnig flæða í gegnum sýnahylkið og mynda FeO í járninu og leysast sem vatn í albíti eftir að hafa hvarfast við vetni.



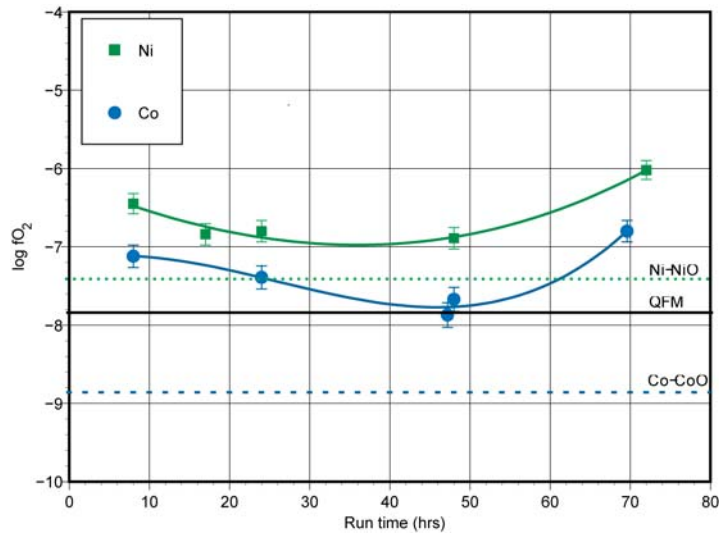
Mynd 2. Vatn í sýni fyrir og eftir tilraun.



Mynd 3. Þverskurður af innra hylki; Fe og FeO í miðju.

Mynd 3 sýnir þverskurð af innra sýnahylkinu þar sem upphaflega var hreint járn sem hefur hvarfast við súrefni og myndað FeO.

Í albít-tilrauninni sem stóð yfir í 72 klst sýndu FTIR-greiningar að 0.6 wt%vatns höfðu leystst í sýninu.



Mynd 4. Súrefnisþrýstingur í tilraunum í jafnvægi við Ni-NiO og Co-CoO búffera.

Súrefnisþrýstingur

Súrefnisþrýstingur var mældur í nokkrum tilraunum með því að greina magn járnss í platínubráði sem komið var fyrir í innra hylkinu (Medard *et al.*, 2008). Niðurstöður úr tilraunum með Ni- og Co-búfferinn eru sýndar á mynd 4 og þar má sjá að í báðum tilfellum virðist súrefnisþrýstingurinn ná einhverskonar jafnvægi eftir um það bil sólarhring, halda því í sólarhring en fara síðan hækkandi. Raunverulegur súrefnisþrýstingur búfferanna næst aldrei. Tilraunir með Ni-NiO búfferinn komast næst því að vera um hálfu log-gildi hærri og tilraunir með Co-CoO búfferinn um heilu log-gildi hærri en raunveruleg gildi þessara búffera.

x_{Pt}	a_{Ni}	$\log fO_2$
0.00	1.000	-7.42
0.10	0.873	-7.30
0.20	0.701	-7.11
0.30	0.511	-6.84
0.40	0.337	-6.48
0.50	0.204	-6.04
0.60	0.112	-5.52

Þegar leitað var skýringa á þessu kom í ljós við greiningu á ytra hylkinu að verulegt magn Ni hafði leystst í platínunni; í ytra hylkinu, næst búffernum, greindist allt að 25 wt% Ni í platínunni sem svarar til um 50 mol%. Hér er því ekki lengur um hreina búffer-fasa að ræða og reikna verður súrefnisþrýsting með tilliti til þess að í jöfnu 1 er $a_{Ni} \neq 0$. Í töflu má sjá virkni Ni sem fall af mól-fraction Pt í NiPt blöndu (Capobianco and Amelin, 1994) og samsvarandi súrefnisþrýsting.

Niðurstöður

Vatn tapast ekki úr innra hylki, einsog algengast er í tilraunum af þessu tagi, heldur eykst vatnsmagn lítillega vegna súrefnis- og vetnisflæðis í innra hylkið

Ni eða Co frá búfferunum leysist í platínuhylkinu og verður til þess að lækka virkni málmsins og því nær súrefnisþrýstingurinn aldrei búffergildinu.

Heimildir

- Capobianco, C.J., and Amelin, A.A. (1994) Metal-silicate partitioning of nickel and cobalt - The influence of temperature and oxygen fugacity. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58(1), 125-140.
- Chou, I.M. (1986) Permeability of precious metals to hydrogen at 2-kb total pressure and elevated-temperatures. *American Journal of Science*, 286(8), 638-658.
- Hall, L.J., Brodie, J., Wood, B.J., and Carroll, M.R. (2004) Iron and water losses from hydrous basalts contained in Au₈₀Pd₂₀ capsules at high pressure and temperature. *Mineralogical Magazine*, 68(1), 75-81.
- Kawamoto, T., and Hirose, K. (1994) Au-Pd sample containers for melting experiments on iron and water bearing systems. *European Journal of Mineralogy*, 6, 381-385.
- Medard, E., McCammon, C.A., Barr, J.A., and Grove, T.L. (2008) Oxygen fugacity, temperature reproducibility, and H₂O contents of nominally anhydrous piston-cylinder experiments using graphite capsules. *American Mineralogist*, 93(11-12), 1838-1844.
- Watson, E.B. (1987) Diffusion and solubility of C in Pt. *American Mineralogist*, 72(5-6), 487-490.

Megineldstöðvar – skorpu- eða möttuluppruni? Skilaboð frá samsætum

Karl Grönvold

Jarðvísindastofnun Háskólans, Öskju, Sturlugötu 7, 101 Reykjavík

Virkni í gosbeltum landsins er ekki jafndreifð heldur mismikil – meiri á sumum svæðum en minni og fjölbreyttari á öðrum. Nokkur nöfn eru notuð yfir þessi virkari svæði:

Sprungusveimar eða reinar.

Megineldstöðvar.

Eldstöðvakerfi.

Skilgreiningar á þessum virknifyrbrigðum eru talsvert teygjanlegar hjá þeim sem um þetta fjalla og telst eðlilegt í ljósi þess að nálgunin er mjög misjöfn og gengið út frá mismunandi forsendum. Eins eykst jarðfræðileg þekking á hinum ýmsu aðriðum sem liggja til grundvallar og breytir viðhorfunum hratt. Aðalatriðin eru samt ljós og aukin vinna mun efalaust bæta skilgreiningar og skilning.

Bergið sem sem upp kemur í gosbeltunum er breytilegt og oft gripið til þess að tala um frumstætt og þróað berg. Frumstæði hlutinn er basalt og það þróaða er ísúrt og súrt. Hið þróaða berg er greinilega fyrst og fremst bundið við megineldstöðvar sem svo aftur eru bundnar við eldstöðvakerfi.

Lykilatriði við kvikumyndun og kvikuþróun er að upphafsbráðin verður til í möttlinum við hlutbráðnun vegna þrýstiléttis. Á leið sinni til yfirborðs breytist slík frumkvika óhjákvæmilega og eins og öll slík kvikuþróun er það einstefna í átt að lægra bræðslumarki.

Eldri hugmyndir gerðu ráð fyrir að möttullinn væri tiltölulega einsleitur og mismunandi samsetning frumbráðar stjórnaðist af mismikilli bræðslu – þannig væri fyrsta bráð með lægra bræðslumark en síðasta bráð með hæsta bræðslumarkið. En þar sem allar slíkar frumbráðir þróast og breyta samsetningu sinni á leið til yfirborðs rofna tengslin við upphaflega möttulin. Nánast öll bergkvika sem kemur til yfirborðs er því eitthvað þróuð. Lokastig kvikuþróunar er svo súrt berg sem annað hvort er myndað við hlutkristöllun í kvikuhólfum eða enduruppbræðslu í jarðskorpunni.

Sú grundvallarforsenda að möttullinn undir landinu sé einsleitur reynist nú vera of mikil einföldun og aðalforsendur þeirrar endurskoðunnar koma frá mælingum á geislavirkum samsætum. Þessar mælingar eru venjulega gerðar með því að mæla hlutfall dóttursamsætu og annarrar samsætu sama frumefnis t.d. $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ – þá er ^{87}Sr dóttursamsæta komin frá ^{87}Rb en ^{86}Sr stöðug samsæta sem breytist ekki. Þar sem ^{87}Rb er geislavirk samsæta ($T_{1/2}=48,8$ Gár) hækkar $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ í möttlinum með tíma. Þessi hækkun er þó það hæg ekki verða merkjanlegar breytingar á kvikumyndunarferlinu – jafnvel á þeim tíma sem Ísland hefur verið að myndast. Svipað á við um nokkur önnur samsætuhlutföll sem mæld eru Sm/Nd, Lu/Hf og U/Pb og Th/Pb. Þar sem samsætuhlutföllin breytast ekki við kvikuferlin og aldurinn hefur lítil áhrif er verið að mæla hlutföllin eins og þau eru nú í möttlinum.

Þegar er vitað að þessi hlutföll eru talsvert breytileg á Íslandi og spurningin hversu svæðisbundin þessi breytileiki er? Og svarið er að þau gögn sem liggja fyrir sýna mjög ákveðna svæðaskiptingu. Þannig hafa eldstöðvakerfin á Suðurlandi hvert sína sérstöðu. Sama á við eldstöðvakerfin í Norðurrekbeltnu sem aftur hafa önnur hlutföll en Versturrekbeltið. Ekki er til nógu mikið af gögnum frá einstökum megineldstöðvum til að sjá kerfisbundnar breytingar innan þeirra en þó eru vísbendingar um að hraun frá Kröflueldum (1975-84) hafi kerfisbundinn breytileika.

Svarið við titilspurningunni er því að möttullinn hefur afgerandi áhrif á gerð þeirrar kviku sem upp kemur í eldstöðvakerfunum og endurspeglar langa og flókna þróunarsögu möttulsins undir Íslandi.

Innviðir Eyjafjallajökuls og jarðskorpuhreyfingar

Sigrún Hreinsdóttir¹, Freysteinn Sigmundsson¹, Andy Hooper², Þóra Árnadóttir¹, Rikke Pedersen¹, Matthew J. Roberts³, Níels Óslarsson¹, Amandine Auriac¹, Judicael Decriem¹, Páll Einarsson¹, Halldór Geirsson⁴, Martin Hench¹, Benedikt G. Ófeigsson¹, Erik Sturkell⁵, Hjörleifur Sveinbjörnsson³ og Kurt L. Feigl⁶

¹Nordic Volcanological Center, Institute of Earth Sciences, University of Iceland, Askja, Sturlugata 7, Reykjavík IS-101, Iceland. ²Delft Institute of Earth Observation and Space Systems, Delft University of Technology, Kluyverweg 1, 2629 HS, Delft, The Netherlands. ³Icelandic Meteorological Office, Bustadavegur 9, IS-150 Reykjavík, Iceland. ⁴Department of Geosciences, The Pennsylvania State University, 503 Deike Building, University Park, PA 16802. ⁵Department of Earth Sciences, University of Gothenburg, Box 460, SE-405 30 Gothenburg, Sweden. ⁶Department of Geoscience, University of Wisconsin-Madison, 1215 W. Dayton St., Madison, Wisconsin 53706-1692, USA.

Mælingar á jarðskorpuhreyfingum eru gagnlegar til að meta kvikuhreyfingar neðanjarðar, því þrýstibreytingar í rótum eldstöðva valda mælanlegum tilfærslum á yfirborði jarðar. Hæg, oft samfelld, þensla og landris eru algengir undanfarar eldgosa í mjög virkum eldstöðvum með háa gostíðni. Slíkum eldgosum fylgir jafnan hratt sig við það að kvikuþrýstingur fellur í kvikuhólfi undir eldstöðinni. Minna er vitað um eðli landbreytinga og munstur kvikuhreyfinga í eldstöðvum þar sem lengri tími liður á milli gosa líkt og í Eyjafjallajökli. Þar hafa verið gerðar margvíslegar mælingar á jarðskorpuhreyfingum í meira en tvo áratugi. GPS-landmælingar hafa verið gerðar á neti mælipunkta í kringum eldstöðina og jafnframt verið mælt samfelld á nokkrum stöðvum sem sýna tímaröð breytinga með nokkurra millimetra nákvæmni. Bylgjuvígsmælingar úr ratsjárvergervitunglum hafa verið gerðar með myndum frá Envisat og TerraSAR-X gervitunglum sem sýna kort af breytingum í fjarlægð frá jörð að gervitungli. Náíð hefur verið fylgst með Eyjafjallajökli vegna umbrotatímabila og innskotavirkni 1994 og 1999. Fyrstu merki um að eldstöðin væri að láta aftur á sér kræla var augin skjálftavirkni á árinu 2009 og um mitt ár mældist síðan 10-12 mm færsla til suðurs á samfelldu GPS stöðinni THEY sunnan Eyjafjallajökuls. Eftir nokkra mánaða hlé jókst skjálftavirknin aftur með auknum landbreytingum í byrjun janúar 2010. Þann 20. mars hófst sprungugos á Fimmvörðuhálsi sem stóð til 12. apríl. Þann 14. apríl hófst svo eldgos úr toppgíg Eyjafjallajökuls, aðeins tveim dögum eftir að gosinu á Fimmvörðuhálsi lauk. Fylgst var vel með jarðskorpuhreyfingum við eldstöðina og vöktun aukin síðustu mánuði fyrir gos. Níu samfelldar GPS stöðvar hafa verið í notkun og GPS netmælingar verið gerðar á um tíu mælistöðvum umhverfis eldstöðina. TerraSAR-X gervitunglið tók ratsjármyndir sem notaðar voru í bylgjuvígsmælingar, en með gögnum frá því má búa til bylgjuvígsmýndir sem sýna jarðskorpuhreyfingar allt niður í 11 daga tímabil. Landbreytingar í tengslum við umbrotin voru óvenjulegar að því leyti að þær virðast ekki hafa orðið vegna þrýstingsbreytinga í einu kvikuhólfi undir eldstöðinni, heldur voru landbreytingar flóknar bæði í tíma og rúmi. Út frá mæliniðurstöðunum má gera líkan af kvikuhreyfingum neðanjarðar. Frá janúar og fram til 20. mars þegar eldgos hófst á Fimmvörðuhálsi myndaðist um 50 milljón rúmmetra kvikuinnskot undir austurhluta Eyjafjallajökuls. Færslur á næstu GPS stöðvum síðustu vikunnar fyrir gos námu meir en 5 millimetrum á dag. Vart marktækar færslur mældust hinsvegar á meðan gosinu stóð og virðist kvikan hafa komið upp af miklu dýpi. Þegar gosið í toppgíg Eyjafjallajökuls hófst 14. Apríl seig fjallið saman vegna þrýstifalls í kvikugeymi grunnt undir hájöklinum, vestan við kvikuinnskotin sem mynduðust fyrir gosin en á svipuðu dýpi (4-5 km). Samspil

kvikuinnskotsins undir austurhluta fjallsins, við bergkviku sem fyrir var undir miðju fjallinu virðist hafa hleypt sprengigosinu af stað. Hegðun Eyjafjallajökuls er sennilega afleiðing þess að eldfjallið er utan rekbeltanna með kaldari innviði og takmarkað magn kviku á grunnu dýpi.

Sigurður Steinþórsson: Rita- og ráðstefnuskrá

2010

Textar í myndabók Sigurgeirs Sigurjónssonar *Volcano Island*. Forlagið, Reykjavík 2010.

2009

Kaflinn *Iceland*, bls. 428-436, í *Encyclopedia of Islands*, ritstj. R.G. Gillespie & D.A. Clague, University of California Press, Berkeley, 2009, 1074 bls.

Conception of nature in the 17th and 18th centuries. Ráðstefna um Þormóð Torfason (Tormod Torfæus), Leirubakka 5.-7. júní 2009.

Jarðfræðingurinn Sveinn P. Jakobsson. Haustráðstefna Jarðfræðafélags Íslands 23. okt. 2009.

Revealing the magnetic mineralogy of thick lava flows (H.P. Gunnlaugsson, L. Kristjánsson, P. Nørnberg, SSt). Plakat á EGU 2009, Wien 19.-24. apríl 2009. (European Geosciences Union Scientific Assembly 2009)

Mössbauer and magnetic study of thick lava flows (H.P. Gunnlaugsson, L. Kristjánsson, P. Nørnberg, SSt). Plakat á ICAME 2009, Wien 19.-24. júlí 2009.

2008

History of Geology in Norden after 1800 (B Sundquist, I Haapala, JM Hansen, G Hestmark, SSt). *Episodes*, Vol. 31 (1): 185-192.

Mössbauer spectroscopy of magnetic minerals in basalt on Earth and Mars (H. P. Gunnlaugsson, H. Rasmussen, L. Kristjánsson, SSt, Ö. Helgason, P. Nørnberg, M. B. Madsen, S. Mørup). *Hyperfine Interactions* 182: 87-101.

Disordered chromite in the Martian meteorite Allan Hills 84001 (H.P. Gunnlaugsson, C.B. Koch, K. Bharuth-Ram, M. Dietrich, Örn Helgason, M.B. Madsen, R. Mantovan, D. Naidon, Sigurður Steinþórsson, L. Vistisen, G. Weyer). *Hyperfine Interactions* 185: 9-14.

Isotopic heterogeneity of the Thjorsa lava — Implications for mantle sources and crustal processes within the Eastern Rift Zone, Iceland (Sæmundur Ari Halldórsson, Niels Óskarsson, Karl Grönvold, Gylfi Sigurðsson, Guðrún Sverrisdóttir, SSt). *Chemical Geology* 255: 305-316.

Hugmyndir um uppruna íslenskra bergtegunda. I. Basaltið (Olgeir Sigmarsson, SSt). Vefútgáfa 10. sept. 2008. 29 bls. <http://web.mac.com/sigst11>

Melt inclusions in Icelandic picrites: Do Cr-spinels probe deeper parts of the melting regime than do the olivines? (SSt, Ingvar A. Sigurðsson). Ráðstefnan IAVCEI 2008, Reykjavík, 17.-22. ágúst 2008.

Sigurður Þórarinnsson: Maðurinn og Hekluannsóknir hans. Heklu ráðstefna haldin í Heklu setrinu Leirubakka, 31. maí 2008.

2007

Origin of Icelandic basalts: A review of their petrology and geochemistry (Olgeir Sigmarsson, SSt). *Journal of Geodynamics* 43: 87-100.

Steinafræði Jóns Ólafssonar úr Grunnavík. Bls. 105-114 í Guðrún Kvaran og Þóra Björk Hjartardóttir (ritstj.): *Jón Ólafsson úr Grunnavík: Náttúrufræði. Fiskafræði – Steinafræði. Góðvinir Grunnavíkur-Jóns*, Reykjavík 2007.

- Sigmundur Guðbjarnason 75 ára. Bls. XIX-XXIX í Guðmundur G. Haraldsson (ritstj.): *Vísindin heilla*. Háskólaútgáfan 2007.
- Náttúrufræðingurinn Jónas Hallgrímsson: Plaköt á sýningu um náttúrufræðinginn og skáldið JH: Akureyri – Kaupmannahöfn – Reykjavík 2007.
- Eggert Ólafsson & Bjarni Pálsson's Book of Travels in Iceland. Ágrip og fyrirlestur (fluttur af Próf. Inga Sigurðssyni) á 12th International Enlightenment Congress, Montpellier (Frakklandi) 8.-15. júlí 2007.
- Náttúrufræðirannsóknir Jónasar—væntingar, áhrif og örlög. Ágrip og fyrirlestur á málþinginu Jónasarstefna: Skáldið og vísindamaðurinn Jónas Hallgrímsson í 200 ár. Háskóli Íslands 8. og 9. júní 2007.
- Jónas og jarðfræðin 1830-1845. Ágrip og fyrirlestur á ráðstefnu Vísindafélags Íslendinga og Háskóla Íslands, hátíðarsal HÍ 29. sept. 2007.

2006

- Magnetic properties of olivine basalt: application to Mars (H.P. Gunnlaugsson, Ö. Helgason, L. Kristjánsson, P. Nørnberg, H. Rasmussen, SSt, G. Weyer). *Phys. Earth Planet. Interiors* 154, 276-289, 2006.
- Origin of Icelandic basalts: a review of their petrology and geochemistry (Olgeir Sigmarsson, SSt). *Journal of Geodynamics* 43, 87-100, 2007. Vefútgáfa: doi:101016/j.jog.2006.09.016 (sept. 2006)
- Náttúrufræðingurinn Eggert Ólafsson. *Vefnir* 19. sept. 2006
- Myndatextar og eftirmáli við bókina *Landið okkar* eftir Sigurgeir Sigurjónsson, Edda útgáfa, des. 2006.
- Leirbrennsla -- erindi í Norræna húsinu 19. ágúst 2006 við aðhjúpun leirlistaverksins Hlyðrun.
- Náttúrufræðingurinn Eggert Ólafsson. Málþing Félags um átjándu aldar fræði: Íslensk raunvísindi á upplýsingaröld. Þjóðarbókhöfðu 1. apríl 2006.
- Lýsingar Jóns Steingrímssonar á Skaftáreldum í ljósi samtíma- og síðari tíma þekkingar. Eldmessa: Málþing um Séra Jón Steingrímsson og Skaftárelda. Öskju 2. apríl 2006.
- Analysis of the Mössbauer spectra of olivine basalt from Gusev Crater on Mars and comparison to terrestrial olivine basalt: Implications for the presence of magnetic anomalies on Mars and erosion processes. (HP Gunnlaugsson, H Rasmussen, P Nørnberg, L Kristjánsson, SSt). Fyrirlestur með ágripi á EGU-fundi í Vínarborg, 2.-7. júní 2006.

2005

- Dr. Guðmundur Ernir Sigvaldason, minning (SSt, Bryndís Brandsdóttir, Stefán Arnórsson, Páll Einarsson). *Jökull* 2004 (útg. 2005), 54. hefti, s. 115-121.
- Vísindamaðurinn Þorvaldur Thoroddsen. Vísindafélag Íslendinga & Þjóðminjasafn Íslands laugardag 29. okt. í fyrirlestrasal Þjóðminjasafns.
- Glerinnlyksur í ólivíni og Cr-spínli úr vestra gosbeltinu (SSt, Ingvar A Sigurðsson). Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands haldin í Öskju 9. apr. 2005.
- Eldreykjarmóðan í öðrum löndum. Erindi flutt á ráðstefnu Félags um 18. aldar fræði. Tæknigarði 12. feb. 2005.
- Efnasamsetning pikrít-bergmyndunar í Skeljafelli, Þjórsárdal (Ingvar A Sigurðsson, SSt). Vorráðstefna Jarðfræðafélags Íslands haldin í Öskju 9. apr. 2005.

Jörðin (Earth). Þýðing rúms helmings bókarinnar sem JPV Útgáfa gaf út fyrir jólin 2005. Margir höfundar en aðalritstjóri ensku útgáfu er James F Luhr, íslenzku útgáfu Sigríður Harðardóttir. Útg Rvk. 2005. Bókin er 520 bls.

2004

Samanburður Mössbauerófa af bergi frá Íslandi og Mars (Haraldur P Gunnlaugsson, Örn Helgason, Leó Kristjánsson, SSt). *Raust* 2,2 (2004), 7 bls.

Innlyksur í kristöllum — „Mohole“ að hætti Skota. Fyrirlestur á vorráðstefnu Jarðfræðafélags Íslands, Öskju 14. maí 2004. Útdráttur í ráðstefnuriti.

The geological background of sustainable energy in Iceland. „Keynote lecture“ við upphaf alþjóðlegs fundar um vetnismál, IPHE, Hótel Loftleidum 22.-25. sept. 2004.

Magma samples from the melting column beneath Iceland. Ráðstefna EGU (European Geosciences Union), Nice (Frakklandi) 25.-30. apríl 2004. Útdráttur í ráðstefnuriti.

Magnetic properties of Icelandic basalt: Implications for the magnetic anomalies on Mars (Haraldur P Gunnlaugsson, Leó Kristjánsson, P. Nørnberg, SSt). Ráðstefna EGU Nice (Frakklandi) 25.-30. apríl 2004. Útdráttur í ráðstefnuriti.

Mössbauer spectra and magnetic properties of titanomaghemite (Haraldur P Gunnlaugsson, Leó Kristjánsson, P. Nørnberg, SSt). Ráðstefna EGU, Nice (Frakklandi) 25.-30. apríl 2004. Útdráttur í ráðstefnuriti.

Brennisteinn í frumbráðum undir Íslandi. Veggspjald á Raunvísindapíngi, Öskju 16.-17. apríl 2004. Útdráttur í ráðstefnuriti.

2003

The 1783-1785 A.D. Laki-Grímsvötn eruption. II. appraisal based on contemporary accounts (Þorvaldur Þórðarson, Guðrún Larsen, SSt, S. Self). *Jökull* 53: 11-48.

Magnetic anomalies in Iceland: Implication for the magnetic anomalies on Mars (HP Gunnlaugsson, LS Bendtsen, P Bertelsen, CS Binau, J Gaarsmand, W Goetz, Ö Helgason, L Kristjánsson, JM Knudsen, K Leer, MB Madsen, P Nørnberg, SSt, G Weyer). In Sixth International Conference on Mars, Abstract #3025, Lunar and Planetary Institute, Houston (CD-ROM).

Kaflar í bókinni *Af hverju er himinninn blár?* (pistlar af Vísindavef H.Í.), ritstj. Jón Gunnar Þorsteinsson og Þorsteinn Vilhjálmsen. Heimskringla, Rvk. 2003.

2002

Steinafræði Jóns Ólafssonar frá Grunnavík. *Náttúrufr.* 71, bls. 21-27.

Evidence from early chromites about the oxidation state of mantle melts and their volatile content (SSt, Ingvar A Sigurðsson, Sigurður Jakobsson, Örn Helgason). 25. Nordic Geological Winter Meeting, Reykjavík, 6.-9. janúar 2002.

Glerinnlyksur í kristöllum úr pikrítdyngjunni Búrfelli í Ölfusi (SSt, Ingvar A Sigurðsson). Erindi með ágripi, Vorráðstefna JFÍ, Rvk. 15. apr. 2002.

Glass inclusions in early crystals from Burfell picrite, Iceland (SSt, Ingvar A Sigurðsson). 12. Goldschmidt-conference, Davos, Sviss, 18.-23. ágúst 2002.

Aggregates — Testing for harmful alteration (Þorbjörg Hómgeirsdóttir, SSt). Veggspjald með ágripi, 9. norræna steinefnaráðstefnan, Rvk. 12.-13. september. 2002

Oxunarstig basaltbráðar sem fall af ildisprýstingi, hitastigi og efnasamsetningu (SSt, Örn Helgason). Veggspjald með ágripi, Haustráðstefna JFÍ, Nesjavöllum 18. okt. 2002.

Glerinnlyksur í kristöllum úr Búrfells-pikríti í Ölfusi (SSt, Ingvar A. Sigurðsson). Haustráðstefna JFÍ, Nesjavöllum 18. okt. 2002.

Vísindamaðurinn Steindór Steindórsson. Aldarminning. *Mbl.* 12. ágúst 2002

2001

Myndun meginlandsskorpu. *Náttúrufr.* 70: 165-174.

2000

Vísindafélag Íslendinga — Societas Scientiarum Islandica — 1918-1998. AFMÆLISRIT. (SSt ritstj. og höfundur að hluta). 155 bls. Vísindafélag Íslendinga, Rvk. 2000.

Petrochemistry of the Gjálp-1995 subglacial eruption, Vatnajökull, SE Iceland (SSt, Björn S Harðarson, RM Ellam, Guðrún Larsen). *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 98, bls. 79-90.

Calcium-rich melt inclusions in Cr-spinels from Borgarhraun, northern Iceland (Ingvar A Sigurðsson, SSt, Karl Grönvold). *Earth Planet. Sci. Letters* 183, bls. 15-26.

Two books about Santorini. Ritdómur um: W. Friedrich: *Fire in the Sea. The Santorini Volcano: Natural History and the Legend of Atlantis*. Cambridge U. Press (2000) og *Santorini Volcano*. The Geol. Society, London 1999. *Jökull* 49, bls. 81-82 (2000).

Brennisteinn í glerinnlyksum í kristöllum (SSt, Ingvar A Sigurðsson). Erindi á Vorráðstefnu Jarðfræðafélags Íslands 13. apríl 2000. Ágrip í ráðstefnuhefti.

1999

4x4 á hálendi Íslands. Íslenskur og enskur texti við ljósmyndir Kjartans P. Sigurðssonar. Tæknimyndir 1999.

Kalsíum-ríkar glerinnlyksur í krómspínli úr Borgarhrauni, Þeistareykjum — vísbendingar um klínópýroxenþátt í misleitum möttli undir Íslandi (Ingvar A Sigurðsson, SSt, Karl Grönvold). Vorráðstefna JFÍ, 20. apríl 1999.

1998

Surtur fer sunnan. Nokkrir lærdómar af Surtseyjargosinu 1963-1967. Kafla (bls. 63-87) í bókinni *Undur veraldar. Greinasafn um raunvísindi fyrir almenning*. Ritstj. Þorsteinn Vilhjálmsson. Mál og menning, Rvk. 1998.

Mössbauer studies on tephra from post-glacial eruption in southern Iceland. (Örn Helgason, SSt, Kristján Jónsson, Niels Óskarsson, J Jiang). *Hyperfine Interactions C-3*, bls. 356-359 (1998).

Five Revolutions in 20th Century Geological Thought. Fyrirlestur 6. júlí 1998 fyrir fararstjóra Ólympíuleika í eðlisfræði. Rvk. 1998.

Kerfisbundin misleitni yfir möttulstróknum. (SSt & BS Harðarson). Erindi á vorráðstefnu jarðfræðafélags Íslands, 16. apr. 1998. Útdráttur.

Surtur fer sunnan. Nokkrir lærdómar af Surtseyjargosinu 1963-67. Fyrirlestur í röðinni „Undur náttúrunnar“ á vegum raunvísindadeildar og hollvinafélags hennar, Háskólabíói marz 1997. (Prentað í samnefndri bók haust 1998)

Petrochemistry of the 1996 subglacial Vatnajökull eruption, SE Iceland. (SSt, BS harðarson, RM Ellam, Guðrún Larsen). Skýrsla, Raunvísindastofnun Háskólans RH-24-98. 10 bls. + myndir.

1997

Iceland. Íslandskafla *Catalogue of European and Asian Regional Geology*. Ritstj. E. Moores & RW Fairbridge. Chapman & Hall, New York 1997. 10 bls.

Surtur fer sunnan. Nokkrir lærdómar af Surtseyjargosinu 1963-67. Fyrirlestur í röðinni „Undur náttúrunnar“ á vegum rauvísindadeildar og hollvínafélags hennar, Háskólabvíói marz 1997. (Prentað í samnefndri bók haust 1998)

Mössbauer studies on tephra from a Recent scoria cone in southern Iceland. (ásamt Erni Helgasyni o.fl.). Veggspjald á Mössbauer-ráðstefnu í Ríó, sept. 1997. Útdráttur.

Jarðefnafræði eldstöðvakerfa undir vestanverðum Vatnajökli. Veggspjald á ráðstefnu Jarðfræðafél. Ísl., feb. 1997 (ásamt Birni Sv. Harðarsyni og Guðrúnu Larsen). Útdráttur í ráðstefnuriti.

Ferric iron and oxygen fugacity in natural basalts. EUG, Strasbourg 23.-27. marz 1997 (SSt & Örn Helgason). Útdráttur í ráðstefnuriti.

1996

Er vit í vísindum? *Tíminn*, 23. marz 1996.

1995

Heimsmynd Jónasar Hallgrímssonar. *Eyjar í eldhafi*. Afmælisrit til heiðurs Jóni Jónssyni fil. lic. jarðfræðingi 85 ára þann 3. okt. 1995. Bls. 235-239. Gott mál hf. Reykjavík 1995.

Tímamótabók handa unglingum. Ritdómur um „Alfræði unga fólksins,“ Bókaklúbbur Arnar og Örlygs hf. (1994). *Morgunblaðið*, 29. marz 1995.

1994

Heimsmynd jarðfræði í hundrað ár. *Tilraunir handa Þorsteini*. Afmælikveðjur til Þorsteins Gylfasonar ríflega fimmtugs. Bls. 157-168. Heimspækistofnun Háskólans og Háskólaútgáfan. Reykjavík 1994.

Oxidation state of iron in mantle-derived magmas of the Icelandic rift zone. (N. Óskarsson, Ö. Helgason, S.St.). *Hyperfine Interactions* 91, s. 733-737 (1994).

Maghemite in basalt studied by Mössbauer spectroscopy in external magnetic field. (Örn Helgason, HP Gunnlaugsson, K. Jónsson, S.St.). *Hyperfine Interactions* 91, s. 583-587 (1994).

High-temperature Mössbauer spectroscopy of titanomagnetite and maghemite in basalts. (Örn Helgason, HP Gunnlaugsson, K. Jónsson, SSt). *Hyperfine Interactions* 91, s. 599-xxx (1994).

Excursion Guide vegna tveggja jarðfræðifewrða um SV-land. Ráðstefna á vegum “Geological Society of London.” The Iceland Plume and its Influence on the Evolution of the NE-Atlantic, Odda 4.-8. júlí 1994.

Volcanoes of the World, 2nd Ed., eftir Tom Simkin & Lee Siebert. Geoscience Press/ Smithsonian Institution 1994. Sig. St. Vann Íslandskaflann, skrá yfir íslensk eldgos sl. 10.000 ár.

Haffræði I og II. Ritdómur um bækur Unnsteins Stefánssonar. *Tíminn*, des. 1994.

- Sérstaða íslenzkrar náttúru. Dagskráin „Háskóli Íslands og íslenska lýðveldið“ haldin í Perlunni í tilefni 50 ára afmælis l'æyðveldisins 26. júní 1994.
- Geology of Iceland. Inngangserindi að ráðstefnunni The Iceland Plume and its Influence on the Evolution of the NE-Atlantic, Odda 4.-8. júní 1994.
- Interaction between the Iceland plume and the Iceland crust. Ráðstefna á vegum “Geological Society of London:“ The Iceland Plume and its Influence on the Evolution of the NE-Atlantic, Odda 4.-8. júlí 1994.
- Nucleation of iron-bearing minerals in volcanic glasses. “Invited” fyrirlestur á „Nordic Workshop on Studies of Nano-Sized Structures by Use of Mössbauer Spectroscopy“, Sandbjerg Gods, Sønderborg, Jótlandi, 5.-7. sept. 1994.
- Heimsmýnd Jónasar Hallgrímssonar. Erindi á ráðstefnu „Félags um átjándu aldar fræði“ um *Náttúruvísindi og heimsmýnd Íslendinga 1700-1850*, Odda 15. okt. 1994.
- Rauða skotthúfan. Sjónvarpsþáttur um Sigurð Þórarínsson jarðfræðing sýndur í Ríkissjónvarpinu sumar 1994. Lengd 40 mín. SSt samdi handrit, safnaði myndefni og las þulartexta.

1993

- The heterogeneous Iceland plume: Nd-Sr-O isotopes and trace element constraints. (C Hémond, NT Arndt, U Lichtenstein, AW Hofmann, Níels Óskarsson, SSt). *Journal of Geophysical Research* 98, s. 15833-15850 (1993).
- Heimsmýnd jarðfræði í hundrað ár. Ráðstefnan „Íslensk vísindi og fræði í aldarlok,“ í tilefni af 75 ára afmæli Vísindafélags Íslendinga, Odda 27. nóv. 1993.
- Maghemite in basalt studied by Mössbauer Spectroscopy in external magnetic field. (Örn Helgason, HP Gunnlaugsson, SSt, CB Koch & S Mørup). Mössbauer-ráðstefna í Vancouver, sept. 1993. Útdráttur í ráðstefnuhefti.
- Oxidation state of iron in mantle-derived magmas of the Icelandic rift zone. (Níels Óskarsson, Ö Helgason, SSt). Mössbauer-ráðstefna í Vancouver, sept. 1993. Útdráttur í ráðstefnuhefti.
- High-temperature Mössbauer spectrometry on titanomagnetite and maghemite in basalts. (Örn Helgason, HP Gunnlaugsson, SSt). Mössbauer-ráðstefna í Vancouver, sept. 1993. Útdráttur í ráðstefnuhefti.
- Fe(III)/Fe(II)-hlutfall í basaltbráð. (SSt & Örn Helgason). Veggspjald á ráðstefnu Jarðfræðafélags Íslands í Norræna húsinu 20. apríl 1993. Útdráttur í ráðstefnuhefti.
- Eldfjallafræði. Erindi á Opnu húsi Háskólans, Odda 21. marz 1993.

1992

- Íslandslag, texti við landslagsmyndir Sigurgeirs Sigurjónssonar. Forlagið des. 1992
- Landscapes, texti við enska útgáfu landslagsmynda Sigurgeirs Sigurjónssonar. Forlagið des. 1992 (að hálfu endursaminn á ensku og að hálfu þýddur eða endursagður miðað við íslenzku útgáfuna).
- Um menntun, ritstörf og áhrif íslenzkra jarðvísindamanna í fræðunum. Bls. 97-128 í *Íslenskar jarðfræðirannsóknir. Saga, ástand og horfur* (ritstj. Páll Ímsland), Vísindafélag Íslendinga, Ráðstefnurit nr. 3, 294 bls., Rvk. 1992.
- Maghemite in Icelandic basalts. (SSt, Ö Helgason, MB Madsen, CB Koch, MD Bentzon, S Mørup). *Mineralogical Magazine* 56, s. 185-199 (1992).
- High-temperature stability of maghemite in partially oxidized basalt lava. (Örn Helgason, HP Gunnlaugsson, SSt). *Hyperfine Interactions* 70, s. 981-984 (1992).

- Rates of redox reactions in basaltic melts determined by Mössbauer spectroscopy. (Örn Helgason, SSt, S Mørup). *Hyperfine Interactions* 70, s. 985-988 (1992).
- Annus mirabilis* — 1783 í erlendum heimildum. *Skírnir* 166. ár, s. 133-155 (vor 1992).
- Samræða um list og vísindi. (Þorsteinn Gylfason & SSt): *Andvari* 117. ár, *Nýr flokkur* 34, s. 104-121 (haust 1992).
- Climatic effects of large volcanic eruptions with special reference to the Skaftár Fires of 1783-1785. Fyrirlestur (“invited”) á „20. Nordiska Geologiska Vintermötet“, Reykjavík 7.-10. janúar 1992. Fjölritaður útdráttur.
- The evolution and mechanics of volcanic systems. Fyrirlestur (“invited”) á “11th Annual Princeton-Conoco Symposium in Geosciences — Volcanoes.” Princeton-háskóla, new Jersey, 3.-4. apríl 1992. Fjölritaður útdráttur.
- Maghemít í íslenzku basalti. (SSt & Örn Helgason). Veggspjald á veggspjaldaráðstefnu Jarðfræðafélags Íslands, Norræna húsinu 28. apríl 1992. Fjölritaður útdráttur.
- Rannsóknir á mangangrýti á Reykjaneshrygg. (Sérfræðingar á Hafrannsóknastofnun, Náttúrufræðistofnun Íslands, Raunvísindastofnun Háskólans og Orkustofnun). Rvk, sept. 1992, 81 bls.

1991

- Iceland in the framework of the New Global Tectonics. Norrænt Mössbauerþing, Mývatni 2.-4. júní 1991. Útdráttur í ráðstefnuhefti.
- The ratio Iron(II) to Iron(III) in basalt melts. (CA Oxborrow, P Stoltze, S Mørup, SSt, Örn Helgason). Norrænt Mössbauerþing, Mývatni 2.-4. júní 1991. Útdráttur í ráðstefnuhefti.
- High-temperature stability of maghemite in partially oxidezed basalt lava. (Örn Helgason, HP Gunnlaugsson, SSt). Mössbauer-ráðstefna í Kína (ICAME), sept. 1991. Útdráttur í ráðstefnuhefti.
- Jarðfræði Íslands. Erindi á fundi norrænna kennslustjóra að Laugarvatni, 10. ágúst 1991.
- Um jarðfræði Þingvalla. Erindi á endurmenntunarnámskeiði um *Þingvelli — sögu og staðhætti*, undir stjórn Björns Th. Björnssonar, 6. okt. 1991.

1990

- Íslenska alfræðiorðabókin. Flettur um jarðfræði og skyld efni. Örn og Örlygur, Rvk. 1990.
- Alkalíhiti Skeiðarárhlaupa og undanfari eldsumbrota í Grímsvötnum. (S.St. & Niels Óskars-son). Bls. 225-229 í: Guttormur Sigbjarnarson (ritstj.): *Vatnið og landið*. Vatnafræðiráðstefna, okt. 1987. Orkustofnun, Rvk. 1990. 307 bls.

1989

- Un'isola giovane. *Terra di ghiaccio. Arte e civiltà dell'Islanda*. Bls. 105-124. Museo Nazionale della Montagna, Torino 1989.
- The ferric/ferrous ratio in basalt melts at different oxygen pressures. (Örn Helgason, SSt, S Mørup). *Hyperfine Interactions* 45, s. 287-294 (1989).
- Tvær nýjar bækur um steina (ritd.) *Náttúrufr.* 59, s. 163-166 (1989).
- Mode and rate of volcanism in zones of crustal accretion, as exemplified by Iceland. 28th IGC, Washington D.C. 9.-19. júlí 1989. Abstrakt.

On the magnetic anomaly in basaltic lava at Stardalur, Iceland. (Örn Helgason, SSt, MB Hansen, S Mørup). (Abstract): Internat. Conference on Application of MS, Budapest, sept. 1989.

1988

Nýjar hugmyndir um þróun lífsins. *Þjóðlíf*, sept. 1988.

1987

Metasomatism in Iceland: Hydrothermal alteration and remelting of oceanic crust. (SSt., N. Óskarsson, S Arnórsson, E. Gunnlaugsson). Bls. 355-387 í: H.C.Helgeson (ed.): *Chemical Transport in Metasomatic Processes*. Reidel, Dordrecht-Holland 1987.

Hraði landmyndunar og landeyðingar. *Náttúrufr.* 57, s. 81-95 (1987).

Íslandseldar eftir Ara Trausta Guðmundsson (ritd.) *Skírnir*, vor 1987.

Eruption sequence of the Skaftá Fires 1783-1785, Iceland. (Þorvaldur Þórðarson, S Self, Guðrún Larsen, SSt). Am. Geophys. Union, San Francisco, des. 1987. (Abstract)

Alkalíhiti Skeiðarárhlaupa og undanfari eldsumbrota í Grímsvötnum. (SSt & Níels Óskars-son). „Extended abstract.“ Útdráttahefiti ráðstefnunnar „Vatnið og landið“, 22.-23. okt. 1987.

1986

Ensk-íslensk skólaorðabók. Flettur um jarðfræði og skyld efni. Örn & Örlygur, Rvk. 1986.

Ísland og heiti reiturinn. *Tímarit Háskóla Íslands*, 1, s. 100-107 (1986).

The geology of Þingvellir. Erindi flutt á Þingvöllum fyrir *Internationale Vereinigung für Rechtsphilosophie*, Reykjavík 18.-22. maí 1986.

Energetics of hydrothermal systems. (SSt & Níels Óskarsson). Bls. 535-539 í Fifth Internat. Symposium on Water-Rock Interaction, Extended abstracts. 1986.

Krafla sem kennslukona? *Þjóðlíf*, 3. tbl., apríl 1986.

1985

Rates of some geomorphological processes in Iceland. Bls. 1-15 í: Guttormur Sigbjarnarson (ritstj.): *Iceland Coastal and River Symposium*, Proceedings. (Extended abstract, 1985).

Sigurður Þórarinnsson. *Andvari* 1985, s. 5-53.

Origin of alkali basalts in Iceland: A plate tectonic model. (SSt, N Óskarsson, GE Sigvaldason). *J. Geophys. Res.* 90, s. 10027-10042 (1985).

Iceland geochemical anomaly: Origin, volcanotectonics, chemical fractionation and isotope evolution of the crust. (Níels Óskarsson, GE Sigvaldason, SSt). *J. Geophys. Res.* 90, s. 10011-10025 (1985).

Crustal accretion in and around Iceland. (SSt & W Jacoby). *J. Geophys. Res.* 90, 9951-9952 (1985).

Rates of some geomorphological processes in Iceland. Erindi (“invited”) á ráðstefnunni *Iceland Coastal and River Symposium*, 2.-4. sept. 1985. Útdráttur.

Metasomatism in Iceland. Hydrothermal alteration and remelting of oceanic crust. NATO Advanced Study Institute, Loutraki, Grikklandi, 3.-16. júní 1985.

Jarðfræði Þingvalla. (SSt & Kristján Sæmundsson). Ráðstefna Landverndar um „Þingvelli, framtíð og friðun,“ Þingvöllum 18. maí 1985.

Dr. Trausti Einarsson, minning. *Jökull* 35: 148-151 (1985)

1984

Ensk-íslensk orðabók. Flettur um jarðfræði og skyld efni. Örn & Örlygur, Rvk. 1984.

Grímnir, 2. hefti (ritd.). *Náttúrufr.* 53, s. 92-93 (1984).

The Laki Fires — abstract. (Sigurður Þórarinnsson & SSt). Bls. 35-36 Gísli Á Gunnlaugsson o.fl. (ritstj.) *Skaftáreldar 1783-1784*. Mál og Menning, Rvk. 1984.

Origin of alkali basalts in Iceland — a plate-tectonic model. Alþjóðaráðstefna í Edinborg: *Alkaline Igneous Rocks. A Review Symposium*, 13.-16. sept. 1984.

One-atm high temperature furnaces at the Science Institute. (SSt, Ævar Jóhannesson, Magnús Ólafsson). University of Iceland. RH, NVI (1984).

1983

Chemical monitoring of jökulhlaup water in Skeiðará and the geothermal system in Grímsvötn, Iceland. (SSt & N Óskarsson). *Jökull* 33, s. 73-86 (1983).

Uppruni bergkvikunnar í Surtsey. Afmælisfundur Surtseyjarfélagsins að Hótel Loftleiðum, 14. nóv. 1983.

Origin and evolution of alkalilic rocks in Iceland, or How to cross a thermal divide. 18. alþjóðafélag IUGG, Hamborg 15.-27. ágúst 1983.

The petrology of Iceland in the light of plate-tectonics. Erindi við jarðfræðideild Princeton-háskóla, N.J., 11. apr. 1983 og Northwestern University, Ill, 25. apr. 1983.

Dr. Sigurður Þórarinnsson, minning. *Mbl.*, 1983.

1982

Gjósukulög í jökulkjarna frá Bárðarbungu. Bls. 361-368 í: Helga Þórarinsdóttir o.fl. (ritstj.): *Eldur er í Norðri*. Afmælisrit til heiðurs Sigurði Þórarinssyni sjötugum. Sögufélag, Rvk. 1982.

Petrology and plate tectonics. *Earth Evol. Sci.* 2, s. 62-68 (1982).

A dynamic model of rift zone petrogenesis and the regional petrology of Iceland. (Niels Óskarsson, GE Sigvaldason, SSt). *J. Petrol.* 23, s. 28-74 (1982).

Ferric-reffous ratio and oxygen fugacity in experimental glasses. (SSt & Örn Helgason). Alþjóðaráðstefna um “Generation of Major Basalt Types”, Reykjavík 15.-22. ágúst 1982. Fjölritaður útdráttur.

Chemical monitoring of jökulhlaup water in Skeiðará and the geothermal system in Grímsvolcano, Iceland. (SSt & Niels Óskarsson). Alþjóðaráðstefna um “Generation of Major Basalt Types”, Reykjavík 15.-22. ágúst 1982. Fjölritaður útdráttur.

Self-contained monitoring systems for natural gas emission. (SSt & Ævar Jóhannesson). Alþjóðaráðstefna um “Generation of Major Basalt Types”, Reykjavík 15.-22. ágúst 1982. Fjölritaður útdráttur.

Evolution of Icelandic volcanics in the light of experimental petrology. 15. Nordiske Geologiske vintermøde, Reykjavík 5.-8. jan. 1982. Fjöl. útdráttur.

Petrology and plate tectonics. Freie Universität Berlin, á ráðstefnu um gerð jarðskorpunnar 13.-15. feb. 1981. Prentað í *Earth Evolution Sciences* 2, bls. 62-68 (1982).

1981

Ísland og flekakenningin. *Náttúra Íslands*, 2. útg. Bls. 29-63. Ritstj. Sigurður Þórarinnsson. Almenna bókafélagið, Rvk. 1981.

Alfred Wegener — Aldarminning. II. Arfleifð Wegeners. *Náttúrufr.* 51, s. 27-46 (1981).

Opaque minerals in geothermal well No. 7, Krafla, northern Iceland. (SSt & Árný E Sveinbjörnsdóttir): *J. Volcanol. Geotherm. Res.* 10, s. 245-261 (1981).

Petrologie und Plattentektonik. Erindi (“invited”) í Technische Universität München í Freising, 6. marz 1981.

1980

Málmsteindir í holu 7, Kröflu. (Árný Sveinbjörnsdóttir & SSt). Ráðstefna Jarðfræðafélags Íslands um jarðhita 7. nóv. 1980. Fjölritaður útdráttur.

1977

Tephra layers in a drill core from the Vatnajökull ice cap. *Jökull* 27, s. 2-27 (1977).

Natural concentrations of mercury in Iceland. (J. Coderre & SSt). *Geochim. Cosmochim. Acta* 41, s. 419-424 (1977).

Petrochemistry and tectonics of Iceland. Erindi flutt við jarðfræðideild háskólans í Tempe, Arizona, og Lyndon Johnson Space Center í Huston, Texas, júlí 1977.

Vatnajökull. (SSt ásamt Sigurði Þórarinssyni). Sjónvarpsþáttur sendur út í janúar 1977.

1976

The simultaneous production of basalts, enriched and depleted in large lithophilic trace ions, within the same fissure swarms in Iceland. (GE Sigvaldason, SSt et al.). *Bull. Soc. Géol. France* 18, s. 863-867 (1976).

Mössbauer studies of Icelandic lavas. (Örn Helgason, SSt, S Mørup, J Lipka, JE Knudsen). *J. De Physique* 37, s. 829-832 (1976).

Melting experiments on Icelandic basalts. “Nordisk forskarkurs” um “Samband mellan geokemi och geologisk geotektonisk miljö för recenta och äldre bergarter. Laugarvatn 20.-30. ágúst 1976.

1975

Aldarafmæli Öskjugossins 1875. *Tíminn*, 6. apr. 1975.

Ísland og hin nýja heimsmynd jarðfræðinnar. *Tíminn*, jólablað 1975.

1974

The oxide mineralogy, initial oxidation state, and deuteric alteration in some Precambrian diabase dike swarms in Canada. Ph.D. ritgerð, Princeton University, 1974. 215 bls.

Chemistry of tholeiitic basalts from Iceland and their relation to the Kverkfjöll hot spot. (G.E. Sigvaldason & S.St.): Bls. 155-164 in: Leó Kristjánsson (ed.): *Geodynamics of Iceland and the North-Atlantic Area*. Reidel Publ. Co., Dordrecht-Holland, 1974.

Compositional variation in Recent Icelandic tholeiites and the Kverkfjöll hot spot. (GE Sigvaldason, SSt et al.). *Nature* 251, s. 579-582 (1974).

Eðlisþættir jarðarinnar og jarðfræði Íslands eftir Trausta Einarsson (ritd.). *Náttúrufr.* 43, s. 187-188 (1974).

Um Snæfellsjökul og Snæfellsnes. Hið íslenska náttúrfræðifélag, apríl 1974.

Origin of Icelandic basalts. (SSt & GE Sigvaldason). 11. Vetrarmót norrænna jarðfræðinga, Oulu, Finnlandi, janúar 1974.

1973

Ísland — en ö på Mitt-atlantiska ryggen. *Forskning och Framsteg* 1973-5, s. 48-51.

The eruption on Heimaey, Iceland. (Sigurður Þórarinnsson, SSt et al.). *Nature* 241, s. 372-375.

Eruption in Heimaey. “Invited” opinber fyrirlestur við háskólann í St. Andrews, Skotlandi, apríl 1973.

1972

The opaque mineralogy of Surtsey. *Surtsey Res. Progr. Rept.* VI, s. 152-157 (1972).

Ísland og aðrir heitir staðir. Ráðstefna Jarðfræðafélags Íslands, vor 1972.

1971

Studies of drill cores from an unusual magnetic high in SW-Iceland. (SSt, GE Sigvaldason, Leó Kristjánsson). (Abstract). Frist European Earth and Planetary Physics Colloquium, Reading, England, sept. 1971.

Mineralogical and computer-simulation analysis of sequences of oxidation and hydration in some Precambrian dikes. (Abstract). *Trans. Am Geophys. Union* 52, 1971.

Skýrsla um bergfræðirannsóknir við Stardal. (SSt & GE Sigvaldason): RH 1971, 12 bls. + 12 myndir (1971).

1965-1970

Tvær nýjar C-14 aldursgreiningar á öskulögum úr Snæfellsjökli. *Náttúrufr.* 37, s. 236-238 (1968).

Surtsey: Petrology and chemistry. *Surtsey Res. Progr. Rept.* II, s. 77-85 (1966).

Surtsey: Petrology and chemistry. *Surtsey Res. Progr. Rept.* I, s. 41-49 (1965).

Tómas Tryggvason jarðfræðingur. Minning, *Tíminn* 6. okt. 1965.