

JARÐFRÆÐAFÉLAG ÍSLANDS

VORRÁÐSTEFNA 1997

Ágrip erinda og veggspjalda

umsjón:

Árný E. Sveinbjörnsdóttir
Guðrún Larsen

Reykjavík 22. apríl 1997

Tilvitnun í ritið:

Ágúst Guðmundsson. 1997. Vatnsdalhólar - Hugleiðingar um myndun þeirra. Vorráðstefna 1997. Ágrip erinda og veggspjálda. Jarðfræðafélag Íslands, 10-11.

Guðmundsson, Á. 1997. On the formation of Vatnsdalhólar (in Icelandic). Geoscience Society of Iceland, Spring Meeting, p. 10-11.

DAGSKRÁ

ERINDI

- 09:00 -09:15 Skráning
- 09:15-09:20 Ráðstefnan sett
- 09:20-09:40 *Karl Grönvold og Niels Óskarsson*
Gos í Vatnajökli 1996: Bergfræði og efnasamsetning
- 09:40-10:00 *Sigurður Steinþórsson, Björn Sv. Harðarson og Guðrún Larsen*
Vatnajökulsgosið 1996 - Bergefnafræði.
- 10:00-10:20 *Ármann Höskuldsson*
Gosmökkurinn yfir Heklu 1947 og samanburður við reiknilíkön
- 10:20-10:40 Kaffihlé
- 10:40-11:00 *Stefán Arnórsson, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Auður Andrésdóttir, Ingvi Gunnarsson og Andri Stefánsson*
Jarðhiti í innsveitum Skagafjarðar. Uppruni og aldur vatnsins.
- 11:00-11:20 *Auður Andrésdóttir, Stefán Arnórsson, Sigurður R. Gislason, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Sigfús J. Johnsen, Bragi Árnason og Kristján Geirsson*
Breytileiki í efnainnihaldi og samsætuhlutföllum í lindarvatni á Suðvesturlandi
- 11:20-11:40 *Andri Stefánsson*
Jarðefnafræðileg hegðun áls í köldu vatni á vatnasviði Laxár í Kjós
- 11:40-12:00 *Sigurður R. Gislason, P. Heaney, E.H. Oelkers og J. Schott*
Efnafræðilegir eiginleikar kísilsteindarinnar móganíts
- 12:00-13:20 Matarhlé og gestafyrirlestur *Dr. Olle Melander*
Logistic operations in the service of Antarctic science
- 13:20-13:40 *Ágúst Guðmundsson*
Fornskeljar undir urðarbingjum á Almenningi í Fljótum
- 13:40-14:00 *Haukur Jóhannesson, Kristján Sæmundsson, Árný E. Sveinbjörnsdóttir og Leifur A. Simonarson*
Nýjar aldursgreiningar á skeljum á Reykjanesskaganum
- 14:00-14:20 *Ágúst Guðmundsson*
Vatnsdalshólar - Hugleiðingar um myndun þeirra
- 14:20-14:40 *Árni Hjartarson og Guðmundur Ó. Friðleifsson*
Jökulberg frá síðmíósen
- 14:40-15:00 *Sigmundur Einarsson*
Varðveisla jarðfræðilegra náttúruminja
- 15:00-15:10 Veggspjaldakynning
- 15:10-16:00 Kaffihlé og veggspjöld

- 16:00-16:20 *Ingí Bjarnason*
Steinhvel og linhvel Íslands
- 16:20-16:40 *Sigurjón Jónsson, N. Adam og Helgi Björnsson*
Notkun nýrrar tækni til ákvörðunar á íshreyfingum í Vatnajökli: SAR bylgjuvílmælingar úr radar-gervitunglum (SAR, Synthetic Aperature Radar Interferometry).
- 16:40-17:00 *Hjalti Franzson, Guðmundur Ó. Friðleifsson, Bjarni Bjarnason og Hallgrímur Jónasson*
Gullleit á Íslandi
- 17:00-17:20 *Guðmundur Ó. Friðleifsson, Hjalti Franzson, , Bjarni Bjarnason, Hallgrímur Jónasson, R. Ros, A. Flavelle, P. Miller og J. Karajas*
Saga gullleitar í Þormóðsdal

VEGGSPJÖLD

Ármann Höskuldsson

Síðustu andvörp Gjálpar

Bergþóra Þorbjarnardóttir og Ingí Bjarnason

Eldgos í Vatnajökli 1995 og 1996

Bryndís Brandsdóttir, H. Shiobara, Páll Einarsson, A. Nakanishi, H. Shimamura, M. Mochisuzi, R. White og N. Weir

Jarðskorpan á Reykjanesskaga og Reykjaneshrygg: Bylgjubrotsmælingar 1996 (RISE-1996), fyrstu niðurstöður

Bryndís Brandsdóttir, W. Menke, M. West og D. Sparks

Jarðskorpan í nyrðra gosbeltinu: Bylgjubrots- og jarðskjálftamælingar 1996, niðurstöður

Georg Douglas

Vefsíða Jarðfræðafélags Íslands - Kynning

Ingvar A. Sigurðsson og Sigurður Steinþórsson

Glerinnlyksur í ólivín- og spínelkristöllum úr íslensku pikríti. Myndunar- aðstæður og samsetning móðurkviku

Sigurður R. Gíslason, Ingvi Gunnarsson, Andri Stefánsson, Matthildur Bára

Stefánsdóttir, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Hrefna Kristmannsdóttir, Steinunn

Hauksdóttir, Árni Snorrason, Snorri Zophóniasson, Svanur Pálsson og Stefán

Benediktsson

“Lekinn” úr Grímsvötnum fyrstu mánuði ársins 1997

EFNISYFIRLIT

Andri Stefánsson Jarðefnafræðileg hegðun áls í köldu vatni á vatnasviði Laxár í Kjós.....	1
Auður Andrésdóttir, Stefán Arnórsson, Sigurður R. Gíslason, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Sigfús J. Johnsen, Bragi Árnason og Kristján Geirsson Breytileiki í efnainnihaldi og samsætuhlutföllum í lindarvatni á Suðvesturlandi.....	4
Ágúst Guðmundsson Fornskeljar undir urðarbingjum á Almenningi í Fljótum.....	6
Ágúst Guðmundsson Vatnsdalshólar - Hugleiðingar um myndun þeirra.....	10
Ármann Höskuldsson Gosmökjurinn yfir Heklu 1947 og samanburður við reiknilíkön.....	12
Ármann Höskuldsson Síðustu andvörp Gjálpar.....	13
Árni Hjartarson og Guðmundur Ó. Friðleifsson Jökulberg frá síðmíósen.....	14
Bergþóra Þorbjarnardóttir og Ingi Bjarnason Eldgos í Vatnajökli 1995 og 1996.....	16
Bryndís Brandsdóttir, H. Shiobara, Páll Einarsson, A. Nakanishi, H. Shimamura, M. Mochisuzi, R. White og N. Weir Jarðskorpan á Reykjanesskaga og Reykjaneshrygg: Bylgjubrotsmælingar 1996 (RISE-1996), fyrstu niðurstöður.....	18
Bryndís Brandsdóttir, W. Menke, M. West og D. Sparks Jarðskorpan í nyrðra gosbeltinu: Bylgjubrots- og jarðskjálftamælingar 1996, niðurstöður.....	20
Georg Douglas Vefsíða Jarðfræðafélags Íslands - Kynning.....	22
Guðmundur Ó. Friðleifsson, Hjalti Franzson, , Bjarni Bjarnason, Hallgrímur Jónasson, R. Ros, A. Flavelle, P. Miller og J. Karajas Saga gulleitar í Þormóðsdal.....	23
Hjalti Franzson, Guðmundur Ó. Friðleifsson, Bjarni Bjarnason og Hallgrímur Jónasson Gullleit á Íslandi.....	26
Haukur Jóhannesson, Kristján Sæmundsson, Árný E. Sveinbjörnsdóttir og Leifur A. Símonarson Nýjar aldursgreiningar á skeljum á Reykjanesskaganum.....	29
Ingi Bjarnason Steinhvel og linhvel Íslands.....	31

Ingvar A. Sigurðsson og Sigurður Steinþórsson Glerinnlyksur í ólivín- og spínelkristöllum úr íslensku pikríti. Myndunar- aðstæður og samsetning móðurkviku.....	32
Karl Grönvold og Niels Óskarsson Gos í Vatnajökli 1996: Bergfræði og efnasamsetning.....	33
Sigmundur Einarsson Varðveisla jarðfræðilegra náttúruminja.....	34
Sigurjón Jónsson, N. Adam og Helgi Björnsson Notkun nýrrar tækni til ákvörðunar á íshreyfingum í Vatnajökli: SAR bylgjuvílmælingar úr radar-gervitunglum (SAR, Synthetic Aperature Radar Interferometry).....	36
Sigurður R. Gíslason, Ingvi Gunnarsson, Andri Stefánsson, Matthildur Bára Stefánsdóttir, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Hrefna Kristmannsdóttir, Steinunn Hauksdóttir, Árni Snorrason, Snorri Zophóníasson, Svanur Pálsson og Stefán Benediktsson “Lekinn” úr Grímsvötnum fyrstu mánuði ársins 1997.....	38
Sigurður R. Gíslason, P. Heaney, E.H. Oelkers og J. Schott Efnafræðilegir eiginleikar kísilsteindarinnar móganíts.....	41
Sigurður Steinþórsson, Björn Sv. Harðarson og Guðrún Larsen Vatnajökulsgosið 1996 - Bergefnafræði.....	43
Stefán Arnórsson, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Auður Andrésdóttir, Ingvi Gunnarsson og Andri Stefánsson Jarðhiti í innsveitum Skagafjarðar. Uppruni og aldur vatnsins.....	44

JARÐEÐNAFRÆÐILEG HEGÐUN ÁLS Í KÖLDU VATNI Á VATNASVIÐI LAXÁR Í KJÓS

Andri Stefánsson

Jarð- og landfræðiskor Háskóla Íslands, Jarðfræðahúsi Háskólans, 101 Reykjavík.

Hegðun áls í náttúrunni hefur verið nokkuð vinsælt rannsóknarefni vísindamanna síðustu ár og áratugi. Á sjöunda áratugnum fór að gæta súrar rigningar viða um heim og í kjölfarið súnaði grunnvatn og stöðuvötn, t.d. í Skandinavíu. Á svipuðum tíma fór að bera á dauða vatnalífvera og settu margi þetta í samhengi við súrnun vatnsins. Síðar kom hins vegar í ljós að eituráhrifin mátti að miklu leiti rekja til aukningar á uppleystu áli í vatninu samfara súrnuninni.

Til að skilja hegðun áls við breyttar náttúrulegar aðstæður t.d. vegna súrnunar á regnvatni, er mikilvægt að átta sig á hvernig ál hegðar sér við náttúrulegar og ómengaðar aðstæður. Síðasta sumar hófust rannsóknir á jarðefnafræði kalds vatns í Kjós. Verkefnið felur í sér að afla gagna fyrir aðalefni og tiltekin snefilefní í vatni og bergi og að leggja magnbundið mat á þau ferli sem ráða styrk efnanna í vatninu (útskolu þeirra úr bergi, áhrif gróðurs og andrúmslofts) og efnisflutninga. Þó það hafi ekki verið tilgangur verkefnisins þá munun niðurstöður þess koma að góðum notum við rannsóknir á umhverfisáhrifum, sem Járnbendiverksmiðjan og fyrirhugað áver á Grundartanga valda og munu valda.

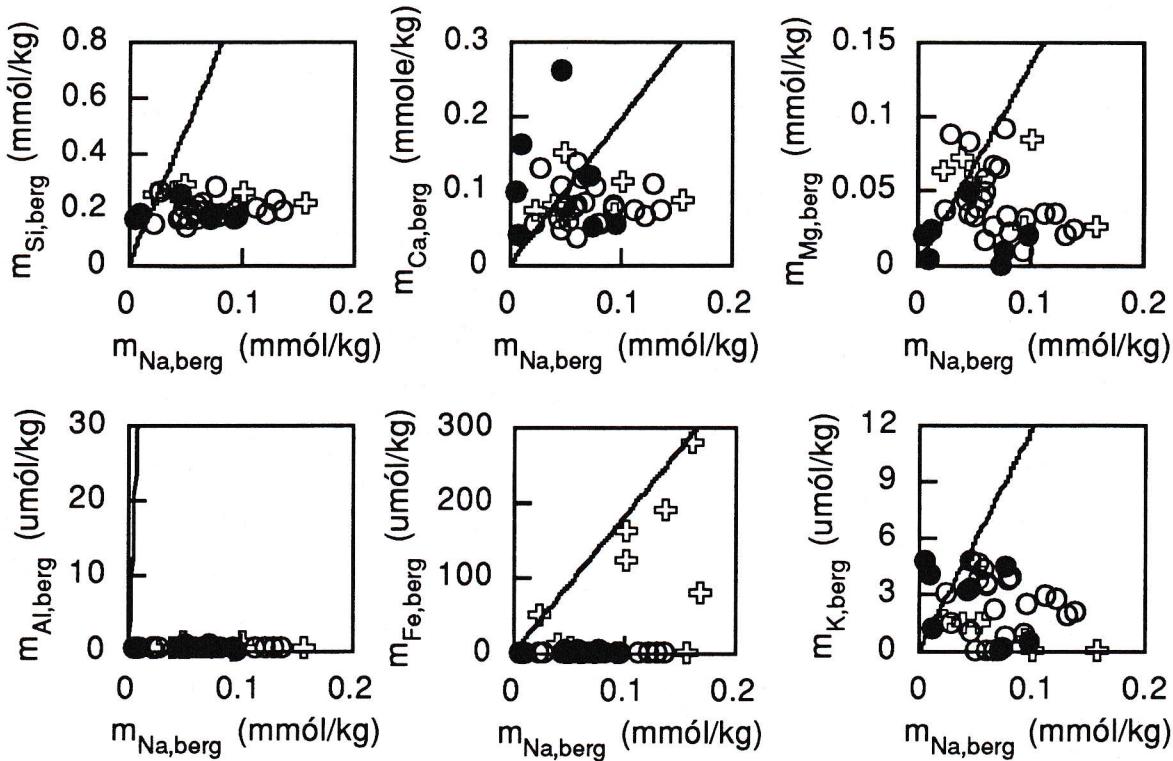
Eitt af þeim efnum sem skoðað hefur verið er ál. Komið hefur í ljós að jafnvægi milli uppleysts áls í vatni og myndunnar myndlaus álhýdroxiðs stjórni styrk áls við náttúrulegar aðstæður í grunn-, ár og mýrarvatni í Kjós. Þetta eru merkileg tilindi fyrir það fyrsta að styrk efta í köldu vatni sé yfir höfuð stjórnað af jafnvægi og að þetta útskýrir líttinn styrk áls í vatni þar sem myndlaust álhýdroxið er torleyst.

Na, K, Mg og Ca berast í vatnið bæði með úrkому og vegna uppleysingar bergs. Ef gert er ráð fyrir að allt klór í köldu vatni eigi uppruna sinn að rekja til úrkому og að hlutföll Na/Cl, SO₄/Cl, Mg/Cl og Ca/Cl séu þau sömu í sjó og í úrkому má reikna út hversu mikið af Na, K, Mg og Ca berist í vatnið með úrkumunni (Sigurður R. Gíslason). Út frá þessu má finna hversu mikið af tilteknu efni er tilkomið vegna uppleysingar á bergi, skv. jöfnunni

$$m_{i,berg} = m_{i,total} - m_{i,úrkoma}$$

þar sem $m_{i,total}$ er heildarmagn efnis í vatni og $m_{i,úrkoma}$ er hluti þess ættaður úr úrkumu. Efni eins og Si, Al og Fe berast hins vegar aðalega í kalt vatn vegna uppleysingar bergs og því má gerða þá nálgun að heildarstyrkur þessarra efna í vatni ($m_{i,total}$) sé sá sami og styrkur þessara efna í vatni upprunin vegna uppleysingar á bergi ($m_{i,berg}$).

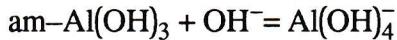
1. mynd sýnir samband bergættaðs hluta Ca, Mg, Si, K, Al og Fe í vatninu á móti bergættuðu Na í vatninu. Ástæðan fyrir því að natrúum er valið sem breyta er að það er aðalefni í vatni og bergi og að það er utangarðsefni í köldu vatni. Það þýðir að því meira af bergættuðum uppleysum efnum sem eru í vatninu því hærri er styrkur Na í því. Línurnar á myndunum sýna móhlutföll sömu efna í bergi í Kjós. Af myndunum má ráða að styrkur áls og kísils í ár, grunn- og mýrarvatni og styrkur járvns í ár- og grunnvatni er miklu minni en búast má við út frá uppleyingu bergs, það er hreyfanleiki þessara efna er takmarkaður. Þar sem vatnið er undirmettað með tilliti til helstu frumsteinda basalts (feldspata, ólivíns, pyroxena, málmsteinda) þá verður að teljast líklegt að líttill hreyfanleiki þessara efna stafi af ferlum eftir að bergið hefur leyst upp, það er myndun síðsteinda, samsplil vatns og gróðurs og lofts. Sigurður R. Gíslason og Eugster (1987) færðu fyrir því rök að styrkur kísils í köldu vatni á norðausturlandi stafaði af jafnvægi við basaltgler. Hinn litli hreyfanleiki áls og járvns hefur hins vegar ekki verið skýrður út fyrr en nú. Rannsóknir í Kjós sýna að styrkur áls í köldu vatni stjórnist at jafnvægi við myndlaust álhýdroxið (am-Al(OH)₃), og margt bendir til að sömu sögu megi segja um járn. Hvað viðkemur K, Ca, Mg þá er hreyfanleiki þeirra efna breytilegur og spilar þar inn í ferli eins og samsplil vatns, gróðurhula og andrúmslofts og en einnig virðist bergerð á afrennslissvæði skipta máli.



1. mynd. Táknin á myndunum sýna móhlutföll Si, Ca, Mg, Al, Fe og K á móti Na í vatninu sem ættað er vegna uppleyingar á bergi (opnir hringir tákna árvat, svartir hringir tákna uppsprettur og opnir krossar tákna mýrarvatn). Línurnar tákna móhlutföll sömu efnunum í bergi á vatnasviði Laxár í Kjós og voru gögn frá Ingvari B. Friðleifssyni (1973) og Andra Stefánssyni (1996) notaðar til að meðalmóhlutföll efnanna.

Ár-, mýrar- og lindarvatn í Kjós er yfирmettað með tilliti til mismunandi gerðar gibbsíts (vel kristallaðs og illa kristallaðs) sem er sú veðrunarsteindir sem yfirleitt eru taldin geta stjórnad styrk áls í köldu vatni. Myndlaust álhýdroxið er auðleystara en gibbsít og gæti því vatnið verið í jafnvægi við það.

Uppleysingu myndlaus álshydroxiðs (am-Al(OH)₃) má lýsa með eftirfarandi efnajöfnu



Efnavarmafræðilegum aðferðum var beitt til að meta mettunarástand vatnsins með tilliti til myndlaus álshýdroxiðs. Jafnvægisfastinn, K_{eq} fyrir efnahvarfið sem falli af hita á hitabilinu 0-100°C má lýsa með eftirfarandi jöfnu:

$$\log K_{\text{eq}} = -286,766/T + (2.452 \text{ til } 1.103)$$

þar sem T er hitastig í Kelvin. Virknimargfeldi, Q, fyrir efnahvarfið má skilgreina:

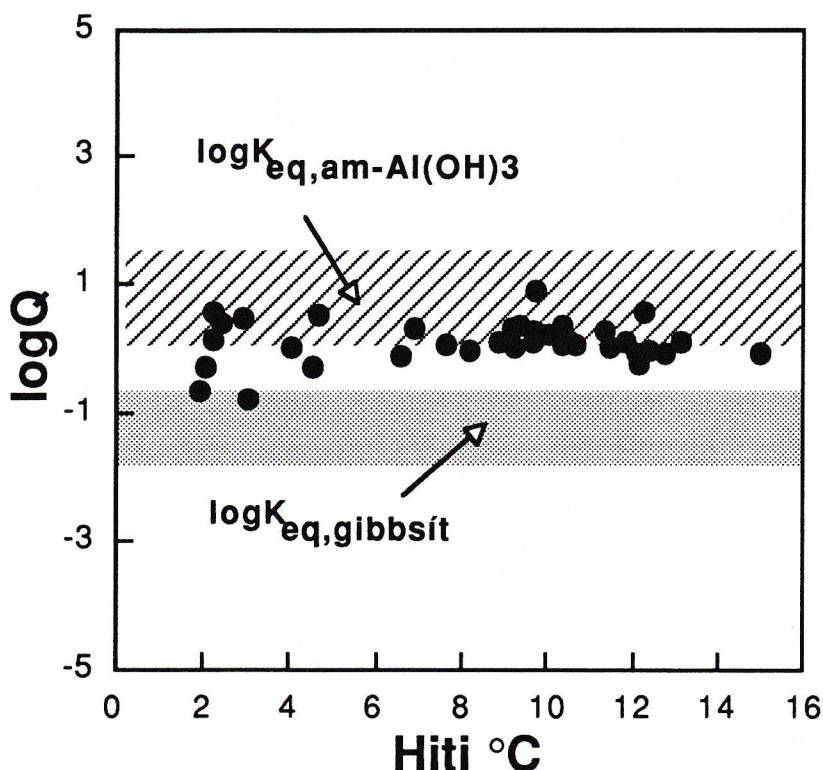
$$\log Q = \log a_{\text{Al(OH)}_4^-} - \log a_{\text{OH}^-}$$

þar sem a_i táknar virkni jónanna. Virkni efna í vatni var reiknuð með aðstoð WATCH forritisins (Stefán Arnórsson o.fl. 1983) sem nýlega var endurskoðað með tilliti til uppleystra efnasambanda áls (Stefán Arnórsson og Auður Andrésdóttir, 1996).

Á 2.mynd sést samband logQ og log Keq fyrir uppleysingu myndlaus álshydroxiðs á móti hita. Ef Q>Keq þá er vatnið yfímettað með tilliti til myndlaus álshýdroxiðs og það fellur út, ef Q<Keq þá er lausnin undirmettuð og myndausa áhýdroxiðið leysist upp, ef Q=K ($\log Q/K=0$) þá ríkir jafnvægi. Eins og sést á myndinni falla flest öll gögnin innan jafnvægis myndlaus álshýdroxiðs. Þetta þýðir að vatnið er mettað með tilliti til myndlaus álshýdroxiðs eða

með öðrum orðum jafnvægi milli uppleysts áls í vatninu og myndunar myndlaus álshýdroxiði stjórnar styrk uppleysts áls í vatninu. Þar sem álhýdroxið eru torleyst viðheldur þetta jafnvægi lágum styrk áls í vatni.

Leysni myndlaus álshýdroxiðs er háð pH. Það þýðir að ef vatn súrnar, t.d. vegna súrnunar á regnvatni, myndi styrkur uppleyst áls vaxa. Náttúrulegur styrkur áls í Kjós liggr á bilinu 0.001-0.005 mmól/l fyrir vatn með pH gildi á bilinu 7-7,5. Ef vatnið myndi súrna niður í pH 4,5 myndi leysni myndlaus álshýdroxiðs margfaldast. Afleiðingin er að magn uppleyst áls í vatninu myndi 40 þúsund faldast.



2.mynd Mettunarástand mýrar, lindar og árvatns í Kjós . Skástyrkaða svæðið táknað mettun með tilliti til myndlaus álshýdroxiðs. Skyggða svæðið táknað jafnvægi við gibbsít . Flest allt vatnið er mettað með tilliti til álshýdroxiðs (eru innan skásrikaða svæðisins). Þetta þýðir að jafnvægi milli myndlaus álshýdroxiðs og uppleysts áls í vatni stjórnar styrk áls í vatninu.

HEIMILDIR

Andri Stefánsson (1996) Jarðlagaskipan og bergfræði Skálafells í Mosfellssveit. BS ritgerð við Jarð- og landfræðiskor Háskóla Íslands.

Ingvar B. Friðleifsson (1973) Petrology and structure of the Esja quaternary volcanic region southwest Iceland. D.Phil ritgerð við Oxford Háskóla. 208 bls.

Sigurður R. Gíslason (1990) The chemistry of precipitation of the Vatnajökull glacier and chemical fractionation caused by the partial melting of snow. Jökull, 40, 97-117

Sigurður R. Gíslason og Hans P. Eugster (1987) Meteoric water-basalt interactions II: A field study in N.E.Iceland. Geochim. et Cosmochim. Acta 51, 2841-2855.

Stefán Arnórsson og Auður Andrésdóttir (1996) Compilation and evolution of thermodynamic data on aqueous species and dissociational equilibria in aqueous solution. II. The dissociation of aluminium hydroxy complexes. Skýrsla raunvísindastofnunar Háskólans, RH-22-96

Stefán Arnórsson, Einar Gunnlaugsson og Hörður Svavarsson (1983) The chemistry of geothermal waters in Iceland II. Mineral equilibria and independent variables controlling water compositions. Geochim. et Cosmochim. Acta 47, 547-566.

BREY TILEIKI Í EFNAINNİHALDI OG SAMSÆTUHLUTFÖLLUM Í LINDARVATNI Á SUÐVESTURLANDI.

Auður Andréasdóttir*, Stefán Arnórsson*, Sigurður R. Gíslason*, Árný E. Sveinbjörnsdóttir*, Sigfús J. Johnsen*, Bragi Árnason* og Kristján Geirsson**.

*Raunvísindastofnun Háskólangs, Dunhaga 3, Reykjavík, ** Náttúruvernd Ríkisins, Hlemmi 3, 105 Reykjavík.

Í ársbyrjun 1992 tók hópur manna á Raunvísindastofnun Háskólangs sig saman og ákvað að ná reglulega í vatnssýni á nokkrum stöðum á Suðvesturlandi til efnagreininga og mælinga á vetrnis- og súrefnissamsætuhlutföllum. Var safnað úr sex lindum með jöfnu millibili um fjögurra ára skeið. Reynt var að velja sem ólíkasta sýnatökustaði sunnan og norðan við Esju og einnig í Árnessýslu. Stuttu eftir að verkefnið hófst var bætt við tveimur lækjum í Suðurhlíðum Esjunnar. Verkefnið fékk vinnuheitið Dropi og tilgangurinn var að kanna hversu marktækt eitt vatnssýni er þegar gera á jarðefnafræðilega rannsókn á tilteknu vatni eða svæði. Söfnunin hófst í febrúar 1992 og henni var hætt í apríl 1996. Safnað var sýnum til heildarefnagreininga annan hvern mánuð og til greininga á samsætuhlutföllum í hverjum mánuði.

Til að leggja mat á hversu marktækar mælingar sýnanna eru og hvort greina megi einhvern breytileika í efnainnihaldi voru ákveðnir útreikningar gerðir og niðurstöður þeirra notaðar. Hver efnagreining er oftast meðaltal tveggja mælinga á sýninu. Tekið var meðaltal allra efnagreininga fyrir hvert efni á hverjum stað og einnig reiknað staðalfrávikið. Til að fá mat á mæliskekkjuna voru frávik tvítekninganna reiknuð fyrir hvert efni á hverjum stað og staðalfrávik reiknað af þeim. Ef staðalfrávik efnagreininganna reyndist meira en þrefold mæliskekkjan telst breytileiki í efnainnihaldi varðandi þann þátt meiri en svo að eitt sýni gefi nægar upplýsingar um lindina.

Fyrsta lindin er rétt neðan við bæinn Hrísbrú í Mosfellsdal sunnan í Mosfellinu. Rennslið er um 5 l/s og hitastig 7 °C helst jafnt árið um kring. Eins og búast mátti við í þetta stórra lind mælist efnasamsetning nærrí sú sama í öllum aðalatriðum nema að Ca- og Mg-magn er breytilegt og er það samstíga breytingu, sem má einnig greina í í CO₂ innihaldi.

Ofan skógræktarstöðvarinnar að Mógilsá var valin vatnsmikil lind þar sem verið var að útbúa brunn og vatnið síðan lagt í hús Skógræktarinnar. Eftir það voru sýni tekin úr krana inni í húsi. Mjög lítt breytileiki er í efnasamsetningu að Mógilsá. Helst er að fram komi frávik í pH og má velta fyrir sér hvort breytilegt rennsli um leiðslur hafi þessi áhrif og þ.a.l. hvort mark sé takandi á þessari mælingu.

Norðan Esjunnar var valið að taka sýni úr brunni í skriðu undir Meðalfelli í Kjós norðan Meðalfellsvatns. Vatn sígur fram í melnum sem brunnurinn er í. Flestir þættir mælast stöðugir á þessum stað nema Cl, Ca og Mg sem sveiflast nokkuð mikið og þær samstíga. Hægt er að greina sömu tilhneigingu hjá Na og CO₂.

Í Árnessýslu var fyrst valin sæmilega stór lind sunnan undir Ingólfssfjalli. Sýni voru tekin þar sem um 15 l/s af 3,5° heitu vatni renna úr steyptri þró allt árið um kring. Öll efni mælast mjög stöðug í sýnum frá þessum stað, aðeins Ca sýnir smá breytileika.

Lengra inni í landi á Torfastaðaheiði í Biskupstungum voru tekin sýni úr stöðugri lind, sem kemur fram í myri og bræðir alltaf af sér, hiti mældist þó nokkuð misjafn. Í þessari lind reynist lítt breytileiki í pH, Na, K, og F. Talsverður breytileiki er aftur á móti í styrk SiO₂, Ca, Mg og CO₂ og enn má sjá að breytingarnar í efnainnihaldinu fylgjast að. Hækkan í CO₂ vegna lífrænna áhrifa frá mýrinni virðist valda því SiO₂ er hærra og sýnir meiri breytileika en í fyrrnefndum lindum.

Niðri á flatlendi nær sjónum voru tekin sýni úr brunni við Gaulverjabæ. Flestir þættir mælast nokkuð stöðugir. Cl, CO₂ og Mg breytast mest. Þess ber að geta að nýtt lok var sett á brunninn eftir fyrsta árið og getur það hafa haft áhrif. Hér eins og á Torfastaðaheiðinni er CO₂-styrkur tiltölulega hár vegna áhrifa frá lífrænum efnum í jarðvegi og veldur það hækkan og meiri sveiflum í SiO₂-styrk miðað við hinrar lindirnar. Cl styrkur mælist lægri seinni hluta tímabilsins í Gaulverjabæ og á það sama við um allar lindirnar nema við Meðalfellsvatn.

Hlutföll súrefnis- og vettissamsæta hafa verið mæld tvöfalt oftar á öllum ofantöldum stöðum og í tveimur lækjum að auki. Úrvinnsla þeirra gagna stendur yfir. Niðurstaðan er sú þegar skoðuð eru gögn fyrir súrefni, að hlutföllin sveiflast meira fyrir litlar lindir eins og á Torfastaðaheiði en minna í stærri og stöðugum lindum eins og að Mógið. Eins og búist var við er mjög mikill breytileiki er í súrefnissamsætu hlutföllum lækjanna tveggja í Esjuhlíðum. Tvennt er einnig athyglisvert þegar þessi gögn eru skoðuð. Súrefnislutfallið lækkar alltaf fyrri hluta árs eða í mars. Svo virðist einnig sem súrefnislutfallið sé lægra seinni hluta söfnunartímabilsins fyrir flesta staðina eins og er líka raunin varðandi styrk klórs í vatninu.

Heildarniðurstaðan er sú að stöðugar vatnsmiklar lindir með stórt bakland sýna lítinn breytileika í efnainnihaldi og þess vegna gefur eitt stakt sýni miklar upplýsingar um jarðefnafræði vatnsins. Minni lindir með lítið upptökusvæði sýna talsverðan breytileika í efnainnihaldi er varðar sum efni. Ef lifrænn jarðvegur er í umhverfinu bætast fleiri efni við sem verða óstöðug. Af þessum sökum er ekki vert að draga of miklar ályktanir af efnainnihaldi eins sýnis úr þessum lindum. Ekki er hægt að greina neinar áreiðanlegar ársveiflur í vatni úr neinni af lindunum.

FORNSKELJAR UNDIR URÐARBINGJUM Á ALMENNINGI Í FLJÓTUM

Ágúst Guðmundsson, Jarðfræðistofan ehf. Rauðagerði 31. 108 Reykjavík

Inngangur.

Í Fljótum í Skagafirði er mikið af lausum jarðögum, jökulruðningur malarhjallar og urðarbingir er ýmist hanga í fjallahlíðum eða hafa farið fram á hjalla og láglendi. Urðarbingir eru aðallega á tveimur svæðum, annarsvegar í Sléttuhlíð og Vestur-Fljótum og hinsvegar í Austur- Fljótum frá Úlfssdölum, um Almenning og inn í Stíflu þar sem þeir eru beggja vegna dalsins. Sumarið 1993 fann höfundur skeljabrot í setlögum undir þykkum urðarbingum í 5-8 m y.s. við ströndina við Almenningsnöf, yst í Austur-Fljótum. Árný Erla Sveinbjörnsdóttir sá um greiningu á aldri sýnanna með Geislakolsaðferð árið 1996 og reyndust þau vera $\geq 42.800 \pm 1160$ ár BP (Greining AAR - 2805).

Fyrri athuganir.

Fyrstu skrif sem höfundi er kunnugt um frá utanverðum Austur- Fljótum og Almenningi eru frá árinu 1932 þar sem Guðmundur Davíðsson fjallar um gamla gígi í Fljótum. Þar lýsir hann landi utan við Hraun út að Almenningsnöf og telur að urðartungur sem liggja þar undir fjallsmúlum séu leifar fornra gíga sem ísaldarjökullinn hafi máð út (Guðm. Davíðss. 1932).

Þorleifur Einarsson (1968) segir „Bergskriður eru algengar á blágrýtissvæðum, og má þar til nefna bergskrið sunnan í Esju, ofan bæjarins í Kollafirði, Skriðu úr Hraunsnefsöxl í Norðurárdal, Vatnsdalshóla, bergskriðurnar í Langadal, bergskriðurnar í austanverðum Fljótum, frá Almenningsnöf inn í Stíflu, en þar hefur fjallshlíðin hrunið fram nær óslitið á 25 km kafla, og mun það vera stæsta berghlaup hér á landi“.

Ólafur Jónsson (1976) telur urðarbingina vera berghlaup sem orðið hafi til við klofning úr fjallshyrnum en efnið hlaupið í sjó fram. Eftir að hafa lýst nokkrum berghlaupum í Fljótum segir Ólafur: „Lengra norður með sjónum, norður frá Hraunum eru svo tvö stór berghlaup eða klofningar framan úr fjallshyrnum og skilur Siglufjarðarskarð á milli þeirra. Ruðningurinn hefur hlaupið í sjó fram og sjást nú aðeins háir ruðningsbakkar þar meðfram sjónum. En þá norðar er svo mikið berghlaup úr hárri fjallshyrnu. Allt er þetta berghlaupasvæði órannsakað“.

Haflidi Haflidason (1982) lýsir bergi og lausum jarðögum á Almenningi inn að Hrauni og segir að er jöklar hopuðu í lok síðasta jökulskeiðs hafi þeir ekki lengur haldið að bröttum fjallahlíðum og heilu hlíðarnar hlaupið fram. Hann telur flest berghlaupin hafa hlaupið skömmu eftir að ísa leysti fyrir 10 þúsund árum þar sem ljósu öskulögin frá Heklu H4 og H5 megi finna ofan á flestum urðarbingjunum. Hins vegar hafi afmörkuð svæði innan einstakra framhlaupa haldið áfram að skríða fram jafnt og þétt. Hann telur að hátt fínefnahlutfall í berghlaupunum skýrist með því að bergið hafi verið mjög ummyndað áður en það sprakk fram. Þó segir hann berghlaupin vera svo lek að grunnvatn á svæðinu renni fram á jökulurð undir berghlaupunum. Ekki er að sjá að Haflidi hafi orðið var við önnur setlög en jökulruðning og jarðvegsríkt skriðuefni framan í sjávarbökkunum undir berghlaupunum.

Hreinn Haraldsson (1982) tekur saman greinargerð um svæðið og bendir á úrbætur gegn jarðsigi í vegstæði á Siglufjarðarleið. Hann fjallar aðallega um líkur á frekara skriði innan framhlaupanna sem Haflidi hafði áður lýst og bendir á hugsanlegar leiðir til úrbóta. Hreinn flokkar hreyfingarnar í tvennt, annarsvegar séu jarðhlaup við ströndina þar sem sjór brýtur landið og hinsvegar jarðskrið þar sem berghlaupsmassi skríði ofan á jökulruðningi.

Helgi Torfason (1992) lýsir stuttlega setlögum við ströndina á Almenningi vestan Siglufjarðar. Hann segir að „berghlaupin“ séu samsett úr lárétt lagskiptum lögum sem séu samsett úr sandi, silti, hnnullungum og lagskiptri rauðri ösku. Helgi telur að lagskiptingar af

þessu tagi sé ekki að vænta í raunverulegum berghlaupum og að urðarbingirnir nærri Almenningsnöf séu myndaðir fyrir, eða á síðasta jökluskeiði. Hugsanlega séu þetta myndanir við jaðar jöklus er gengið hefði út úr aðliggjandi fjörðum, eða að setlögini væru sjávarmyndanir, jafnvel frá síðasta hlýskeiði. Helgi minnist ekki á aðskildar setmyndanir undir urðarbingjunum og varð ekki var við skeljaleifar við athuganir sínar.

Yfirlit yfir jarðfræðilegar aðstæður.

Berggrunnur á rannsóknarsvæðinu er tertíert basalt, mest ber á þóleiítbasalti sem aðskilið er með 0,1-0,5 m þykkum millilögum, aðallega úr rauðum sandsteini. Berglagahalli er í stórum dráttum til vesturs, $7-9^\circ$ efst í fjöllum en allt að $20-22^\circ$ niðri við ströndina. Berggangaskari er á belti í fjallgarðinum og kemur fram við ströndina við Mánárhyrnu. Meðfram ströndinni frá Almenningsnöf inn að Hrauni í Fljótum má víða sjá í basaltlög rétt yfir fjöruborðinu. Undan dalhvilftum lækkar berggrunnurinn, eins og að slakkar hafi rofist niður í yfirborð bergsins og hverfur bergið þá í fjörunni á löngum köflum.

Ofaná berggrunninn hafa endur fyrir löngu lagst setlög sem víða eru úr jökulbergi, silti og hvarfleir og sumsstaðar, efst í setlögunum er lag úr möl, sem sjaldnast finnst samfellt langa leið. Á nokkrum stöðum nærrri Almenningsnöf nærrí sýslumörkum milli Eyjafjarðar og Skagafjarðar, finnast skeljaleifar í malarlaginu í 5-10 m y. s. Yfir umrædd setlög og skeljaleifar hafa lagst miklir urðarbingir og í fyrri ritum um svæðið hafa þeir verið flokkaðir sem berghlaup. Höfundur ritaði 1995 stutta samantekt um rannsóknarsögu urðarbingja hérlandis er jafnan hafa verið flokkaðir sem berghlaup og telur að vífengja megi viðteknar íslenskar skoðanir á myndunarferli þeirra. Þar kemur fram að hann telur flest berghlaupin vera mynduð sem urðarjöklar við frostvirkni og niðurbrot á bergi úr fjöllum sem jöklar náðu ekki að hylja langtínum saman á síðasta jökluskeiði, eða stóðu utan jöklar á kuldaköflum við lok þess.

Urðarbingirnir.

Með athugunum á innri gerð og yfirborðsformum urðarbingjanna í Almenningi og austur Fljótum, telur greinarhöfundur að þeir séu að uppruna urðarjöklar. Á loftmyndum sést greinilega að urðarbingirnir eru samsettir úr mismunandi skriðeiningum sem summar eru fléttadár saman og upprunnar á mismunandi stöðum á mismunandi tíma. Einnig má sjá að skrið innan urðartungnanna er af misjöfnum aldrí, þar sem minni tungur hafa skriðið yfir hverja aðra. Á yfirborði urðarbingjanna eru skýr ummerki um hægfara skrið þar sem bárur og krumpur liggja ýmist langs eða þvers á skriðstefnuna. Ofarlega á urðartungu undir Mánárfjalli eru lægðir með vötnum í, sem vart verða skýrðar á annan hátt en að á myndunartíma þeirra hafi ís setið í lægðunum. Á nokkrum stöðum eru háir garðar niður hlíðar við jaðra urðartungna (svo sem við Kvígildi, Hraunadal og Sauðárdal) sem vart verða skýrðir með öðru en að urðarbingirnir hafi verið uppbeldir af þykkum ísmassa er þeir skriðu niður dalina.

Auk þess sem að ofan er sagt um misaldra skrið í urðartungum eru a.m.k. á þemur stöðum yngri skrið í framhluta tungnanna þar sem afmörkuð svæði eru að mjakast fram. Á þessum svæðum er virk hreyfing þar sem færslan virðist nema nokkrum tugum sm. sum árin en önnur ár virðist draga úr hreyfingunni eða hún jafnvel stöðvast. Vegagerðin hefur nokkrum sinnum þurft að lagfæra veginn við Kóngsnef, vegna þess að bingirnir eru að síga fram. Í sjávarbökkunum sést víða þversnið í urðarbingina og þar má greina að þeir eru lagskiptir og ýmist með ónúnum steinum eða fínefnaríkari linsum, þar sem víða má finna núna og slípaða steina og jafnvel hnnullunga. Á stöku stað vottar fyrir möl og má sjá ummerki vatnsrennslis og útskolunar í linsum og afmörkuðum svæðum inni í urðarbingjunum.

Laus jarðög á Almenningi og í Austur- Fljótum og stærð jökla á síðasta jökulskeiði.

Hérlandis hefur viðtekin skoðun undanfarinna áratuga verið á þann veg, að meginjöklar síðasta jökulskeiðs hafi alls staðar legið utan við núverandi strönd og þegar harðast var hafi þeir gengið út á landgrunnsbrún t.d. út yfir Grímsey og þar sem nú er 250 m dýpi liðlega 100 km vestur af Bjartgöngum og Snæfellsnesi (Þorleifur Einarsson 1968 og síðar, Hreggviður Norðdahl 1990 og 1993, Ólafur Ingólfsson og Hreggviður Norðdahl 1994).

Þegar litið er á hitasveiflur sem Grænlandskjarninn gefur til kynna (Dansgaard og fl. 1993), þá má ætla að sú mynd sem við höfum af stærð jökla á síðasta jökulskeiði sé allnokkru flóknari en hingað til hefur verið talið. Jöklar gætu hafa stækkað og minnkað á víxl í takt við sveiflur í hitastigi. Ef litið er til þeirra gagna sem hér eru kynnt og það sem höfundur hefur áður ritað um útbreiðslu jökla (ÁgG 1995-1997) og fundarstaði skeljaleifa á Reykjanesskaga (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 1995, Jón Eiríksson og Leifur Símonarson (í prentun)), er ljóst að þessar niðurstöður stangast all verulega á við fyrri viðteknar skoðanir. Af setlögum í Austur- Fljótum verður ráðið að meginjökull hafi ekki gengið út Fljótin síðustu 43 þúsund árin og líklega ekki í langan tíma á undan meðan hvarfleir var að myndast undir setlögum með skeljaleifunum. Hins vegar er að sjá að aðskildir urðarjöklar og urðarklæddir smájöklar hafi á hverjum stað gengið fram úr hvilftum og dalverpum er snéru til allra átta í örísa fjallgarði.

Um aldur jökulbergslagsins sem liggur beint á berggrunni við ströndina, undir hvarfleir og setlögum með skeljaleifum er ekki vitað. Af innbyrðis afstöðu seteinganna (og að ekki er að sjá að rofist hafi ofan af jökulberginu) er eðlilegt að hugsa sér að jökulbergið sé ekki mjög miklu eldra en setlögin, eða svo að aldursmunurinn væri mældur í tugþúsundum ára. Samkvæmt Grænlandskjarnanum (Dansgard o.fl. 1993) er allkalt tímabil skömmu áður en skeljalagið myndaðist eða fyrir um 55-65 þúsund árum. Þar sem jökulbergslagið er þunnt, má hugsa sér að þá hafi jökull gengið út Fljótin, eitthvað út fyrir núverandi strönd. Aðrar heimildir (Dawson 1992 og Larsen and Seijrup 1990) gera ráð fyrir því að jöklar í norðanverðri Evrópu (Vestur- Noregi og Norðursjó) hafi gengið lengst fram fyrir um 20 þúsund árum. Ef það er raunin, er líklegra að jökulruðningurinn sé frá næst síðasta jökulskeiði. Með nokkru öryggi má þó telja að a.m.k. síðustu 45 þúsund árin hafi ströndin í utanverðum Fljótum legið utan allra skriðjöklar er gengu út dali og firði í nágrenninu.

Nokkrar heimildir og ítarefni.

Águst Guðmundsson, 1997. Eyjar í jökulhafi, Smjörarfjallgarður. Jökulvana landsvæði á síðasta jökulskeiði í fjallgarðinum á milli Vopnafjarðar og Héraðs. Múlaping 1997 bls 42-63.

Águst Guðmundsson, 1995. Eyjar í íshafinu. Hæð og umfang jökulskjaldar á Suðvesturlandi á síðasta jökulskeiði. Eyjar í Eldhafi, safn greina um náttúrufræði. Afmælisrit Jóns Jónssonar. Gott mál hf. Reykjavík.

Águst Guðmundsson 1995. Berghlaup eða urðarjöklar. Náttúrufræðingurinn 64, bls. 177-186.

Águst Guðmundsson 1992. Rock glaciers in Iceland and morphological comparision with phenomena traditionally classified as landslides. Nordiska geologiska vintermöde. Poster. Abstracts, 56.

Árný E. Sveinbjörnsdóttir og Sigfús J. Johnsson 1994. Nýr ískjarni frá Grænlandsjökli. Náttúrufr. 64, bls. 83-96.

Dawson, A.G. 1992. Ice Age Earth. Late Quaternary Geology and Climate. Routledge, London, 293 p.

Guðmundur Davíðsson 1932. Gamlir gígir í Fljótum. Náttúrufræðingurinn 2, 178-179.

Haflidið Haflidason 1982. Jarðfræðiskýrsla vegna jarðsigs á Almenningum við Siglufjörð. Unnið fyrir Vegagerð ríkisins nóvember 1982.

Haukur Jóhannesson 1991. Yfirlit um jarðfræði Tröllaskaga. Árbók Ferðafélags Íslands 1991. 39-56.

Hreinn Haraldsson 1982. Greinargerð um jarðsig á Siglufjardarvegi. Vegagerð ríkisins 1982.

Hreggviður Norðdahl 1993. Skýrsla um laus jarðefni, gefin út á RB.

Larsen, E. and Seijrup, H. P. 1990. Weichselian land-sea interactions: Western Norway- Norwegian Sea. Quaternary Science Reviews, 9, 85-98.

Ólafur Jónsson 1976. Berghlaup. Ræktunarfélag Norðurlands, Akureyri, 623 bls.

Summerfield, M. A. 1991. Global Geomorphology. Longman Scientific and Technical. Essex England.

Svenson, H. 1989. The Rock Glacier, A New Feature in Scandinavian Geomorphology. Geografiske Annaler, 71A (1989). p. 95-98.

Þorleifur Einarsson 1968. Jarðfræði. Saga bergs og lands. *Mál og menning*, Reykjavík. 335 bls.

VATNSDALSHÓLAR - HUGLEIÐINGAR UM MYNDUN PEIRRA

Águst Guðmundsson. Jarðfræðistofan ehf. Rauðagerði 31. 108 Reykjavík

Prennt var lengi talið óteljandi á Íslandi, eyjarnar á Breiðafirði, vötnin á Tvíðægru og hólarnir í Vatnsdal. Ýmsar kenningar voru uppi um myndun Vatnsdalshóla og að mati nútímmamanna gætu sumar þótt langsóttar. Hér verður sagt stuttlega frá athugunum á Vatnsdalshólum og nágrenni þeirra og dregnar ályktanir sem eru á annan veg en viðteknar kenningar síðustu sex áratuga um myndun hólanna. Lítum nú á fyrrí athuganir.

Þorvaldur Thoroddsen segir í ferðabók sinni frá ferð árið 1888 er hann kom í Vatnsdalshóla og taldi þá vera myndaða á mótum tveggja jökulstrauma, er gengu út Vatnsdal og Víðidal. Líparít sem finnst í hólunum taldi hann vera komið úr Vatnsdalsfjalli ofan við bæinn Hvamm. Árið 1897 segir Þorvaldur aftur frá Vatnsdalshólum og í það sinn telur hann þá vera myndaða þannig að skriða hafi fallið úr Vatnsdalsfjalli nærrí bænum Hvammi út á skriðjökul. Jökullinn hefði síðan þokað efninu norður eftir og loks bráðnað undan því og lagt upphaflega skriðuefnið til í hólapyrpingu við utanvert Flóðið. Hann taldi því að Vatnsdalshólar væru jökulruðningur. Loks getur Þorvaldur Vatnsdalshóla í Lýsingu Íslands og telur þá vera sumpart fornar jökuloldur og sumpart skriðuefni sem hlaupið hafi yfir jökul og lagst í núverandi horf við bráðnun hans.

Jakob H. Líndal ritaði grein í Náttúrufræðinginn árið 1936 og skýrði þar myndun Vatnsdalshóla á þann hátt sem síðan hefur þótt fullnægjandi. Hann taldi að fjalllendið norðan Jörundarfells á Vatnsdalsfjalli hafi fyrrum verið miklu hærra en nú en efsti hluti fjallsins hafi hlaupið niður í Vatnsdalinn. Lögun hólanna megi skýra með því „að hlaupið hafi verið blandað háfjallajökli um leið og það féll, og að einstakir hólar og keilumyndanir séu eftirstöðvar stærri og minni bergbrota og steinaþyrringa, sem síðan hafi veðrast og fengið þessa lögun“. Jakob lýkur grein sinni með þessum orðum. „*Gögnin sem hólarnir sjálfir bera í skauti sínu, fyrnast ekki né týnast. Gátan liggar áfram opin til þess að glíma við. Ef til vill tekst öðrum að koma auga á einhver atriði, sem leiða til annarrar eða fyllri úrlausnar*“.

Sigurður Þórarinsson minnist á Vatnsdalshóla í greinaflokknum „Séð frá þjóðvegi“ III í Náttúrufræðingnum árið 1954. og segir svo. „*Næst verða á vegi þeir hólar, sem taldir eru meðal þess óteljandi á Íslandi, Vatnsdalshólar. Ýmsar skoðanir hafa verið uppi um myndun þessara hóla, og hafa sumir talið þá jökulgarða en aðrir eldstöðvar, en Jakob bóndi Líndal sýndi fram á það í grein, sem hann ritaði í þetta tímarit árið 1936, að þessi viðáttumikla hólapyrping er bergskriða, hlaupin fram úr Vatnsdalsfjalli. Mun mörgum þykja það ótrúlegt, er þarna fara um, en eftir að hafa skoðað svæðið úr lofti, sannfærðist ég fyrir mitt leyti fyllilega um það, að skoðun Jakobs Líndals er rétt*“.

Ólafur Jónsson segir í bókinni Berghlaup að Vatnsdalshólar séu eitthvert stórfenglegasta berghlaup á Íslandi, allt í senn stórfenglegir og dulúðugir. Hann leitar ýmissa leiða til að greiða berghlaupinu för svo langa leið, svo sem að vatn hafi verið í dalbotninum til að „léttu berghlaupinu flugið“. Ólafur telur að miðbikið geti verið úr nokkuð samfelldri bergfyllu er hafi þó gliðnað nokkuð og sprungið eftir að hún staðnæmdist. Hann getur þess að Jakob H. Líndal teldi sig finna á tveimur stöðum jökulnúið berg innan hólanna svo gera megi ráð fyrir að þeir séu víða þunnir.

Athuganir höfundar.

Minnugur orða Jakobs Líndals hef ég oft litið við í Vatnsdalshólum en ýmislegt hefur mér ekki þótt ganga upp í berghlaupakenningum Jakobs og þeirra er síðar hafa tekið undir þær. Sér í lagi hafa stungið í augu miklar frostveðraðar urðir uppi í Vatnsdalsfjalli, þar sem sumar þeirra líkjast greinilega urðarjöklamyndunum. Í djúpum giljum í hlíðinni ofan við Flóðið má sjá greinilega hallandi lagskiptingu í skriðufeldi hlíðarinnar nokkuð sem ekki ætti að sjást í berghlaupsseti. Sama er að sjá utar í hlíðinni upp af Hnausum. Þar er reyndar skeifulaga garðmyndun úr fínefnaríkri urð sem varla verður skýrð á annan hátt en að jökultunga hafi lafað þar niður hlíðina

og á eldri stigum gæti hún hafa náð niður að Hnausatjörn. Hliðstæð en þó daufari ummerki jöklar í suðurhlíðum Vatnsdalsfjalls má sjá í grennd við Bjarnastaði.

Á loftmyndum má sjá að miðhluti hólanna vestan við Flóðið lítur út eins og kúptur ás sem er skorinn sundur af mörgum vatnsfarvegum. Allt um kring standa strókmyndaðir hólar sem minnka út til jaðranna. Jaðarhólarnir líkjast um margt dauðíslandslagi af þeirri gerð er myndast getur framan við hopandi jökulsporða. Sumarið 1996 fór ég víða um miðbik hólanna vestan við veginn sem liggur inn í Vatnsdalinn og var aðallega að kanna samsetningu bergmola í hólunum. Sunnan við gamla veginn vestan Vatnsdalshólabæjar fléttast saman líparítbreyskja og basískt berg úr mjög ummynduðum hraunlögum. Í basísku hraunlögunum mátti sumsstaðar sjá láréttu lagskiptingu er bent til þess að bergið hefði ekki flutst til. Líparítið er þar aftur á móti svo óreglulegt og tætingslegt að ekkert varð ráðið um uppruna þess. Í melum um 3 km sunnan Vatnsdalshóla nærri Miðhúsum og Breiðabólsstað ber nokkuð á líparítdreif í jökulruðningi. Á 1-2 km belti sunnan Vatnsdalshóla sér lítið sem ekkert í berggrunn þar sem ræktuð hafa verið víðáttumikil tún. Norðan við bæinn Vatnsdalshóla er líparítsvæði, þar sem uppistaða hólanna sýnist vera á mörkum þess að vera í föstum berggrunni. Segulmælingar á þessum líparítkleggjum gáfu daufa svörun en þó jafnan veika „rétt“ segulstefnu. Víða í líparítkleggjunum finnast gangar sem stefna nær N-S. Þeir eru („rétt segulmagnaðir“) og sýnast vera í upprunalegri stöðu og sama er að segja um aðra hliðstæða ganga. Þetta bendir til þess að bergið nærri upphaflegri stöðu eins og það storknaði fyrir nokkrum milljónum ára en ekki umturnað í skriðuhlaupi.

Í Vatnsdalsfjalli, sunnan Vatnsdalshóla, eru líparítlög ofarlega í hlíðum og síga þau niður til vesturs í stöllum eftir samsíða misgengjum. Í Gedduhryggjum ofan við Hvamm í Vatnsdal og í giljum upp af Hjallalandi sést snörun á bergspildum vestur og niður í dalinn. Í Hjallanum í Vatnsdal eru kubbabergslög, svipaðrar gerðar eru í Hnjúknum innan við Flóðið. Vísbendingarnar benda til að bergspildur sunnan Vatnsdalshóla hafi sigið stórkostlega niður til vesturs frá því sem er í fjallinu. Samkvæmt þessu er talið að sömu súru bergsyrpurnar og sjást hátt uppi í Vatnsdalsfjalli séu komnar niður á láglendi í vestanverðum Vatnsdal. Telja má að þær séu sundur brotnar og bramlaðar í nágrenni öskjumyndunarinnar. Í Vatnsdalshólum eru farvegir eða ílangar dældir og skurðir sem geyma augljós merki eftir mikið vatnsrennsli og er þetta mest áberandi norðvestast í hólunum.

Niðurstöður.

Þegar við að lokum hugleiðum heilleika bergsins og segulmögnum líparíts og bergganga í Vatnsdalshólum, horfum á fundarstaði líparíts sunnan Vatnsdalshóla (sem fyrri athugendur virðast ekki hafa veitt athygli), lítum á hallandi lagskipt lausefni og e.t.v. jökulruðning í hlíð Vatnsdalsfjalls, tel ég að lang sennilegast sé að líparítsyrpurnar í Vatnsdalsfjalli séu komnar niður á láglendi í vestanverðum Vatnsdal vegna sighreyfinga eða höggunar í berggrunni. Í framhaldi af því tel ég að miðhluti Vatnsdalshóla sé úr föstum berggrunni sem sé sundurgraflinn af vatnsfarvegum og upprótaður af jökulsporði er hafi um langan tíma riðlast um hólana. Meginhluti hólanna sé þó úr lausum jarðlögum sem jökull hafi hreyft og mótað en ekki flutt um langan veg. Loks tel ég að af fyrri athugendum er ritað hafa um tilurð Vatnsdalshóla, hafi Þorvaldur Thoroddsen haft mest til síns máls þegar hann í fyrstu taldi Vatnsdalshóla vera myndaða við jökulsporða.

Heimildir.

Jakob H. Líndal, 1936: Hvernig eru Vatnsdalshólar til orðnir. Náttúrufræðingurinn 6: 65-75.

Ólafur Jónsson 1957. Skriðuföll og snjóflóð I. *Bókaútgáfan Norðri*, Akureyri, 586 bls.

Ólafur Jónsson 1976. Berghlaup. *Ræktunarfélag Norðurlands*, Akureyri, 623 bls.

Sigurður Þórarinsson 1954. Séð frá Þjóðvegi. Þar sem háir hólar.... Náttúrufræðingurinn 24: 7-15.

Þorvaldur Thoroddsen 1913-1915. Ferðabók I-IV (Reprint 1958-1960): Snæbjörn Jónsson & Co. hf.. Reykjavík

Þorvaldur Thoroddsen. 1931-1933. Lýsing Íslands. Ísafoldarprentsmiðja Reykjavík.

GOSMÖKKURINN YFIR HEKLU 1947 OG SAMANBURÐUR VIÐ REIKNILÍKÖN

Ármanн Höskuldsson, Náttúrustofu Suðurlands, Strandvegi 50, 900 Vestmannaeyjar
arm@eyjar.is

Í þessu erindi mun verða greint frá frumniðurstöðum rannsóknar á gjóskudreif Heklugossins 1947, þróun gosmakkarsins fyrsta daginn og samsvörun skráðra heimilda við reiknilíkön um þróun og risi gosmakka yfir eldfjöllum. Heklugosið 1947 er fyrir margra hluta einstakt í sögu jarðvísinda í heiminum. Einkum vegna þess að vísindalegar athuganir voru miklar og nákvæmar á gostímanum, eins og fram kemur í ritröð Vísindafélags Íslandinga (VÍ). Þar eiga þeir Sigurður Þórarinson, Trausti Einarsson og Guðmundur Kjartansson miklar þakkar skildar.

Sumarið 1996 fóru fram athuganir á gjóskudreifinni frá 1947 og var leitað eftir stærðardreifingu framandsteina og breytingum í kornastærð með fjarlægð frá Heklu. Niðurstöður þessara mælinga eru síðan notaðar til þess að reikna út hæð gosmakkarsins og fellingu gjóskunnar úr honum. Trausti Einarsson gerði mjög skilmerkilega grein fyrir þróun gosmakkarsins á fyrstu tímum gossins, sem hann birti í grein VÍ II,2 frá 1950 og verður stuðst við þær hér. Ennfremur verður stuðst við mælingar Sigurðar Þórarinsonar á gjóskudreifinni, sem birtar eru í grein VÍ II,3 frá 1950.

Niðurstöður frá stærðardreifingu framandsteina í gjóskudreifinni gefa til kynna að gosmökkurinn hafi verið um 21 ± 2 km, miðað við þekktan vindhraða, um 20 m/s. Uppstreymi gosefna á fyrstu tímum gossins var metið $13.500 \text{ m}^3/\text{s}$ (reiknað sem fast berg), samkvæmt líkan-reikningum ætti því gosmökkurinn að hafa stigið upp í 25 ± 2 km hæð. Með því að reikna hæðina út frá jafnþykktarlinum gjóskugeirans og heildarflatarmáli þeirra, fæst ins vegar niðurstaða sem er um 10 km. Trausti Einarsson telur að hámarkshæð gosmakkarsins hafi verið 27 km um kl. 07 að morgni 29. mars. Gosmökkurinn fór síðan lækkandi og náði jafnvægi í 10 km hæð um kl. 08 sama dag.

Samræmi milli reiknilíkana og mældrar hæðar gosmakkarsins í gosinu 1947 er nokkuð gott. Hafa ber í huga að breytingar á hæð gosmakkarsins á kostíma hafa bein áhrif á dreifingu gosefna. Það er því mikilvægt að sýnataka sé sem nákvæmust og fylgi lagskiptingu gjóskulagsins svo rekja megi breytingar í gosmekkinum á örtímaskala. Hinsvegar nýtast meðaltalstölur vel til þessa að túlka jafnvægistöðu gosmakkarsins.

SÍÐUSTU ANDVÖRP GJÁLPAR

Ármanн Höskuldsson, Náttúrustofa Suðurlands, Strandvegi 50, 900 Vestmannaeyjar
arm@eyjar.is

Eldgos hófst í Vatnajökli í byrjun október, 1996. Gosið hófst á um 500-600 m dýpi undir jöklínnum og braust upp úr honum eftir um 31 klst. Síðast sást til gosmakkarins í Gjálpar að morgni hins 13. október. Hlaup hófst í Skeiðará um 3 vikum síðar, eða þann 5. nóvember. Hlaupið tók snöggt af og var að mestu lokið um miðjan dag þann 6. október. Í kjölfar hlaupsins hófust sprengingar aftur í Gjálpar, er upp af stóð mikill gufumökkur. Þessar gufusprengingar má með sanni kalla hin síðustu andvörp Gjálpar. Jarðskjáftar samfara þessum síðustu sprengingum gefa ástæðu til að halda að hér hafi verið um smávægilega inskotavirkni að ræða. En hver er uppruni hennar og hvers vegna verður hennar vart í lok hlaups?

Rannsóknir á bólstrabergi og móbergshryggjum í Kverkfjöllum hafa leitt í ljós óeðlilega hátt hlutfall holrýmishlutfalla í kjörnum smáganga, æða og bólstra. Allt að 70% þessara fyribrigða hafa kjarna með mjög jafndreifðum og reglulegum blöðrum, sem mynda allt að 40%-50% kjarnans. Kvika sem er snöggkæld undir háum þrýstingi nær ekki að afgasast með eðlilegum hætti. Kvika sem stoppar á tiltölulega litlu dýpi leitast við að ná jafnvægi við það dýpi sem hún stöðvast á. Sé dýpið minna en 500 bör mun venjuleg þóleiít kvika mettast með tilliti til vatns og CO₂. Kvika mettuð eldfjallagösum er afar viðkvæm fyrir öllum þrýstilétti, þar sem það leiðir til yfirmettunar og útlösunar gasanna. Leitt er að því getum að í Kverkfjöllum séu ofangreind holrýmishlutföll í kjörnum hraunmassans merki um þrýstingsbreytingar yfir gosstöðvunum á gostíma.

Kvikan sem kom upp í Gjálpar var þróuð þóleiít kvika, á mörkum basalts og ísúrrar kviku. Gjóskukorn er bárust til yfirborðs á gostíma sýndu glöggt að kvikan var yfirmettuð af eldfjallagösum þar sem hún reyndist mjög blásin. Það er því öruggt að sú kvika er myndar innskot, ganga og hugsanlega bólstra í öskuhaugnum og kólnar hægar en sjálfur öskumassinn, er við mettunarmörk. Þessi kvika er þar með orðin ofurviðkvæm fyrir öllum utanaðkomandi þrýstibreytingum.

Í hlaupinu 5. til 6. nóvember lækkaði vatnsborð í Grímsvötnum um allt að 178 m, með öðrum orðum þrýstiléttir er svaraði til um 18 bara. Ef við gerum ráð fyrir að þessa þrýstiléttis gæti einnig yfir gosstöðvunum mun mettuð kvika í innskotum þegar byrja að afgasast að nýju. Útleysing gasa leiðir til rúmmálsaukningar þeirrar bráðar, sem í innskotunum er geymd. Þessari rúmmálsaukningu verður ekki mætt nema með aukinni innskotavirkni í öskuhaugnum, en þessi innskotavirkni er orsök sprenginganna í Gjálpar þann 6. nóvember, sem og þeirrar skjálftavirkni sem þá mældist.

JÖKULBERG FRÁ SÍÐMÍÓSEN

Árni Hjartarson og Guðmundur Ómar Friðleifsson

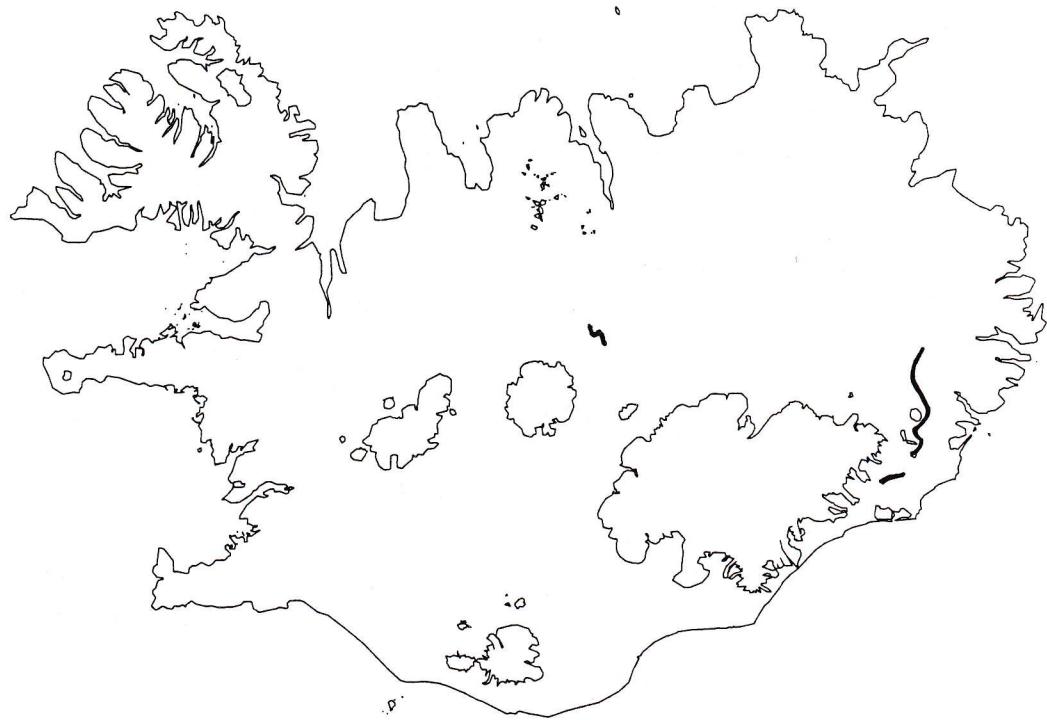
Við berggrunnskortlagningu á Austurlandi og í Austurdal í Skagafirði hafa fundist jarðög með sterkum jökulbergseinkennum í hraunlagastafla frá míósen. Á Austurlandi er setlagasyrpa sem nefnd er Bótarsæti. Hún hefur verið rakin um 30 km leið norðan frá Hornbrynu og suður í Hofsdal upp af Álfafirði. Neðst í syrpunni er setlag með surtarbrandi í. Síðan koma tvö þykk setlög sem hafa á sér afgerandi jökulbergsblæ, einkum þó hið neðra þeirra. Á milli eru víðast eitt eða tvö hraunlög. Neðra lagið er um 20 m þykkt að meðaltali og nær allt að 60 m. Á einum eða tveimur stöðum er hraunlag inni í því. Neðsti hluti þess hefur alstaðar á sér svipmót jökulbergs. Þar er það gert úr illa aðgreindu seti í öllum kornastærðum. Steinar og bergbrot eru af sundurleitri gerð. Grettistök í því eru sumstaðar 1,5 m að þvermáli. Ofan á jökulberginu er víða völuberg og sandsteinn og jafnvel gjóska. Hraunlagið undir er fágað og rofið. Jökulrispur hafa ekki fundist. Í jarðlagastaflanum undir Bótarsætinum eru flest setlög fíngerð og bera ekki vott um öflugt rof. Í staflanum yfir þeim endurspeglar setlögin aftur á móti mun meiri rofkrafta, jökulbergslegt set er algengt og gosmóberg verður tíðara. K/Ar og Ar/Ar aldursgreiningar á bergi á Austurlandi ásamt með bergsegulmælingum benda til að Bótarsæti séu um 7 milljón ára. Þau eru í rétt segulmögnum stafla sem tilheyrir epoch 6 í segultímatalinu (Árni Hjartarson o.fl. 1997a)

Berglagastaflinn í Austurdal í Skagafirði hefur verið kannaður all ítarlega. Hann er um 2500 m þykkur. Elsti hluti staflans hefur reynst vera um 9 milljón ára skv. K/Ar greiningum. Setlög eru fremur fíngerð í meginhluta staflans. Þursaberg og setlög með kaldhömöruðum svip sjást ekki fyrr en mjög ofarlega. Bergsegulmælingar benda til að þar sé aldurinn um 7 milljón ár. Þar eru tvö jökulbergslög sem aðskilin eru af þykku dyngjuhrauni. Staflinn er rétt segulmagnaður á þessum stað (Árni Hjartarson o.fl. 1997b).

Árið 1952 og oft síðan skrifaði Jón Jónsson um þursabergslög í Hornafirði sem hann telur að séu jökulættuð og af tertíerum aldri. Guðmundur Ómar Friðleifsson (1995) hefur áætlað aldur þeirra nálægt 7 milljónum ára. Lega þeirra í staflanum bendir til svipaðs aldurs og er á Bótarsæti.

Oft er talið að hin kvartera ísöld hafi hafist fyrir 1,8 milljónum ára og vitað er að loftslag hafði farið hægt kólnandi um ármilljónir þar á undan. Menn hafa þó löngum verið vantrúaðir á tilvist míósen jöklar á Íslandi. Á síðari árum hafa komið fram vísbendingar um jöklun á Grænlandi og raunar víðar á þessum tíma. Úthafsboranir undan suðausturströnd Grænlands, vestur af Reykjanesi, hafa leitt í ljós að jöklar voru farnir að ganga í sjó þar fyrir 7 milljón árum. Hugsanlegt er að Grænlandsjökull eigi upphaf sitt að rekja til jöklar á þessum slóðum því þarna eru fjöll hærri og úrkoma mun meiri en norðar á Grænlandi (Larsen o.fl 1994).

Niðurstaða þessa erindis er sú að elstu útbreiddu jökulbergslög í jarðlagastafla Íslands sé að finna á Austfjarðahálendinu og hugsanlega einnig í Hornafirði og inn af Skagafjarðardöllum. Þau eru frá síðmíósen, um 7 milljón ára gömul og því með elstu ummerkjum jöklunar á norðurhveli jarðar.



Kortið sýnir jökulberg frá míósen sem um er rætt í úrdrættinum.

Tilvitnanir:

Árni Hjartarson, Þórólfur Hafstað og Gunnar Ólafsson 1997: Sviðinhornahraun. Berggrunnsrannsóknir og kort. OS-97016, 24 s. + kort

Árni Hjartarson, Guðmundur Ó. Friðleifsson og Þórólfur Hafstað, 1997. Berggrunnur í Austurdal og Nýjabæjarfjalli. Jarðgagnaleiðir Merkigils- og Flatatungnurvirkjana. OS-skýrsla í vinnslu.

Guðmundur Ómar Friðleifsson 1995: Míósen jöklun á Suðausturlandi. I: Eyjar í eldhafi. Ritstjórn: Björn Hróarsson, Dagur Jónsson og Sigurður Sveinn Jónsson. Gott mál hf., Reykjavík, bls. 77-85.

H.C. Larsen, A.D. Saunders, P.D. Clift, J. Beget, W. Wei, S. Spezzaferri & ODP Leg 152 Scientific Party 1994: Seven Million Years of Glaciation in Greenland. Science 264, 952-955.

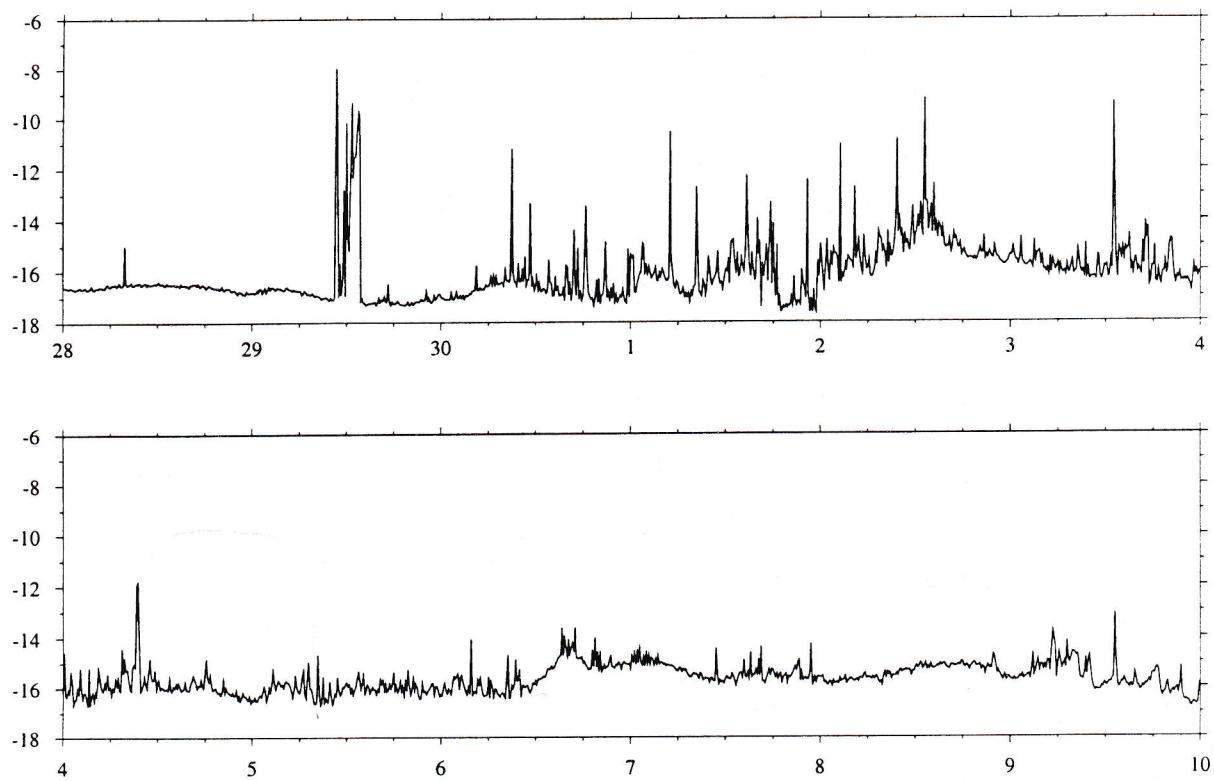
Jón Jónsson, 1952: Forn þursabergslög í Hornafirði. Náttúrufræðingurinn 22, 184-190.

GOS UNDIR VATNAJÖKLI 1995 - 1996

Bergþóra S. Þorbjarnardóttir, Ingi Þ. Bjarnason og Páll Einarsson, Raunvísindastofnun Háskólans, Dunhaga 5, 107 Reykjavík

Á fimmtán mánuðum kom skjálftaórói frá norðvesturhluta Vatnajökuls þrisvar fram á mælum, í júlí 1995 og ágúst 1996 samfara jökulhlaupum í Skaftá og í sprungugosinu í Gjálp í september - október 1996. Stafræn breiðbandsgögn gera okkur kleift að skilgreina bylgjueinkenni gosóróans og bera þau saman við einkenni óróans sem kom fram samfara jökulhlaupunum. Óróinn í júlí 1995 og ágúst 1996 er svipaður gosóróanum í Gjálpargosinu. Breytingar í orku bakgrunnsóróans eru hægar, en inn á milli koma orkumiklar hviður. Meginorka óróans í júlí 1995 og ágúst 1996 er með tíðni á bilinu 0.5 - 4.0 rið, sem er svipað og í gosóróá almennt. Óróinn í Gjálpargosinu er orkumestur á tíðnibilinu 0.4 - 2.5 rið. Munurinn gæti stafað af stærðarmun upptakasvæðanna. Orkumestu óróahvíðurnar samfara Skaftárhlaupunum voru sjáanlegar á mælum í meira en hundrað km fjarlægð. Bakgrunnsóróinn í júlí 1995 sást í 60 km fjarlægð, en 30 km fjarlægð í orkuminni atburðinum í ágúst 1996. Þessi mikla orka og athuganir á tíðni óróans leiða til þeirrar niðurstöðu að lítil eldgos hafi átt sér stað undir Skaftárkötlum í júlí 1995 og ágúst 1996. Gosið í júlí stóð í minnst 42 klst., ef tekin er sá tími sem bakgrunnsórói er sjáanlegur á nærliggjandi mælum í 15 - 30 km fjarlægð. Litlar hviður og lágtíðniskjálftar komu fram tveimur sólarhringum fyrr. Gosið í ágúst stóð í um 9 klst., en óróahvíða kom fram 8 klst. fyrr sem sást í 70 km fjarlægð og smærri hviður fylgdu sem sáust í 30 km fjarlægð.

Breytingar á orku skráða merkisins með tíma gefur mynd af gangi gosanna. Í Gjálpargosinu voru mestu sveifurnar í afl fyrstu two dagana (1. og 2. október) og náði hámarki um miðjan daginn 2. október. Um 18h hafði afluð minnkað aftur, var um tvisvar sinnum meiri en í byrjun goss og var nokkuð jöfn eftir það (sjá línumit). Gosin í júlí 1995 og ágúst 1996 fylgdu jökulhlaupum úr eystri og vestri Skaftárkötlum. Með því að bera saman gang gossins í júlí 1995 og mælingar á rennsli í Skaftá, höfum við komist að þeirri niðurstöðu að gos hafi verið byrjað undir eystri katlinum fyrir hlaupið og hafi komið hlaupinu af stað. Gosstyrkurinn hefur síðan aukist við þrýstingslækkunina sem varð við losun vatnsins úr katlinum. Aftur á móti kom óróinn í ágúst 1996 ekki fram fyrr en meirihluti bræðsluvatnsins hafði runnið úr vestri katlinum, meira en tveimur og hálfbum sólarhringum eftir að hlaup hófst. Það leiðir til þeirrar niðurstöðu að jökulhlaupið hafi valdið gosinu, þ.e. að kvikan hafi náð að brjóta sér leið upp á yfirborð þegar ísfarginu létti.



Náttúrulegur logri af styrk merkis yfir 10 mínútna tímabil dagana 28. sept. til 9. okt. 1996. Gögnin eru frá Kálfafelli, sem er í um 66 km fjarlægð frá gossprungunni.

JARÐSKORPAN Á REYKJANESSKAGA OG REYKJANESHRYGG: BYLGJUBROTSMÆLINGAR 1996 (RISE-1996), FYRSTU NIÐURSTÖÐUR.

Bryndís Brandsdóttir¹, Hajime Shiobara², Páll Einarsson¹, Ayako Nakanishi², Hideki Shimamura², Masashi Mochisuzi³, Robert White⁴ og Nick Weir⁴.

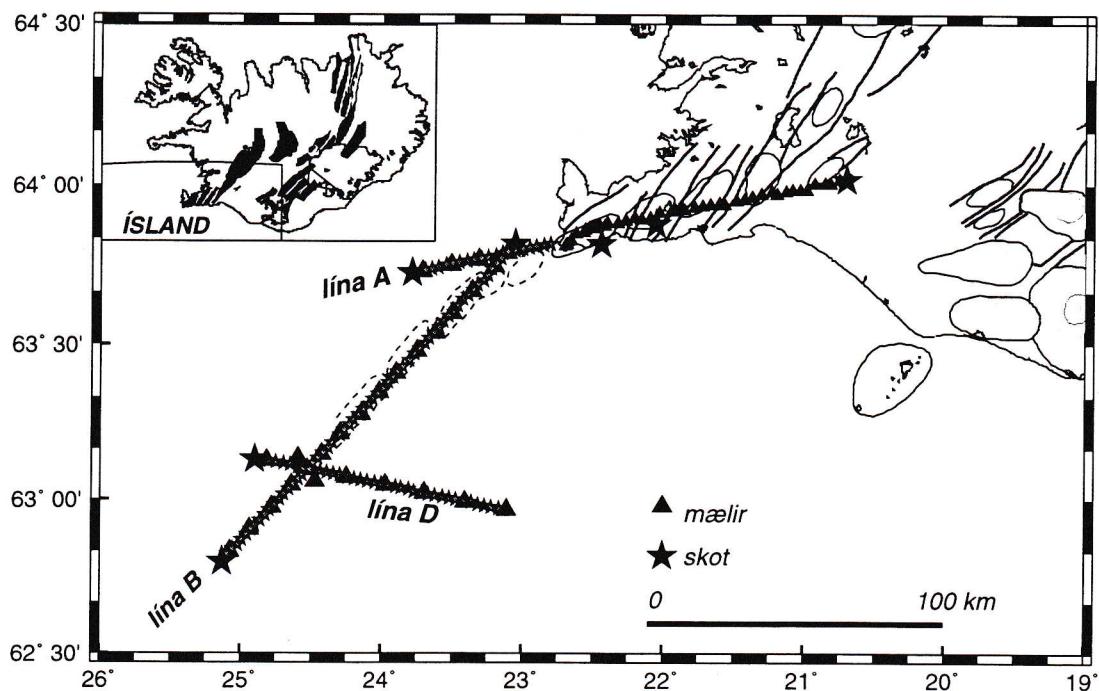
¹Raunvísindastofnun Háskólangs, Dunhaga 5, 107 Reykjavík,

²Laboratory of Ocean bottom Seismology, University of Hokkaido, Japan,

³University of Tokyo, Japan, ⁴University of Cambridge, Bretlandi.

Bylgjubrots- og jarðskjálftamælingar sýna að jarðskorpan á Atlantshafshryggnum er 10 km þykkari undir vestara gosbeltinu en á Reykjaneshrygg. Tvær mælingar eru til frá þessu svæði, frá 62.5°N (Mochizuki, 1995) þar sem jarðskorpuþykkt er 12 km og norðan Hengils, þar sem skorpan er um 22 km þykk (Bjarnason og fl., 1993).

Sumarið 1996 voru settir út 74 stafrænir jarðskjálftamælar á þrjár 165, 160 og 95 km langar mælilínur á Reykjanesskaga og Reykjaneshrygg með það að markmiði að fá betri mynd af þykknun jarðskorpunnar frá hryggnum og yfir í gosbeltið, en einnig til þess að kanna tilvist grunnstæðra kvíkuhólfa undir tveimur háhitasvæðum, Eldvörpum á Reykjanesi og Steinahól á Reykjaneshrygg. Jafnhliða jarðskjálftamælingum voru gerðar bylgjubrotsmælingar í sjó þar sem sprengdar voru 7 kg sprengjur með u.þ.b. 2.5 km millibili eftir sjómælínunum. Einig voru sprengdar 7 stærri sprengjur (150–300 kg) í sjó og vötnum á landi (sjá mynd).



RISE-1996 mælilínur og skotstaðir. Lína A var 165 km löng með 47 skjálftamælum á landi og 4 neðansjávarmælum. Lína B var 160 km löng með 16 neðansjávarmælum en lína D 95 km löng með 7 neðansjávarmælum. Auk þess voru settir 2 neðansjávarmælar til viðbótar þar sem línlur B og D skerast við Steinahól á Reykjaneshrygg.

Úrvinnsla bylgjubrotsgagna úr 27 neðansjávarmælum er komin vel á veg en úrvinnsla gagna frá 47 mælum sem reknir voru á landi er rétt að hefjast. Fyrstu niðurstöður frá neðansjávarmælum eru eftirfarandi:

- Þykkt efri hluta skorpunnar, sem hefur P-bylgjuhraða 2.0–6.5 km/s, er að jafnaði um 4 km á Reykjaneshrygg (lína B) en sveiflast frá 3 í 6 km á svæðinu við Steinahól. Efri skorpan á hrygnum virðist því hafa svipaða þykkt og undir vestara gosbeltinu, þar sem hún er 3.2–4.5 km þykk samkvæmt endurtúlkun Ólafs Flóvenz (1980) á gögnum Guðmundar Pálasonar (1971). Engin þykknun á efta hluta skorpunnar á sér stað út frá hrygnum eftir línu D, en sú mælilína spannar 0–7 milljón ára gamla skorpu. Mælingar Gebrande og félaga (1980) benda einnig til þess að efri skorpan þykkní lítíð sem ekkert með aldri þar sem dýpi á 6.5 km/s jafnhraðaflöt á syðsta hluta RRISP-mælilínunnar er innan við 5 km frá landgrunnsbrún suðurvestur af Vestmannaeyjum og að 62.75°N, 24°W. Til samanburðar má geta þess að efri skorpan þykknar úr rúmlega 3 km norðan Hengils í tæpa 6 km undir Rangárvöllum samkvæmt mælingum Inga Bjarnasonar og félaga (1993).
- Óvenju mikil P-bylgjudeyfing á sér stað á svæðinu við Steinahól þannig að illmöglugt er að greina komutíma P-bylgna í meira en 40 km fjarlægð, en P- og PmP-bylgjur hafa sama komutíma í um 50 km fjarlægð frá skoti, sem samsvarar 12 km þykkrí skorpu. Ekki hefur verið unnið nægjanlega vel úr gögnunum til þess að hægt sé að gera sér grein fyrir hvernig skorpuþykkt breytist eftir hrygnum. Þeir PmP fasar sem skoðaðir hafa verið benda til þess að skorpan sé um 12–17 km þykk á svæðinu við Steinahól en jarðskjálftagögnin munu væntanlega upplýsa betur botngerð skorpunnar.

HEIMILDIR.

Bjarnason, I.Th., W. Menke, Ó.G. Flóvenz and D. Caress. Tomographic image of the Mid-Atlantic plate boundary in southwestern Iceland. *J. Geophys. Res.* 98, 6607–6622, 1993.

Flóvenz, Ó.G., and K. Gunnarsson, Seismic crustal structure in Iceland and surrounding area, *Tectonophysics*, 189, 1–17, 1991.

Gebrande, H., H. Miller, and P. Einarsson, Seismic structure of Iceland along the RRISP profile 1, *J. Geophys.*, 47, 239–249, 1980.

Masashi Mochizuki, japönsk doktorsritgerð, 1995.

Pálason, G., *Crustal Structure of Iceland From Explosion Seismology*, 187 pp., Soc. Sci. Isl., Reykjavík, 1971.

JARÐSKORPAN Í NYRÐRA GOSBELTINU: BYLGJUBROTS- OG JARÐSKJÁLFTAMÆLINGAR 1996, NIÐURSTÖÐUR.

Bryndís Brandsdóttir¹, William Menke^{2,3}, Michael West^{2,3}, og David Sparks².

¹Raunvísindastofnun Háskólans, Dunhaga 5, 107 Reykjavík,

²Lamont-Doherty Earth Observatory, Palisades NY, USA.

³ Department of Earth and Environmental Sciences, Columbia University, NY, USA.

Möttuluppstreymi vegna möttulstróks undir Íslandi gerir það að verkum að hér hleðst upp þykkari jarðskorpa en annars staðar á Atlantshafshryggnum. Bylgjubrots- og jarðskjálftamælingar sýna að jarðskorpa Íslands er riflega 20 km þykkari við miðju heita reitsins undir norðvestanverðum Vatnajökli (nánar tiltekið 35 km við Urðarháls, skammt norðan Bárðarbungu) en á Reykjaneshrygg, þar sem hún er 12 km (Mochizuki, 1995). Greinilegt er þó að heldur hefur dregið úr afköstum heita reitsins síðustu 10 milljón árin þar sem jarðskorpan sem nú er að myndast í gosbeltunum er 10-15 km þynnri (Bjarnason og fl., 1993; Brandsdóttir og fl., 1997) en tertíera skorpan undir Austfjörðum (Staples og fl., 1997) og á Íslands-Færeyjahryggnum (Bott og Gunnarsson, 1980). V-laga hryggir við Reykjaneshrygg endurspeglar einnig sveiflur í möttulvirkninni (White og fl., 1995; White 1997).

Háhraðaskrokkar einkenna innviði íslenskra megineldstöðva (Pálmason, 1971; Flóvenz, 1980; Bjarnason og fl., 1993; Brandsdóttir og fl., 1997; Staples og fl., 1997). Allt frá því að nyrðra gosbeltið varð virkt, fyrir um 6-7 milljónum ára (Sæmundsson, 1974, 1995; Jancin og fl., 1985) hafa megineldstöðvar þess hlaðið undir sig djúp- og innskotabergi á meðan hlutfallslega lítill hluti af framleiðslu þeirra skilaði sér til yfirborðs í eldgosum. Háhraðaskrokkarnir eru byggðir upp af innskotum og botnfalli úr kvíkuhólfum. Kvíkuhólf gegna því lykilhlutverki í framleiðslu jarðskorpunnar. Kvikan safnast saman við þar sem hún er í eðlismassajafnvægi við umhverfi sitt, ofarlega í skorpunni, og myndar þar kvíkuhólf sem síðan virkar sem gildra á það sem á eftir kemur að neðan. Jafnvægismörkin geta breyst á þróunarskeiði eldstöðvarinnar, þau geta færst ofar með tíma við það að hlutfall eðlisþungs innskotabergs eykst. Kvíkuhólfin hlaða þannig uppendir sig eftir því sem viðkomandi eldstöð eldist og þegar þau hafa náð ákveðnu þróunarstigi, þ.e. eru komin upp í efstu 3-5 km skorpunnar, eða orðin mjög stór, þá fer áhrifa þeirra að gæta meira á yfirborði, svo sem með örari öskjumyndunum.

Vorið 1996 voru gerðar jarðskjálfta- og bylgjubrotsmælingar á 80 km langri mælilínu, frá Svartárkoti í Bárðardal og norður á Tjörnes, með það að markmiði að skoða breytingar í jarðskorpuþykkt við vesturjaðar nyrðra gosbeltisins og uppbyggingu þess. Sprengingar við enda mælilínunnar, í Skjálfanda og í Íshólsvatni, voru notaðar til þess að kortleggja efstu 8 km jarðskorpunnar en sprenging í Vopnafirði til þess að skoða uppbyggingu gosbeltisins á 8-12 km dýpi undir Þeistareykjum, Kröflu og Fremri-Námum. Jarðskjálftar í norðvestanverðum Vatnajökli og Tjörnesbrotabeltinu voru notaðir til þess að kortleggja jarðskorpuþykkt en skjálfti undir austanverðum Mýrdalsjökli til þess að skoða möttulhraða undir miðju landsins.

Niðurstöður eru eftirfarandi:

- Tveir háhraðaskrokkar einkenna efstu 6 km skorpunnar undir mælilínunni. Hvor skrokkur er 30-40 km í þvermál (á 6 km dýpi) og mjókkar uppávið, upp á 2 km dýpi (miðað við jafnhraðalínu 6.0 km/s). Sennilegast eru þessir háhraðaskrokkar leifar gosstöðva frá Skaga gosbeltinu þar sem þeir tengjast engum nútímaeldstöðvum svo sjáanlegt sé.
- Dýpi á 4 km/s jafnhraðaflöt er mest um rúmlega 1 km í mynni Aðaldals sem gæti bent til þess að setfyllan í Aðaldal sé nálægt þeirri þykkt.
- Áhrifasvæði megineldstöðvarinnar Kröflu teygir sig norður á austanverða Þeistareyki og suður undir Fremri Námur í formi 70 km langa (NS) og tæplega 50 km breiðs (AV) krossлага háhraðaskrokk (með P-bylgjuhraða 6.6–6.9 km/s) á um 10 km dýpi. Því er líklegt að eldvirkni hafi verið í gangi undir Kröflu í a.m.k. 2 milljónir ára.
- Jarðskorpan er um 25 km þykk frá Flateyjardalsskaga og suður í miðjan Bárðardal en þykknar um 5 km suður að Trölladyngju, þar sem hún nær rúmlega 30 km þykkt.
- Undir miðju landsins (nálægt Hágöngum) er hraði möttulbylgna 8.00 ± 0.1 km/s (P_n) og 4.31 km/s (S_n). Hraðahlutfall P_n/S_n (1.85 ± 0.02) bendir til þess að hitastig möttulsins á þessu svæði sé töluvert undir kristöllunarferli (solidus) harzburgíts.

HEIMILDIR.

- Bjarnason, I.Th., W. Menke, Ó.G. Flóvenz and D. Caress. *J. Geophys. Res.*, 98, 6607–6622, 1993.
Bott, M. and K. Gunnarsson. *J. Geophys.*, 47, 221–227, 1980.
B. Brandsdóttir, W. Menke, P. Einarsson, R.S. White and R.K. Staples. *J. Geophys. Res.*,
í prentun, 1997.
Flóvenz, Ó.G., and K. Gunnarsson, *Tectonophysics*, 189, 1–17, 1991.
Gebrande, H., H. Miller, and P. Einarsson, *J. Geophys.*, 47, 239–249, 1980.
Jancin, M., K.D. Young, B. Voight, J.L. Aronson, and K. Sæmundsson. *J. Geophys. Res.*, 90,
9961–9985, 1985.
Masashi Mochizuki, japönsk doktorsritgerð, 1995.
Pálmasón, G., *Crustal Structure of Iceland From Explosion Seismology*, 187 pp., Soc. Sci. Isl.,
Reykjavík, 1971.
Staples, R.K., R.S. White, B. Brandsdóttir, W. Menke, P.K.H. Maguire, and J. McBride. *J. Geo-
phys. Res.*, í prentun 1997.
Sæmundsson, K., *G. Soc. Am. Bull.*, 85, 495–504, 1974.
Sæmundsson, K. *Ágrip erinda og veggspjalta. Jarðfræðafélag Íslands*, 48–50, 1995.
White, R.S., J.W. Bown, and J.R. Smallwood. *J. Geol. Soc. London*, 152, 1039–1045, 1995.
White, R.S. *Phil. Trans. R. Soc. Lond. A.*, 355, 319-339, 1997.

VEFSÍÐA JARÐFRÆÐAFÉLAGS ÍSLANDS - KYNNING

Georg R. Douglas, Menntaskólanum við Hamrahlíð (george@rvik.ismennt.is)

Inngangur

Haustið 1996 var ákveðið að koma upp vefsíðu á vegum Jarðfræðafélags Íslands, í samræmi við núverandi stefnu flestra framsækkinna fagfélaga og stofnana. Fyrst um sinn verður vefsíðan á íslensku, en seinna er hugmyndin að hafa útgáfuna a.m.k. líka á ensku. Tilgangurinn með vefsíðunni er að veita félagsmönnum ýmsa þjónustu og auk þess að kynna starfsemi félagsins fyrir öðrum og gera þeim kleyft að ná sambandi við stjórn og aðra félagsmenn. Á veggspjaldinu er gerð stuttlega grein fyrir helstu þáttum og kostum vefsíðunnar, og þar eru einnig sýnishorn af nokkrum síðum þó að þær séu á byrjunarstigi enn sem komið er.

Vefsíðan geymir grunnupplýsingar um Jarðfræðafélag Íslands, og einnig er henni ætlað að vera mjög virkur vettvangur þar sem hægt verður að koma upplýsingum um fundahald, ráðstefnuhald og fréttir á framfæri á sem fljótlegastan máta. En ekki síður er hugmyndin að geyma þar safn af eldri ráðstefnu-ágripum, fréttabréfum og öðrum gögnum sem menn geta flett upp í á einfaldann og þægilegan hátt.

Félagsmenn eru hvattir til að kynna sér möguleikana sem þetta býður upp á og til að koma með hugmyndir og ábendingar um hvað þeir vilja sjá á vefsíðunum. Þar til gerð eyðublöð liggja frammi við veggspjaldið.

Helstu þættir vefsíðanna

Starfsemi, lög og stjórn - stutt lýsing á starfsemi Jarðfræðafélags Íslands og lög þess. Ýmsar nefndir sem hafa starfað á vegum félagsins og lýsing á starfssemi þeirra.

Fræðslufundir og ráðstefnur - upplýsingar um væntanlega fræðslufundi á vegum JFÍ og listi yfir fræðslufundi aftur í tímann. Titill fundanna er líka tilvísun ([link](#)) í ágrip fundarefnisins. Upplýsingar eru gefnar bæði um innlendar og erlendar ráðstefnur og vonast er til að geta gefið ágrip af erindum og veggspjöldum. Ábendingar um erlendar ráðstefnur, sem gætu verið áhugaverðar fyrir félagsmenn eru vel þegnar. Notið þá tölvupóstfang stjórnandans: jfi_stj@os.is

Fréttabréf - nýjasta fréttabréf félagsins auk eldri fréttabréfa, raðað eftir dagsetningu. Með því að smella á titilinn fæst fréttabréfið í fullri lengd.

Netföng félagsmanna - listi með tölvupóstföngum félagsmanna. Þegar smellt er á viðkomandi nafn birtist gluggi þar sem skrifa má bréf og síðan senda (virkar í langflestum "browsers" eins og Netscape).

Áhugaverðar vefheimildir - hugmyndin er að gefa tilvísanir (links) í aðrar vefsíður, bæði innlendar og erlendar, sem gætu komið að gagni fyrir félagsmenn. Í fyrstu verður þetta takmarkað við önnur jarðfræðafélög og stærri jarðfræðistofnanir, en í framtíðinni verður reynt að byggja upp safn af vefsíðum innan vel skipulagðs flokkunarkerfis.

Upplýsingatafla - vefsíður þar sem stjórn JFÍ og félagsmenn geta komi splunkunýjum fréttum eða upplýsingum á framfæri. Til að byrja með geta félagsmenn sent stjórn félagsins tölvupóst en fleiri möguleikar, svo sem myndbirting, verða e.t.v. nýttir seinna.

SAGA GULLLEITAR Í ÞORMÓÐSDAL

Guðmundur Ó. Friðleifsson¹⁾, Hjalti Franzsson¹⁾, Bjarni Bjarnason²⁾, Hallgrímur Jónasson³⁾, Fredrik Ros⁴⁾, Allan Flavelle⁴⁾, Peter Miller⁴⁾ og John Karajas⁴⁾

- 1) Orkustofnun, 2) Kísiliðjan, Málmís hf og Melmi ehf, 3) Iðntæknistofnun, Málmís hf og Melmi ehf, 4) Melmi ehf.

Í tengslum við hugsanlega aðild útlendinga að áframhaldandi gullleit á Íslandi á vegum Málmís hf. var reynt að draga fram sem mesta vitneskju um gullleit í Þormóðsdal á fyrri hluta aldarinnar (a). Leitarfyrirtækið Melmi ehf. var stofnað í framhaldi af því á árinu 1996. Starfsemi Melmis hefur til þessa mest beinst að Þormóðsdal. Hér er fjallað um sögu gullleitar í Þormóðsdal frá byrjun aldarinnar, leitar Málmíss hf á árunum 1989-1995, og loks Melmis ehf. á árinu 1996. Fyrirhugað er framhald á gullleit í Þormóðsdal, og víðar, á vegum Melmis síðar á þessu ári, og verður aðeins komið inn á þau áform í lok þessa erindis, og í erindi Hjalta Franzsonar o.fl. (b) á þessari vorráðstefnu JFÍ.

Leitað var heimilda um gullnám í Þormóðsdal í Þjóðskjalasafni, í Þjóðarbókhlöðu, í flestum útgefnum bókum sem fjalla að gagni um ævi og störf Einars Benediktssonar og í einkagögnum Sigurðar Ragnarssonar, sagnfræðings. Fyrsta heimildin sem skoðuð var og tengir Þormóðsdal við málmleit, er bréf Sveins Björnssonar til stjórnarráðsins, dagsett 21.12.1908 (Dagb. 2, nr.440), varðandi tilkynningu 16 aðila í Námuflagi Íslands um málmfund á 77 stöðum í landi Þormóðsdals. Ekki fer neinum beinum sögum af gullleit félagsins, en á þessum árum bjó Einar Guðmundsson í Miðdal, og voru þeir mægðir hann og Einar Benediktsson. Skömmu eftir aldamótin sendi Einar bóndi nokkur sýnishorn til Steingríms Tómassonar í Ástralíu, sem var móðurbróðir Valgerðar konu Einars bónða, og Valgerðar konu Einars skálds. Þóttu Steingrím sýnin álitleg og var það ekki síst fyrir áeggjan skáldsins að Steingrímur kom hingað til lands 1908 til frekari könnunar, og ekki er ólíklegt að Námuflagið hafi tengst því máli. Er skemmt frá því að segja að Steingrímur rakti kvarsæðina beggja megin Seljadalsár, tók með sér slatta af sýnishornum til Ástralíu, og kvað síðan endanlega upp úr um það að gullkvarsið væri vinnsluhæft.

Það næsta sem gerðist í gullleitinni í Þormóðsdal var að dótturfyrirtæki breska verslunarfyrirtækisins North Western Syndicate, sem Einar Benediktsson átti að hluta og var forstjóri fyrir, stofnaði leitarfyrirtækið Pluto ltd. Í Kristianú (Oslo) 25. júlí 1911. Formaður félagsins var Fredrik Hiorth verkfræðingur. Hlutafé var £100.000, skipt í 20,000 handhafahluti á £5 hvern, sem að verulegu leyti var fólgιð í jarðeignum Einars og fleiri Íslendinga hér. Þannig var hlutur Einars og Northwestern Syndicate 19.600 hlutir, eða jafngildi £98.000, en Norðmenn lögðu fram mismuninn, þar af átti Fredrik Hiorth bróðurpartinn eða 310 hluti. Á árinu 1911-1912 voru svo grafin um 150 m löng námugöng í landi Miðdals sunnan Seljadalsár, og voru Lappar og Finnar meðal námuverkamanna þar. Námugöng Pluto Ltd. voru opnuð að litlum hluta til á síðasta ári á vegum Melmis ehf, og er ljóst að ekki er um ein samfeld námugöng að ræða, heldur hafa þeir grafið sig niður eftir kvarsæðunum á nokkrum stöðum, og haett greftri er æðarnar þynntust út. Ein slik göng standa enn opin og eru þau rúmlega mannhæðar há og rétt um 1 m á breidd. Kvarsinu virðist hafa verið safnað í hauga á yfirborði og einungis lítil hluti þess fluttur til útlanda og greindur. Ekki varð af frekari framkvæmdum á vegum Pluto ltd. og kann fyrri heimsstyrjöldin, 1914-1918, að hafa haft þar áhrif. Einari tókst hvorki að endurvekja áhuga Norðmanna né Bretta eftir stríðið, en 1922 fór hann til Þýskalands og dró þá til tíðinda.

Árið eftir, 1923, er Nordische Bergbau Gesellschaft í Hamborg stofnað, og tók það til við námugröft í Þormóðsdal sama ár. Félagið virðist þó fljótlega hafa farið á hausinn er aðaleigendur þess urðu öreigar á einni nóttu við hrún þýska marksins 1923. Strax var þó stofnað nýtt félag um námureksturinn, Arcturus ltd., sem starfaði hér á árunum 1924 og 1925. Einn aðaleigandi þess var hershofðinginn Erich Trowitz, og skrifuðust þeir Einar á fram til 1930 a.m.k. Þjóðverjarnir eru taldir hafa grafið hér um 200 m löng námugöng í landi Þormóðsdals. (Hluti þessara námuganga var opnaður 1995 á vegum Línuhönnunar hf., sem fékk leyfi til að vinna kvars til endurnýjunar á klæðningu Háskóla Íslands, sem húðaður er gullkvarsi.) Auk þess lét Arcturus opna gryfjur og námugöng sunnan megin ár, og unnu hér m.a. þýski jarðfræðingurinn Keilhach og námuverkfraeðingurin Marburgh. Eithvað af kvarsinu var sent út til Þýskalands, trúlega aðalega sýnishorn til tilraunavinnslu, en mest af kvarsinu virðist hafa orðið hér eftir og var síðar selt mýrurum í Reykjavík sem blönduðu því við hranftinnu og silfurberg, o.fl. og notuðu á helstu byggingar í Reykjavík millistríðsárruna. Ekki er alveg ljóst hvers vegna gullnámi var hætt í Þormóðsdal, nema hvað fjárskortur er auðsær, og ljóst er að efnahagur Þjóðverja var í rúst á þessum árum, heimskreppan skall á 1929, og síðar seinni heimstyrjöldin. Aðal drifffjöðurin, Einar Bendiktsson, var auk þess farinn heilsu um 1930, en hann og "herrn major" Erich Trowitz virðast þó alla tíð hafa haft trú á að vinna mætti gullið úr kvarsinu. Í einu af bréfi Einars til Erichs, 29/9/1928, segir Einar lausnina fólgna í því "að ekki eigi að flytja námuna til Þýskalands, heldur eigi að setja upp vinnslufyrirtæki á Íslandi" Ekki hefur tekist að hafa upp á uppdráttum af nánum og gryfjum, né heldur marktækum greiningargögnum á gullinnihaldi bergsins, sem talið var að hafi verið frá 11-315 g/tonn í 1 m breiðri æð, meira en 1 km á langri. Heildarmagn kvarsins var metið um 80.000 tonn.

Næstu 50 árin gerist síðan ekkert í gullmálum í Þormóðsdal, en 1989 tókum við Orkustofnunarmenn nokkur sýni til mælinga þaðan, ásamt sýnum úr Hafnarfjalli, Esju, Hornafirði og víðar. Fyrirtækið Málmís hf., sem er í eigu Kísiliðjunnar og Iðntæknistofnunar, var stofnað upp úr því og sótti síðan, ásamt með Orkustofnun, um þriggja ára gullleitarstyrk til Rannsóknarráðs, og stóð sú gullleit yfir frá 1991 til 1993. Slatti af sýnum úr námuhratinu í Þormóðsdal lofaði strax góðu og var því aukið við rannsóknir þar 1991 og 1992. Á sama tíma lét Hitaveita Reykjavíkur bora 455 m djúpa hitastigulsholu (HSÝ-27) rétt yfir kvarsæðinni, og gagnaðist borsvarfið okkur í gullleitinni sérlega vel. Niðurstöðum er öllum lýst í framvinduskýrslum til Málmíss, 1991, 1992 og loks 1993 (d), en þar kemur fram að í rúmlega 40 sýnum úr gamla námuhratinu mældust frá 2-102,000 ppb af gulli, að meðaltali 7800 ppb, sem eru nærrí því 8 g/tonni. Kvartsútfellingar voru tíndar úr svarfsýnum á þremur dýptarbilum úr hitastigulsholunni, frá 50-70 m dýpi, 260-330 m dýpi og frá 410 m dýpi niður í botn holunar. Gullinnihald mældist að meðaltali rúmlega 4 g/t í þessum sýnum. Varlegt mat á stærð hugsanlegrar námu í ljósi fyrirliggjandi gagna benti til að kvarsæðin væri a.m.k. 400-450 m löng á yfirborði, næði a.m.k. 500 m dýpt, og væri a.m.k. 1 m breið. Út frá borholugögnum virtust fleiri æðar vera til staðar sem gætu tvöfaldar þetta magn.

Árið 1995 sáum við fyrst almennilega í kvarsæðina er Línuhönnun lét opna hana (sjá ofar), og notuðum þá tækifærið til sýnatöku. Tekin var slatti af handsýnum, einhverskonar ónákvæm meðalsýni þvert yfir misgengisbeltið, sem innihélt sundurbrotnar kvarsæðar og leirbelti. Þessi sýni lét Málmís hf síðan mæla og reyndust sýnahóparnir þrír innihalda 2,5 g/t, 2,7 g/t og 1,5 g/t að meðaltali í 25 sýnum alls.

Loks er þá komið að fyrirtækinu Melmi ehf sem stofnað var 1996. Lét það grafa 8 gryfjur sunnan megin ár (Miðdalsmegin), og bora 9 skáholur í gegnum misgengisbeltið beggja megin ár (e). Niðurstöður eru jákvæðar ennþá og virðist meðalgullmagn í æðinni liggja nærrí 3 g/t á 2 m breiðu beltí langs eftir æðinni. Jafnframt er ljóst að gullmagn er mjög breytilegt frá einum stað til annars og gullgildi frá < 1 g/t í 2 m beltí upp í 27 g/t í 2 m æð sjást í gögnunum og allt þar á milli. Gerir það meðaltalsreikninga erfíðari. Meðaltal upp á 3 g/t stendur hins vegar ekki undir gullnámu nema það takist að sýna fram á að meira magn af gullríku bergi sé til staðar í framhaldi af æðinni sem þegar hefur verið skoðuð, eða til hliðar í næsta nágrenni. Til að ganga úr skugga um það þarf meiri boranir, fleiri gryfjur og sýnatökur á yfirborði. Framtíðaráformin snúast m.a. um það strax á þessu ári, auk fyrirhugaðrar eftirleitar á fjölmörgum leitarsvæðum Melmis ehf. Nú er unnið af krafti að öflun áhættufjár á fjármagnsmörkuðum, einkum erlendis, en Íslendingum er að sjálfsögðu heimilt að vera með.

Niðurstaða þessa greinarkorns er einkar jákvæð í garð frumkvöðlanna á fyrri hluta aldarinnar, og er með ólíkindum að hér hafi gullleit lagst af í $\frac{1}{2}$ öld. Hér hefur gull náð að setjast til í jarðhitakerfum og það ekki bara í Þormóðsdal heldur víðar. Spurningin snýst því ekki um það hvort hér finnist gull, heldur hvort nægjanlegt magn af vinnsluhæfu gullgrýti hafi náð að safnast fyrir á það afmörkuðum blettum að jarðvinnsla borgi sig. Núna snýst gulleit á Íslandi um að finna slika bletti, og er þar líkt á komið með okkur og öllum öðrum sem gullleit stunda annars staðar í heiminum.

Tilvitnanir:

- a) Guðmundur Ó. Friðleifsson, 1996. A search for historical data on the old mines and exploration in Thormodsdalur-Middalur. Report to Málmís hf, 5 pages and mimeographs of seven historical documents from the 1930's.
- b) Hjalti Franzson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Bjarni Bjarnason og Hallgrímur Jónasson, 1997. Gullleit á Íslandi. Ágrip erinda á vorráðstefnu JFÍ.
- c) Hjalti Franzson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Bjarni Bjarnason og Hallgrímur Jónasson, 1995. Epithermal gold exploration in Iceland. Water-Rock Interaction, ed. Kharaka and Chudaev. Balkema, Rotterdam, bls. 671-674.
- d) Hjalti Franzson og Guðmundur Ó. Friðleifsson, 1993. Exploration for gold. Result of the 3rd year's survey. Report to Málmís ltd. 31 bls.
- e) John Karajas, 1996. Thormodsdalur Prospect, Reykjavík District, Iceland: Report on results of 1996 exploration programme and exploration implication. Melmi ehf, internal report, October 1996, 20 bls.

GULLLEIT Á ÍSLANDI

Hjalti Franzson⁽¹⁾, Guðmundur Ó. Friðleifsson⁽¹⁾, Bjarni Bjarnason⁽²⁾ og Hallgrímur Jónasson⁽³⁾.

1) Orkustofnun, 2) Kísiliðjan, Málmís, 3) Iðntæknistofnun, Málmís.

Málmís hf var stofnað 1991 og hefur í samstarfi við Orkustofnun stundað gullleit á 12.000 km² leitarsvæðum frá Hvítá í Borgarfirði suður um austur og norður að Eyjafirði miðjum (mynd 1). Rannsóknarráð styrkti gullleitina í 3 ár 1991-1993. Helstu niðurstöðum var lýst 1995 (a) og fjallar þetta ágrip um sama efni. Árið eftir var starfsemi Málmiss útvíkkuð með þátttöku erlendra aðila og hlutafélagið Melmi ehf var stofnað. Stóð það fyrir umtalsverðum rannsóknum í Þormóðsdal á síðasta ári sem lýst er að nokkru á öðrum stað í þessu ráðstefnuhefti (b).

Segja má að gullleitin hafi hafist fyrir alvöru 1989 er gömul gögn voru endurskoðuð og könnunarsýni voru tekin úr virkum og gömlum jarðhitakerfum á Vesturlandi og Suðausturlandi. Þrjár rofnar megineldstöðvar voru valdar til frekari könnunar 1990. Árið eftir var Málmís hf stofnað og leitarleyfi fengin hjá Iðnaðarráðuneytinu. Á sama ári var annað gullleitarfélag stofnað, Suðurvík hf, og gerðu félögin tvö með sér "heiðursmanna" samkomulag um að skipta með sér landinu og voru leitarsvæði Suðurvíkur þannig öll nema eitt, norðan Hvítár í Borgarfirði, norður úr og austur að Eyjafirði miðjum. Leitarsvæði í Hvalfjarðareldstöðinni fékk Suðurvík að auki til leitaræfinga. Hér er einugis fjallað um gullleit á vegum Málmís hf.

Málmís notaði tvenns konar aðferðir til gullleitarinnar. Annars vegar svokallaða BLEG aðferð (Bulk Leach Extractable Gold), og hins vegar bergssýnatöku af öllum gerðum, en einkum þó af jarðhitaútfellingum. Bleg-aðferðin felst í því að tekin eru frekar stór og gróf setsýni í árfarvegum, þau síðan skoluð með veikri blásýrulausn á rannsóknarstofu og gullinnihald mælt í lausninni. Við völdum að taka 2 kg sýni í < 0,5 mm kornastærð (30 mesh), sem sigtuð voru niður í mörkinni, og síðan send utan til skolunar og mælinga. 1991 var aðferðin prófuð, en aðal sýnatakan fór fram á næstu tveim árum. Setsýnum var safnað eftir ákveðnu kerfi í árfarvegum þannig að affallssvæði ár/sýni væri ekki lengra en 7 km. Aðferðin er einkar næm fyrir gullmengun og hefur þann ótvíræða kost að vera fljótleg. Þannig höfðu um 80 % af fyrirhuguðum setsýnagögnum náðst í hús haustið 1992, og því lágu fljótlega fyrir fjölmörg svæði sem höfðu gullinnihald vel yfir bakrunnsgildum. Hluta af þeim svæðum náðist að fylgja eftir með eftirleit, nákvæmari set- og bergsýnatöku, og ýmist síðan að afskrifa eða staðfesta. Við setsýnatökuna unnu aðallega tveir aðstoðarmenn á sumrin. Alls voru tekin 427 setsýni. Neðri greiningarmörk voru 0,1 ppb. Gullgildin mældust frá nær engu (<0,1 ppb) upp í 30 ppb Au. Bakrunnsgildi þurfti að skilgreina, og var 1-2 ppb valið sem bakrunnsgildi, bilið 2-5 ppb var látið liggja milli hluta, en öll gildi > 5 ppb talin verð eftirleitar. Byggðist það m.a. á því að mælt gildi í Seljadalsá við brúna neðan við gömlu gullnámuna í Þormóðsdal gaf einungis 7,8 ppb. Yfirlit yfir gullinnihald setsýnanna er sýnt á mynd 2.

Bergsýnatakan fólst í því að safna jarðhitaútfellingum af ýmsu tagi, en einkum þó af kvarsí, kalsíti og pýrítríku bergi. Fyrst og fremst var leitað í rofnum kjörnum megineldstöðva og eltum við uppi hverskyns misfellur í jarðskorpunni, svo sem öskjubrot, flexúrur, innskotajaðra, auk venjulegra jarðhitasprungna og misgengja. Í sumum tilfellum gjörþekktum við eldstöðvarnar, en á öðrum svæðum notuðum við öll

tiltæk jarðfræðikort. Víða fórum við þó um illa eða ókortlögð svæði, og unnu tveir fyrstu höfundar þessa ágrips aðallega að söfnun bergsýnanna og eftirleitunum. Ekki náðist að ljúka gullleitinni að fullu og er eftirleit ólokið á mörgum stöðum. Fyrirtækið Melmi ehf. hefur nú uppi áform um að bæta úr því.

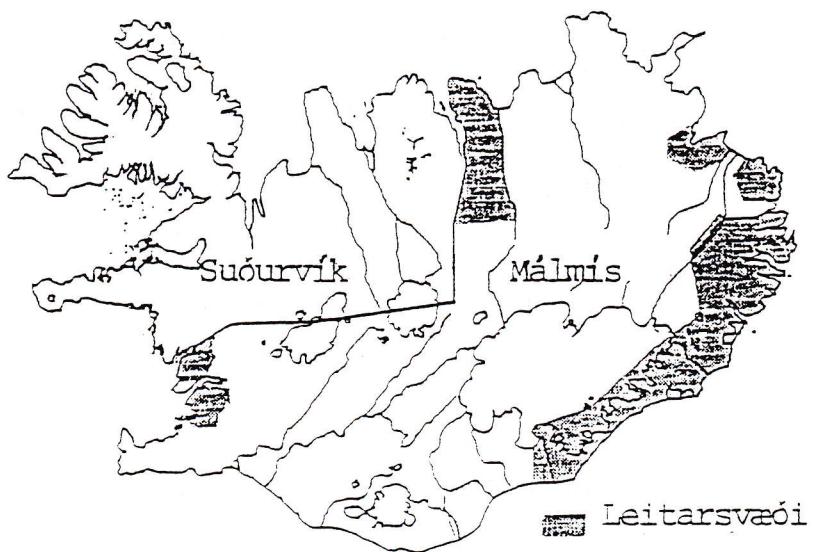
Alls var gull greint í 1280 bergsýnum, ásamt Ag, As, Cu, Hg, Pb, Zn, Mn, og í hluta sýnanna var jafnframt greint Mo, Sb, Te, Th, W. Flest sýnin reyndust lág í kopar, zinki og blýi, eins og við var búist. Silfurinnihald greindist frá litlu sem engu upp í 100 g/t, og gullinnihald frá litlu sem engu upp í rúmlega 100 g/t. Silfur og gull innihald bergsýnanna er sínt á mynd 3.

Öllum greiningum var komið í gagnagrunn, og aðlagðar GIS-gagnagrunni Orkustofnunar. Nákvæmari niðurstöður liggja fyrir í nokkrum áfangaskýrslum til Málmíss hf, samantekin í þeirri síðustu (c). Auk þess aflaði Melmi ehf, dótturfyrirtæki Málmíss hf, umtalsverðra viðbótagagna úr Þormóðsdal á síðasta ári sem lýst er lauslega í öðru ágripi í þessu ráðstefnuhefti (b).

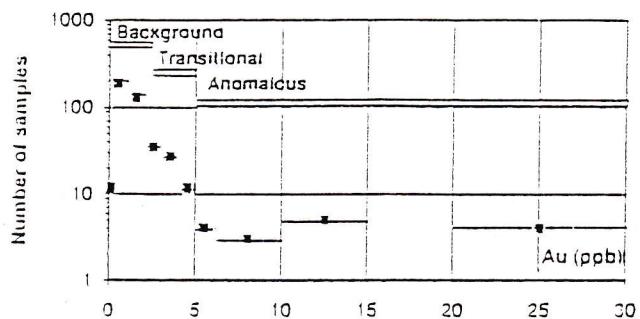
Helstu niðurstöður gullleitar Málmíss hf voru þær, að við tilgreindum 12 leitarsvæði sem ástæða er til að kanna nánar (a), og auk þess er ókannað 300 km² leitarsvæði. Helmingur þessara svæða er á Vesturlandi, en hinn á Suðaustur-, Austur- og Norðurlandi. Eitt þeirra er í Þormóðsdal. Sjö hinna svæðanna eru skilgreind út frá Blegr-anómálum (8-25 ppb Au), en hin fjögur á grundvelli áhugaverðra útfellingasýna sem eru með gullinnihald frá 0,5-1 g/t. Í erindinu er fjallað um helstu atriði gullleitar Málmíss hf og síðan rætt um hugsanlega framtíð gullleitar á Íslandi.

Tilvitnanir:

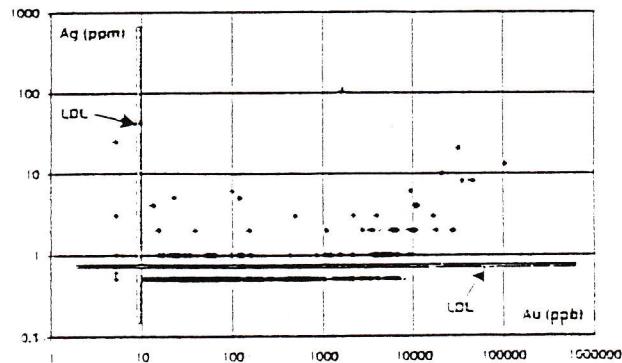
- a) Hjalti Franzson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Bjarni Bjarnason og Hallgrímur Jónasson, 1995. Epithermal gold exploration in Iceland. Water-Rock Interaction, ed. Kharaka and Chudaev. Balkema, Rotterdam, bls. 671-674.
- b) Guðmundur Ó. Friðleifsson, Hjalti Franzsson, Bjarni Bjarnason, Hallgrímur Jónasson, Fredrik Ros, Allan Flavelle, Peter Miller og John Karajas, 1997. Saga gullleitar í Þormóðsdal. JFÍ-Vorráðstefna, ágrip.
- c) Hjalti Franzson og Guðmundur Ó. Friðleifsson, 1993. Exploration for gold. Result of the 3rd year's survey. Report to Málmís ltd. 31 bls.



Mynd 1. Leitarsvæði Málmíss hf, og skipting landsins milli Málmiss og Suðurvíkur hf.



Mynd 2. Tíðnidreining setsýna Málmiss hf sem gull var greint í með Blegr-aðferinni.



Mynd 3. Silfur- og gull-innihald bergsýna Málmiss hf. LDL: neðri greiningarmörk.

NÝJAR ALDURSGREININGAR Á SKELJUM Á REYKJANESSKAGANUM

Haukur Jóhannesson, Náttúrufræðistofnun Íslands, Hlemmi 3, Reykjavík

Kristján Sæmundsson, Orkustofnun, Grensásvegi 9, Reykjavík

Árný Erla Sveinbjörnsdóttir, Raunvísindastofnun Háskólans, Dunhaga 3, Reykjavík

Leifur A. Símonarson, Háskóli Íslands, Jarðfræðahús, Reykjavík

Fyrir um einu ári kom út greinarkorn um aldursgreiningu á skeljum í Njarðvíkurheiði (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson 1995), og kom hún nokkuð á óvart. Aldur skeljanna reyndist vera 20.630 ± 340 ár. Í kjölfarið var ákveðið að láta aldursgreina fleiri sýni til að staðfesta greininguna. Niðurstöður aldursgreininga eru sýndar í 1. töflu.

1. tafla. Aldursgreiningar á skeljum á Reykjanesskaga

Nr. sýnis	Staður	Aldur	Skekja
Beta-82638	Njarðvíkurheiði	20.210	± 340
AAR-2573	Njarðvíkurheiði	21.040	± 220
AAR-2574	Njarðvíkurheiði	20.350	± 220
AAR-2575	Njarðvíkurheiði	21.100	± 290
AAR-2576	Njarðvíkurheiði	21.660	± 230
AAR-2577	Njarðvíkurheiði	23.580	± 230
AAR-2803	Sandgerði	24.110	± 200
AAR-2800	Flekkuvík	9.420	± 75
AAR-2801	Flekkuvík	24.950	± 370
AAR-2802	Flekkuvík	>52.000	± 910
AAR-2572	Rauðimelur	12.600	± 130

Þótt höfundar hafi oft farið um Reykjanesskagann á undaförnum árum þá hefur lítið verið unnið að rannsóknum á lausum jarðögum frá ísaldarlokum á svæðinu. Eftir að fyrsta aldursgreiningin lá fyrir vaknaði áhuginn og var farið að líta eftir setlögum frá þessum tíma á utanverðum skaganum. Raunar var Kuthan (1943) búinn að setja niður á kort útbreiðslu setlaða sem hann taldi vera hlýskeiðslög, "marines Interglazial" sem gerði leitina auðveldari. Þegar farið var að kanna setlög Kuthans þá kom í ljós að þau voru flest keimlík setlögunum í Njarðvíkurheiði, að mestu siltsteinn eða fínn sandsteinn. Á Rosmhvalanesi eru þessi setlög bæði á upprunalegum stað (in situ) eða sem lausir, sjávarnúnir steinar. Á nokkrum stöðum fundust skeljaleifar og var sýni ofan úr heiðinni austur af Sandgerði aldursgreint. Einnig var gerð mikil leit að steingervingum í Rauðamel sem ekki bar árangur. Aftur á móti var aldursgreint eitt sýni, hrúðukarl, úr Rauðamel, sem til var í safni Náttúrufræðistofnunar.

Aldur ofangreindra sýna fellur í two flokka. Annars vegar skeljasýni úr siltsteinslögum í Njarðvíkurheiði og ofan Sandgerðis sem eru á bilinu 20.200 ár upp í 24.100 ár. Hins vegar er sýnið úr Rauðamel um 12.600 ára.

Gerð var sérstök athugun á setlögunum í Njarðvíkurheiði. Grafið var í gegnum þau með öflugri gröfu sem Hitaveita Suðurnesja lagði til. Efri hluti setlaganna er um eins metra þykkt lag af lausri fínmöl og sandi með lárétttrilagskiptingu og þar hafa ekki

fundist skeljar. Neðri hlutinn er úr hörðu finsöndugu og siltkenndu seti sem í er urmull af skeljum og eru þær flestar í lífstöðu. Mest ber þar á halloku og smyrslingi (2. tafla). Athuganir á skeljunum og tegundasamgsetning bendir til að hitastig sjávar hafi verið svipað og nú.

2. tafla. Tegundasamsetning í Njarðvíkurheiði

	Tíðni	%
Tegund		
Tridonta (Tridonta) borealis (Schumacher, 1817)	1,0	1,33
Gimburskel		
Macoma (Macoma) calcarea (Gmelin, 1790)	49,5	66,00
Halloba		
Hiatella (Hiatella) arctica (Linné, 1767)	6,5	8,67
Rataskel		
Mya (Mya) truncata (Linné, 1758)	18,0	24,00
Smyslingur		

Rauðamelur er að mestu úr skálagaðri möl en ofan við miðju hans eru á kafla jökulnúið þunnthraun en annars staðar er um 1-2 metra þykkt jökulbergslag. Hrúðukarlinn sem aldursgreindur var sat utan á jökulberginu. Það hefur því verið harðnað áður en hrúðukarlinn settist þar að.

Til viðbótar birtum við hér þrjár aldursgreiningar úr borkjarna úr Flekkuvík. Borholan var boruð vegna atbugana Vita- og hafnamálastofnunar til undirbúnings hafnargerð þar. Hún varð liðlega 60 m djúp (Ómar Bjarki Smárason o.fl. 1993). Holan var boruð í gegnum Práinsskjöldinn og undir honum voru setlög eins langt og borað var. Setlögin voru að mestu grár leir víða með skeljum. Í kjarnanum var aðeins eitt 2-3 m þykkt jökulbergslag. Aldursgreind voru þrjú sýni af mismunandi dýpi.

Heimildir

Haukur Jóhanneson & Kristján Sæmundsson 1995. Aldursgreining á skeljum í Njarðvíkurheiði. Náttúrufræðingurinn 65: 107-111.

Kuthan, M.F. 1943. Die Oszillation, der Vulkanismus und die Tektonik von Reykjanes. Rit náttúruvísindadeilda Háskólans í Bratislava 4. 108 bls.

Ómar Bjarki Smárason, Sigmundur Einarsson & Jörg Peter Kück 1993. Keilisnes harbour project. Armour stone study for the breakwater. Icelandic Harbour Authority & Stapi Geological Service. Reykjavík. 20 bls.

STEINHVEL OG LINHVEL ÍSLANDS

Ingí Þorleifur Bjarnason, Raunvísindastofnun Háskóla Íslands, Dunhaga 5, 107 Reykjavík

Rannsókn á hraðaeiginleikum jarðskorpu Íslands hefur staðið yfir í rúma þrjá áratugi, or er hún ýmist túlkuð sem u.p.b. 15 km þykk (þunn skorpa), eða 20-35 km þykk (þykk skorpa). Hér verður sýnt að hraði yfirborðsbylgna í jarðskorpu Íslands og efsta hluta möttuls undir henni samrýmist vel þykkskorpu túlkun. Hraðaeiginleikar efstu 15 km jarðskorpunnar eru nokkuð vel ákvarðaðir með rúmbylgjum (P og S bylgjur). Neðri hluti skorpunnar er hins vegar ekki eins vel þekktur, og vitneskja um raunhraða efsta hluta möttuls niður á u.p.b. 100 km dýpi er mjög takmörkuð. Í þessum hluta möttulsins má búast við mestri hlutbráðnun, sem kalla má jarðfræðilega uppsprettu Íslands.

Greining á yfirborðsbylgjum er góð aðferð til þess að skyggast niður í þessi svæði. Tvær bylgjubrautir hafa verið kannaðar. Annars vegar frá norðurstöndinni eftir endilöngu norðurgosbeltinu að Fljótshverfi við suðurströndina, og hins vegar eftir austurströnd landsins. Fyrri brautin er væntanlega ein "heitasta" og síðari ein "kaldasta" gegnum landið. Yfirborðsbylgjur gefa meðaltalshraða eftir brautunum sem fall af dýpi. Undir báðum svæðum er jarðskorpan að meðatali u.p.b. 35 km þykk, og ekki sjást merki verulegrar hraðaminnkunar (t.d. 15 %) með dýpi sem túlka mætti sem verulega hlutbráðið lag í jarðskorpunni. Undir jarðskorpu norðurgosbeltisins er u.p.b. 10 km þykk flís möttuls (möttullokk) með S bylgju hraða 4.1-4.3 km/s, sem við túlkum sem neðsta hluta steinhvels. Steinhvel er vanalega skilgreint sem skorpa og efsti kaldasti hluti möttulsins, þ.e. möttullokið. Möttullokið er hins vegar u.p.b. 35 km þykkt undir austfjörðum. Steinhvelið er því u.p.b. 45 km þykkt undir norðurgosbeltinu, en þykknar í 70 km undir Austfjörðum.

Pað eru mjög skörp skil steinhvels og linhvels undir gosbeltinu með u.p.b. 10-15% S bylgju hraðaminnkun (3.65-3.9 km/s). Þetta er óvenju lágur S bylgju hraði, sem gefur til kynna hærra en 7% hlutbráðið linhvel. Þykkt linhvelsins undir gosbeltinu er óviss. Hraðaminnkun í linhveli undir Austfjörðum er mun minni (u.p.b. 3%) og líklegast ekki hlutbráðið.

GLERINNLYKSUR Í ÓLIVÍN- OG SPÍNILKRISTÖLLUM ÚR ÍSLENSKU PIKRÍTI. MYNDUNARAÐSTÆDUR OG SAMSETNING MÓÐURVIKUNNAR.

Ingvar A. Sigurðsson og Sigurður Steinþórsson, Raunvísindastofnun Háskólangs,
Jarðfræðahús, Reykjavík

Undanfarna two áratugi aða svo hefur mikið verið skrifað um uppruna basaltkviku og eru menn ekki á eitt sáttir um myndunaraðstæður (hiti, þrýstingur, hlutfall bráðar, samsetning möttuls) og samsetningu frumbráðar. Er ýmist talið að úthafsbasaltið (MORB) sé nálægt því að vera frumbráð, myndað við bráðnun á möttulefni (ólivín + orthopýroxen + clínopýroxen ± granat, spínnill eða plagíóklas) á um það bil 30 km dýpi eða að úthafsbasaltið sé ekki frumbráð heldur myndað við hlutkristöllun og/eða kvíkulblöndun. Frumbráðin er þá annaðhvort pikrít myndað á meira en 45 km dýpi eða að ekki er um neina eina frumbráð að ræða heldur verður bráðnun og aðskilnaður á bráð frá möttulefni á breiðu þrýstingsbili. Bráðin safnast síðan saman og þróast með hlutkristöllun og uppbráðnun á grannbergi áður en hún nær til yfirborðs.

Til að geta talist frumbráð þarf kvika að vera í jafnvægi við möttulefni við einhvern hita og þrýsting og hafa rannsóknir meðal annars falist í því að gera bræðslutilraunir á möttulbergi við breytilegan þrýsting og að gera tilraunir við kristöllunarmörk samsetninga sem taldar hafa verið líklegar sem frumbráðir.

Síðustu ár hefur athygli manna beinst í auknum mæli að glerinnlyksum í kristöllum. Kemur það til meðal annars vegna þess að talið er að innlyksurnar geymi samsetningu bráðarinna sem kristallarnir mynduðust úr og því ættu innlyksur í þeim kristöllum sem fyrst mynduðust í ákveðinni bráð að geta gefið mikilvægar upplýsingar um samsetningu frumbráðar. Nú er unnt að hita kristalla upp að kristöllununarhita í þar til gerðum hitaborðum sem sett eru á bergfræðismásjá. Pannig er hægt að fylgjast með hegðun innlyksunnar á meðan hún er hituð auk þess sem hægt er að frysta innlyksuna eftir að kristöllununarhita er náð en það gerist er innlyksan verður einsleit, það er þegar dótturkristallar bráðna og vökv-aða lofttæmisbólur í innlyksunni hverfa. Að tilraunum loknum eru kristallarnir síðan slípaðir þar til innlyksurnar eru á yfirborðinu og þá eru þær efnagreindar. Ór þróun í greiningartækni hefur orðið til þess að nú er unnt að greina öll helstu snefilefni auk aðalefna innlyksanna á tiltölulega auðveldan hátt auk þess sem farið er að greina mismunandi samsætur nokkurra frumefna.

Í þessu verkefni eru skoðaðar glerinnlyksur í kristöllum úr nokkrum pikríthraunum af Reykjanesskaga og úr einu tertíeu basalti frá Vopnafirði og eru hér kynntar fyrstu niðurstöður rannsókna okkar á glerinnlyksum í ólivín- og spínilkristöllum úr Búrfellshrauni í Ölfusi.

Búrfellshraun er ólivínríkt pikrít og er samsetning ólivín kristallanna frá Fo₈₇ til Fo_{91,6}. Krómuspínnill kemur bæði fyrir sem innlyksur í ólivíni og sem stakir dílar í grunnmassa og er króminnihald nokkuð breytilegt eða frá 26 til 42% af þunga.

Ekki hefur tekist að gera innlyksur í ólivíni einsleitar þar sem vökvabólan var enn til staðar þó innlyksurnar væru hitaðar allt upp í 1300 °C. Því var miðað við bráðnun síðasta dótturkristals (plagíóklas) og fékkst hitastig frá 1210 °C (Fo₈₈) til 1250 °C (Fo_{91,5}).

Innlyksur í spínli sjást ekki undir smásjá með gegnumfallandi ljósi þar sem spínnill er ógagnsær og því voru kristallarnir hitaðar blint upp í ýmist 1250 eða 1280 °C áður en þeir voru frystir. Kristallarnir voru síðan slípaðir og leitað að innlyksum í smásjá með áfallandi ljósi. Í nokkrum tilfellum sjást reglulega lagaðir klínópýroxenkristallar í glerinnlyksum í spínli og í öðrum koma fyrir margir smáir klínópýroxenkristallar.

Aðalefnasamsetning nokkurra glerinnlyksa hefur verið ákvörðuð og verður hún notuð til að spá í myndunaraðstæður. Fljótt á litid má segja að fyrstu niðurstöður bendi ekki til þess að pikrítíð sé myndað við háan þrýsting. Ef samsetning innlyksnanna er nálægt samsetningu frumbráðar hefur hún skilst frá möttulefni á minna en 30 km dýpi. Hátt Cr₂O₃ innihald (u.p.b. 0,8%) og klínópýroxenkristallar í glerinnlyksum í krómuspínnli, sem hitaðir hafa verið upp fyrir kristöllunarmörk, bendir til þess að krómuspínnill eigi auðveldara með að hvarfast við innlyksurnar við þessar aðstæður en áður hefur verið talið.

GOS Í VATNAJÖKLI 1996: BERGFRÆÐI OG EFNASAMSETNING.

Karl Grönvold og Niels Óskarsson.

Norrænu eldfjallastöðinni, Grensásveg 50, 108 Reykjavík.

Gerð og samsetning nokkurra bergsýna hefur verið könnuð. Elsta sýnið er fingerður öskusalli, sem safnað var af jöklum skömmu eftir að gosið braust upp úr ísnum, en auk þess voru rannsókuð tvö gjallsýni úr gíghólmanum í gjánni. Sýnin af gjallhlómanum voru efnagreint með ICP heildargreiningu (11 afbrigði af gjalli) en mörg sýni voru steypit inn og skyggð fyrir smásjárathugun og efnagreiningu í örgreini. Gjallsýni var malað og aðgreint í gler og steindir svo unnt væri að greina tegund og samsetningu steindanna.

Bergið úr öskudreifinni af jöklinum er að mestu ferskt gler (sideromelan), finkorna (0,5 mm meðalþvermál) enda að mestu brot úr þunnum loftbóluleggjum. Gjallíð af gíghólmanum er tært gler að hluta en einnig dökkt gler og örkristallað berg, mjög blásið og blöðurnar teygðar eins og gjarna sést í þróuðu, seigu bergi. Mjög lítið er af kristöllum, minna en 2%. Tekist hefur að þekkja og greina plagioklas, ágiti, magnetíti en aðeins eitt ólivínkorn. Fíngerðar apatítnálar koma fyrir í þyrringum í sumum glerkornum, að því er virðist myndaðar skömmu fyrir storknun glersins. Ágítkristallarnir eru einsleitir, um 42% En, 16% Fs og 42% Di. Plagioklas af þrem gerðum kemur fyrir; An80-90, An50-57 og stakt korn af An32. Títanómagnetít með um 20% Títanoxíði er algengasta steindin, einsleit og vel kristölluð.

Efnasamsetning bergsins er á mörkum basalts og ísúrrar kviku, sem nefna mætti basalt-andesít. Þegar basaltkvika þróast við kristöllun minnkar hlutfallslega magnesíum og kalsíum, sem auðveldast ganga inn í ólivín, ágít og plagioklas. Samtímis safnast utangardsefni eins og kalíum, fosfór, járn og titán fyrir í vökvana. Sum utangardsefni eins og kalíum safnast fyrir í kvikunni gegnum allt þróunarferlið en önnur eins og járn og titán falla út þegar magnetít tekur að myndast en fosfór safnast fyrir þar til apatít fellur út. Eftir það falla járn, titán og fosfór úr kvikunni en kísilsýra hækkar. Þegar þessu marki er náð endar þróun basaltsins og kvikan verður ísúr. Kvikan úr Vatnajökulsgosinu er við þessi mörk; hátt járn og fosfór en titánómagnetitkristallar í jafnvægi við kvikuna og apatít þar sem kólnunin var hægust. Einungis hluti plagióklaskristallanna gæti verið nálægt jafnvægi við kvikuna (An50) en frumstæður plagioklas (An80) og ágítkristallarnir eru að líkendum framandsteindir. Þótt heildargreiningar bergsins virðist mjög einsleitar, er samsetning einstakra glerkorna breytileg. Þetta fyrirbæri og eins hitt að einsleitt magnetít virðist vera eina steindin í góðu jafnvægi við kvikuna, bendir til að lokaþróun kvikunnar var mjög hröð. Nánast er útilokað, að þessi kvika hafi dvalið lengi við sömu hita- og þrýstiaðstæður, þar sem hún er nánast ókristölluð og samsetningin er misleit þótt í smáu sé. Líklegra er að lokaþróun kvikunnar hafi orðið í samfelldu flæði frá upprunastað til gosrásarinnar og væri þá uppruna hennar að leita í því basalti, sem algengast er á svæðinu.

Þessi kvikusamsetning er fremur fátið á gliðnunarbeltunum, kemur þó fyrir í fremur smáum goseiningum á gangasveimum. Kvikan er verulega þráðri en Grímsvatnkvikan frá 1983, 1934 og 1922, sem er nánast einsleit. Nokkur sýni frá hlaupvatninu í Gígju og Skeiðará hafa jafnframt verið efnagreind en ekki hafa fundist nein glerkorn af samsetningu líkri þeirri, sem Vatnajökulsgosið framleiddi, og má þannig ætla að nýju gosefnin hafi ekki borist til Grímsvatna að nokkru ráði.

VARÐVEISLA JARÐFRÆÐILEGRA NÁTTÚRUMINJA

Sigmundur Einarsson, umhverfisráðuneytið, Vonarstræti 4, 150 Reykjavík

Eins og titillinn ber með sér er hér eingöngu fjallað um jarðfræðilegar náttúruminjar, þ.e. þær sem tilheyra hinni dauðu náttúru, að svo miklu leyti sem hægt er að slíta þær úr samhengi við hina lifandi hluta náttúrunnar.

Það er skoðun höfundar að varðveisla jarðfræðilegra náttúruminja hér á landi sé í miklum ólestri. Meginorsakirnar eru líklega annarsvegar ótrúlegur sofandaháttur íslenskra jarðvísindamanna og hinsvegar skortur á stefnu af hálfu stjórnvalda. Hér er ætlunin að reifa hugmyndir sem hugsanlega geta orðið umræðugrundvöllur fyrir nýja stefnu í þessum málum. Tekið skal fram að hér er ekki um að ræða formlegar hugmyndir af hálfu umhverfisráðuneytisins heldur koma þær frá höfundi sem einstaklingi.

Í upphafi hljóta að vakna spurningar um það hvort yfirleitt sé þörf á að varðveita jarðfræðilegar náttúruminjar. Flestir eru líklega sammála um nauðsyn þess að varðveita merkar jarðfræðiminjar en ávallt verður einhver ágreiningur um það hversu langt á að ganga og hvað teljast merkar minjar og hvað ekki.

Allir sem einhvern áhuga hafa á íslenskri náttúru hljóta að vakna til umhugsunar í hvert sinn sem þeir sjá friðlystar rústirnar af Rauðhólunum blasa við frá þjóðveginum. Og kannast nokkur við alla skemmdu gjallgígana á Suðvesturlandi? Hvað um alla hverina sem hafa horfið á þessari öld vegna nýtingar jarðhitans? Hvað um alla fallegu malarhjallana sem horfið hafa í steinsteypu og vegfyllingar? Hvað um hraunin sem orðið hafa jarðyttonnum að bráð? Var hugsanlega hægt að komast hjá einhverjum af þessum náttúruspjöllum með svolítili fyrirhyggju? Svona mætti lengi spryja.

Staðreynin er sú að eftir að tækniold gekk í garð hefur umgengnin um landið víða verið skelfileg. Á síðustu árum hafa reyndar orðið miklar framfarir hvað þetta varðar en okkur miðar samt sem áður hægt áfram. Þær verndaraðgerðir sem náð hafa fram að ganga á undanfönum áratugum ber að skoða sem ítrrustu nauðvörn og ef takast á að koma málaufokknum í viðunandi horf þarf að blása til nýrrar sóknar. En hvað er til ráða?

Ef litið er á það hver eru helstu markmið með varðveislu jarðfræðilegra náttúruminja gætu þau verið eftirfarandi:

1. Að skila landinu með öllum þess gæðum í sem bestu ástandi til komandi kynslóða.
2. Að tryggja að rannsóknir á merkum jarðfræðilegum fyrirbærum geti haldið áfram um ókomna framtíð.
3. Að tryggja varðveislu jarðfræðilega mikilvægra svæða og staða til kennslu í jarðvísindum sem og til almennrar fræðslu.
4. Að tryggja varðveislu athyglisverðra svæða og staða til skoðunar í fristendum, t.d. fyrir ferðamenn og útvistarfólk.
5. Að varðveita svæði eða staði sem hafa t.d. menningarlegt, sögulegt eða fagurfræðilegt gildi.
6. Að vekja athygli á jarðfræði landsins.

Ef litið er til náttúruverndarlaga og annarra laga sem fjalla um náttúruvernd kemur í ljós að gagnvart varðveislu jarðfræðilegra náttúruminja er þessi lagarammi afar veikur og erfitt að móta nýja og framsækna stefnu nema hér verði breytingar á. Nú er að störfum nefnd á vegum umhverfisráðuneytisins sem vinnur að endurskoðun laga um náttúruvernd. Vonandi skilar það starf okkur nýjum og betri náttúruverndarlögum fyrr en síðar. Þá liggur fyrir Alþingi frumvarp til nýrra skipulags- og byggingarlaga.

Samkvæmt Náttúruminjaskrá 1996 eru friðuð náttúruvætti á landinu alls 27. Það vekur athygli að í þessum hópi er ekki að finna Geysi, ekki Heklu, ekki Hverfjall og ekki Tjörneslögin. Að sjálfsögðu er ekki hægt að varðveita alla mögulega og ómögulega jarðfræði og þar verður að velja og hafna. En upptalningin gefur samt til kynna að sitthvað hefði mátt betur fara í náttúrverndarmálum á undanförnum áratugum.

En hvað er til ráða? Við eיגum að setja markið hátt. Við þurfum að tryggja varðveislu allra helstu einkenna íslenskrar jarðfræði og hún þarf að taka til allra helstu fagsviða jarðfræðinnar, s.s. eldfjallafræði, jarðhitafræði, vatnajarðfræði, ísaldarjarðfræði, landmótunarfæði, bergfræði, steindrafraði, námujarðfræði, jarðlagafafræði, steingervingafræði o.s.frv.

Staðir eða svæði sem ætlunin er að tryggja að verði varðveittir þurfa væntanlega að uppfylla einhverjar tilteknar kröfur sem settar yrðu þannig að staðirnir teldust merkilegir á:

1. heimsmælikvarða
2. landsmælikvarða
3. heraðsmælikvarða

Staði sem á að varðveita mætti síðan velja kerfisbundið eftir ítarlega faglega yfirferð. Að henni þyrftu ýmsir að koma, t.d. Náttúruvernd ríkisins, Náttúruverndarráð, Náttúrufraðistofnun Íslands og náttúrustofur, Jarðfræðafélag Íslands, Hellarannsóknafélag Íslands, Háskóli Íslands o.fl.

Staðirnir þurfa að geta notið misjafnlega sterkrar verndunar, t.d. gæti verið um að ræða óformlegt samkomulag við landeigendur, formlega verndun skv. skipulagi eða verndun skv. náttúruverndarlögum.

Með þessu móti mætti tryggja að varðveitt verði heilsteypt safn svæða sem í sameiningu geta skýrt myndun og móton Íslands.

Ekki er hægt að horfa fram hjá því að í sumum tilvikum er óhjákvæmilegt að varðveita stærri landsvæði t.d. svæði með sérstakri og merkilegri landmótun eða t.d. heilar megineldstöðvar. Liklegt má telja að mestur hluti þeirra jarðmyndana hér á landi sem teljast merkar á heimsvisu falli undir eldfjallafræði. Varðveisla slíkra fyrirbæra hefur yfirleitt litið gildi nema um sé að ræða verndun stærri heilda. Í þessu sambandi er rétt að benda á ágætar tillögur um eldfjallaþjóðgarð sem Bryndís Brandsdóttir setti fram á síðasta náttúruverndarþingi.

Helstu erfiðleikar við verndunaraðgerðir á sviði náttúrufraði hafa til þessa verið árekstrar við aðra landnýtingu. Með sveigjanlegri reglum og verndunarákvæðum ættu slik vandamál að verða mun auðleystari en áður og sem dæmi má nefna að tiltölulega auðvelt ætti að vera að finna málamiðlun milli virkjanahugmynda Landsvirkjunar og hugmynda Bryndíssar Brandsdóttur um eldfjallaþjóðgarð.

Til að hægt sé að hrinda slikum áformum í framkvæmd þarf ýmislegt að breytast. Í fyrsta lagi þarf að vekja skilning á málínu meðal jarðvísindamanna sem og annarra Íslendinga. Í öðru lagi þarf að koma til skýr stefna stjórvalda ásamt nauðsynlegu fjármagni og í þriðja lagi þurfum við ný og betri lög um náttúruvernd.

NOTKUN NÝRRAR TÆKNI TIL ÁKVÖRDUNAR Á ÍSHREYFINGUM Í VATNAJÖKLI: SAR BYLGJUVÍXLMÆLINGAR ÚR RADAR-GERVITGLUM (SAR, Synthetic Aperture Radar Interferometry)

Sigurjón Jónsson, Landmælingum Íslands, Laugavegi 178, 105 Reykjavík.

Nico Adam, German Aerospace Research Establishment (DLR), 82230 Oberpfaffenhofen, Germany.

Helgi Björnsson, Raunvísindastofnun, Dunhaga 5, 107 Reykjavík.

Á braut um jörðu eru nokkur gervitungl sem hafa SAR radar innanborðs (SAR, Synthetic Aperture Radar). Þessi tungl skanna jörðina með því að senda út radarbylgjur og nema endurkastið, bæði útslag og fasa. Útsagið er háð efniseiginleikum, hrjúfleika (á cm-skala) og halla yfirborðs jarðar í hverri myndeiningu. Fasann má hinsvegar nota til að búa til bylgjuvíxlmyndir (interferograms). Bylgjuvíxlmyndir gefa upplýsingar um fasamun milli tveggja radarmynda af sama svæði sem eru frá mismunanditíma.

Fasamunur milli tveggja mynda stafar af nokkrum þáttum, m.a. af landslagi, brautum gervitunglanna, veðurfræðilegum þáttum og hreyfingum á svæðinu milli þess sem jörðin er skönnuð. Til að einangra þann fasamun sem er vegna hreyfinga þá þarf að ákvarða aðra þætti og draga frá bylgjuvíxlmyndinni. Með upplýsingum um brautir gervitunglanna og með því að nota stafrænt hæðarlíkan af svæðinu sem skoðað er, má búa til eftirlíkingu af bylgjuvíxlmyndinni og draga hana frá gögnunum. Eftir standa upplýsingar um breytingar í fjarlægð í átt að og frá gervitunglinu.

Hægt er að mæla jarðskorpuhreyfingar með þessari tækni og eru þá gjarnan skoðaðar breytingar yfir einhverja mánuði eða ár. Einnig má sjá hreyfingar á jöklum ef nægjanlega stuttur tími líður milli þess að sama svæði er skannað. Frá 1995 og fram eftir árinu 1996 voru tvö tungl evrópsku geimvísindastofnunarinnar, ERS-1 og ERS-2 (ERS, European Research Satellite), í gangi í einu og fóru þau sömu braut með eins dags millibili. Á þeim tíma gafst gott tækifæri til þess að skoða hreyfingar jökla og annara svæða þar sem hreyfingar eru tiltölulega miklar og yfirborð jarðar breytist hratt.

Við höfum verið að vinna með bylgjuvíxlmyndir af vestanverðum Vatnajökli. Meðal áhugaverðra fyrirbæra sem sjá má á þessum myndum eru gosgjain í Vatnajökli 21.-22. október 1996. Útmörk ísskriðs inn í gjána má ákvarða nákvæmlega út frá bylgjuvíxlmyndunum en hreyfingarnar inn að gjánni eru hinsvegar of hraðar til þess að ákvarða megi hreyfingarsviðið. Suðaustan í Bárðarbungu er sýnilegt sig í litlum katli þennan sama sólarhring og var sighthaðinn a.m.k. 20 cm/dag. Líklega hefur orðið smágos þarna undir meðan á gosinu í Gjálp stóð.

Bylgjuvíxlmyndir af vestanverðum Vatnajökli sýna vel að framhlaup hefur verið í fullum gangi í Sylgjujökli allt árið 1996, en Sylgjujökull er skriðjökull milli Hamarsins og Kerlinga. Myndirnar sýna einnig greinilega yfir hve mikið svæði framhlaupið nær.

Skaftárkatlar eru tvær dældir í Vatnajökli, milli Hamarsins og Grímsvatna, sem eru til komnar vegna jarðhitavirkni. Á nokkurra ára fresti koma hlaup úr þessum kötlum, aðalega í Skaftá sem katlarnir eru kenndir við. Þegar bræðsluvatnið hleypur úr kötlunum fellur íspakið í þeim niður um tugi metra. Á milli hlaupa rís svo þakið upp aftur vegna ísflæðis inn í katlana, þó svo að jarðhitinn bræði íspakið að neðan jafnt og þétt. Greinilegt ris mælist á bylgjuvíxlmyndunum í báðum Skaftárkötlunum vegna ísflæðis inn í þá. Í eystri katlinum, sem hljóp úr í júlí 1995, mælist risið 12-15 cm/dag í mars 1996, en um 6-9 cm/dag í október 1996. Risið er hraðast fyrstu mánuðina eftir hlaup, en svo hægist á því eftir því sem meiri ís flæðir inn í sigdældina og hún fyllist upp.

Úr vestari Skaftárkatlinum hljóp í ágúst 1996. Nær ekkert ris mælist í vestari katlinum í mars 1996, fyrir hlaupið, en í október 1996 mælist rishraðinn a.m.k. 15 cm/dag. Við höfum reynt að líkja eftir íshreyfingunum með því að leysa flæðilíkingu fyrir ís með aðferð endanlegra mismuna (finite difference method).

„LEKINN“ ÚR GRÍMSVÖTNUM FYRSTU MÁNUÐI ÁRSINS 1997

Sigurður Reynir Gíslason (1), Ingvi Gunnarsson (1), Andri Stefánsson (1), Matthildur Bára Stefánsdóttir (1), Árný E. Sveinbjörnsdóttir (1), Hrefna Kristmannsdóttir (2), Steinunn Hauksdóttir (2), Árni Snorrason (2), Snorri Zophóníasson (2), Svanur Pálsson (2), og Stefán Benediktsson (3). (1) Raunvísindastofnun HÍ, Dunhaga 3, 107 Reykjavík. (2) Orkustofnun, Grensásvegi 8, 108 Reykjavík. (3) Þjóðgarðinum í Skaftafelli, 785 Fagurhólsmýri.

INGANGUR

Eftir lok Skeiðarárhlaupsins í nóvember 1996 ákváðu Vegagerðin, Orkustofnun og Raunvísindastofnun í samstarfi við Stefán Benediktsson þjóðgarðsvörð í Skaftafelli, að fylgjast náið með efnasamsetningu og rennsli áんな á Skeiðarársandi. Tilgangurinn með rannsóknunum var að öðlast skilning á rennsliseiginleikum og efnasamsetningu áんな á Skeiðarársandi eftir stórhlaup og að reyna að segja fyrir um hættu á sandinum vegna flóða úr Grímsvötnum. Stefán Benediktsson hóf daglegar mælingar á leiðni í ánum 1. desember 1996 eða um 62 dögum eftir upphaf goss en leiðnin er fljóttleg óbein mæling á styrk uppleystra hlaðinna efna í vatninu. Mælingar voru gerðar í Skaftafellsá til samanburðar. Frá lokum hlaups hefur verið farið hálfsmánaðar- til mánaðarlega til rennslismælinga og sýnatöku austur á sand á vegum Orkustofnunar og Raunvísindastofnunar.

ATBURÐARÁS OG MÆLINGAR

Við lok seinni dags Skeiðarárhlaups, þann 6. nóvember 1996, rúmlega 36 dögum frá upphafi eldgossins í Gjálp, þornaði eystri álland Skeiðarár. Leiðni og styrkur flestra uppleystra efna í vatninu náðu hámarki fyrri dag hlaupsins ($486 \mu\text{S}/\text{sm}$) eins og sjá má 1. mynd þar sem leiðni er sýnd en þessi efni fóru minnkandi í Skeiðará undir lok hlaupsins ($353 \mu\text{S}/\text{sm}$, Sigurður Reynir Gíslason o. fl., 1997). Næstu daga, 6., 7., og 9. nóvember var fylgst með Gígju eins og sjá má á þrem fyrstu leiðnimælingunum á 2. mynd (kvarðinn á lóðréttá ásnum á 2. mynd er annar en á 1. myndinni). Hlaup var í Gígju þann 6. nóvember en þann 7. var það búið. Styrkur Si, Na, H⁺ og S minnkaði reglulega þessa daga en hlutfall Ca og basavirkni var mest þann 7. nóvember. Athyglisvert er að mikil var af málnumum Fe, Al, og Cu á þessum tíma í Gígju og reyndar meira en mældist í hlaupinu í Skeiðará.

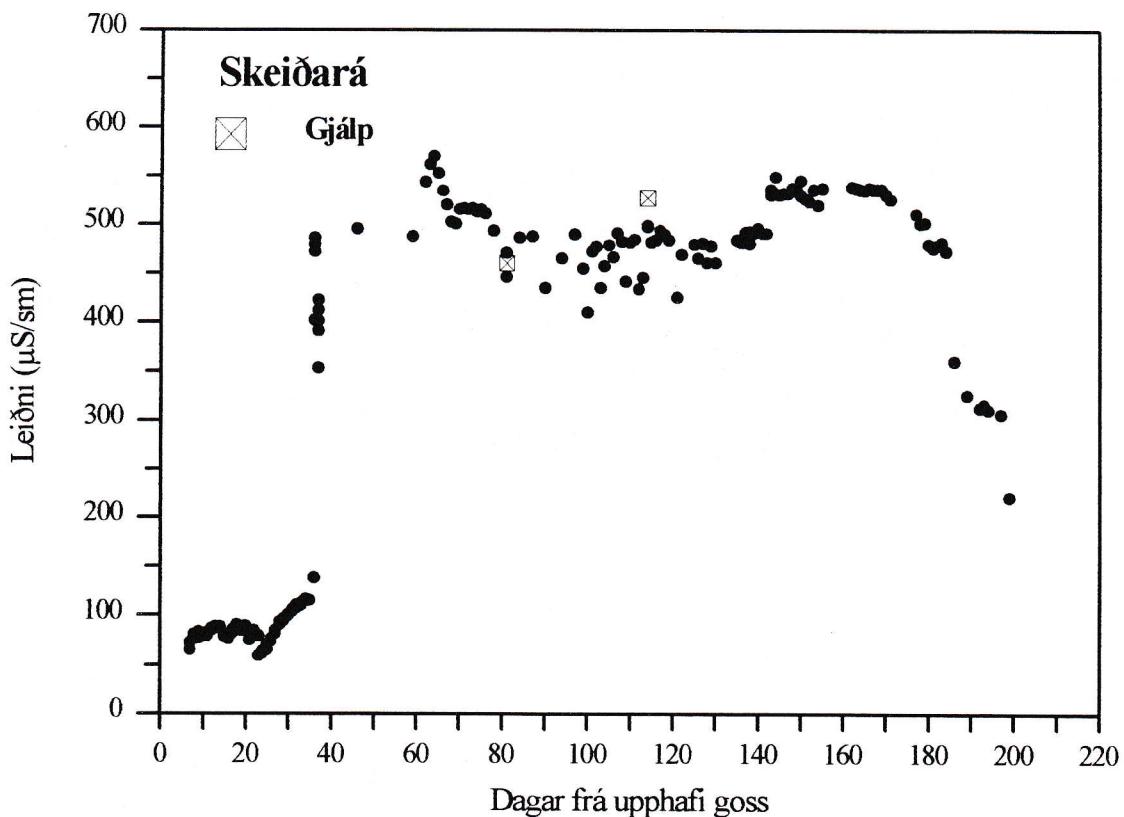
Pann 15. nóvember, tæplega 46 dögum frá upphafi goss, kom aftur vatn í eystri álland Skeiðarár og sýni voru tekin úr öllum ám á sandinum (þetta eru fyrsta sýnið úr Súlu og fjórða sýnið úr Gígju á 2. mynd og fyrsta sýnið úr Skeiðará eftir hlaup á 1. mynd). Leiðni í eystri álland Skeiðarár óx þá úr $353 \mu\text{S}/\text{sm}$, eins og hann var undir lok hlaupsins í Skeiðará, í $495 \mu\text{S}/\text{sm}$ sem er töluvert meiri leiðni en hún var mest í hlaupinu (1. mynd). Leiðni í vesturál Skeiðarár óx allnokkuð og lítillega í Gígju eins og sjá má á 2. mynd. Basavirkni var meiri þann 15. nóvember í austurál Skeiðarár en hún var mest í hlaupinu, styrkur Cl tvöfaltaðist en styrkur brennisteins og flúors var minni en í hlaupinu.

Leiðni og styrkur efna í Súlu og Gígju hefur hægt og sígandi minnkað og sótt í fyrra horf (2. mynd) en styrkur efna og leiðni í eystri álland Skeiðarár hefur haldist mikill allt frá 15. nóvember. Leiðnin í vatninu hefur verið eins og hún var mest í hlaupinu og svipuð og í vatni frá Gjálp sem safnað var 20. desember 1996 og 30. janúar 1997 (1. mynd).

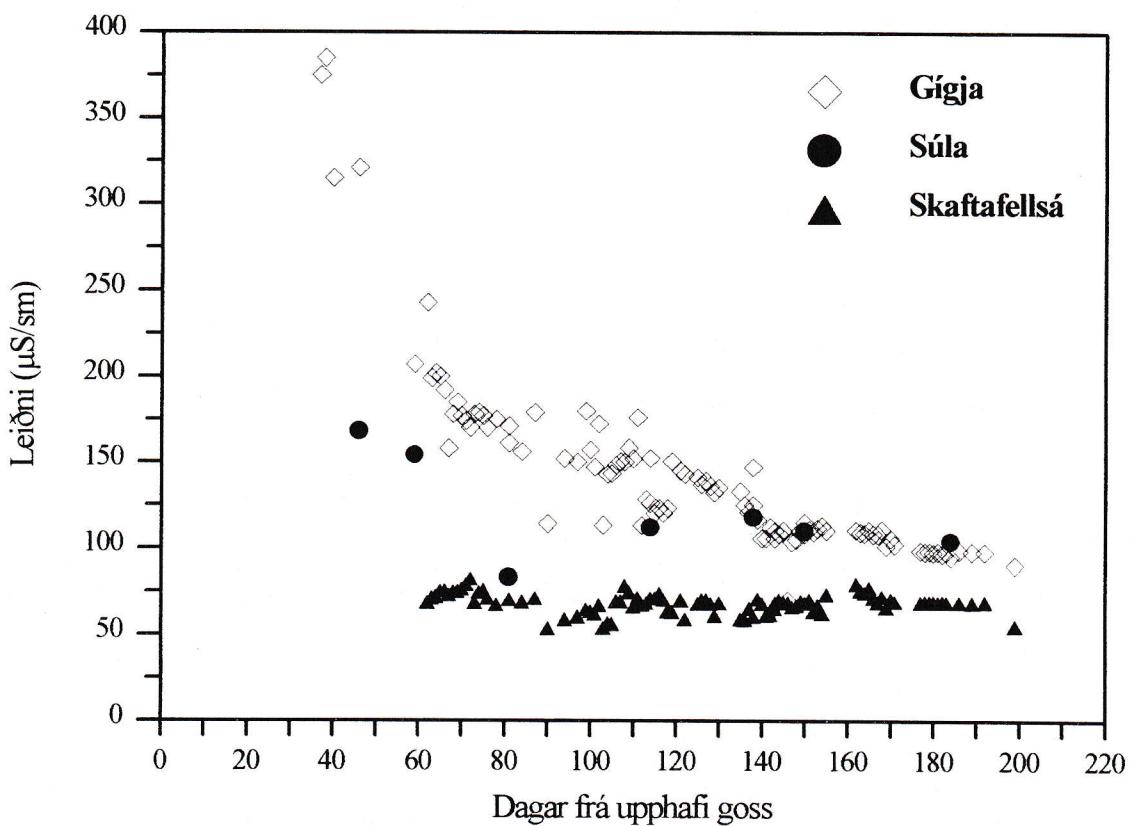
Pann 20. febrúar, eða um 143 dögum frá upphafi goss, fannst sterkt brennisteinslykt af vatni Skeiðarár og var hún megnari en í hlaupinu í nóvember. Leiðni vatnsins jókst þá úr $490 \mu\text{S}/\text{sm}$ í $530 \mu\text{S}/\text{sm}$ og hélst þannig til 20. mars, þ.e. þar til 171 degi eftir gos (1. mynd). Fyrstu daga þessa tímabils fannst lykt af brennisteinsvetni ef vindur stóð af Skeiðará.

Eftir 20. mars hefur leiðni í Skeiðará minnkað. Hún snarminnkaði 4. apríl (186 dögum eftir lok goss) en þá féll leiðnin úr $472 \mu\text{S}/\text{sm}$ miðað við 2. apríl í $360 \mu\text{S}/\text{sm}$. Hún snarminnkaði enn þann 17. apríl (199 dögum eftir lok goss) úr $305 \mu\text{S}/\text{sm}$ leiðni þann 15. aríl í $220 \mu\text{S}/\text{sm}$ (1. mynd).

Rennsli Gígju og Súlu hefur verið lítið allt frá lokum hlaups í nóvember eða $1-10 \text{ m}^3/\text{sek}$. Rennsli Skeiðarár hefur verið breytilegt á þessu tímabili: $63 \text{ m}^3/\text{sek}$ (28.11.1996), $35 \text{ m}^3/\text{sek}$ (20.12.1996), $116 \text{ m}^3/\text{sek}$ (22.1.1997), $45 \text{ m}^3/\text{sek}$ (15.2.1997), $160 \text{ m}^3/\text{sek}$ (24.2.1997), $159 \text{ m}^3/\text{sek}$ (27.2.1997) og $26 \text{ m}^3/\text{sek}$ (2.4.1997).



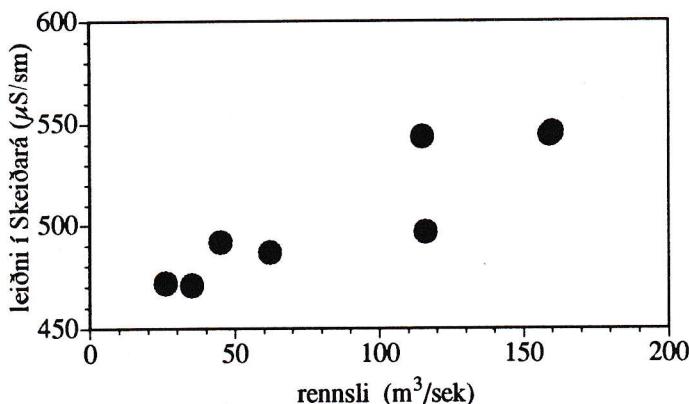
1. mynd. Leiðni vatns úr Skeiðará fyrir, í og eftir hlaup og leiðni vatns frá eldstöðvunum (Gjálp).



2. mynd. Leiðni vatns úr Gígju, Súlu og Skaftafellsá eftir Skeiðaráhlaup í nóvember 1996.

TÚLKANIR

Erfitt er að túlka atburðarásina hér að ofan öðruvísi en að vatn hafi lekið úr Grímsvötnum niður í Skeiðará, og þá sérstaklega eftir að yfirborð Grímsvatna lækkaði á tímabilinu 20.12.1996 til 30.1.1997 (Magnús Tumi Guðmundsson, 1997). Ofangreind gögn má túlka með eftirfarandi hætti: Rennsli úr Grímsvötnum hætti að mestu í lok hlaupsins í nóvember. Vatn hefur síðan farið að renna á ný úr Grímsvötnum um 15. nóvember. Hugsanlegt er að Grímsvötn hafi verið lagskipt þannig að jarðhitavatnið sem safnaðist í þau fyrir eldgos hafi legið á botni þeirra og loks skilað sér í Skeiðará þann 20. febrúar þegar fyrst fannst lykt af brennisteinsvetni af ánni og leiðni árinna breyttist (1. mynd). Frá því að rennsli byrjaði úr Grímsvötnum hefur það verið breytilegt og rennsli Skeiðarár hefur meira og minna endurspeglad rennslið úr Grímsvötnum vegna þess að leiðni vatnsins vex með auknu rennsli eins og sjá má á 3. mynd en fyrir hlaup voru vensl rennslis og leiðni þveröfug. Leiðnin minnkaði með auknu rennsli vegna þess að þá stafaði aukið rennsli fyrst og fremst af aukinni úrkomu á vatnasviði árinna en leiðni úrkomunnar er minni en árvatnsins.



3. mynd. Vensl leiðni og rennslis í Skeiðará eftir Skeiðarárhlaup í nóvember 1996.

Það er freistandi að túlka þessa snöggu minnkun á leiðni í Skeiðará þann 4. og 17. apríl (186 og 199 dögum frá upphafi goss, 1. mynd) sem verulega minnkun á rennsli vatns úr Grímsvötnum en á þessum tíma minnkaði leiðni í Gígju og Skaftafellsá lítillega. Þess er þá að gæta að óvenjumikil úrkoma var 4. apríl. Síðan var allt að 15 °C hiti og sól allt til 18. apríl. Leiðnibreytingin í Skeiðará getur því stafað af þynningu vegna úrkomu og snjóbráðar en áhrifin eru minni í Skaftafellsánni og Gígju vegna þess að leiðni úrkomunnar er nær leiðni vatns í þessum ám. Breytingarnar í leiðni Skeiðarár þann 17. apríl verða þó vart skýrðar með öðru en minnkandi rennsli vatns úr Grímsvötnum því veður breyttist ekkert frá 13. til 18 apríl. Þróun rennslis og efnasamsetningar vatnsins næstu vikurnar mun skera úr um hvort vatn sé hætt að leka úr Grímsvötnum.

HEIMILDIR

Magnús Tumi Guðmundsson, 1997. Vatnabúskapur Grímsvatna 20.12.1996 - 30.1.1997.
Minnisblað til Vegagerðarinnar, 3.2.1997.
Sigurður Reynir Gíslason, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Hrefna Kristmannsdóttir, Árni Snorrason, Jón Ólafsson og Hreinn Haraldsson, 1997. Rannsóknir á vatnsleysanlegum efnunum frá eldgosinu í Vatnajökli 1996. Ráðstefna um eldgosið í Vatnajökli, Jarðfræðafélag Íslands.

EFNAFRÆÐILEGIR EIGINLEIKAR KÍSILSTEINDARINNAR MÓGANÍTS

Sigurdur Reynir Gíslason¹, Peter J. Heaney², Eric H. Oelkers³, and Jacques Schott³.

¹⁾Raunvísindastofnun H.Í., Dunhaga 3, 107 Reykjavík. ²⁾ Department of Geosciences, Princeton University, Princeton, NJ 08540, U.S.A. ³⁾ Laboratoire de Géochimie, CNRS, Université Paul-Sabatier, 38 rue des Trente Six Ponts, 31400 Toulouse, France

INNGANGUR

Sífellt fleiri rannsóknir benda til þess að stór hluti þess kísils sem kristallast á yfirborði jarðar sé samgróin blanda af tveimur örsmáum steintegundunum, kvarsi og móganíti (Heaney og Post, 1992; Heaney, 1995). Efnasamsetning móganíts er sú sama og kvars, SiO_2 , en kristalbyggingin er ólík. Móganít er einhellt að byggingu en kvars er þríhorna. Til þess að skilja betur þau ferli sem stjórna styrk kísils í vatni og kristöllun kísils við yfirborð jarðar höfum við mælt efnavarmafræðilega og efnaaflfræðilega eiginleika móganíts sem fall af hitastigi frá 25 °C til 200 °C (Gíslason o. fl., 1997).

AÐFERÐIR

Þar sem hreint móganít hefur enn sem komið er ekki fundist á yfirborði jarðar eða verið framleitt á rannsóknarstofu mældum við efnarfræðilega eiginleika móganíts á eftirfarandi hátt: 1. Leysnihraði kvars var mældur sem fall af hitastigi við pH 3,5. 2. Leysnihraði steindablöndu úr kvarsi og móganíti í mismunandi hlutföllum var mældur til þess að reikna leysnihraða móganíts. 3. Með því að nýta "principle of detailed balancing" og jafnan útfellingarhraða hinna ýmsu hama kísils (Rimstít og Barnes, 1980) var hægt að reikna jafnvægisfastann fyrir efnahvarfið þegar kvars breytist í móganít. 4. Þessi jafnvægisfasti og fyrri mælingar á efnavarmafræðilegum eiginleika kvars nýttust síðan til þess að reikna efnavarmafræðilega eiginleika móganíts.

NIÐURSTÖÐUR

Eftirfarandi jöfnur lýsa því hvernig leysnihraði kvars, $k_{+, \text{Si}, \text{qtz}}$ (mól/m²/sek), og móganíts, $k_{+, \text{Si}, \text{mog}}$ (mól/m²/sek), breytist sem fall af hitastigi við pH 3,5 og langt frá jafnvægi.

$$\ln k_{+, \text{Si}, \text{qtz}} = -0.0463 - \frac{80480}{R T}$$

$$\ln k_{+, \text{Si}, \text{mog}} = -0.975 - \frac{70502}{R T}$$

Samkvæmt jöfnunum er þrokskulsorkan fyrir upplausn kvars 80,5 kJ/mól en 70,5 kJ/mól fyrir upplausn móganíts. Við 25°C, pH 3,5 og ákveðið yfirborðsflatarmál leysist móganít rúmlega sjö sinnum hraðar upp en kvars. Yfirborðsflatarmál steindablöndu úr kvarsi og móganíti margfaldast með auknum styrk móganíts í blöndunni. Þar af leiðir að upplausnar- og útfellingarhraði steindablöndu úr kvarsi og móganíti (mól/sek) margfaldast með auknum styrk móganíts í blöndunni.

Miðað við staðalaðstæður við 25 °C, 1 bar og myndun móganíts úr Si og O₂ er vermi móganíts -900723 og Gibbsorkan -851314 J/mól. Við þessar aðstæður er vermi móganíts 10 kJ/mól hærra en vermi kvars og Gibbsorkan er 5 kJ/mól hærri en Gibbsorka kvars. Við sömu aðstæður er óreiða móganíts 58,245 J/mól/K en það er 17 J/mól/K meiri óreiða en hjá kvarsi í viðmiðunarástandi. Lógaritminn af leysnifastanum fyrir móganít við 25 °C og 1 bar er -3,14 en það svarar til þess að styrkur kísils í vatni í jafnvægi við móganít sé 44 milligrömm af SiO₂ í einu kílói af vatni. Til samanburðar þá er lógaritminn af leysnifasta kvars við sömu aðstæður -4,00 sem jafngildir 6 milligrömmum af SiO₂ í einu kílói af vatni í jafnvægi við kvars. Mismunurinn á leysni kvars og móganíts minnkar með hækkandi hita.

UMRÆÐUR

Hröð upplausn móganíts og efnavarmafræðilegur óstöðugleiki þess miðað við kvars skýra það að móganít er sjaldgaeft í bergi sem er eldra en 100 milljónir ára og það hve lítið er af móganíti í veðruðum glerhalli. Enn fremur skýra þessa niðurstöður hvers vegna móganítið er algengast í ungum jarðmyndunum þar sem úrkoma er lítil. Þar vantar vatn til þess að auðvelda upplausn móganíts samtímis útfellingu kvars og þar hefur tíminn til þessara efnaskipta verið minni en í eldri jarðmyndunum.

HEIMILDIR

- Gíslason, S. R., Heaney, P. J., Oelkers, E. H. and Schott, J. (1997). Kinetic and thermodynamic properties of moganite, a novel silica polymorph. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 61, 1193-1204.
- Heaney, P. J. (1995). Moganite as an indicator for vanished evaporites: A testament reborn? *Journal of Sedimentary Research* A65, 633-638.
- Heaney, P. J. and Post, J. E. (1992). The widespread distribution of a novel silica polymorph in microcrystalline quartz varieties. *Science* 255, 441-443.
- Rimstidt, J. D. and Barnes, H. L. (1980). The kinetics of silica-water reactions. *Geochimica Cosmochimica Acta* 44, 1683-1699.

VATNAJÖKULSGOSIÐ 1996 — BERGEFNAFRÆÐI

Sigurður Steinþórsson¹, Björn Sv. Harðarson², Guðrún Larsen¹

¹Raunvísindastofnun Háskólags, Dunhaga 3, 107 Reykjavík;

²University of Edinburgh, Grant Institute, West Mains Road, Edinburgh EH9 3JW

Efnagreind voru í Edinborg og East Kilbride í Skotlandi sex sýni úr gosum í Vatnajökli: Vatnajökull 1996, Grímsvötn 1983, 1934 og 1922, Veiðivötn 1477 og „Bárðarbunga“ 1717. Kvikan sem upp kom í Vatnajökulsgosinu 1996 var basaltískt íslandít, svipað að samsetningu og gjóska frá árinu 1887 sem talin er vera frá Þórðarhryrnu.

- 1) Í ljósi súrefnissamsæta ($\delta^{18}\text{O}$) verður samsetning 1996-gjóskunnar ekki skýrð nema með íblöndun vatnaðrar, kíslíkrar bráðar, sem upprunnin er við hlutbráðunum í skorpunni.
- 2) Skjálftaupptök í gosinu 1996 benda til þess, að N-S sprunga hafi opnazt undir Bárðarbungu og kvíka hlaupið til suðurs, allt suður til Grímsvatna (Bryndís Brandsdóttir). Sú kvíka sem upp kom gæti því verið þriggja þátta: úr Bárðarbungu, Grímsvönum, og hlutbráð úr vötnuðu bergi þar á milli.
- 3) Grímsvatna- og Bárðarbungukerfin hafa hvort um sig einkennandi hlutföll samsæta Nd og Sr, en V-1996 liggur þar á milli. Þetta er í samræmi við (en sannar þó ekki) kvíkublöndun frá kerfunum tveimur.
- 4) Í gjóskulagi frá 1716 var súr þáttur sem greindur var með örgreini; aðalefnasamsetning hans líkist mjög ATHO í Kröflu, og sem fyrsta nálgun eru snefilefnin í ATHO látin gilda fyrir súra bráð í Vatnajökli. Þess er síðan freistað að líkja eftir samsetningu V-1996 með blöndun þriggja bráða: G1934, Bb1717 og Bb1716, og með hlutkristöllun blöndunnar (AFC-ferli). Niðurstöður slíkra reikninga sýna að slíkt líkan „gæti gengið“ en sanna ekki að kvíka V-1996 hafi myndazt með þessu hætti.

Í fyrirlestrinum verða þessar niðurstöður kynntar, eins og þær nú standa.

JARÐHITI Í INNSVEITUM SKAGAFJARÐAR UPPRUNI OG ALDUR VATNSINS

Stefán Arnórsson, Árný E. Sveinbjörnsdóttir, Auður Andréasdóttir,
Ingvi Gunnarsson og Andri Stefánsson

Jarðhitit er útbreiddur í innsveitum Skagafjarðar bæði í Lýtingsstaðahreppi vestan Héraðsvatna og í Akrahreppi austan þeirra (Hrefna Kristmannsdóttir o. fl., 1984; Ragna Karlsdóttir o.fl., 1991). Hiti er undir 70°C nema í Varmahlíð þar sem hann er rúmlega 90°C. Engin skörp skil eru milli kalds og heits vatns sem streymir úr berggrunni að því er varðar efnainnihald og samfella er í hitastigi frá meðalárshita (~5°C) upp í 70°C. Hiti er lægri í Akrahreppi en í Lýtingsstaðahreppi, mest 43°C í grunnri borholu. Jarðhitinn virðist yfirleitt tengdur unguum, lekum sprungum í þéttum berggrunni (Ragna Karlsdóttir o.fl., 1991).

Á síðasta ári hófst vinna við rannsóknarverkefni á jarðefnafræði jarðhitavatns í Skagafirði. Meginmarkmið þessa verkefnis er að (1) kortleggja breytingar á efnainnihaldi vatns þegar það sígur niður í berggrunninn, hitnar og hvarfast við bergið í átt til efnajafnvægis við ummyndunarsteindir, (2) meta uppruna og aldur vatnsins með aðstoð utangarðefna og ýmissa samsætna, (3) meta uppruna kolefnis í vatninu og (4) greina þau ferli sem ráða styrk nokkurra snefilefnna í vatninu. Hér verður gerð grein fyrir fyrstu niðurstöðum um uppruna og aldur jarðhitavatnsins.

Á 1. mynd er sýnt samband milli styrks á klór og bór í köldu vatni og jarðhitavatni. Árvatn austan Héraðsvatna er klórsnauðara en vestan þeirra. Ástæðan er að ár austan megin Skagafjarðar fá vatn sitt úr háum fjöllum Tröllaskaga þar sem úrkoman er tiltölulega klórsnauð (hæðarhrif). Vestan megin í firðinum eru fjöll lægri. Vatn í smærri ám þar er ekki ættað úr jafnmikilli hæð yfir sjó og þess vegna er árvatnið þar klórríkara. Vatn í uppsprettum í jarðvegi er enn hærra í klór. Það vatn er staðbundið, svarar til úrkому á láglendi sem er klórríkari en úrkoma til fjalla.

Jarðhitavatnið sýnir breytilega innbyrðisaukningu á styrk klórs og bórs (1. mynd). Allt vatn austan Héraðsvatna svo og vatn fast vestan þeirra sýnir línulegt samband milli styrks á klór og bór (hringir og ferningar á 1. mynd). Halli línumnar er sem næst 7. Talið er að þessi lína endurspegli í hvaða hlutföllum klór og bór skolast út úr bergen. Hún svarar til þess að klórinnihald þeirrar úrkumu, sem jarðhitavatnið á rætur sínar að rekja til, hafi verið tæplega 0,1 mmól/lítra eða sambæri við klórinnihald í ám af Tröllaskaga. Styrkur klórs og bórs jarðhitavatni í Lýtingsstaðahreppi öðru en því sem liggar næst Héraðsvötnum sýnir of mikinn breytileika til þess að unnt sé að meta klórinnihald móðurúrkumunnar.

Meta má styrk berg- og sjávarættaðs klórs í vatni út frá því hlufalli sem klór og bór skolast úr bergen (Stefán Arnórsson og Auður Andréasdóttir, 1995). Gróft samband er milli bergættaðs klórs í jarðhitavatni og hitastigs þess (2. mynd). Yfirborðs- og jarðvegsvatn hefur ekki tekið í sig klór úr bergi sem neinu nemur. Í 20-30°C vatni er u.p.b. helmingur klórsins bergættaður en hinn helmingurinn kominn frá úrkumunni.

Niðurstöður mælinga á tvívetni liggja ekki enn fyrir nema að hluta. Þar sem hiti vatnsins er lágor er ekki við því að búast að umtalsverð súrefnislíðrun hafi átt sér stað með efnahvörfum við bergið. Á þeirri forsenu er unnt að nota ^{18}O sem kenniefni á sama hátt og tvívetni.

Greinilegt er að $\delta^{18}\text{O}$ -gildi jarðhitavatnsins er því lægra sem hiti þess er hærri (3. mynd). Sömuleiðis er glöggt neikvætt samband milli $\delta^{18}\text{O}$ og styrks bergættaðs klórs í vatninu (4. mynd). Þetta síðara samband bendir til þess að vatnið sé með þeim mun lægra $\delta^{18}\text{O}$ -gildi sem það hefur hvarfast meira við bergið. Samkvæmt hefðbundinni túlkun (Bragi Árnason, 1976) á δD og $\delta^{18}\text{O}$ væri þetta samband skýrt með því að heitasta vatnið, sem jafnframt er með lægstu $\delta^{18}\text{O}$ -gildin, sé lengst aðrunnið frá hálandari stöðum og hafi því verið lengur í snertingu við berg en vatn með lægri hita og því nælt sér í meira klór úr bergen. Þessi skýring fær þó varla staðist fyrir allt jarðhitavatn á svæðinu. Heitasta vatnið í Lýtingsstaðahreppi inniheldur meira sjávarættað klór en sem svarar til úrkому á svæðin. Fyrir þetta vatn er ágætt neikvætt

samband er milli $\delta^{18}\text{O}$ og hins sjávarættaða klórs (5. mynd). Óhugsandi er frá sjónarhóli grunnvatnsfræði að írennsli sjávar í jarðhitakerfin geti átt sér stað samhliða írennsli úr gagnstæðri átt frá hálendari svæðum. Hiti jarðhitavatns í Skagafirði er það lágur að hræring þess er ekki knúin af eðliþyndarmun á heitu og köldu vatni í berggrunni. Hún hlýtur að ráðast af halla grunnvatnsborðs.

Eina haldbæra skýringin á neikvæðu sambandi sjávarættaðs klórs við $\delta^{18}\text{O}$ -gildi jarðhitavatnsins virðist vera sú að sjór hafi leitað niður í berggrunninn þegar grunnvatnsfræðilegar aðstæður voru aðrar en í dag, nefnilega þegar áfæði sjávar átti sér stað í lok síðustu ísaldar, jafnvel fyrr. Hið neikvæða samband milli $\delta^{18}\text{O}$ og sjávarættaðs klórs væri þannig skýrt með því að umrætt jarðhitavatn í Lýtingsstaðahreppi væri blanda af úrkomu annars vegar með 0,1-0,2 mmol/lítra af Cl og $\delta^{18}\text{O}$ -gildi milli -12,5 og -13,5 og hins vegar af klórríkara vatni, sem jafnframt er snauðara af $\delta^{18}\text{O}$. Þetta tiltölulega klórríka og ^{18}O -snauða vatn er talið blanda af ísaldarvatni og sjó sem seig niður í berggrunninn í lok síðasta jökulskeiðs, jafnvel fyrr.

Jarðhitavatn og yfirborðsvatn austan Héraðsvatna sýnir hins vegar vensl milli klórs og $\delta^{18}\text{O}$ sem unnt er að skýra með hæðarhrifum.

Í yfirborðsvatni og jarðvegsvatni svarar þrívetnisinnihald til 8-12 TU eininga. Prívetni er ekki mælanlegt í vatni sem er heitara en um 40°C (6. mynd). Þetta bendir til þess að vatnið sé a.m.k. nokkurra áratuga gamalt, að það hafi sigið niður í jörðina áður en tilraunir með kjarnorkusprengingar hófst í andrúmsloftinu á 6. áratug aldarinnar. Prívetni er stundum mælanlegt í jarðhitavatni með lægri hita. Stafar það líklegast af blöndun við ungt grunnstætt vatn. Vatn í stærstu jöklulánum, sem safnað hefur verið úr, Héraðsvötnum og Eystri-Jökulsá, er nokkru snauðara af prívetni en annað yfirborðsvatn. Stafar það vafalítið af því að jökulvatnið er að hluta þrívetnissnautt ísbráð, þ.e. gamall jökulís.

Sem stendur liggja niðurstöður mælinga á $\delta^{13}\text{C}$ aðeins fyrir fyrir sýni vestan Héraðsvatna. Í yfirborðsvatni á þessu svæði liggja $\delta^{13}\text{C}$ -gildin á bilinu -2 til -6‰. Því er ljóst að samsætuhlutföll kolefnis ráðast af efnaskiptum vatnsins við koltvíoxið andrúmsloftsins. Í jarðvegsvatni, þ.e. uppsprettum í jarðvegi eru $\delta^{13}\text{C}$ -gildin mun lægri eða frá -16 til -19‰. Það sem því sammsætuhlutfalli kolefnis í þessu vatni er ístreyi koltvíoxið frá rotnandi jurtaleifum. Í jarðhitavatni liggja $\delta^{13}\text{C}$ -gildin oftast á bilinu -6 til -12 ‰ sem er svipað og nokkru lægra en í basalti. Útskolan kolefnis úr berginu, sem þetta vatn fer um, virðist því ráða mestu um hlutfall kolefnissansætna í því. Þó virðist gæta nokkurra áhrifa kolsýru af lífrænum uppruna í sumum sýnum.

Nokkur sýni af volgu (20-30°C) sýna umtalsvert lægri $\delta^{13}\text{C}$ -gildi en annað jarðhitavatn eða á bilinu -12 til -16‰. Umtalsverður hluti karbónats í þessum sýnum hlýtur að vera af lífrænum uppruna. Hugsanlegt er að þetta jarðhitavatn hafi fengið í sig kolsýru af lífrænum uppruna úr jarðvegi þeim sem laugavatnið streymir upp í gegnum. Sama gæti átt við um sum sýni af heitara vatni.

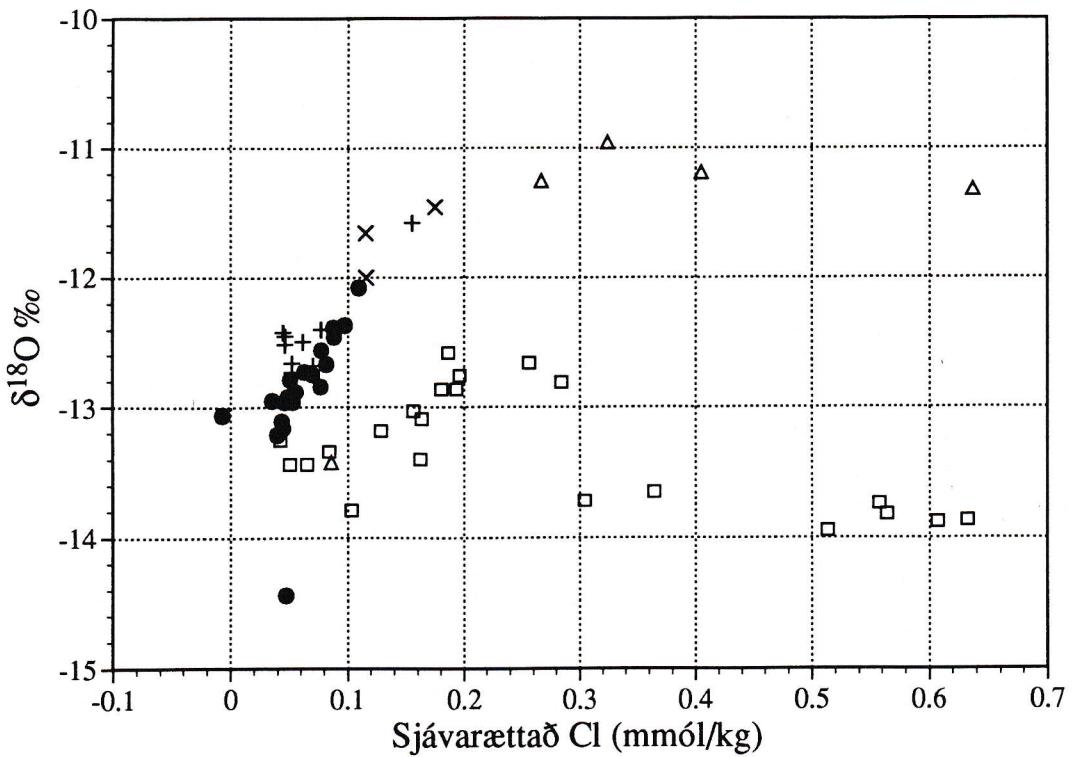
TILVITNANIR

Bragi Árnason (1976) Groundwater systems in Iceland traced by deuterium. Vísindafélag Íslendinga, 42, 236 bls.

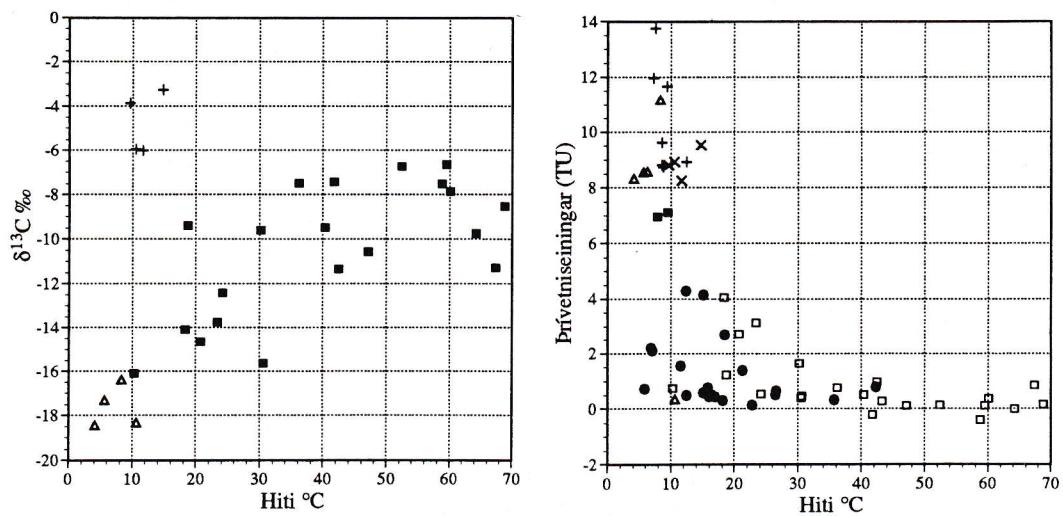
Hrefna Kristmannsdóttir, María Jóna Gunnarsdóttir, Ragna Karlsdóttir, Guðmundur Ingi Haraldsson og Haukur Jóhannesson (1984) Jarðhiti í innsveitum Skagafjarðar. Orkustofnun OS-84050/JHD-09, 111 bls.

Ragna Karlsdóttir, Guðmundur I. Haraldsson, Auður Ingimarsdóttir, Ágúst Guðmundsson og Þórólfur H. Hafstað (1991) Skagafjörður. Jarðfræði, jarðhiti, ferskvatn og rannsóknarboranir. Sérverkefni í fiskeldi 1987. Orkustofnun OS-91047/JHD-08, 96 bls.

Stefán Arnórsson og Auður Andréasdóttir (1995) Processes controlling the distribution of boron and chlorine in natural waters in Iceland. Geochim. Cosmochim. Acta, 59, 4125-4146.

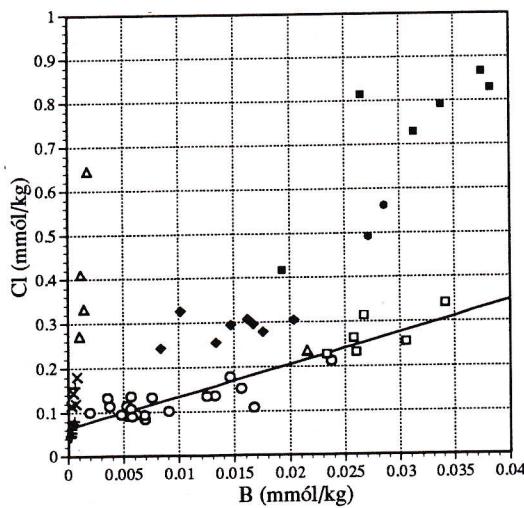


5. mynd. Samband milli $\delta^{18}\text{O}$ og magn sjávarættaðs klórs í vatni úr Skagafirði. Ferningar og punktar: jarðhitavatn í vestan og austan Héraðsvatna. Krossar og X árvatn vestan og austan Héraðsvatna. Þrífymingar: Jarðvegsvatn.

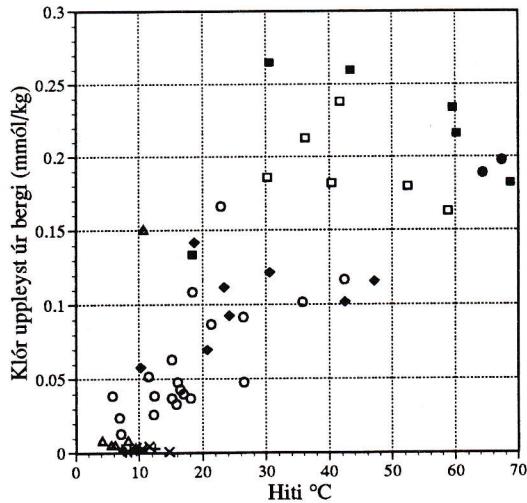


7. mynd. Vensl $\delta^{13}\text{C}$ við hita vatns í Skagafirði.
Ferningar tákna jarðhitavatn, þrífymingar jarðvegsvatn
og krossar yfirborðsvatn.

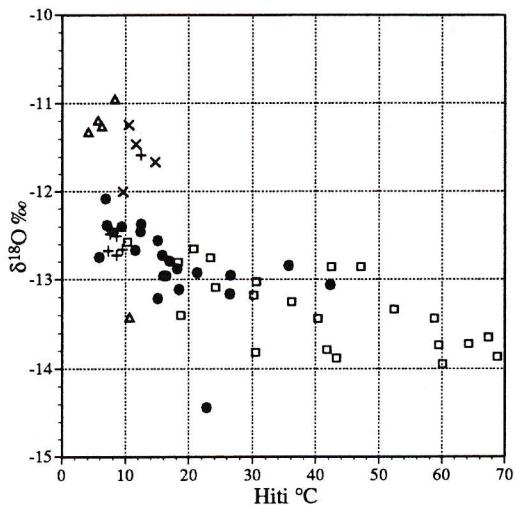
6. mynd. Vensl þrívetnis við hita vatns í Skagafirði.
Tákn hafa sömu merkingu og á 3. mynd.



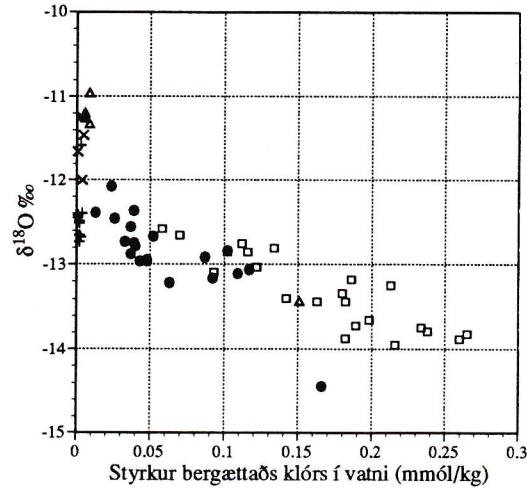
1. mynd. Samband klórs og bórs í vatni í Skagaförði.
Hringir: bergvatn austan Héraðsvatna, opnir feringar:
jarðhitavatn rétt vestan Héraðsvatna, fylltir feringar:
jarðhitavatn sunnan Varmahlíðar, punktar og fylltir
tíglar: Reykja- og Mælifellssvæðin í Lýtingsstaða-
hreppi, krossar og X yfirborðsvatn austan og vestan
Héraðsvatna, opnir þríhymingar: kaldar uppsprettur í
jarðvegi.



2. mynd. Vensl hita við klór sem útleyst hefur úr bergi.
Tákn hafa sömu merkingu og á 1. mynd.



3. mynd. Vensl $\delta^{18}\text{O}$ við hita í vatni í Skagaförði.
Feringar og punktar tákna jarðhitavatn vestan og
austan Héraðsvatna. Þríhyminar svara til uppsprettina
í jarðvegi en X og krossar yfirborðsvatn vestan og
austan Vatna.



4. mynd. Vensl $\delta^{18}\text{O}$ við bergættað klór í vatni. Tákn
hafa sömu merkingu og á 3. mynd.