LV-2015-125

Landsvirkjun



Háhitasvæðin á Þeistareykjum, í Kröflu og Námafjalli

Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2015

LV-2015-125

Landsvirkjun

Háhitasvæðin á Þeistareykjum, í Kröflu og Námafjalli

Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2015

ÍSOR

ÍSLENSKAR ORKURANNSÓKNIR

ÍSOR-2015/059

Verknr.: 15-0127

Desember 2015

Lykilsíða

Landsvirkjun

Skýrsla LV nr.:	LV-2015-125	**Dags:**	Desember 2015

Fjöldi síðna: 175 **Upplag:** 8 **Dreifing:** ☒ **Birt á vef LV** ☒ **Opin** ☐ **Takmörkuð til**

Titill: Háhitasvæðin á Þeistareykjum, í Kröflu og Námafjalli. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2015.

Höfundar/fyrirtæki: Sigurður G. Kristinsson, Finnbogi Óskarsson, Auður Agla Óladóttir og Magnús Ólafsson

Verkefnisstjóri: Ásgerður K. Sigurðardóttir f.h. LV Magnús Ólafsson f.h. ÍSOR

Unnið fyrir: Unnið af Íslenskum orkurannsóknum fyrir Landsvirkjun

Samvinnuaðilar:

Útdráttur: Jarðhitavirkni á Þeistareykjum, í Kröflu og Námafjalli hefur verið kortlögð og könnuð reglulega á síðustu áratugum. Tilgangurinn er að fylgjast með breytingum á virkninni. Jarðhitinn er síbreytilegur af náttúrulegum ástæðum, svo sem eldvirkni og jarðhniki, en einnig vegna vinnslu vökva úr jarðhitasvæðunum. Árið 2015 voru gerðar ítarlegar rannsóknir á jarðhitavirkni á Þeistareykjum, útbreiðsla jarðhitans var kortlögð og teknar myndir m.a. með hitamyndavél. Koldíoxíðflæði um jarðveg var mælt og tekin sýni úr sjö gufuaugum. Niðurstöðurnar sýna að bæði koldíoxíðflæði og hækkað jarðvegshitastig er fyrst og fremst að finna þar sem einnig er virk jarðhitavirkni á yfirborði. Í Námafjalli og Kröflu var yfirferðin lauslegri en þar voru einnig teknar hitamyndir af yfirborðs-jarðhitanum og sýni tekin úr gufuaugum á hvoru svæði og borin saman við fyrri mælingar. Óverulegar breytingar voru í jarðhitavirkni á öllum svæðunum frá 2014. Fremur litlar breytingar eru á efnasamsetningu gufunnar milli ára en þó virðist gas-styrkur fara heldur vaxandi á hrygg Námafjalls og á Hverum austan Námaskarðs.

Grunnvatn í Mývatnssveit er kannað árlega og var svo einnig gert 2015 í þeim tilgangi að meta áhrif frá affallsvatni frá Kröflu- og Bjarnarflagsvirkjunum. Í skýrslunni er einnig gerð grein fyrir athugunum á efnasamsetningu grunnvatns í Þeistareykjasprungu-sveimnum í Kelduhverfi til að hafa til viðmiðunar í framtíðinni þegar vinnsla verður hafin á Þeistareykjum. Vöktunin 2015 sýnir engar meiri háttar breytingar frá fyrri árum. Eftirlit með efnasamsetningu grunnvatns síðustu áratugina sýnir að vatn í lindum við Mývatn og grunnvatn vestan Námafjalls hefur ekki orðið fyrir neinum áhrifum frá jarðhitavatni frá Bjarnarflagsvirkjun eða Kröfluvirkjun hvað varðar styrk arsens og áls.

Lykilorð:

Krafla, Námafjall, Bjarnarflag, Þeistareykir, Mývatnssveit, Kelduhverfi, yfirborðsvirkni, gasflæðimælingar, gufusýni, grunnvatn, hitamyndir

ISBN nr.:

Samþykki verkefnisstjóra Landsvirkjunar

Undirskrift verkefnisstjóra	Yfirfarið af
Magnús Ólafsson	BS

Efnisyfirlit

1 Inngangur 11

2 Þeistareykir 13

2.1 Yfirborðsvirkni á Þeistareykjum 13

2.1.1 Misgengi suðvestan Randa og jarðhitinn við Hitur 15

2.1.2 Randir 16

2.1.3 Tjarnarás 19

2.1.4 Bæjarfjall 22

2.1.5 Ketilfjall 29

2.1.6 Niðurstöður 31

2.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum á Þeistareykjum 32

2.2.1 Sýnatökustaðir á Þeistareykjum 32

2.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga 38

2.2.3 Samantekt 42

2.3 Gasflæði um jarðveg á Þeistareykjum 43

2.3.1 Almennt um gasflæðimælingar 43

2.3.2 Gasflæðimælingar á Þeistareykjum sumarið 2015 44

2.3.3 Samantekt 54

3 Krafla 54

3.1 Yfirborðsvirkni í Kröflu 54

3.1.1 Leirbotnar 56

3.1.2 Leirhnjúkur 58

3.1.3 Vítismór 61

3.1.4 Vítissvæðið 61

3.1.5 Hveragil 63

3.1.6 Vesturhlíðar 66

3.1.7 Suðurhlíðar 70

3.1.8 Hrafntinnuhryggur 74

3.1.9 Hvíthólar 74

3.1.10 Sandabotnaskarð og Leirhóll 77

3.1.11 Niðurstöður 77

3.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum í Kröflu 77

3.2.1 Sýnatökustaðir í Kröflu 77

3.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga 82

3.2.3 Samantekt 85

4 Námafjall 86

4.1 Yfirborðsvirkni í Námafjalli 86

4.1.1 Austurgrundir 87

4.1.2 Hverir 90

4.1.3 Námafjall 95

4.1.4 Bjarnarflag....100
4.1.5 Jarðbaðshólar....104
4.1.6 Niðurstöður....105
4.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum í Námafjalli....105
4.2.1 Sýnatökustaðir....105
4.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga....109
4.2.3 Samantekt....114
5 Vöktun grunnvatns í Mývatnssveit, á Þeistareykjum og í Kelduhverfi....115
5.1 Mývatnssveit....115
5.2 Þeistareykir og Kelduhverfi....128
6 Helstu niðurstöður....135
6.1 Þeistareykir....135
6.1.1 Yfirborðsvirkni....135
6.1.2 Efnasamsetning gufu....135
6.1.3 Gasflæðimælingar....135
6.2 Krafla....136
6.2.1 Yfirborðsvirkni....136
6.2.2 Efnasamsetning gufu....136
6.3 Námafjall....137
6.3.1 Yfirborðsvirkni....137
6.3.2 Efnasamsetning gufu....137
6.4 Grunnvatnsvöktun í Mývatnssveit og Þeistareykjum....138
7 Heimildir....140
Viðauki 1: Eldri gufuefnagreiningar....145
Viðauki 2: Sýnameðhöndlun og efnagreiningaraðferðir....150
Viðauki 3: Mældur hiti við sýnatöku, styrkur efna og samsætuhlutföll í sýnum frá vöktunarstöðum í Mývatnssveit....152
Viðauki 4: Mældur hiti við sýnatöku, styrkur efna og samsætuhlutföll í sýnum frá vöktunarstöðum á Þeistareykjum og í Kelduhverfi....164
Viðauki 5: Hitamælingar í eftirlitsholum í Mývatnssveit....172
Viðauki 6: Hitamælingar í eftirlitsholum á Þeistareykjum....175

Töflur

Tafla 1. *Sýnatökustaðir á Þeistareykjum sumarið 2015.*....32
Tafla 2. *Efnasamsetning gufusýna frá Þeistareykjum sumarið 2015.*....38
Tafla 3. *Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áranna 2012–2015 frá Þeistareykjum.*....40
Tafla 4. *Sýnatökustaðir í Kröflu í ágúst 2015.*....78
Tafla 5. *Efnasamsetning gufusýna úr Kröflu sumarið 2015.*....82
Tafla 6. *Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áranna 2012–2015 af Kröflusvæðinu*....84

Tafla 7. *Sýnatökustaðir í Námafjalli sumarið 2015.* 106
Tafla 8. *Efnasamsetning gufusýna frá Námafjallssvæðinu.* 110
Tafla 9. *Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áranna 2012–2015 frá Námafjallssvæðinu* 112
Tafla 10. *Vöktunarstaðir í Mývatnssveit 2015.* 116
Tafla 11. *Yfirlit um dælt magn við sýnatöku 2015 úr vöktunarholum í Mývatnssveit.* 116
Tafla 12. *Umhverfismörk fyrir málma í yfirborðsvatni til verndar lífríkis* 117
Tafla 13. *Niðurstöður efnagreininga á vatnssýnum frá vöktunarstöðum haustið 2015.* 121
Tafla 14. *Sýnatökustaðir á Þeistareykjum og í Kelduhverfi 2015.* 128
Tafla 15. *Yfirlit um dælt magn og vatnshita við sýnatöku úr vöktunarholum á Þeistareykjum.* 128
Tafla 16. *Niðurstöður efnagreininga á vatnssýnum frá vöktunarstöðum haustið 2015.* 131

Myndir

Mynd 1. *Yfirlitskort af þeim svæðum sem fjallað er um í skýrslunni.* 12
Mynd 2. *Jarðhitakort af Þeistareykjum, ummyndun frá 2007 með kortlagningu 2015* 14
Mynd 3. *Gufustreymið í hrauninu sunnan við holu ÞG-8.* 15
Mynd 4. *Við sýnatökustað Þ G-105.* 16
Mynd 5. *Randir, horft til suðurs* 17
Mynd 6. *Hitamyndir teknar ofan af Bæjarfjalli vestanverðu* 18
Mynd 7. *Framhald hitamynda (á mynd 6).* 19
Mynd 8. *Horft yfir norðurhluta Randa og Tjarnarás í framhaldinu til norðurs.* 20
Mynd 9. *Sýnataka úr Þ G-103 en virkni þar var aðeins minni en í fyrra.* 21
Mynd 10. *Við hliðina á sýnatökustað Þ G-103 er heit skella sem skiptist í tvennt* 21
Mynd 11. *Hitamyndir. Myndatökustaður 2 á mynd 2.* 22
Mynd 12. *Norðurhlíð Bæjarfjalls austanverð* 22
Mynd 13. *Miðhluti norðurhlíðar Bæjarfjalls* 23
Mynd 14. *Vestanverð norðurhlíð Bæjarfjalls* 23
Mynd 15. *Jarðhitinn á sléttunni neðan við Bæjarfjall norðanvert.* 25
Mynd 16. *Jarðhitinn á eystri línunni.* 25
Mynd 17. *Jarðhitavirknin neðan við sæluhús.* 26
Mynd 18. *Jarðhitinn við norðanvert Bæjarfjall.* 27
Mynd 19. *Hitamyndir af norðurhlíð Bæjarfjalls.* 28
Mynd 20. *Jarðhitaskálinn í miðjum hlíðum Ketilfjalls* 29
Mynd 21. *Jarðhitinn norðan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7* 30
Mynd 22. *Svæðið sunnan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7* 31
Mynd 23. *Gufuaugu á Þeistareykjum.* 33
Mynd 24. *Undirbúningur sýnatöku úr auga Þ G-101* 34
Mynd 25. *Gufuaugað Þ G-102 í skál í hlíðum Ketilfjalls.* 35
Mynd 26. *Sýnataka úr gufuauga Þ G-104 í brennisteinsflagi norðan Neðri-Bóndhóls.* 35
Mynd 27. *Gufuaugað Þ G-105 vestast á Röndum.* 36
Mynd 28. *Undirbúningur sýnatöku úr gufuauga Þ G-106 sunnarlega á Röndum.* 36
Mynd 29. *Leirflagið sunnarlega í Tjarnarási. Jarðfræðingur stendur við auga Þ G-107.* 37

Mynd 30. *Sýnataka úr gufuauganu Þ G-108 ofarlega í norðurhlíð Bæjarfjalls.* 37
Mynd 31. *Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum á Þeistareykjum.*....39
Mynd 32. *Samsætuvik sýna áranna 2012–2015 úr gufuaugum á Þeistareykjum, ásamt úrkomulínu Craigs (1961).*....41
Mynd 33. *Staðsetning mælinga á jarðvegshitastigi og koldíoxíðgasflæði um jarðveg á Þeistareykjum.* 45
Mynd 34. *Gasflæðimælir sem notaður var til mælinga á Þeistareykjum sumarið 2015.*....46
Mynd 35. *Niðurstöður gasflæðimælinga um jarðveg á Þeistareykjum.*....47
Mynd 36. *Gasflæðimælingar á Þeistareykjum* 48
Mynd 37. *Niðurstöður jarðvegshitastigsmælinga á 15 cm dýpi* 49
Mynd 38. *Gasflæði um jarðveg og jarðvegshitastig á Þeistareykjum 2015, í Kröflu 2014 og Námafjalli 2013* 50
Mynd 39. *Línurit sem sýna samanburð á koldíoxíðflæði um jarðveg á öllum fjórum mælilínunum sem mældar voru sumarið 2015, samanborið við eldri mælingar frá 2012.* 52
Mynd 40. *Línurit sem sýna samanburð á hitastigi á 15 cm dýpi í jarðvegi á öllum fjórum mælilínunum sem mældar voru sumarið 2015, samanborið við eldri mælingar frá 2012.* 53
Mynd 41. *Jarðhitakort af Kröflu.*....55
Mynd 42. *Gilskorningur milli holna K-11 og K-27.*....56
Mynd 43. *Myndir teknar ofan af Rauðhól* 57
Mynd 44. *Austurhlíð Leirhnjúks* 58
Mynd 45. *Hverasvæðið við Leirhnjúk*....59
Mynd 46. *Jarðhitinn í brotinu sem liggur meðfram austurhlíðinni með NNA-lægri stefnu* 59
Mynd 47. *Hraun og gígar við norðurenda Leirhnjúks* 60
Mynd 48. *Myndir 1 og 2 sýna jarðhitann í Leirhnjúki frá borteig IDDP-1*....61
Mynd 49. *Svæðið norðan við Víti (G-1)*....62
Mynd 50. *Við Tvíburavötn. Mest allur jarðhitinn er bundinn við þennan stað* 63
Mynd 51. *Litla-Víti og gufuopið á miðri mynd. Gufuvirkni er heldur meiri en í fyrra*....64
Mynd 52. *Heita leirflagið gegnt Litla-Víti. Gufan á myndinni er frá Litla-Víti.*....65
Mynd 53. *Virknin við Jónshver gegnt jarðfallinu.*....65
Mynd 54. *Litlihver (G-33) sunnan við slóðann upp á Kröflufjall* 66
Mynd 55. *G-28. Gufuvirkni var mest í árfarveginum þar sem vatn rann yfir sjóðandi jörð* 67
Mynd 56. *Laugarnar neðan Stórahvers (G-29). Mesti hiti er 70°C* 68
Mynd 57. *Hitamyndir af Vesturhlíðum Kröflu* 69
Mynd 58. *Jarðhitaskellan neðan holu K-16.*....70
Mynd 59. *Suðurhlíðar. Ljósa flagið ofan við holur K-20 og K-31 er sýnatökustaður G-9* 71
Mynd 60. *Ofan við veginn að holum K-19 og K-30. Heit skella, 95°C* 72
Mynd 61. *Nokkuð stór skella neðarlega í sama gili og sýnt er á mynd 60 (G-106, áður G-7).* 72
Mynd 62. *Hitamyndir af Suðurhlíðum frá myndatökustað 7 á mynd 41*....73
Mynd 63. *Skella við Hvíthóla, 10x3 m á stærð*....75
Mynd 64. *Ljósleitur mosagróður í kringum hitaopin. Hiti í gufu 55°C.*....75
Mynd 65. *Hitamyndir frá Hvíthólum*....76
Mynd 66. *Gufuaugu í Kröflu.*....79
Mynd 67. *Gufuaugað K G-104 í austurhlíð Leirhnjúks. Horft til norðausturs.* 80

Mynd 68. *Gufusýnataka úr gufuauga K G-106 í gili vestan við holu K-14.* 81
Mynd 69. *Undirbúningur sýnatöku úr gufuauga K G-107 í gígskál norðan Vítis.* 81
Mynd 70. *Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum í Kröflu* 83
Mynd 71. *Samsætuvik sýna áranna 2012–2015 úr gufuaugum á Kröflusvæðinu, ásamt úrkomulínu Craigs (1961).* 84
Mynd 72. *Jarðhitakort af Námafjalli.* 86
Mynd 73. *Yfirlitsmynd af Austurgrundum tekin ofan af Námafjalli.* 87
Mynd 74. *Virk brennisteinsþúfa nyrst á Austurgrundum með 96°C hita.* 88
Mynd 75. *Gufustreymi syðst á Austurgrundum kemur upp um op og sprungur í hrauninu.* 88
Mynd 76. *Hitamynd af Austurgrundum frá myndatökustað 8* 89
Mynd 77. *Yfirlitsmynd af Hverarönd.* 90
Mynd 78. *Leirhverir við Hverarönd. Dökkur leir og bullandi virkni á stöku stað.* 91
Mynd 79. *Austurhlíð Námafjalls.* 92
Mynd 80. *Hitamyndir af Hverum séð ofan af Mið-Kollu.* 93
Mynd 81. *Hitamyndir af Hverum og austurhlíðum Námafjalls.* 94
Mynd 82. *Jarðhitinn á toppi Námafjalls við Mið-Kollu.* 95
Mynd 83. *Leirhverirnir á toppi Námafjalls* 96
Mynd 84. *Toppur Námafjalls.* 97
Mynd 85. *Frá Syðstu-Kollu til suðurs.* 97
Mynd 86. *Jarðhitavirknin í vesturhluta Námafjalls, horft til norðurs* 98
Mynd 87. *Hitamyndir af vesturhlíðum Námafjalls* 99
Mynd 88. *Gilið ofan við holu B-9, sýnatökustaður G-103 í holunni.* 100
Mynd 89. *GB-4. Virknin í framhaldi af gilinu sunnan B-9.* 101
Mynd 90. *Þó nokkur gufuvirkni er við holu B-4, brennisteinn og myndlaus kísill.* 102
Mynd 91. *GB-5. Brennisteinsútfellingar í Gamla bakaríinu.* 102
Mynd 92. *Hitamyndir í Bjarnarflagi.* 103
Mynd 93. *Dæmigerð virkni við Jarðbaðshóla.* 104
Mynd 94. *Gufuaugu í Námafjalli og Bjarnarflagi.* 106
Mynd 95. *Svæðið kringum gufuauga N G-102 ofan við gil í Námafjalli austanverðu.* 107
Mynd 96. *Sýnataka úr gufuauga N G-105 í austurbarmi gils í Bjarnarflagi* 108
Mynd 97. *Gufuauga N G-106 á Hverum, hægra megin við miðja mynd. H-9 blæs í baksýn.* 108
Mynd 98. *Gufuauga N G-108 á Námafjalli, hægra megin við miðja mynd.* 109
Mynd 99. *Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum á Námafjallssvæðinu.* 111
Mynd 100. *Samsætuvik sýna áranna 2012–2015 úr gufuaugum í Námafjalli, ásamt úrkomulínu Craigs (1961).* 112
Mynd 101. *Sýnatökustaðir í Mývatnssveit 2015. Borholur eru sýndar grænar með krossi.* 120
Mynd 102. *Styrkur arsens í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni á árunum 1995–2015 ásamt umhverfismörkum I, II, III og IV og mörkum fyrir neysluvatn.* 125
Mynd 103. *Styrkur arsens í vatni borholum á árunum 1995–2015 ásamt umhverfismörkum I, og II. Viðmiðunarmörk fyrir styrk arsens í neysluvatni eru 0,01 mg/L, efst á myndinni.* 125
Mynd 104. *Styrkur arsens í lindum við Mývatn á árunum 1995–2015 ásamt umhverfismörkum I.* 126

Mynd 105. *Styrkur áls í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni á árunum 1995–2015 ásamt umhverfismörkum I og II.* 126
Mynd 106. *Styrkur áls í vatni úr borholum á árunum 1995–2015 ásamt norskum umhverfismörkum I og II.* 127
Mynd 107. *Styrkur áls í vatni linda við Mývatn á árunum 1995–2015 ásamt norskum umhverfismörkum I og II.* 127
Mynd 108. *Sýnatökustaðir í Kelduhverfi og á Þeistareykjum 2015.* 130
Mynd 109. *Styrkur arsens í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I.* 133
Mynd 110. *Styrkur arsens í vatni úr borholum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I.* 133
Mynd 111. *Styrkur áls í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I og II.* 134
Mynd 112. *Styrkur áls í vatni úr borholum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I og II.* 134

1 Inngangur

Í þessari skýrslu er greint frá athugunum á yfirborðsvirkni jarðhitans á þremur jarðhitasvæðum á Norðausturlandi, þ.e. Þeistareykjum, Kröflu og Námafjalli, sem og vöktun grunnvatns í Mývatnssveit og Kelduhverfi á árinu 2015. Niðurstöður ársins eru bornar saman við eldri athuganir á svæðunum sem ná mislangt aftur í tímann eftir atvikum. Tilgangurinn er að kortleggja virknina og fylgjast með þeim breytingum sem hafa orðið á jarðhitavirkni og efnasamsetningu grunnvatns á þessum svæðum undanfarin ár og áratugi hvort heldur sem er af náttúrulegum orsökum eða af völdum jarðhitanýtingar. Niðurstöðurnar leggja síðan grunn að frekara eftirliti til framtíðar.

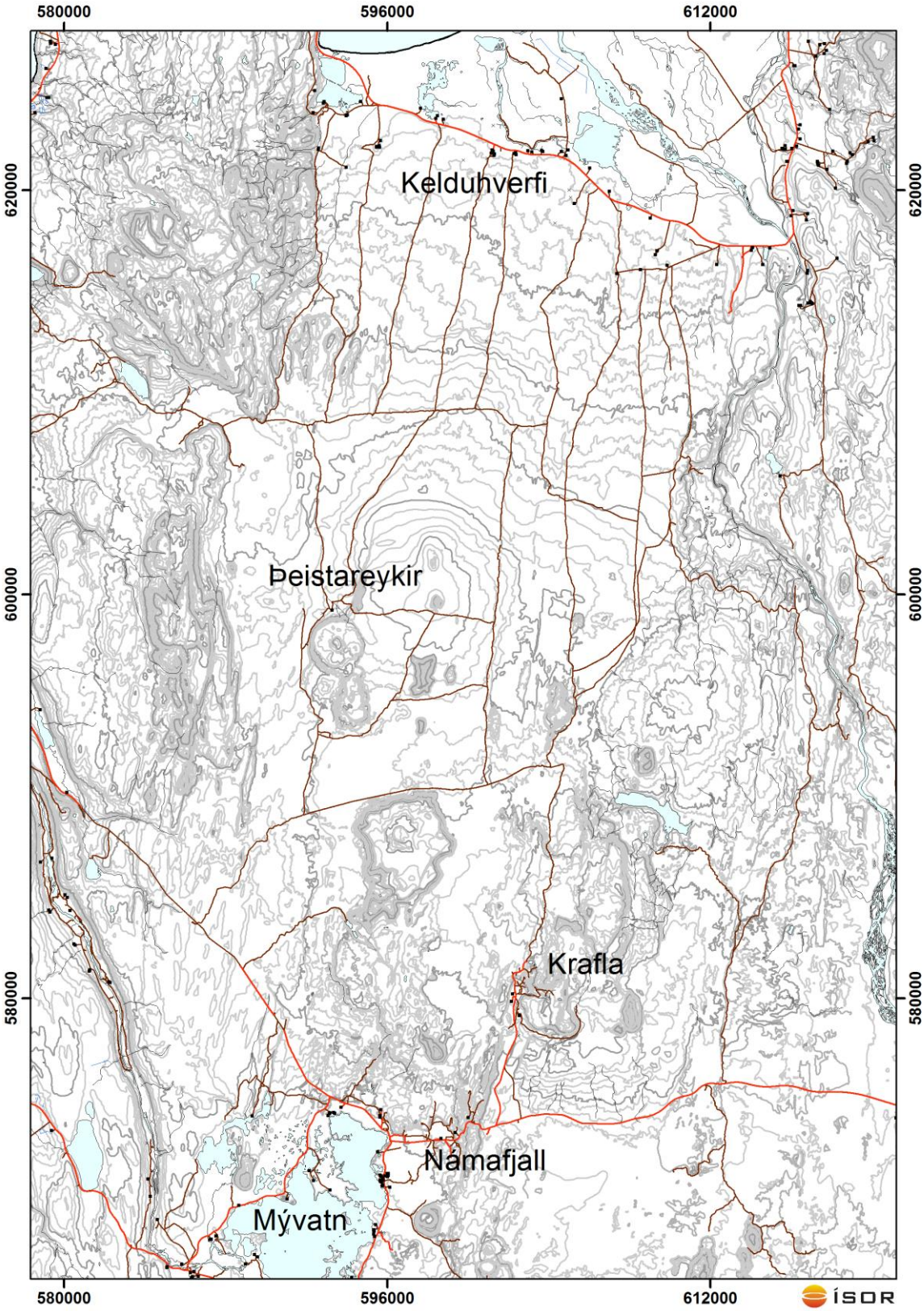
Sumarið 2015 voru gerðar ítarlegar athuganir á jarðhitavirkni á Þeistareykjum en yfirferðin um Kröflu og Námafjall var lauslegri. Jarðhitastaðir á Þeistareykjum voru skoðaðir og þeim lýst, gerðar hitamælingar og teknar myndir með hitanæmri myndavél sem nemur innrauða geislun. Hitamyndir voru einnig teknar af jarðhitavirkni í Kröflu og Námafjalli og athuganir gerðar á helstu jarðhitastöðum. Í öllum tilfellum var leitast við bera virknina saman við eldri lýsingar (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a, og heimildir sem þar er vísað í).

Gufusýni voru tekin úr gufuaugum á jarðhitasvæðunum þremur og efnasamsetning gufu borin saman við eldri efnagreiningar frá sömu slóðum. Efnasamsetning gufu stjórnast m.a. af hitastigi í jarðhitakerfinu og langtímabreytingar á gufunni gefa því vísbendingar um þróun hita í kerfunum. Þá komu fram miklar breytingar á gufusamsetningu í tengslum við eldsumbrotin í Kröflu sem enn eimir eftir af og er markmið eftirlitsins með efnasamsetningu gufu einnig að fylgjast með því hvernig þær breytingar ganga til baka.

Gasflæði um jarðveg var mælt á Þeistareykjum sumarið 2015 en slíkar mælingar hafa áður verið gerðar á Þeistareykjum (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a) sem og við Námafjall 2013 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013b) og í Kröflu (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2014; Þráinn Friðriksson, 2009). Gasflæði frá jarðhitakerfum gefur vísbendingar um virkni kerfanna, þ.e. hversu mikil gufa myndast í þeim. Gasflæðimælingar eru sérstaklega heppilegar til eftirlits af þessu tagi þar sem fremur auðvelt er að bera þær saman milli ára.

Gerðar voru mælingar á efnasamsetningu grunnvatns í Mývatnssveit og affallsvatni frá virkjunum í Kröflu og Bjarnarflagi í þeim tilgangi að kanna áhrif frá affallsvatni á grunnvatnið. Vöktun á grunnvatni í Mývatnssveit hófst í núverandi mynd árið 2003 og voru sýni lengst af tekin tvisvar á ári, að vori og hausti. Fyrirkomulaginu var breytt árið 2014 og eru sýni nú tekin einu sinni á ári en sýnatökustöðum var á móti fjölgað verulega, úr tíu í nítján.

Þá er einnig greint frá niðurstöðum sams konar vöktunar á grunnvatni á Þeistareykjum og í Kelduhverfi en þær eru gerðar til að leggja grunn að eftirliti með áhrifum væntanlegrar virkjunar á Þeistareykjum á grunnvatn. Vöktun á grunnvatni í Kelduhverfi hefur farið fram í núverandi mynd frá árinu 2007.



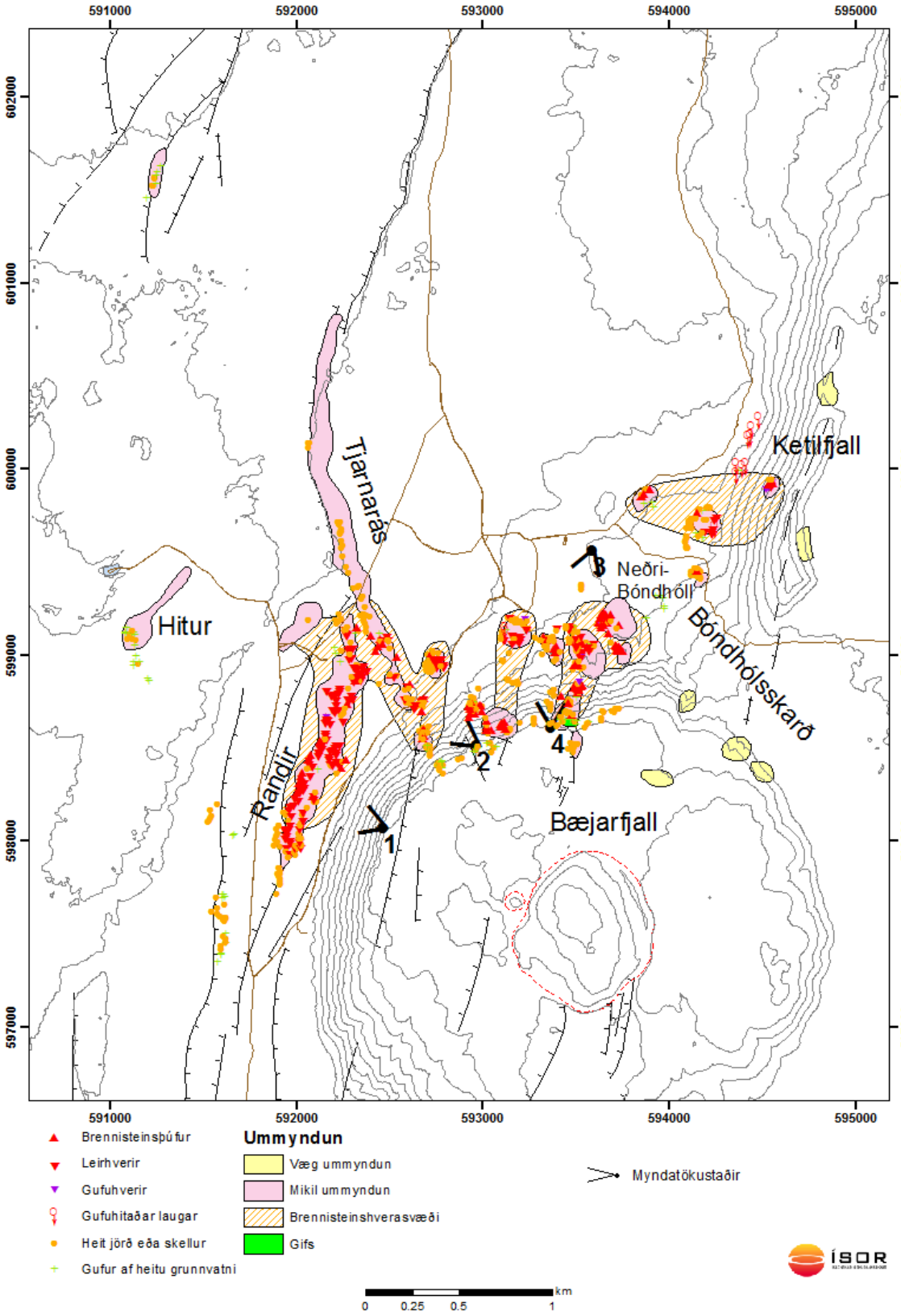
Mynd 1. *Yfirlitskort af þeim svæðum sem fjallað er um í skýrslunni.*

2 Þeistareykir

2.1 Yfirborðsvirkni á Þeistareykjum

Fyrir rúmum 30 árum var gerð úttekt á yfirborðsvirkninni á Þeistareykjum og birtust niðurstöðurnar í skýrslu Orkustofnunar (Gestur Gíslason o.fl., 1984). Þá vann Kristján Sæmundsson jarðfræðiyfirlit árið 2007 þar sem jarðhitakort af svæðinu var uppfært frá 1984 (Kristján Sæmundsson, 2007) og er kort Kristjáns notað sem grunnur í þessari skýrslu. Árið 2012 var gerð úttekt á yfirborðsvirkninni og teknar hitamyndir og ljósmyndir. Einnig voru tekin sýni úr gufuaugum og gerðar gasflæðimælingar (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a). Síðastliðin tvö ár hefur þessu svo verið fylgt eftir með yfirferð um svæðið og borið saman við úttektina frá 2012 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013b, 2014).

Á Þeistareykjum var farið yfir allt svæðið dagana 10.–16. ágúst 2015 þar sem jarðhitavirkni á yfirborði hefur áður verið getið, jarðhitanum lýst og hann flokkaður (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 2005). Jarðhitasvæðinu á Þeistareykjum er skipt upp í eftirfarandi undirsvæði: Hitur, Randir, Tjarnarás, Bæjarfjall og Ketilfjall (sjá mynd 2).



Mynd 2. *Jarðhitakort af Þeistareykjum, ummyndun frá 2007 með kortlagningu 2015 (tákn). Óverulegar breytingar hafa orðið á yfirborðsjarðhitanum frá fyrri athugunum.*

2.1.1 Misgengi suðvestan Randa og jarðhitinn við Hitur

Gufueimur kemur upp úr misgengi með N-S stefnu sem liggur vestan og samsíða veginum sem liggur að holum ÞG-8 og ÞG-2. Syðstu jarðhitaummerki eru nærri gatnamótunum þar sem vegur af Hólasandi skiptist annars vegar til Bæjarfjalls og hinsvegar að holum ÞG-8 og ÞG-2 (mynd 2). Gufustreymið var áþekkt því sem hefur verið undanfarin ár. Til norðurs má fylgja misgenginu og hitanum eftir. Eftir því sem norðar dregur lækkar misgengisstallurinn en ummyndun eykst og hitinn hækkar. Þessi virkni fjarar út á móts við virknina í Röndum sem er undir norðvestanverðu Bæjarfjalli.

Norðvestar, eða sunnan við borholu ÞG-8, eru nokkur lítil hitasvæði í hrauninu, kennd við Hitur, þar sem heit, lyktarlaus gufa streymir upp til yfirborðs. Hitinn er víðast hvar um 40–70°C en mældist hæstur 80°C í ár (2015) en var á sama stað 82°C í fyrra. Gufustreymi var svipað í ár og 2014 en heldur meira en 2012 og 2013 (mynd 3) sem gæti stafað af veðurfari. Væg ummyndun er á hluta svæðisins. Á jarðhitakorti Gests Gíslasonar o.fl. (1984) er sýnd samfelld snjóafbræðsla frá misgengisstallinum vestan við Randir að jarðhitanum í Hitum. Á nokkrum stöðum í hrauninu er velgja og svolítið gufustreymi svo líklega er volgt undir þessu svæði sem getur útskýrt snjóafbræðslur sem sjást á þessum stað.



Mynd 3. *Gufustreymið í hrauninu sunnan við holu ÞG-8. Mesti hiti á þessum stað mældist um 80°C.*

2.1.2 Randir

Jarðhitavirknin á Röndum virðist tengjast misgengi með NNA-lægri stefnu og falli til vesturs. Jarðhitinn og gufueimurinn sem kemur upp suðvestan og vestan við Randir, og lýst er í kafla 2.1.1, er á misgengi með falli til austurs og myndast smá sigdæld þarna á milli misgengjanna sem þrengist til suðurs (mynd 2). Á Röndum eru fjölmargir leir- og brennisteinshverir og ummyndun mikil. Ummyndunin einkennist aðallega af rauðum og gráum leir. Virknin kemur upp á tveimur nánast samsíða línum með 30–70 m bili. Inni á milli er köld leirummyndun en á línunum er nánast samfelld virkni sem þó myndar hveraþyrpingar með meiri virkni (myndir 4 og 5). Hitinn í virkum leir- og brennisteinshverum er yfir 95°C í flestum tilfellum. Gufuaugu voru ekki aflmikil núna í ár frekar en 2014 og 2013. Frá gufunni er brennisteinslykt en í leirhverunum bullar mismikið. Þeir sem eru í blautari kantinum eru yfirleitt bullandi eða sletta leir. Miðað við kort Kristjáns Sæmundssonar (2007) nær hitinn núna um 100 m lengra til suðurs frá ummyndunarsvæðinu en hitinn var hæstur 97°C. Á korti Kristjáns eru hins vegar sýndir gufu- eða leirhverir austan við þennan stað (við veginn) sem og gufueimur rétt við gatnamótin. Ekki var vart við neina virkni á þessum stað í ár en á hitamyndum frá því í fyrra glittir í velgju á þessum stað.

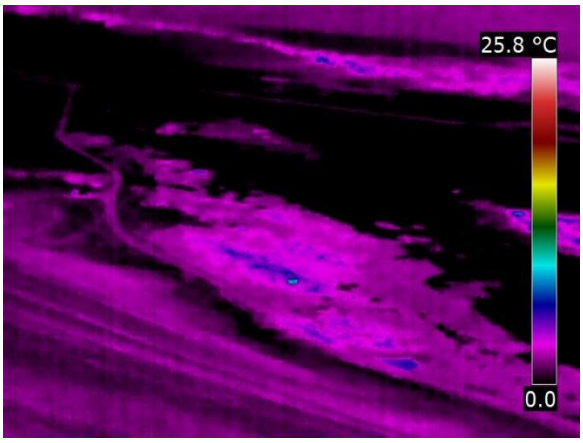


Mynd 4. *Við sýnatökustað Þ G-105. Brennisteinn og gufa í kantinum á misgenginu en leirhverir á sléttunni. Virkni á Röndum 2015 var almennt svipuð og undanfarin ár.*

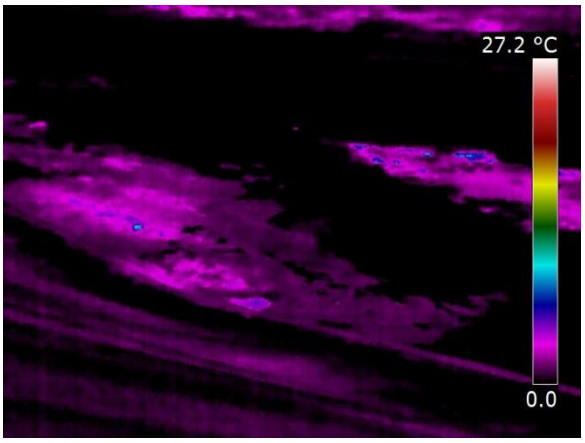


Mynd 5. *Randir, horft til suðurs. Víða má sjá gufustreymi frá gufuaugum sem eru aðallega í misgengisbrotinu en leirhverir liggja niðri í lægðinni.*

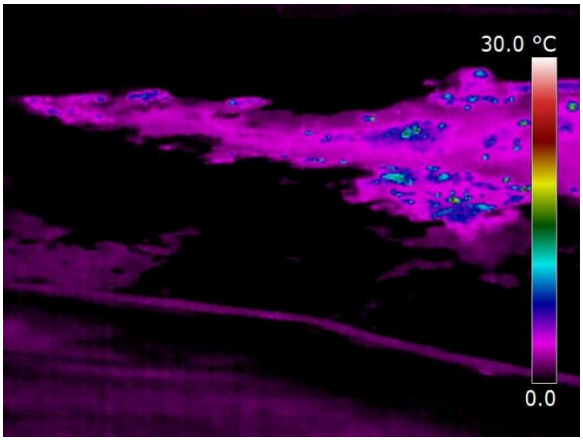
Hitamyndir af jarðhitanum á Röndum eru sýndar á myndum 6 og 7. Þær eru teknar ofan af Bæjarfjalli (mynd 2, myndatökustaður 1). Jarðhitastaðirnir sem og volg jörð koma vel fram á myndunum. Brennisteinsþúfur, gufu- og leirhverir skera sig vel út sem litlir punktar í volgri jörð. Engar breytingar er að sjá á milli ára annað en að vegna „betri“ veðurskilyrða kemur jarðhitinn skýrt fram.



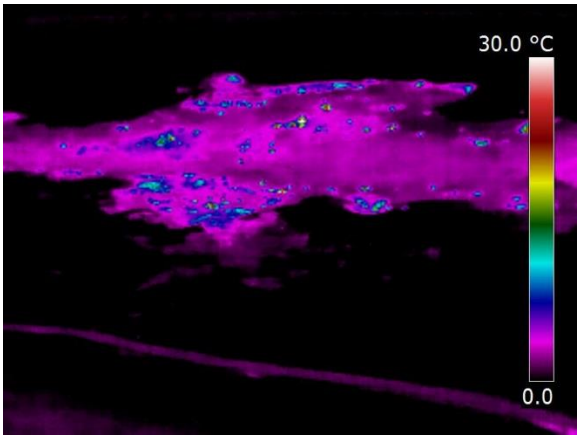
1. *Syðst á Röndum*



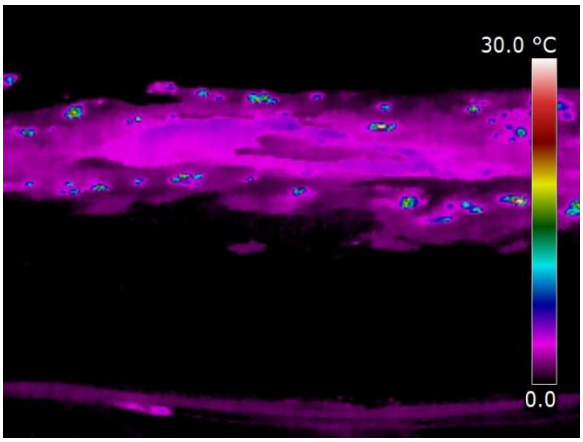
2. *Randir. Framhald til norðurs*



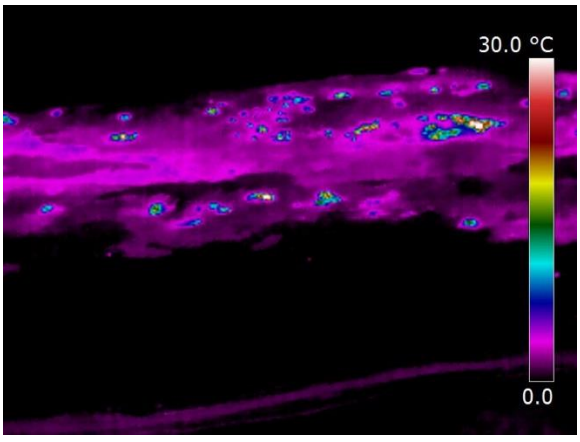
3. *Randir. Framhald til norðurs*



4. *Randir. Framhald til norðurs*

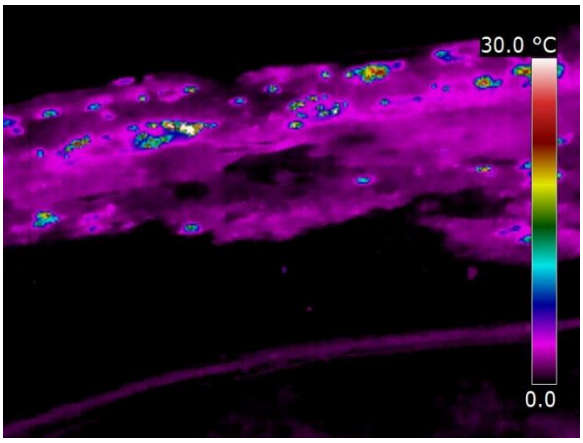


5. *Randir. Framhald til norðurs*

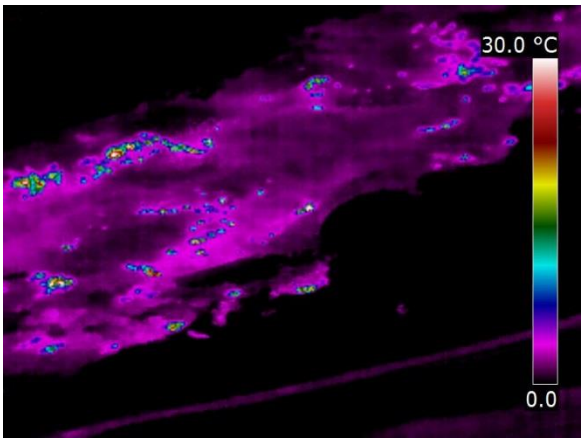


6. *Randir. Framhald til norðurs*

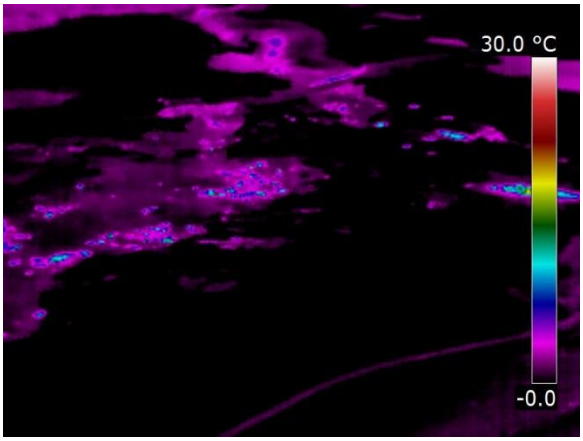
Mynd 6. *Hitamyndir teknar ofan af Bæjarfjalli vestanverðu (myndatökustaður 1 á mynd 2). Jarðhitastaðirnir og volg jörð koma vel fram á myndunum og heldur betur en í fyrra en þá var nokkur vætutíð. Breytingar samt litlar sem engar.*



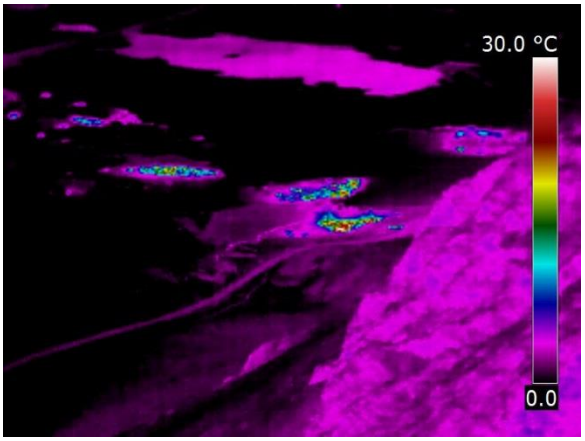
1. *Norðarlega á Röndum*



2. *Randir. Framhald til norðurs*



3. *Randir. Framhald til norðurs*

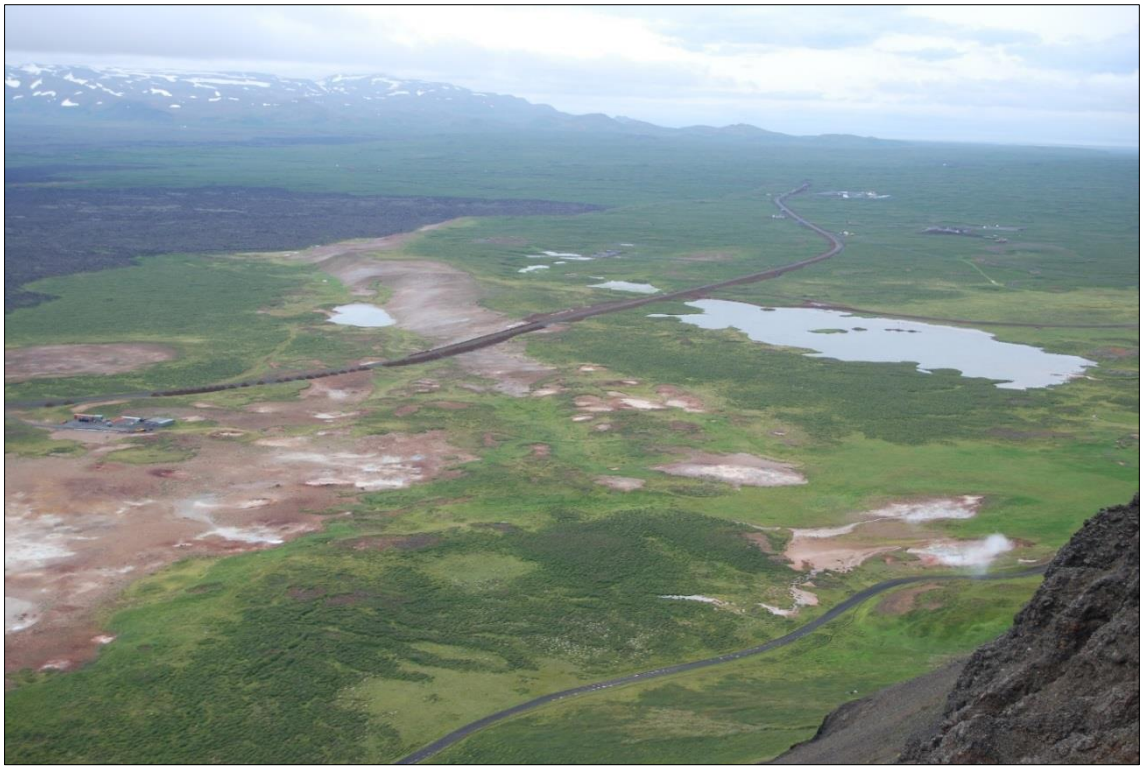


4. *Tjarnarás sker Randir með aðra stefnu*

Mynd 7. *Framhald hitamynda (á mynd 6). Jarðhitinn á Röndum er tengdur tveimur misgengjum með NNA-læga stefnu (hitamyndir 1 og 2). Syðri hluti Tjarnaráss sker virknina á Röndum með NNV-stefnu (hitamyndir 3 og 4).*

2.1.3 Tjarnarás

Jarðhitinn í Tjarnarási kemur í beinu framhaldi norður af Röndum en þó með annarri stefnu syðst (mynd 2). Tjarnarás liggur í sveigðu misgengi þar sem suðurendinn stefnir frá Bæjarfjalli til NNV en sveigir síðan til norðurs og loks til norð-norðausturs. Fall misgengisins er til vesturs. Jarðhitinn á þessu misgengi er mestur næst Bæjarfjalli og nær þar upp í miðjar hlíðar fjallsins. Ummyndun á Tjarnarási er mikil og teygir sig um tvo km norður fyrir Bæjarfjall. Ummyndunin einkennist af ljósum og rauðum leir meðfram misgengisbrúninni. Ljósmynd (mynd 8) af Tjarnarási er tekin ofan af Bæjarfjalli en hitamyndir af Tjarnarási eru sýndar á mynd 11.



Mynd 8. *Horft yfir norðurhluta Randa og Tjarnarás í framhaldinu til norðurs. Glöggt má sjá muninn á stefnu Randa og Tjarnarárass. Virknin á Tjarnarási teygir sig að Bæjarfjalli í suðri.*

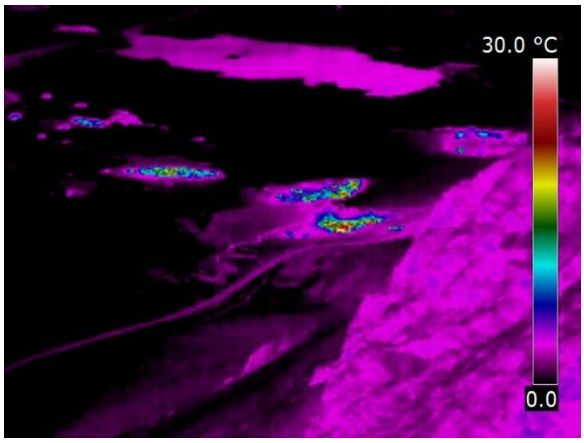
Skipta má Tjarnarási upp í þrjá hluta. Suðurhlutinn er með NNV-læga stefnu og mikinn jarðhita syðst við Bæjarfjallið og upp í hlíðar þess en þar koma fram stöku svæði með töluverðri virkni í leir- og brennisteinshverum sem mælast með yfir 90°C hita. Um miðbik svæðisins raðast stöku gufu- og leirhverir og einstaka brennisteinshverir á línu með NNV-læga stefnu. Virkni þessara hvera er lítil, þ.e. nánast engin gufa. Nyrsti hlutinn er nánast allur kaldur (jarðvegshiti yfirleitt 10–15°C) fyrir utan einn stað um 1500 m NNV frá Bæjarfjalli þar sem var smávægileg gufuvirkni á 10 m^2 stórri skellu (2012). Í ár var engin gufuvirkni á þessum stað og mesti mældi hiti 35°C. Þar fyrir norðan byrjar misgengið að sveigja til NNA.



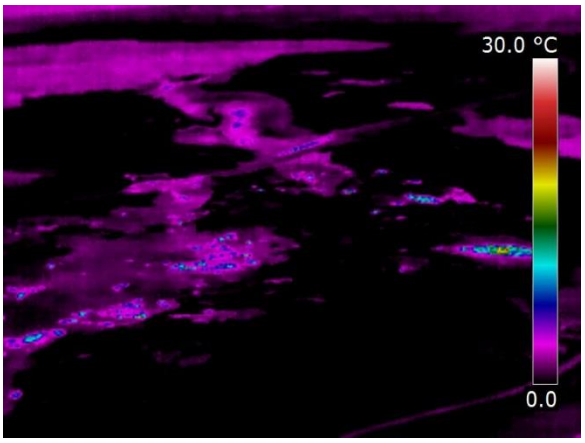
Mynd 9. *Sýnataka úr Þ G-103 en virkni þar var aðeins minni en í fyrra. Hiti við sýnatökustað var 98°C. Skellan er öll heit með brennisteinsútfellingum við gufustreymi, myndlausum kísli og hverasöltum.*



Mynd 10. *Við hliðina á sýnatökustað Þ G-103 er önnur heit skella sem skiptist í tvennt, þ.e. annars vegar brennisteinsskellu með hvissandi gufuaugum í kantinum og hins vegar bullandi leirhveri og hvissandi gufuop á sléttunni. Gufustreymi var þó nokkuð 2015 frá þessum stað og líkt og í fyrra en meiri en árin þar á undan.*



1. *Tjarnarás næst Bæjarfjalli*

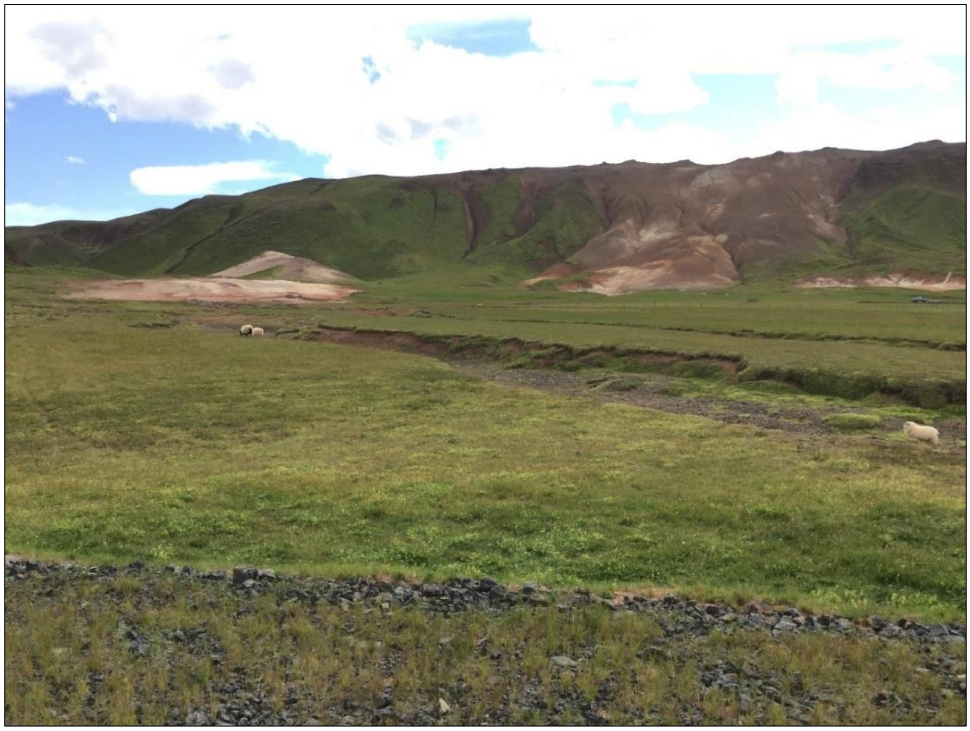


2. *Tjarnarás*

Mynd 11. *Hitamyndir. Myndatökustaður 2 á mynd 2. Myndirnar sýna hvar misgengið á Röndum gengur inn í Tjarnarásmisgengið. Virkni á Tjarnarási er mest næst Bæjarfjalli.*

2.1.4 Bæjarfjall

Jarðhitanum í og við Bæjarfjall má skipta upp í nokkur afmörkuð svæði en mest allur jarðhitinn liggur þó á milli tveggja misgengja með N-S læga stefnu sem mynda sigdal í toppi fjallsins (mynd 2). Misgengin eru þó fleiri innan sigdældarinnar. Jarðhitinn kemur aðallega fram á tveimur línum sem liggja eins og misgengin en þó má sjá NA-læga og VNV-læga legu jarðhitans á þessu svæði. Það passar ágætlega við jarðhniksgreiningu Maryam Khodayar o.fl. (2015).



Mynd 12. *Norðurhlíð Bæjarfjalls austanverð. Jarðhitinn er að mestu bundinn við ljósu skellurnar á myndinni. Neðri-Bóndhóll og jarðhitinn neðan við hann er vinstra megin á myndinni.*



Mynd 13. *Miðhluti norðurhlíðar Bæjarfjalls. Jarðhitinn er að mestu bundinn við ljósu skellurnar á myndinni.*



Mynd 14. *Vestanverð norðurhlíð Bæjarfjalls. Jarðhitinn er að mestu bundinn við ljósu skellurnar á myndinni. Sæluhúsið er fyrir miðju.*

Á vestari línunni er meginvirknin á tveimur stöðum. Annar er í norðurhlíðum fjallsins ofarlega en teygir sig niður í gil. Þarna eru gufu- og leirhverir sem og brennisteinshverir sem eru hlutfallslega fleiri í hlíðinni. Virkni hvera er meiri neðarlega í hlíðinni. Hinn staðurinn er í gilskorningnum hjá skálanum og þar um kring. Þar eru aðallega hvissandi gufuaugu og bullandi leirhverir, brennisteinslykt er af gufu. Á milli þessara svæða er töluverður hiti í jörðu í stöku skellum (<95°C). Virkni sumarið 2015 var mjög svipuð því sem var 2012, 2013 og 2014.

Jarðhitinn á eystri línunni er mun umfangsmeiri og breiðir hann töluvert úr sér þegar niður á sléttuna er komið (500x300 m) og myndar þar nánast samfellt svæði með heitri jörð og skellum (myndir 15 og 16). Virkninni á eystri línunni má svo skipta í þrjú til fjögur svæði. Það efsta er ofarlega í norðurhlíðum fjallsins þar sem brennisteinshverir eru ráðandi en þar eru einnig umtalsverðar gifsútfellingar. Kristján Sæmundsson (2007) sýnir gufu/leirhveri uppi á brún Bæjarfjalls syðst á þessu svæði. Engin gufuvirkni var frá þeim sumarið 2012 en sumrin 2013, 2014 og nú í ár var gufa á 50 m línu með misgenginu og hiti allt að 88°C. Neðan við þetta er svo allstórt svæði sem nær upp í hlíðar fjallsins en einnig út á sléttuna. Þetta er stór leir skella með mikið af gufu- og leirhverum. Virkni næst fjallinu var þó nokkur en þar er vatn mest áberandi í hverum sem eru bullandi, eða skvettandi leirskellur. Hiti var almennt yfir 90°C í virkum gufu- og leirhverum en hærri í brennisteinshverum, yfir 95°C. Á þessu svæði er meginvirknin við fjallið. Bergið er sundursoðið í leir, mest ljóslitaður leir en einnig rauður, og myndast hverasölt kringum gufuop.

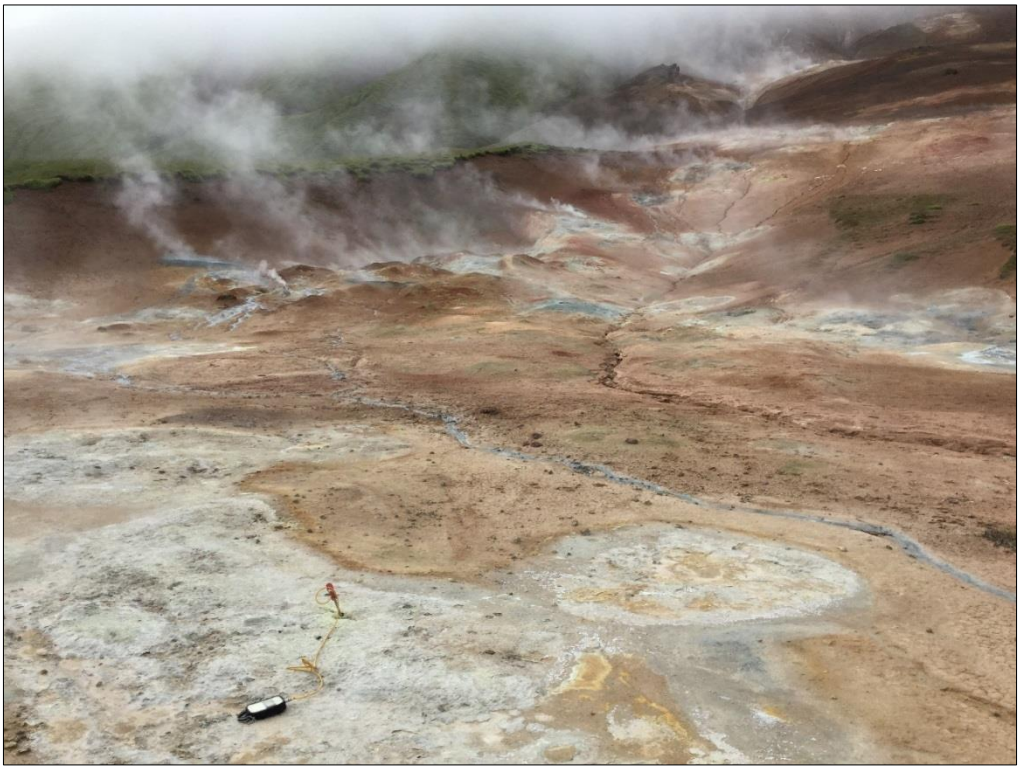
Rétt norðar á sléttunni eru tveir staðir sem mætti líta á sem eitt svæði en þar sem ekki er samfella og virkni er mismunandi er þessu skipt hér í tvö svæði. Annars vegar er lítill hóll (Neðri-Bóndhóll). Á toppi hans er mikil brennisteinshveravirkni sem nær eilítið niður í hlíðar hólsins, aðallega norðanmegin (>95°C). Hins vegar er slétta norðvestan við hólinn þar sem er töluverð gufu- og leirhveravirkni á allstóru svæði (125–140 m á kant) (sjá mynd 15). Gufur og leirslettur úr hverum voru töluverðar en ekki var hægt að ganga um allt svæðið vegna heits leirs (mjúkur og ótryggur til göngu).

Á milli vestari og eystri jarðhitalínanna í Bæjarfjallinu er svæði (100x60 m) niðri á sléttunni sem tengir þessi svæði saman í nánast einn samfelldan gufu- og leirhveraflekk með A-V læga stefnu (mynd 15). Virknin á þessu svæði var ekki mikil, aðallega leirhverir og heitar skellur. Leirhverirnir sletta stöku sinnum úr sér en ekki bullar mikið í vatnsfylltu hverunum.

Hin mikla virkni norðan við Bæjarfjall (þ.e. í hlíðarfætinum) og suðurenda Tjarnaráss gæti bent til þess að jarðhitavirknin þarna tengist hliðrun (sniðgengi) með VNV-ASA stefnu (Maryam Khodayar o.fl., 2015). Þessi hliðrun tengist aðalsiginu á sprungusveimnum sem myndar belti með stefnu frá Þeistareykjum yfir Stórahver að ummyndarskellum við Mælifell (Kristján Sæmundsson, 2007). Einnig má sjá VNV-, NV- og NA-læga stefnur þegar dreifing jarðhitans er skoðuð í norðanverðu fjallinu og á sléttunni norðan fjalls. Þetta er í góðu samræmi við kortlagningu Maryam Khodayar o.fl. (2015) sem bendir meðal annars til að VNV- og NA-læg sniðgengisbrot þveri svæðið í norðurenda fjallsins.



Mynd 15. *Jarðhitinn á sléttunni neðan við Bæjarfjall norðanvert. Fyrir miðju er mesta jarðhitavirknin niður hlíðina og út á sléttuna.*

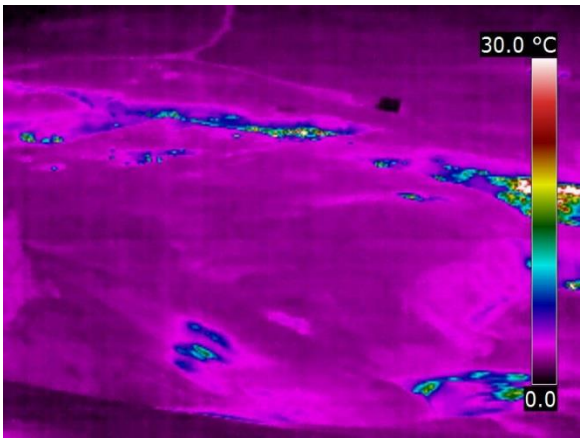


Mynd 16. *Jarðhitinn á eystri línunni. Töluverð gufuvirkni með heitri jörð, brennisteins- og leirhverum. Myndin er tekin til suðurs í átt að fjalli og sýnir ílanga flagið sem liggur upp í fjallið (mynd 15).*

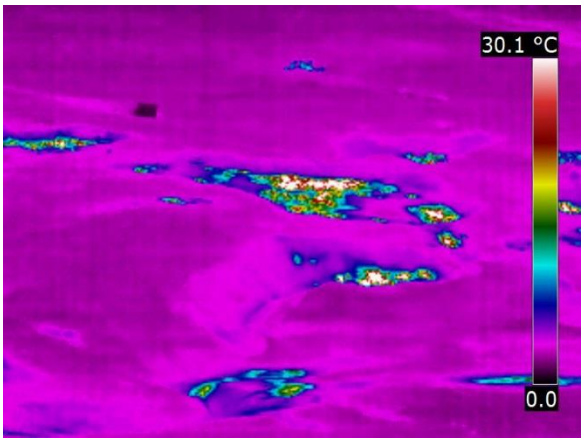


Mynd 17. *Jarðhitavirknin neðan við sæluhús. Þarna er þó nokkurt gufustreymi og heitar leirskellur, og eru leirhverir ráðandi á þessu svæði. Sýnataka er í undirbúningi. Staður Þ G-101.*

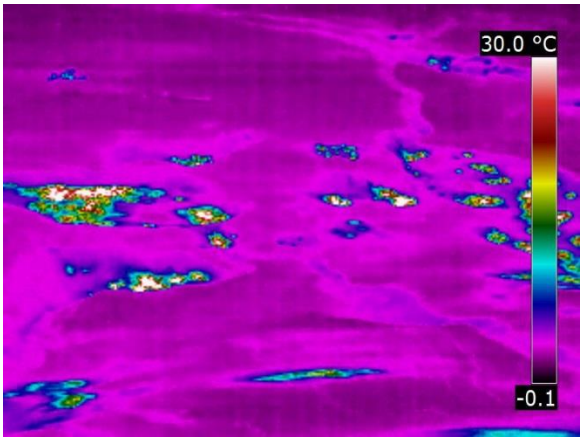
Á milli Bæjarfjalls og Ketilfjalls er jarðhiti neðst í brekkunni neðan við Bóndhólsskarð (sjá mynd 2). Þarna kemur upp nokkur gufa úr hrauni og í jarðvegi er hitinn á gufunni allt að 70°C. Svæðið er að mestu gróið (gras og mosi). Stærð þess er um 50x30 m. Svæðið kemur fram á hitamyndum (hitamynd 6 á mynd 18; ljósari blettur hægra megin og ofan við Neðri-Bóndhól).



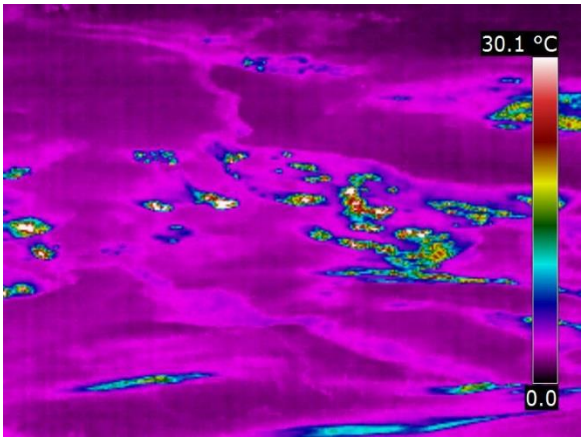
1. *Undirlendi Bæjarfjalls austan við sæluhús*



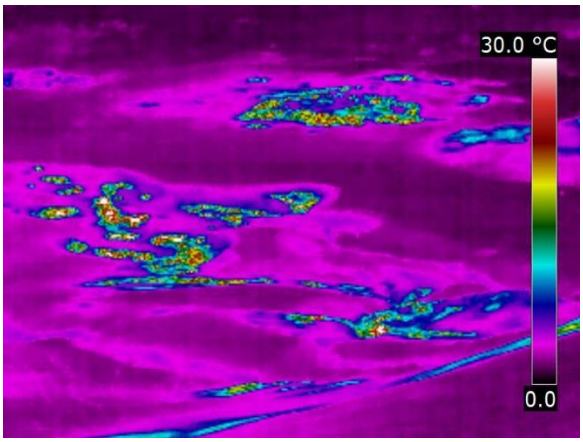
2. *Undirlendi Bæjarfjalls*



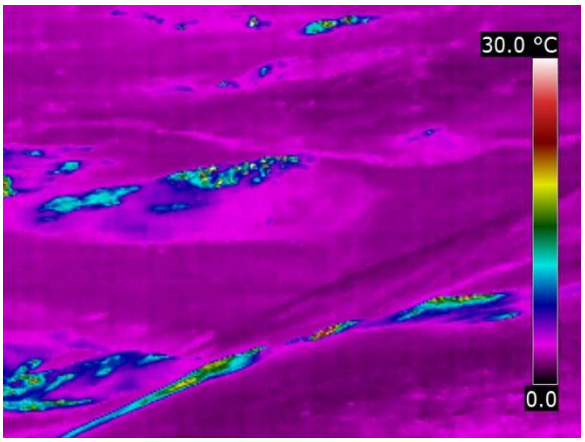
3. *Undirlendi Bæjarfjalls*



4. *Undirlendi Bæjarfjalls*

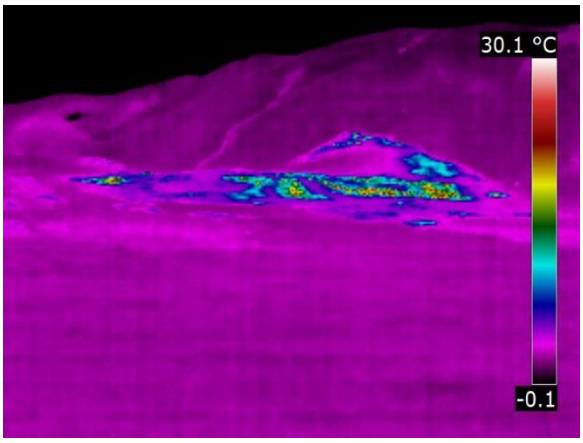


5. *Undirlendi Bæjarfjalls*

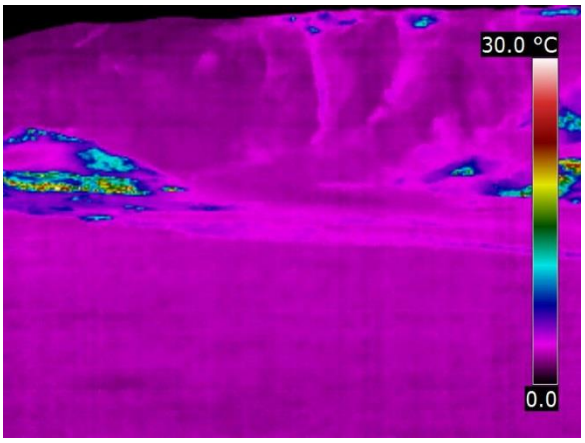


6. *Undirlendi Bæjarfjalls. Neðri-Bóndhóll á miðri mynd*

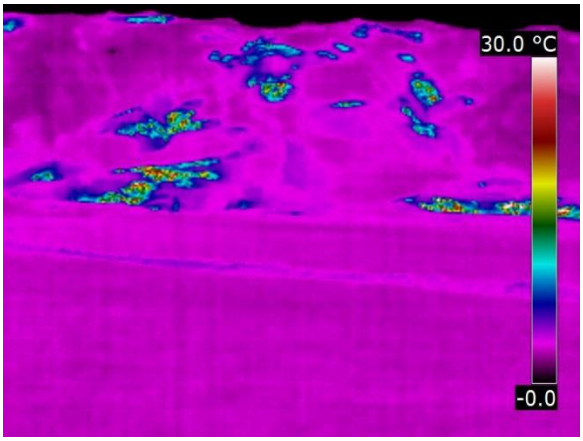
Mynd 18. *Jarðhitinn við norðanvert Bæjarfjall. Hitamyndir teknar ofan af fjallinu á myndatökustað 4 (sjá mynd 2).*



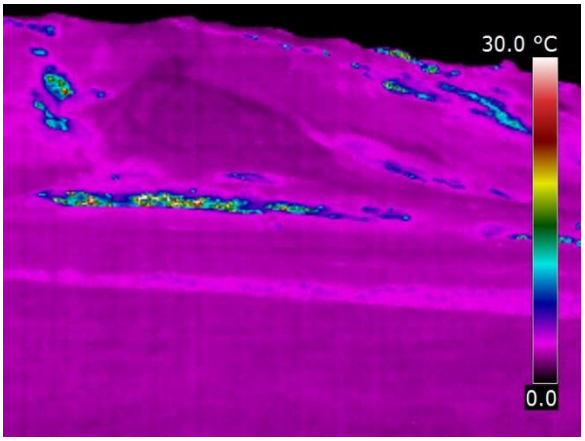
1. *Norðurhlíð Bæjarfjalls. Neðri-Bóndhóll á miðri mynd*



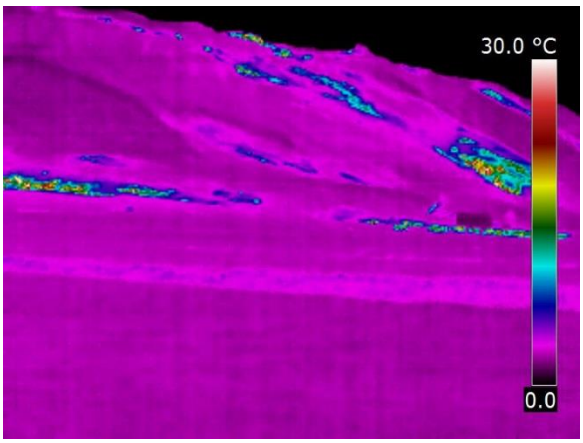
2. *Norðurhlíð Bæjarfjalls*



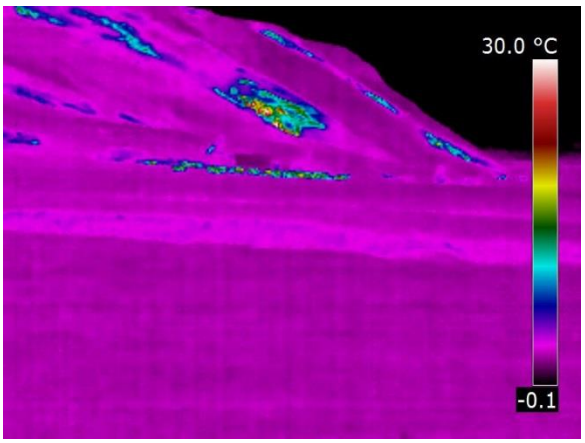
3. *Norðurhlíð Bæjarfjalls*



4. *Norðurhlíð Bæjarfjalls*



5. *Norðurhlíð Bæjarfjalls. Hestar fremst á mynd fyrir framan sæluhúsið.*



6. *Norðurhlíð Bæjarfjalls. Sæluhúsið fyrir neðan stóru jarðhitaskelluna*

Mynd 19. *Hitamyndir af norðurhlíð Bæjarfjalls. Myndatökustaður 3 á mynd 2. Á myndum 1 og 2 er Neðri-Bóndhóll og heita skellan fyrir neðan hann. Á myndum 3 og 4 er virki jarðhitinn austan til og glittir í jarðhitann á sléttunni sem er nánast samfelld. Á myndum 5 og 6 kemur vestasti jarðhitinn fram sem og virknin frá Tjarnarási sem teygir sig upp í Bæjarfjall.*

2.1.5 Ketilfjall

Við rætur Ketilfjalls eru volgar laugar sem eru afrennsli upphitaðs grunnvatns frá hitagjafa undir fjallinu (mynd 2). Laugarnar koma fram á um 500 m langri línu með NNA-læga stefnu. Hitinn í laugunum var frá 13–34°C, lítið eitt lægri en 2014 þegar hitinn fór mest í 37°C. Í laugunum kringum frárennslið var grænt slý (stundum brúnt með). Rennslið frá laugunum er lítið, u.þ.b 1–2 L/s (frá þeim öllum samanlagt). Mesti hitinn mældist í laugum sem eru syðst á laugalínunni og neðan við háa hitann ofar í fjallinu. Í skýrslu Gests Gíslasonar o.fl. (1984) er hitinn í laugunum sagður frá 11,8–41,7°C og Kristján Sæmundsson (2007) nefnir laugarnar með hita frá 30–40°C. Háhitaummerki (>90°C) eru á þremur stöðum í og við fjallið.

Uppi í miðjum vesturhlíðum Ketilfjalls er mest áberandi jarðhitastaðurinn. Þar eru bæði gufu- og leirhverir og brennisteinsþúfur á 30x10 m stóru svæði. Nokkurt gufustreymi er á þessum stað, bæði frá gufuaugum og brennisteinsþúfum, og er hiti >95°C (mynd 20).



Mynd 20. *Jarðhitaskálinn í miðjum hlíðum Ketilfjalls. Virkni svipuð og í fyrra. Kröftugasta gufustreymið er norðarlega í skálinni neðan við gula brennisteinsskellu (sýnatökustaður Þ G-102).*

Jarðhiti er norðan og sunnan við borteig holna ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7. Nyrðra svæðið er mun stærra með brennisteinsþúfum og gufu- og leirhverum með þó nokkru vatni (mynd 21). Virkni er töluverð í gufu- og leirhverunum, bullar mikið og hvín í gufuopum. Virkni á þessu svæði er heldur meiri en hefur verið undanfarin ár og hefur bæst við nýjar heita skellur (mynd 2).



Mynd 21. *Jarðhitinn norðan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7. Þó nokkur virkni er á svæðinu, síst minni en í fyrra, með gufuaugum, leirhverum og stöku brennisteinsummyndun kringum gufuopin.*

Vestar á sléttunni, við jaðar ummyndaða svæðisins, er svæði með stökum jarðhitaskellum (hrúgöldum; hiti > 90°C) þar sem brennisteinsþúfur eru eingöngu en lítill sem enginn hiti á milli þeirra. Er þetta í samræmi við kort Kristjáns Sæmundssonar frá 2007 (mynd 2).

Sunnan borteigs holna ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7 er nokkuð áberandi jarðhiti, þarna er heit jörð með gufuaugum (lítil virkni) og leirummyndun. Hiti í miðju flekks er 95–97°C en þessum háa hita fylgja útfellingar (hverasölt). Í jöðrunum er gufustreymi lítið en mest gufustreymi sést þar sem hiti er um 70°C. Það vottar fyrir brennisteinslykt af gufunni. Virknin í þessum flekk er svipuð og undanfarin ár en víða má sjá sölnaðan gróður (mynd 22).



Mynd 22. *Svæðið sunnan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7. Lítið gufustreymi, mest í jöðrunum þar sem hiti er um 70°C. Það vottar fyrir brennisteinslykt af gufunni. Hiti í miðju flekks er 95–97°C en þessum háa hita fylgja útfellingar (hverasölt).*

2.1.6 Niðurstöður

Dreifing jarðhitans sem kortlagður var á Þeistareykjum sumarið 2012 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a) var áþekk því sem áður hefur verið lýst (Gestur Gíslason o.fl., 1984; Kristján Sæmundsson, 2007). Þetta á einnig við um athuganir sumarsins 2015. Almennt var meiri gufuvirkni 2014 en 2105, 2013 og 2012 en það gæti stafað af logni og lofthita (kuldi) meðan athuganir fóru fram. Helstu ásýndarbreytingar frá 2012 liggja í meira vatni í hverum (leirhverum) og gufu í misgengjum sem liggja upp á Bæjarfjall. Þar sást engin gufa 2012 en var nokkur núna í sumar sem og 2014. Þessar breytingar stafa vafalaust af meiri rigningu og kólnandi veðurfari síðastliðin ár samanborið við 2012 sem var frekar þurrt og heitt. Þeir staðir þar sem mesta breytingin í jarðhita hefur orðið frá því í fyrra (og í raun undanfarin ár) eru norðan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7. Virkni hefur aukist sem og nýleg virkni fundist rétt norðan og norðvestan við holurnar. Einnig hefur virkni aukist í norðvesturhlíðinni (niður við rætur fjallsins og í hlíðinni), mun meiri gufuvirkni og aukin virkni í gömlum skellum sem voru lítt áberandi áður. Jarðhitavirkni í norðurhluta Tjarnaráss fer minnkandi.

2.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum á Þeistareykjum

2.2.1 Sýnatökustaðir á Þeistareykjum

Sjö sýnum af gufu og þéttivatni var safnað á Þeistareykjum dagana 10. og 14. ágúst 2015, í ágætu veðri báða daga; skýjuðu en stilltu og hlýju. Sýnatöku- og efnagreiningaraðferðum er lýst í viðauka 2.

Lagt var upp með að safna sýnum úr sömu sex gufuaugum og safnað hafði verið úr sumarið 2012 en á daginn kom að eitt augað, G-103 í leirflagi syðst í Tjarnarási, var komið undir vatn og því ekki tiltækt. Í stað þess var valið auga, G-107, örlítið norðar í sama flagi. Önnur gufuaugu voru á sínum stað og var safnað úr þeim öllum samkvæmt áætlun. Þegar svæðið var skimað kom í ljós að nokkur gufuvirkni hafði vaknað ofarlega í norðurhlíð Bæjarfjalls, á sömu slóðum og áður var auga G-5 (Gestur Gíslason o.fl., 1984). Þar hafa ekki verið aðstæður til sýnatöku undanfarin ár og því var ákveðið að safna sýni úr kraftmesta auganu þar, og fékk það nafnið G-108.

Yfirlit um sýnatökustaði er sýnt í töflu 1 og staðsetning þeirra er sýnd á mynd 23 ásamt öðrum gufuaugum sem sýni hafa verið tekin úr á Þeistareykjum (Gestur Gíslason o.fl., 1984; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a, 2013b, 2014). Sýnatöku- og efnagreiningaraðferðum er lýst í viðauka 2. Í gagnagrunni ÍSOR eru sýnatökustaðirnir kallaðir „Þ G-101“ og svo framvegis til að forðast rugling við gufuaugu á öðrum svæðum en í texta og á myndum hér á eftir eru nöfn gufuaugna víða stytt í „G-101“ til einföldunar.

Tafla 1. *Sýnatökustaðir á Þeistareykjum sumarið 2015.*

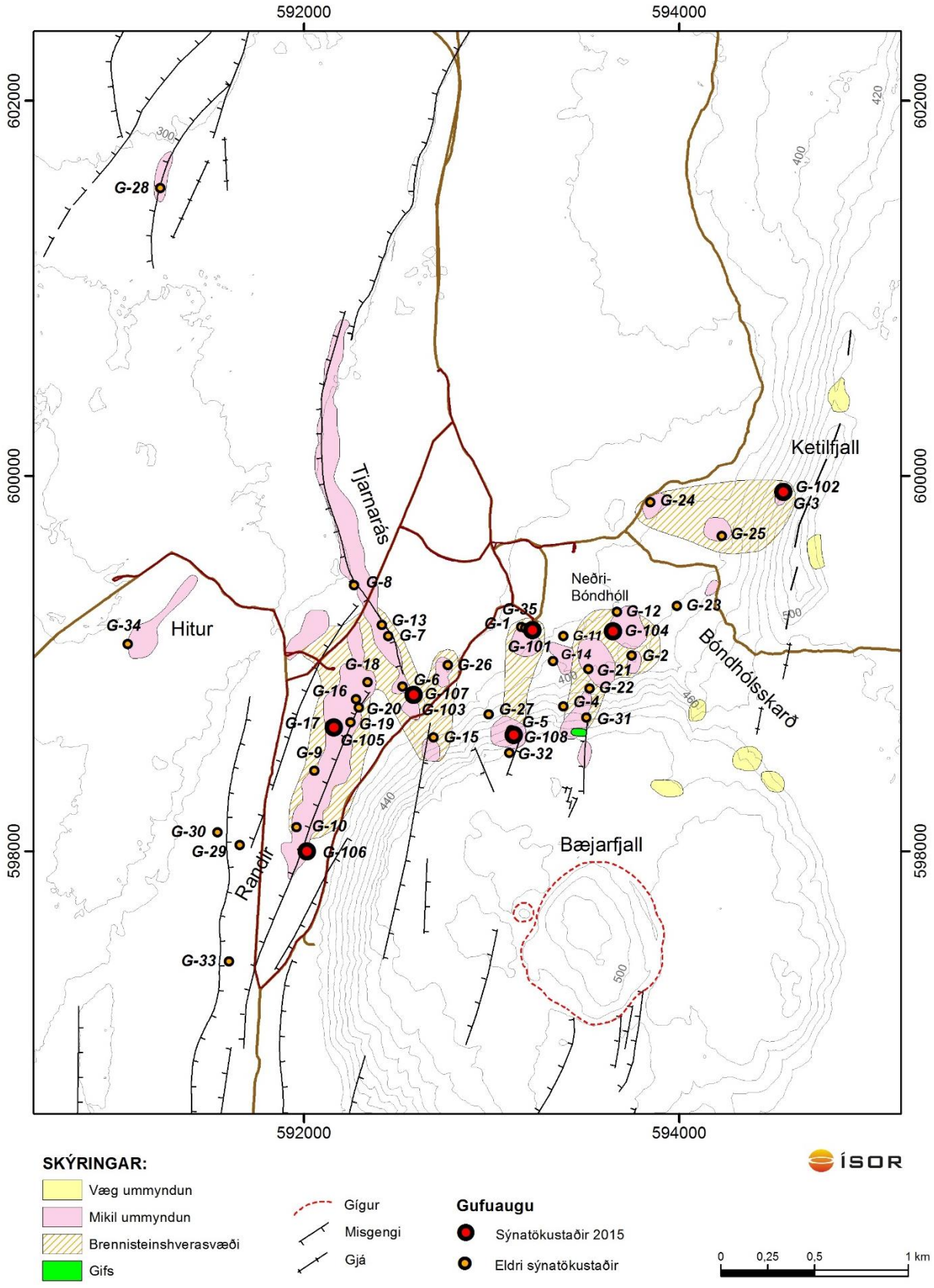
Nafn auga*	Staðar-númer	Eldri sýni**	x-hnit	y-hnit	Hæð (m y.s.)	Lýsing
G-101	H 10182	G-1	593218	599177	357	Í gili við sæluhús
G-102	H 10183	G-3	594555	599915	465	Í skál í Ketilfjalli
G-104	H 10184	G-12	593646	599170	385	Í flagi norðan Bóndhóls
G-105	H 10186	G-17	592158	598659	340	Vestarlega á Röndum
G-106	H 10187	G-10	592014	597999	338	Sunnarlega á Röndum
G-107	H 93554	G-6, G-103	592585	598832	342	Í leirflagi syðst í Tjarnarási
G-108	H 93555	G-5	593117	598619	489	Ofarlega í norðurhlíð Bæjarfjalls

* *Nöfn gufuaugna eru stytt. Fullt nafn í gagnagrunni ÍSOR er „Þ G-101“ o.s.frv.*

** *Hér er vísað til gufuaugna sem lýst er í skýrslu Gests Gíslasonar o.fl. (1984).*

Þ G-101: Sæmilega öflugt gufuauga í grunnu gili sunnan við sæluhús á slóðum gamla G-1. G-101 er staðsett aðeins austar en G-1, í leirhólum í lækjarfarveginum (sjá myndir 23 og 24). Svæðið var allblautt nú, líkt og sumarið 2014, og sauð og gufaði víða upp úr gilinu.

Þ G-102: Mjög öflugt auga í skál í Ketilfjalli á slóðum gamla G-3. G-102 er þó staðsett norðan til í skálinni en G-3 var í henni sunnanverðri. G-102 var annað tveggja augna í skálinni þar sem gufustreymi var vel afmarkað (sjá myndir 23 og 25).



Mynd 23. *Gufuaugu á Þeistareykjum. Gufuaugu sem safnað var úr sumarið 2015 eru sýnd með áberandi rauðum táknum.*

Þ G-104: Frekar öflugt auga suðvestan til í stóru leirflagi austan sæluhússins og norður af Neðri-Bóndhól. Hið gamla auga G-12 var staðsett í þessu flagi. Mjög mikill brennisteinn er í flaginu sem var allblautt og erfitt yfirferðar (sjá myndir 23 og 26).

Þ G-105: Öflugt auga í leirflagi í vesturjaðri Randa, ummyndunarrandarinnar sem liggur vestan við Bæjarfjallið. Þetta auga er á sömu slóðum og G-17. Leirflagið er við sjóðandi leirpytt utan í leirflaginu sem liggur lægra en svæðið í kring og hefur gufuvirknin étið sig nokkuð inn í brún sléttunnar (sjá myndir 23 og 27). Sýnið virtist nokkuð gasríkt og kann að vera að gufan hafi þést við sýnatökuna eða á leið til yfirborðs.

Þ G-106: Frekar kraftlítið en vel afmarkað auga syðst í Röndum vestan við Bæjarfjall. Þetta auga er við stóran leirpytt sem rýkur allnokkuð úr. Þá eru nokkrir minni pyttir þarna líka. Hið gamla auga G-10 mun hafa verið á þessum slóðum, þó aðeins norðar (sjá myndir 23 og 28).

Þ G-107: Frekar kraftlítið en skýrt afmarkað og fókuserað auga norðan til í leirflagi syðst á Tjarnarási og rétt norðan vegarins undir Bæjarfjalli. Augað G-103 var í sama flagi, svo og G-6 til forna (sjá myndir 23 og 29).

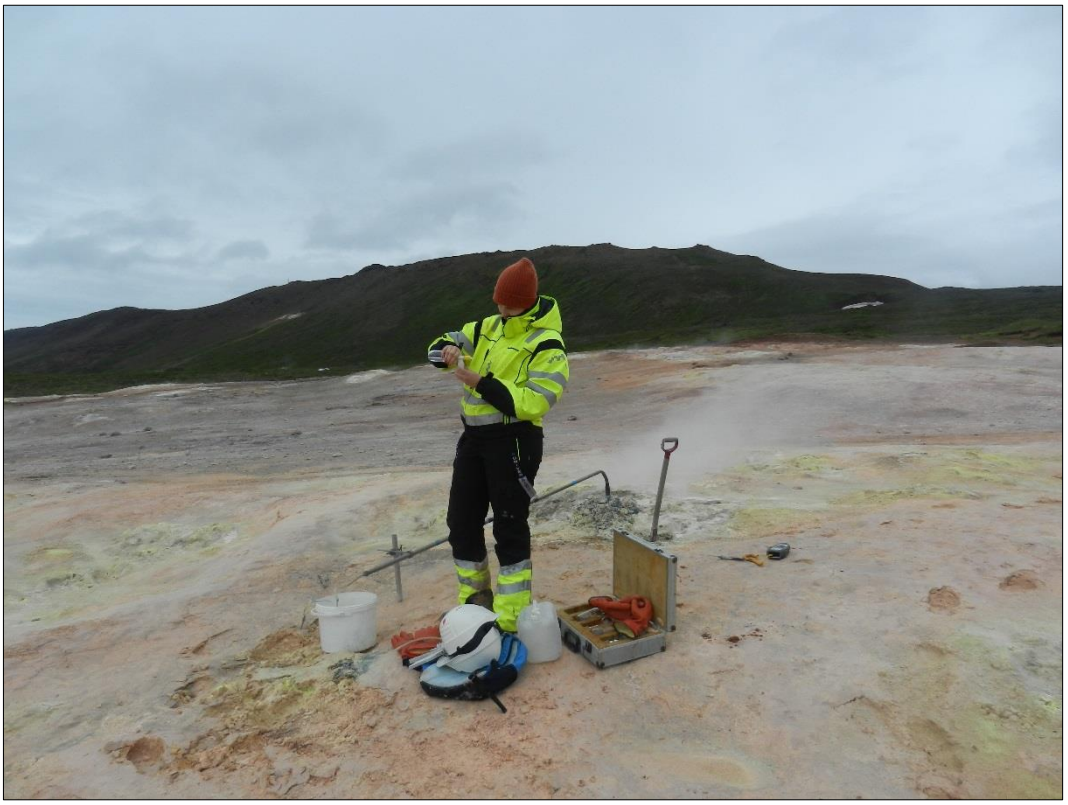
Þ G-108: Kraftmikið auga neðarlega í hinni austustu þriggja leir- og brennisteinsskellna ofarlega í norðurhlíð Bæjarfjalls, nokkurn veginn beint upp af borplani ÞG-1. Á svipuðum slóðum var áður auga G-5 en G-32 var litlu ofar í hlíðinni. Undanfarin sumur hafa ekki verið aðstæður til sýnatöku á þessum stað (sjá myndir 23 og 30).



Mynd 24. *Undirbúningur sýnatöku úr auga Þ G-101 sunnan við sæluhúsið á Þeistareykjagrundum.*



Mynd 25. *Gufuaugað Þ G-102 í skál í hlíðum Ketilfjalls.*



Mynd 26. *Sýnataka úr gufuauga Þ G-104 í brennisteinsflagi norðan Neðri-Bóndhóls.*



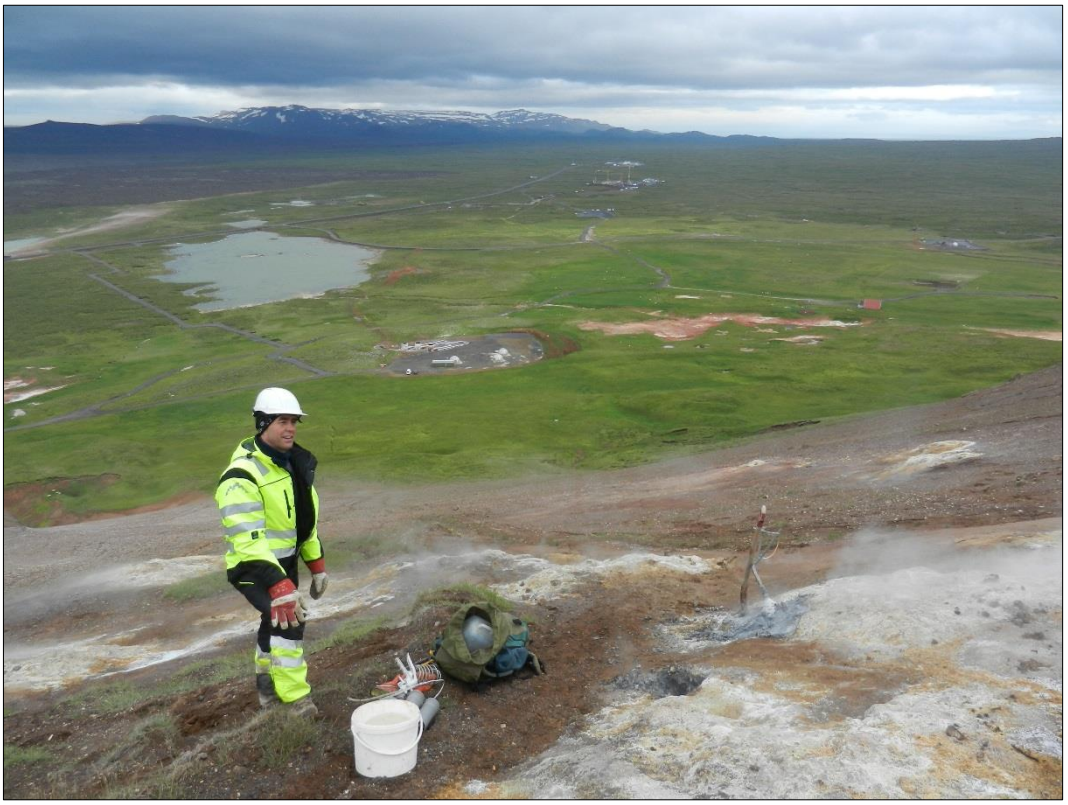
Mynd 27. *Gufuaugað Þ G-105 vestast á Röndum.*



Mynd 28. *Undirbúningur sýnatöku úr gufuauga Þ G-106 sunnarlega á Röndum.*



Mynd 29. *Leirflagið sunnarlega í Tjarnarási. Jarðfræðingur stendur við auga Þ G-107.*



Mynd 30. *Sýnataka úr gufuauganu Þ G-108 ofarlega í norðurhlíð Bæjarfjalls.*

2.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga

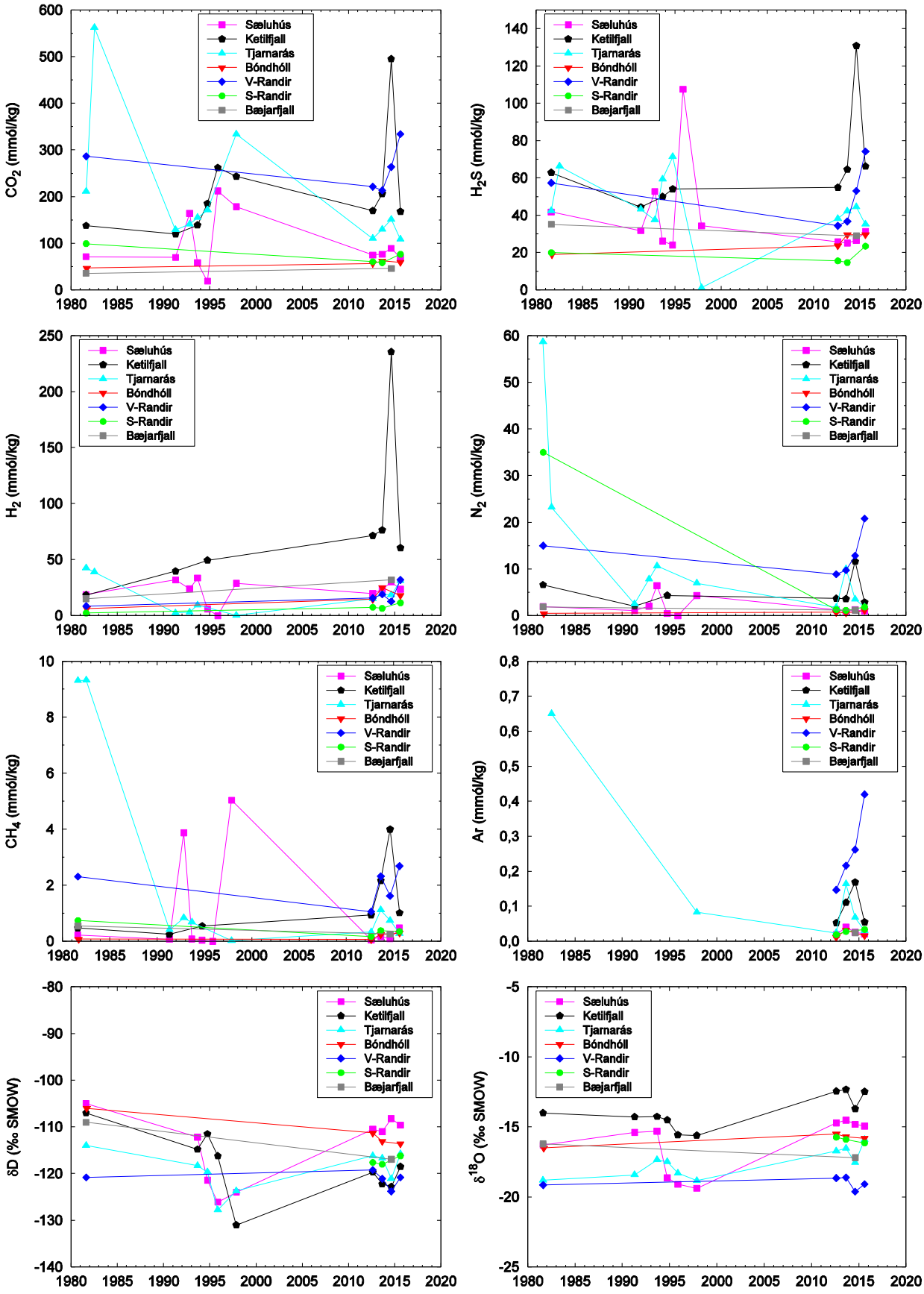
Niðurstöður efnagreininga sýna sem tekin voru á Þeistareykjum sumarið 2015 eru skráðar í töflu 2 og á mynd 31 er sýndur styrkur gastegunda og hlutföll stöðugra samsætna vetnis og súrefnis í gufu frá Þeistareykjum með tíma. Mynd 32 sýnir hins vegar samsætuhlutföll fyrir sýni áranna 2012–2015 ásamt úrkomulínu Craigs (1961).

Tafla 2. *Efnasamsetning gufusýna frá Þeistareykjum sumarið 2015.*

Sýni	20150247	20150248	20150249	20150250	20150251	20150252	20150263
Dagsetning	10.8.2015	10.8.2015	10.8.2015	10.8.2015	10.8.2015	10.8.2015	14.8.2014
Staður	Þ G-101	Þ G-102	Þ G-104	Þ G-107	Þ G-105	Þ G-106	Þ G-108
Hitastig (°C)	99,3	98,3	98,8	98,5	99,4	98,4	98,0
Gasstyrkur í gufu (mmól/kg)							
CO_2	68,6	168	59,3	108	334	76,6	46,1
H_2S	31,4	66,3	29,6	35,2	74,2	23,5	29,1
H_2	23,6	60,5	18,1	31,4	31,9	11,5	31,9
CH_4	0,481	1,02	0,300	0,278	2,69	0,355	0,262
N_2	0,958	2,88	1,14	1,78	20,8	1,85	1,19
O_2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ar	0,021	0,055	0,016	0,030	0,420	0,034	0,025
Steinefni í þéttivatni (mg/kg)							
Cl	0,10	0,03	0,03	0,05	0,04	0,05	0,14
B	0,63	0,55	0,59	0,03	0,04	0,02	0,03
Samsætur í þéttivatni (‰SMOW)							
$\delta^{18}O$	-14,94	-12,48	-15,81	-15,90	-19,08	-16,14	-17,20
δD	-109,6	-118,5	-113,6	-115,8	-120,8	-116,2	-116,9

Efnagreiningar eldri sýna á mynd 31 eru fengnar úr gagnagrunni ÍSOR og eru þær skráðar í töflur V-1 til V-7 í viðauka 1. Nokkuð misjafnt er hversu margar efnagreiningar eru til úr hverju auga. Til eru nokkur eldri sýni úr augum sem svara til G-101, G-102 og G-103 en bara eitt úr augum tilsvarandi G-108. Einnig er misjafnt hversu ítarlegar greiningarnar eru, til dæmis heyra greiningar á argoni og tvívetni til undantekninga í eldri sýnum.

Í töflu 3 er sýndur reiknaður djúphiti út frá mældum styrk hinna ýmsu gastegunda. Notast er við kvarðanir Stefáns Arnórssonar o.fl. (1998) sem reiknaðar eru út frá ætluðu jafnvægi við steindafylkin klínózóisít-kalsít-kvars-prehnít (CO_2) og pýrít-pyrrhótít-prehnít-epidót (H_2S og H_2). Fyrir Þeistareyki er notuð sú kvörðun CO_2-hitamælisins sem gerir ekki ráð fyrir miklu CO_2-flæði frá kviku.



Mynd 31. *Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum á Þeistareykjum.*

Tafla 3. *Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áranna 2012–2015 frá Þeistareykjum. Notast er við kvarðanir Stefáns Arnórssonar o.fl. (1998). Tölum í sviga er sleppt við útreikninga á meðaltali ($\bar{x}$) og staðalfráviki (σ).*

Sýni	Auga	T_{CO2}	T_{H2S}	T_{H2}	$T_{CO2/N2}$	$T_{H2S/Ar}$	$T_{H2/Ar}$	$\bar{x}$	σ
20150247	G-101	280	287	(332)	301	313	308	298	14
20140266	G-101	293	282	(344)	300	302	308	297	10
20130253	G-101	285	280	(332)	310	287	294	291	12
20120182	G-101	284	280	(325)	293	309	306	294	13
20150248	G-102	328	314	(383)	293	307	307	310	13
20140265	G-102	(409)	(339)	(482)	280	294	312	296	16
20130251	G-102	341	313	(398)	292	286	298	306	22
20120183	G-102	329	307	(394)	283	302	312	307	16
20150250	G-107	303	291	(346)	294	306	306	300	7
20140267	G-103	322	300	321	280	289	279	299	19
20130254	G-103	313	298	323	(239)	(263)	(262)	312	13
20120184	G-103	304	294	312	295	315	296	303	9
20150249	G-104	273	285	320	288	320	308	299	20
20130252	G-104	275	285	335	318	299	300	302	22
20120185	G-104	271	278	311	305	321	310	299	20
20150251	G-105	(375)	(318)	(347)	246	253	254	251	4
20140268	G-105	(358)	(306)	(305)	254	257	245	252	6
20130255	G-105	(343)	(293)	(322)	256	252	256	255	2
20120186	G-105	(346)	(291)	(314)	261	261	261	261	0
20150252	G-106	285	277	(301)	279	291	283	283	5
20130256	G-106	272	261	280	288	283	276	277	9
20120187	G-106	274	263	285	285	296	287	282	11
20150263	G-108	262	285	(347)	277	306	311	288	20

Þ G-101: Talsverðar sveiflur hafa orðið í styrk gastegunda í gufu úr G-101 og forverum þess við lækinn neðan sæluhússins á Þeistareykjum frá því fyrstu sýnum var safnað þar haustið 1981, sérstaklega á árunum 1993–1997. Árin 2012–2015 er styrkur flestra gastegunda þó á svipuðu róli og þegar fyrstu sýnum var safnað 1981. Styrkur CO_2 mælist nú um 70 mmól/kg en H_2S er um 30 mmól/kg. Ef H_2-gashitamælinum er sleppt reiknast meðalgashiti 2015 298°C sem er mjög svipað gildum síðustu ára. Efnahiti reiknaðist að meðaltali 271°C árið 1981 en um 280°C árin 1991–97. Tvívetnisgildi eru í hærri jaðri þess sem gengur og gerist á Þeistareykjum, um -110‰, og sýnið liggur nokkurn veginn á úrkomulínunni líkt og sýni síðustu ára (sjá mynd 32).

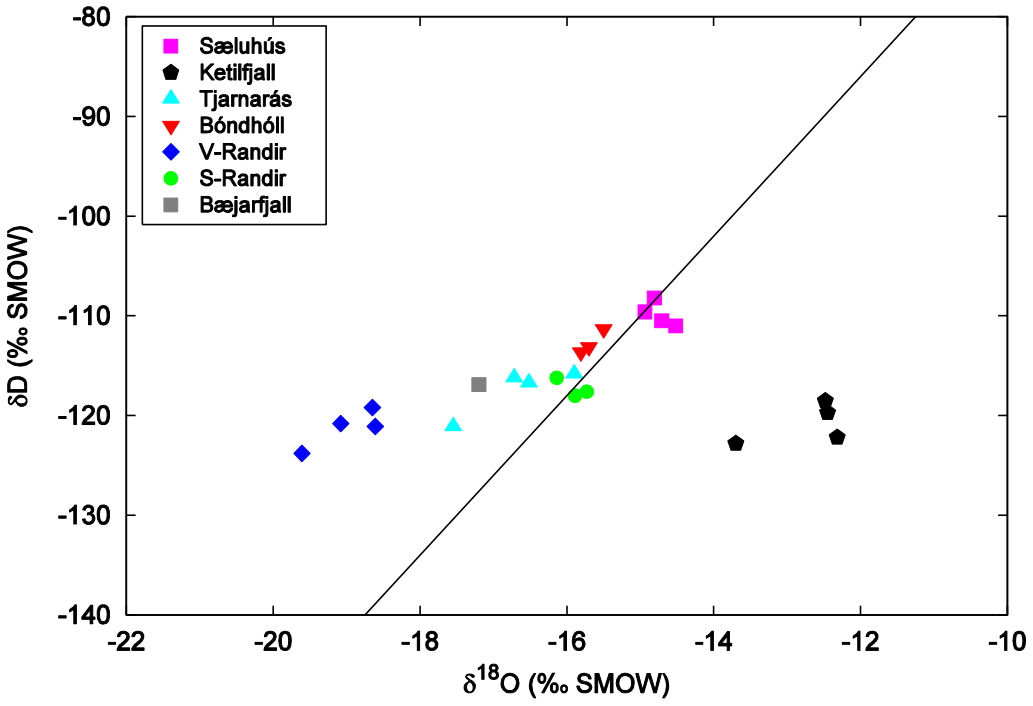
Þ G-102: Sýni ársins 2014 úr G-102 hafði þést að nokkru leyti á leið sinni til yfirborðs og sá þess greinileg merki í gas- og samsætuniðurstöðunum. Sýni ársins 2015 var hins vegar á svipuðu róli og sýni áranna 2012 og 2013; styrkur CO_2 er um 170 mmól/kg, en H_2S og H_2 eru nærri 60 mmól/kg. Meðalgashiti að H_2-mælinum slepptum reiknast 310°C sem er lítillega hærra en árin 2012 og 2013. Gashiti reiknaðist um 270°C árið 1981 en að meðaltali um 290°C á árunum 1991–1997. Sýnin úr G-102 eru afar létt ($\delta D \approx -120‰$) og hafa þá sérstöðu hafa jákvæða

súrefnishliðrun, þ.e. sýnin falla hægra megin úrkomulínunnar á mynd 32. Sýnið sem hefur minnstu súrefnishliðrunina er frá 2014 og hafði þést verulega eins og áður segir.

Þ G-104: Aðeins fjögur sýni eru til úr G-104 í flaginu norðan Bóndhóls og forvera þess, G-12. Gasstyrkur hefur lítið breyst gegnum árin og er harla áþekkur sýnum úr G-101, sem er í næsta nágrenni. Samsætuhlutföllin eru einnig svipuð og í G-101 en þó er vatnið sjónarmun léttara, með δD ≈ -113‰. Meðalgashiti reiknast um 300°C, líkt og árin 2012 og 2013.

Þ G-105: Styrkur flestra gastegunda hækkar lítið eitt milli ára í G-105 á vestanverðum Röndum, líkt og undanfarin ár. Hugsanlega stafar þetta af þéttingu sýnisins fyrir eða við söfnun, líkt og minnst var á hér að framan. Heldur lækkandi samsætugildi (δD er nú -121‰) og hár argon-styrkur styður þessa túlkun. Samsætugildi liggja öll talsvert vinstra megin við úrkomulínuna (sjá mynd 32). Styrkur CO_2 er nú um 334 mmól/kg og styrkur H_2S er um 74 mmól/kg en mældust 222 mmól/kg og 34 mmól/kg árið 2012. Vegna þéttingarinnar er ekki mark takandi á öðrum gashitamælum en hlutfallamælunum, en meðaltal þeirra reiknast 251°C sem er svipað meðalhita þessara mæla undanfarin ár.

Þ G-106: Svo virðist sem gasstyrkur í gufu úr G-106 hækki smávægilega milli ára en hann er engu að síður fremur lágur miðað við önnur augu á svæðinu. Sumarið 2015 mældist styrkur CO_2 77 mmól/kg og styrkur H_2S 23 mmól/kg en styrkur H2 var aðeins 11 mmól/kg. Sýnin úr G-106 liggja öll nærri úrkomulínunni (sjá mynd 32) með δD ≈ -116‰. Gashitamælum ber ágætlega saman, að vetnismælinum undanskildum, og gefa meðalhita um 280°C sem er svipað og árin 2012 og 2013.



Mynd 32. *Samsætuvik sýna áranna 2012–2015 úr gufuaugum á Þeistareykjum, ásamt úrkomulínu Craigs (1961).*

Þ G-107: Ekki er annað að sjá en gasstyrkur í G-107 sé svipaður fyrirrennaranum G-103 sem nú er heillum horfið. Styrkur CO_2 mælist 108 mmól/kg og styrkur H_2S mælist 35 mmól/kg. Gasstyrkur mældist afar hár í elstu sýnum úr G-6 í Tjarnarási, sem er fyrirrennari G-103 og G-107 og efnahiti þar reiknaðist um 310°C árið 1981. Þegar komið er fram yfir 1990 lækkar gasstyrkur verulega (t.d. lækkar CO_2 úr 560 í 129 mmól/kg og styrkur N_2 lækkaði úr 23,2 í 2,5 mmól/kg milli 1982 og 1991). Gasstyrkur nú er svipaður og á árunum 1990 til 1995; styrkur CO_2 mælist um 150 mmól/kg og H_2S 45 mmól/kg. Meðalgashiti í sýninu reiknast nú 299°C sem er svipað og árið 2012.

Þ G-108: Ekki hefur verið unnt að ná gufusýni úr norðurhlíð Bæjarfjalls undanfarin ár, en eitt sýni er til úr auganu G-5 frá 1981. Sýnið frá 2015 virðist svolítið gasríkara en eldra sýnið, og meðalgashiti reiknast 288°C í stað 277°C árið 1981. Þó ber að hafa í huga að argon var ekki greint í eldra sýninu og er því aðeins hægt að beita fjórum af gashitamælunum sex. Samsætuhlutföll mælast talsvert lægri nú en 1981, δD er nú -117‰ en var -109‰.

2.2.3 Samantekt

Greinilegt er að talsverðar breytingar hafa orðið á virkni og gassamsetningu í gufuaugum á Þeistareykjum á 10. áratug síðustu aldar, eins og Halldór Ármannsson (2004) hefur rakið. Samanburður við árið 1981 bendir hins vegar til þess að kerfið sé að mestu í svipuðu ástandi nú og þá. Helsti munurinn liggur í því að gasstyrkur hefur hækkað verulega í Ketilfjalli, jafnvel þótt litið sé framhjá sýni ársins 2014 sem hafði greinilega þést talsvert á leið til yfirborðs. Sýni ársins 2015 er hins vegar á svipuðu róli og sýni áranna 2012 og 2013. Nú virðist hins vegar þéttingar gæta í sýninu úr G-105 á vestanverðum Röndum en gasstyrkur þar fer hækkandi.

Sjá má á gassamsetningunni, einkum styrk H_2 og N_2, að svæðið í Röndum, þar sem gufuaugu G-105 og G-106 eru, reiknast mun kaldara en hin svæðin, eða um 250–280°C, samanborið við 300°C í Tjarnarási (augu G-103 og G-107) og á Þeistareykjagrundum (augu G-101 og G-104) og um 310°C í Ketilfjalli (G-102). Meðalgashiti G-108 í hlíðum Bæjarfjalls reiknast um 290°C. Þetta virðist lítið breytast milli síðustu ára en hjá Halldóri Ármannssyni (2004) kemur fram að Tjarnarás og Randasvæðið hafi kólnað talsvert (yfirborðshiti < 90°C) á árunum 1991 og 1995–1997. Mólhlutfallið CO_2/H_2S reiknast á bilinu 1,6–2,5 í sýnum frá Þeistareykjagrundum, Bæjarfjalli og Ketilfjalli, en 3,1–4,5 í Tjarnarási og á Röndum. Styrkur vetnis í gufunni er almennt frekar hár á austanverðu svæðinu, hærri en sem nemur jafnvægi við steindir í djúpkerfinu, en í Tjarnarási og á Röndum fellur vetnishiti ágætlega saman við aðra gashitamæla. Þessi hái vetnisstyrkur bendir til djúpgufu í kerfinu, þ.e. að vökvinn í jarðhitageyminum sé tvífasa.

Styrkur Cl í þéttivatni er á bilinu 0,03–0,14 mg/kg, hæst í G-108, en styrkur B skiptist í tvö horn; er um 0,6 mg/kg í G-101, G-102 og G-104, en lægri en 0,05 mg/kg í öðrum sýnum. Sennilega er hár bórstyrkur til marks um meðburð vatns með gufunni en allblautt var umhverfis þessa þrjá sýnatökustaði. Ekki er til samfelld saga greininga á þessum efnum til samanburðar.

Tvívetnisgildi gufunnar spanna bilið -110 til -118‰, að undanskildu sýninu úr G-105 sem er enn léttara (-121‰) en hefur að öllum líkindum þést á leið til yfirborðs. Gildin eru hæst á Þeistareykjagrundum en lægst í Ketilfjalli. Sýni frá Þeistareykjagrundum og sunnanverðum Röndum falla á úrkomulínuna, sýni úr Ketilfjalli hafa jákvæða súrefnishliðrun en sýni úr Tjarnarási og vestanverðum Röndum sýna neikvæða súrefnishliðrun (sjá mynd 32). Það töldu Darling og Ármannsson (1989) til marks um að gufan í Ketilfjalli væri hér um bil ótrufluð djúpgufa en að gufa vestan Tjarnaráss hefði þést verulega (niður í 15–25% af upphaflegu rúmmáli) við hitastig nærri eða neðan 200°C. Þetta kemur ágætlega heim og saman við

niðurstöður borana og sýnatöku úr holum ÞG-2 og ÞG-5 sem sýna mikla lekt og vatnskerfi við um 200°C hita vestan Tjarnaráss.

2.3 Gasflæði um jarðveg á Þeistareykjum

2.3.1 Almennt um gasflæðimælingar

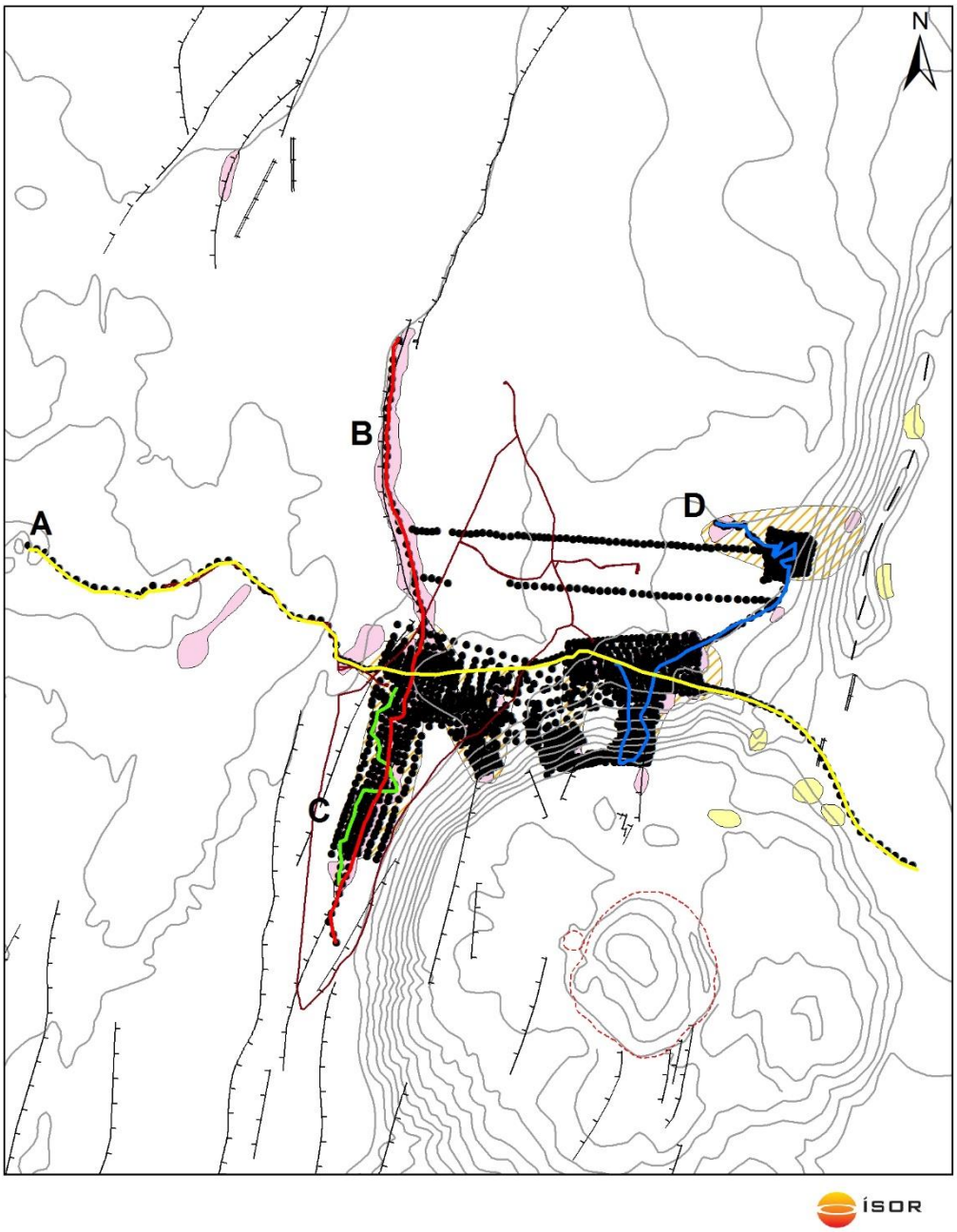
Hluti umhverfiseftirlits á jarðhitasvæðunum þremur á NA-landi, Þeistareykjum, Kröflu og Námafjalli, hefur falist í að mæla flæði koldíoxíðs um jarðveg og hitastig í jarðvegi. Undanfarin ár hafa gasflæðimælingarnar á svæðunum þremur verið gerðar á mælilínum sem liggja vítt og breitt um jarðhitasvæðin en ekki í samfelldu mælineti, fyrst og fremst vegna þess hve jarðhitasvæðin eru víðfeðm. Árið 2012 voru fyrstu gasflæðimælingar gerðar á Þeistareykjum og var markmið þeirra að fá hugmynd um náttúrulegt gasflæði um jarðveg og útbreiðslu þess á svæðinu. Mælingarnar voru gerðar á mælilínum en ókostir mælilínanna eru hins vegar að út frá slíkum mælingum fást ekki jafn góðar myndir af útbreiðslu gasflæði- og hitastigsanómalía og ekki er heldur mögulegt að leggja mat á heildargaslosun um jarðveg. Út frá niðurstöðunum frá 2012 lá fyrir að koldíoxíðflæði er ekki einskorðað við afmarkað svæði heldur kom fram koldíoxíðflæði vítt og breitt á þeim mælilínum sem mældar voru þá. Í ljósi fyrirhugaðrar vinnslu á Þeistareykjum var lagt upp með að kortleggja betur gasflæðið um jarðveg á svæðinu með því að mæla stóran hluta svæðisins sumarið 2015 á mælineti ásamt því að endurtaka mælingar á mælilínunum frá því 2012.

Mælingar af þessu tagi byggjast á því að í jarðhitavökva er ávallt að finna nokkurt magn uppleystra gastegunda sem berast inn í kerfið, t.d. með kviku í rótum kerfisins. Yfirleitt er CO_2 í mestum styrk en H_2S og H_2 eru einnig algengar jarðhitagastegundir. Koldíoxíð getur borist út úr jarðhitakerfinu, t.d. með útfellingu kalsíts og blöndun jarðhitavatns og gufu við kalt grunnvatn en þegar gufa myndast við náttúrulega suðu í kerfinu leita gastegundirnar í gufufasann og fylgir gufunni þegar hún leitar upp á við. Á yfirborði koma fram gufuaugu og leirpyttir þar sem gufan hefur náð til yfirborðs og er þá yfirleitt vel sýnileg en stór hluti gufunnar berst ekki til yfirborðs. Sá hluti þéttist á leið sinni áður en hann nær til yfirborðs, t.d. þegar gufan kemst í snertingu við kalt grunnvatn eða þar sem gufan streymir um gropinn berggrunn og streymið er ekki nægjanlegt til að hita umhverfið að suðu. Við þær aðstæður þar sem vatnsgufan þéttist getur hluti gassins sem henni fylgdi komist áfram til yfirborðs. Þannig getur talsvert magn af CO_2 streymt upp í gegnum jarðveg og jarðhitaskellur án þess að þess sjáist nein ummerki á yfirborði. Rannsóknir á jarðhitasvæðum víða um heim og einnig á Reykjanesi og í Kröflu hafa sýnt að það magn sem kemur um jarðveg er yfirgnæfandi miðað við gufuaugu og leirpytti (Favara o.fl. 2001; Chiodini o.fl., 2005; Fridriksson, o.fl., 2006) og má gera ráð fyrir að svipað eigi við um Þeistareyki.

Þar sem gufan sem flytur koldíoxíð til yfirborðs myndast vegna suðu í jarðhitakerfinu geta breytingar á koldíoxíðflæði um jarðveg gefið góðar vísbendingar um suðuástand í kerfinu. Við orkuvinnslu úr jarðhitakerfum er jarðhitavökvi numinn úr kerfinu og þar með breytist þrýstiástand kerfisins. Kerfisbundnar gasflæðimælingar á jarðhitasvæðinu á Reykjanesi í rúmlega áratug hafa glögglega sýnt hvernig suða í jarðhitakerfinu hefur aukist samfara þrýstilækkun vegna vinnslu fyrir Reykjanesvirkjun (Friðriksson o.fl., 2010; Auður Agla Óladóttir, 2012).

2.3.2 Gasflæðimælingar á Þeistareykjum sumarið 2015

Mælingarnar á Þeistareykjum sumarið 2015 voru gerðar í tveimur lotum, fyrri hluti mælinganna var gerður í júlí og seinni hlutinn í ágúst. Mælingarnar voru gerðar á mælineti með um 25 m millibili á þremur stórum svæðum, í fyrsta lagi á svæði sem teygði sig suður á Randir og norður að tjörn við syðsta hluta Tjarnaráss og í öðru lagi á svæði sem nær upp á Bæjarfjallið og yfir virknina við sæluhúsið og Neðri-Bóndhól. Fór svo að þessi svæði voru tengd saman með mælingum. Lítið svæði á grundunum vestan við Ketilfjall var einnig mælt á mælineti. Að auki var mælt á fjórum mælilínum sem áður voru mældar sumarið 2012; að Stórahver, Tjarnarás, Randir og Bóndhólsskarð með um 50 m millibili og tveimur nýjum mælilínum sem hafa stefnuna austur-vestur og liggja á flatanum milli vinnubúða og Ketilfjalls. Allir mælistaðir eru sýndir á mynd 33. Auk mælinga á gasflæði var hitastig mælt á 15 cm dýpi í öllum mælipunktunum. Alls var hitastig og koldíoxíðflæði mælt í 1449 mælipunktum. Veður var þurrt þegar mælt var og ekki ástæða til að ætla að jarðvegsraki hafi haft áhrif á niðurstöðurnar.



Mynd 33. *Staðsetning mælinga á jarðvegshitastigi og koldíoxíðgasflæði um jarðveg á Þeistareykjum. Mæliprófílar sem mældir voru bæði 2012 og 2015 eru merktir með samfelldum línum. Mælilína A er gul og nær frá Stórahver í vestri og upp í Bóndhólsskarð í austri. Mælilína B er rauð og nær frá Tjarnarási og suður Randir. Mælilína C er græn og einnig staðsett á Röndum og mælilína D er blá og gengur í sveig upp í Bæjarfjall og síðan norður meðfram Ketilfjalli og yfir virka jarðhitann sem þar er að finna.*

Við gasflæðimælingar á Íslandi og einnig víða um heim á jarðhitasvæðum og eldfjöllum er algengast að notast sé við svokallaðar pottmælingar (e. „closed chamber method“) þar sem mældur er hraði uppsöfnunar koldíoxíðs í lokuðu rými eða potti sem lagt er þétt ofan á jörðina (Cardellini o.fl., 2003; Þráinn Friðriksson o.fl., 2010). Hallatalan á styrk koldíoxíðs í pottinum með tíma á meðan á mælingu stendur (þ.e. uppsöfnunarhraði koldíoxíðs) er mælikvarði á

gasflæðið og í hverri mælingu tekur um 1–3 mínútur að ná stöðugu gildi. Rannsóknir hafa sýnt að þessi aðferð er ábyggileg og endurteknar mælingar gefa sambærilegar niðurstöður frá einum degi til annars nema þegar jarðvegur er mjög blautur eftir mikla úrkomu en þá getur flæðið minnkað tímabundið (Granieri o.fl., 2003; Auður Agla Óladóttir, 2012). Sömu aðferðir og tækjabúnaður hafa verið notuð í öllum mælingum sem gerðar hafa verið í Kröflu, Námafjalli og á Þeistareykjum síðasta áratuginn. Gasflæðimælirinn er frá WestSystems og hann má sjá á mynd 34.

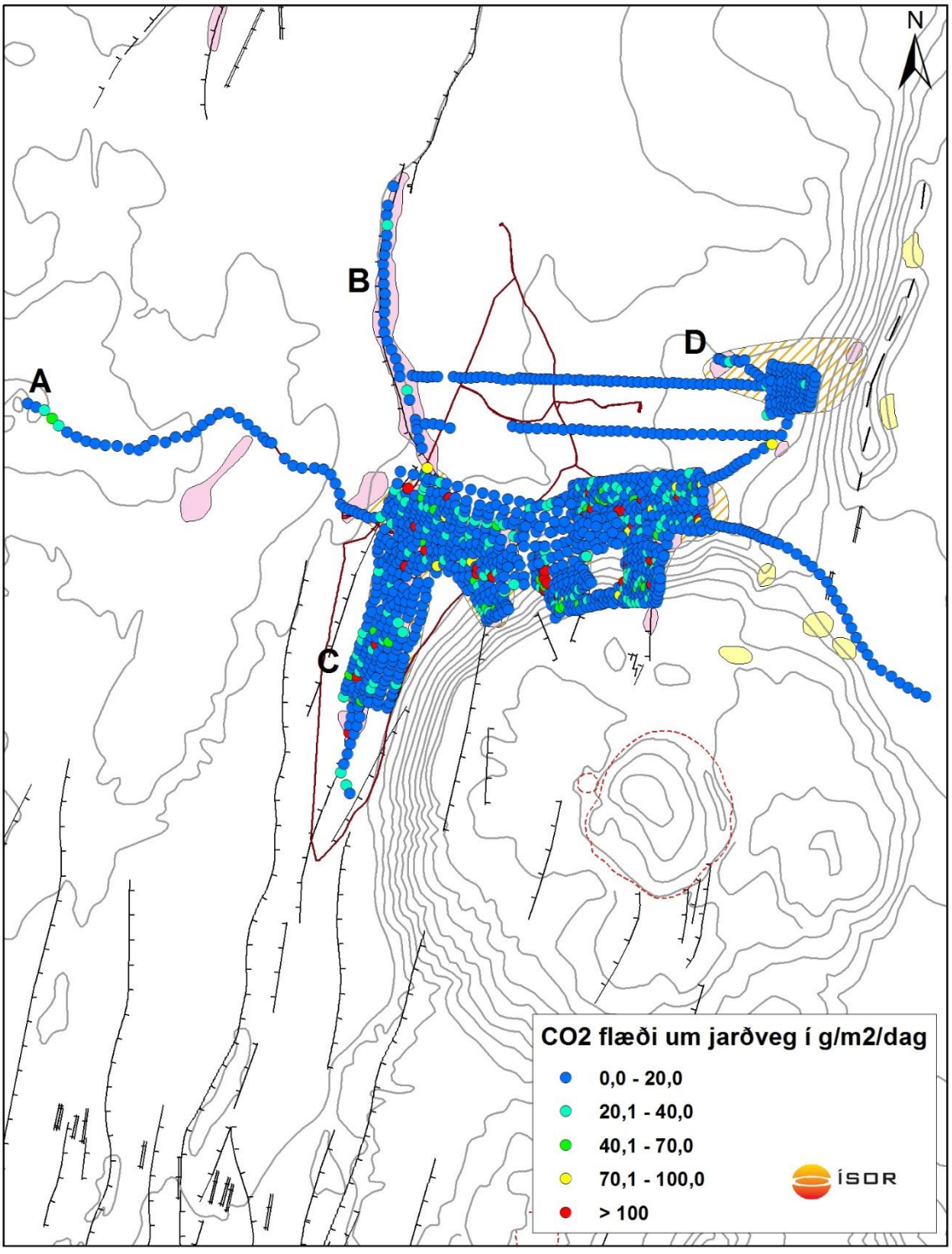


Mynd 34. *Gasflæðimælir sem notaður var til mælinga á Þeistareykjum sumarið 2015.*

Þegar unnið er með mælingar sem gerðar eru á mælineti er unnt að nota tölfræðilegar aðferðir til að brúa á milli þeirra punkta sem mældir eru. Hér er farin sú leið að nota svokallaða gaussíska raðhermun (sequential Gaussian simulations) til að brúa á milli eða fylla upp í svæðin sem ekki eru mæld út frá skilyrðum og annmörkum sem ákvörðuð eru út frá gagnasettinu sjálfu. Þannig má reikna út mikinn fjölda (eftir óskum) af „jafn líklegum gasflæðidreifingum“ (e. equiprobable realizations). Kostir þessarar aðferðar eru að hún varðveitir meðaltal gagnasafnsins og að unnt er að reikna út óvissu þess. Við útreikningana var notast við forritið WinGslib (frá Statios) og útbúnar voru 100 jafnlíkleg kort af útbreiðslu koldíoxíðflæðis.

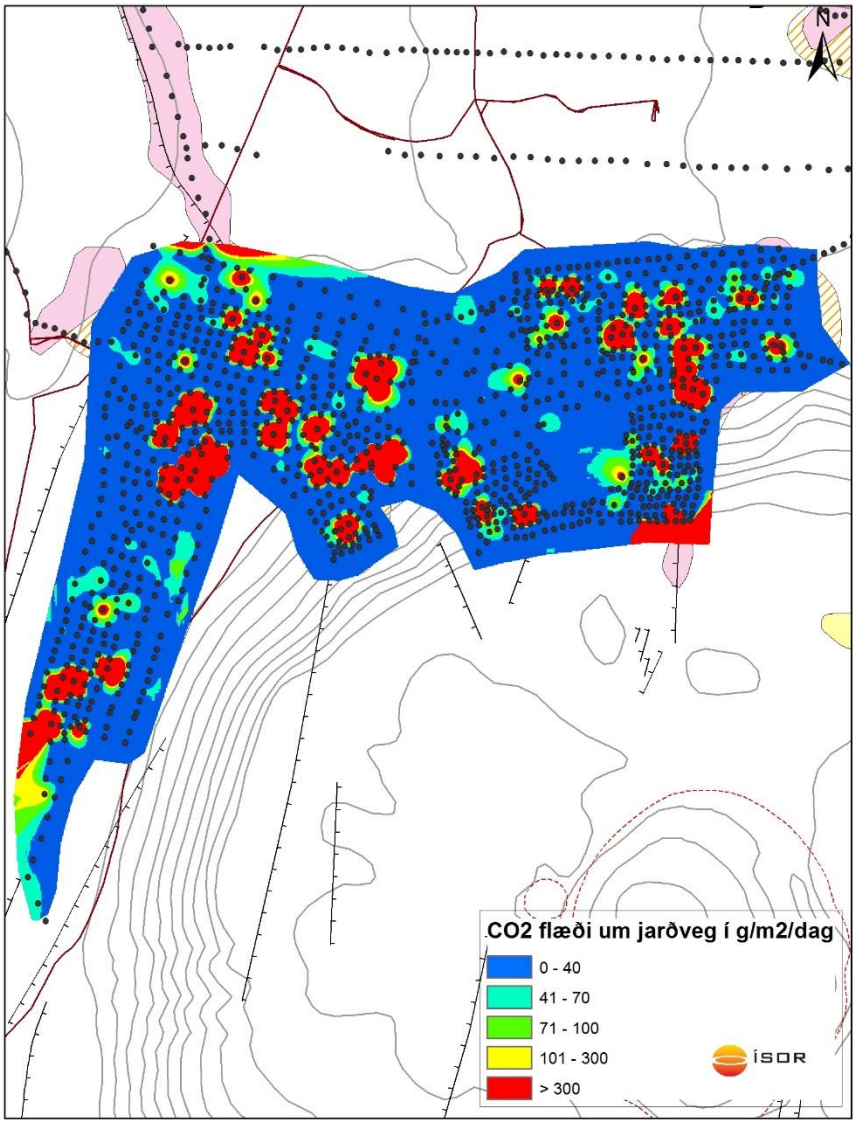
Niðurstöður mælinganna voru settar fram myndrænt á kortum, annars vegar koldíoxíðflæði (á mynd 35) og hins vegar jarðvegshitastig (á mynd 37). Koldíoxíðgasflæði og heit jörð kemur víða fram á Þeistareykjum en oft er um að ræða afmarkaða bletti, þar sem hiti og CO_2 mælist hátt, frekar en á stórum samfelldum svæðum. Í Kröflu og á Reykjanesi hefur tölfræðilegum aðferðum verið beitt til að greina á milli gasflæðis frá jarðhita annars vegar og bakgrunnsgildis, þ.e. gasflæðis frá líffræðilegri virkni af völdum gróðurþekju eða lífvera (Ármannsson o.fl., 2007). Bakgrunnsgildin á þeim svæðum hafa verið á bilinu 1,6–6 (g/m^2)/dag en tölfræðileg skoðun á gagnasettinu frá Þeistareykjum bendir til að bakgrunnsgildi þess sé ívið hærra, eða allt að 10 (g/m^2)/dag. Í 49% tilvika voru mæligildin yfir bakgrunnsgildum og í stöku punktum mældist mjög mikið koldíoxíðflæði. Ástæðan fyrir því að svo stór hluti mælipunktanna sýnir bakgrunnsgildi er sá að hugsanlegt er að breytingar verði á yfirborðsvirkni í kjölfar vinnslu á svæðinu en erfitt er að spá fyrir um hvar breytingar gætu komið fram. Í 97 punktum mældist koldíoxíðflæði mjög hátt, eða yfir 100 (g/m^2)/dag, og í 5 punktum mældist CO_2-flæði sem var verulega hátt og með því hæsta sem mælst hefur með svona mælingum hérlendis, eða yfir

10000 (g/m²)/dag. Fimm hæstu gildin komu fram norðarlega á Röndum og í ummynduðum hlíðum Bæjarfjalls. Á mynd 35 má sjá að hækkað koldíoxíð kemur fram vítt og breitt um svæðið en myndar hvergi stórar, samfelldar breiður. Þessi blettótta virkni er einkennandi fyrir koldíoxíðflæðið á Þeistareykjum og stafar hugsanlega af öflugu grunnvatnsstreymi á Þeistareykjum sem torveldar því að koldíoxíð berist til yfirborðs nema þar sem uppstreymið er nógu öflugt.



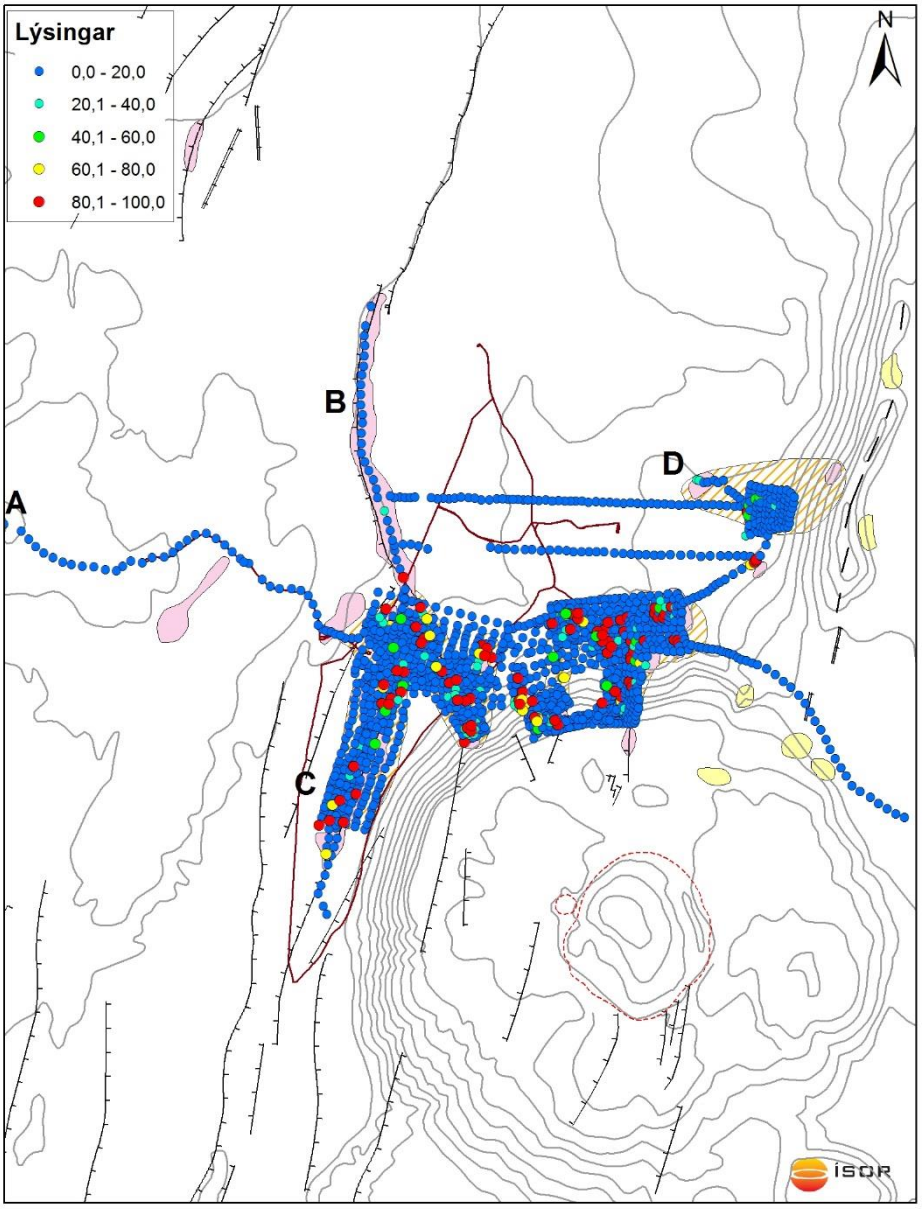
Mynd 35. *Niðurstöður gasflæðimælinga um jarðveg á Þeistareykjum.*

Þegar reiknað var meðaltal 100 jafnlíklegra niðurstaðna á dreifingu CO_2 um jarðveg á Þeistareykjum og sett fram á meðaltalskorti er ekki hægt að greina útbreiðslu koldíoxíðflákanna. Vegna þess hve virknin á Þeistareykjum er blettótt, þ.e. háan hita og mikið gasflæði er oftast að finna á mjög afmörkuðum blettum sem aðeins koma fram á stökum mæligildum sem dreifast vítt og breitt um stórt svæði, og vegna þess að reikniaðferðin sem hér er notuð krefst þess að gögnin séu normaldreifð þá verður geysilega mikið suð í myndinni. Þar af leiðandi sýnir myndin ekki skýrt útbreiðslu gasflæðifláka. Myndin bendir hins vegar til að virknin á Þeistareykjum einkennist af punktavirkni þar sem virkir punktar eru staðsettir töluvert tilviljanakennt á svæðinu. Punktar eða blettir með mikla virkni geta komið fram mjög víða en eru ekki einskorðuð við skýrt afmarkað virkt svæði. Einnig má nýta útreikningana til að reikna heildarkoldíoxíðflæði á svæðinu þar sem tölfræðilegir eiginleikar gagnasafnsins varðveitast í útreikningunum. Heildarflæðið frá svæðinu er samkvæmt þessu um 300 ± 18 tonn á dag. Til þess að sýna útbreiðslu CO_2-fláka á korti var því notast við einfalda brúunaraðferð sem nefnist „kriging“ og kortið má sjá á mynd 36.



Mynd 36. *Gasflæðimælingar á Þeistareykjum, niðurstöður punktmælinga sem brúaðar eru með kriging-aðferð. Svartir punktar sýna mælipunktana.*

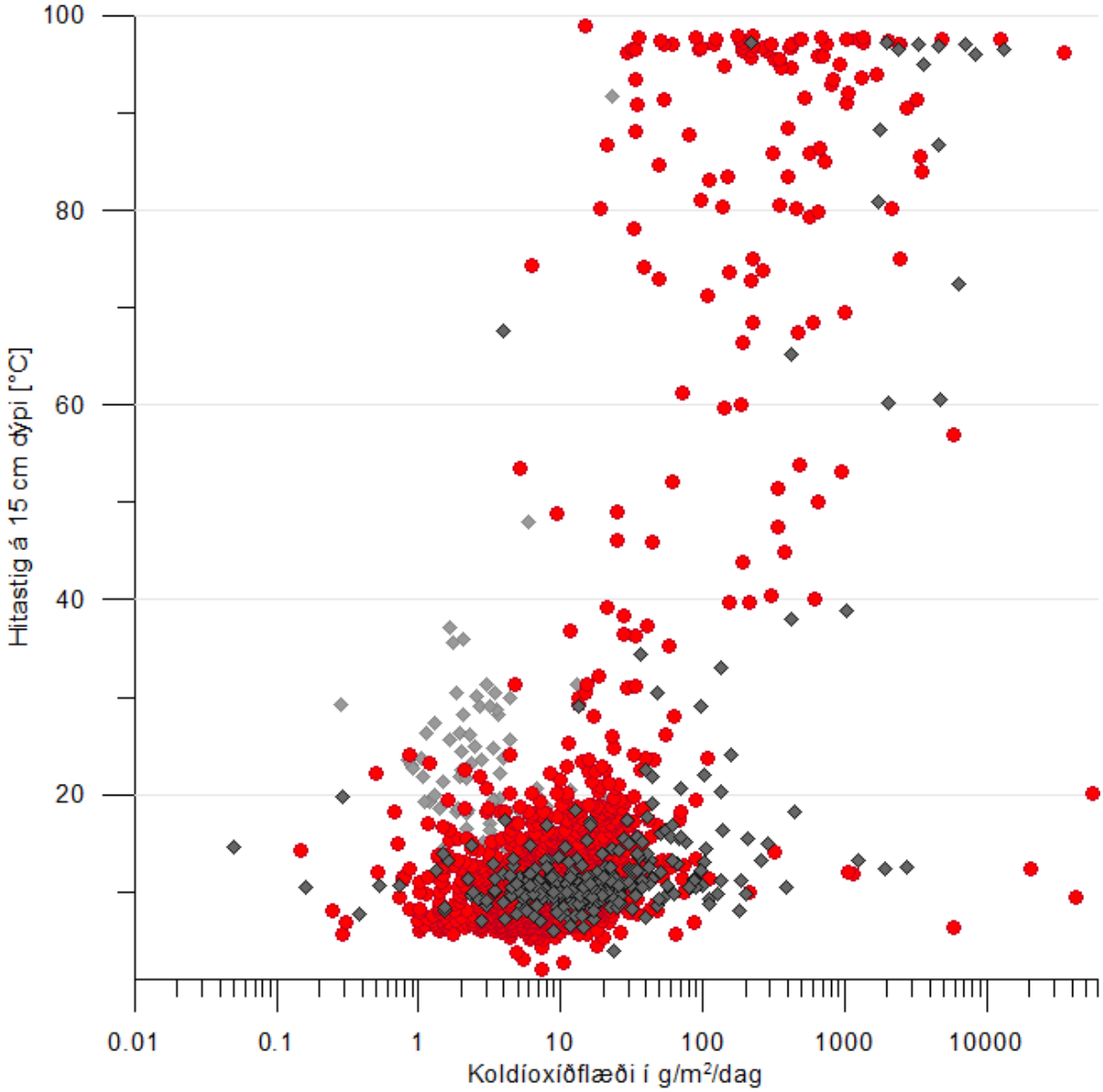
Á mynd 37 má sjá niðurstöður hitastigsmælinga sem gerðar voru á 15 cm dýpi í sömu mælipunktum og koldíoxíðmælingarnar. Hitastig var lágt í flestum mælipunktum, í um 88% tilvika mældist hitastig undir 20°C. Mælipunktar þar sem hiti var á bilinu 20–100°C voru samtals 175 og dreifast þeir nokkuð um svæðið eins og sjá má á mynd 37.



Mynd 37. *Niðurstöður jarðvegshitastigsmælinga á 15 cm dýpi sem gerðar voru samtímis mælingum á koldíoxíðflæði.*

Á mynd 38 má sjá koldíoxíðgildi borið saman við jarðvegshitastigsgildi í sömu mælipunktum. Þegar gögn um hitastig á 15 cm dýpi í jarðvegi eru borin saman við koldíoxíðflæði í sömu mælipunktum kemur í ljós að þetta tvennt fer ekki saman í öllum tilvikum þó viss fylgni sé milli þessara þátta. Í langflestum mælipunktum var hitastig lágt, eða undir 20°C. Í þeim punktum mældist koldíoxíðflæði langoftast líka lágt en í nokkrum punktum nær CO_2-flæðið mjög háum gildum þótt jarðvegshitastig sé lágt. Í slíkum punktum getur koldíoxíðflæðið orðið

verulega hátt, eða yfir 1000 (g/m²)/dag, þrátt fyrir að hitastig sé undir 20°C. Þessa punkta er að finna t.d. á Röndum og einnig við efstu brún í Bæjarfjalli. Slíkar niðurstöður hafa einnig komið fram í mælingum í Kröflu og þar stafar það líklega af því að gufan þéttist frekar djúpt þannig að varminn skilar sér ekki til yfirborðs. Einnig má sjá að þar sem hitastig er yfir 20°C fylgir hækkað koldíoxíð nær alltaf, eða í yfir 90% tilvika.



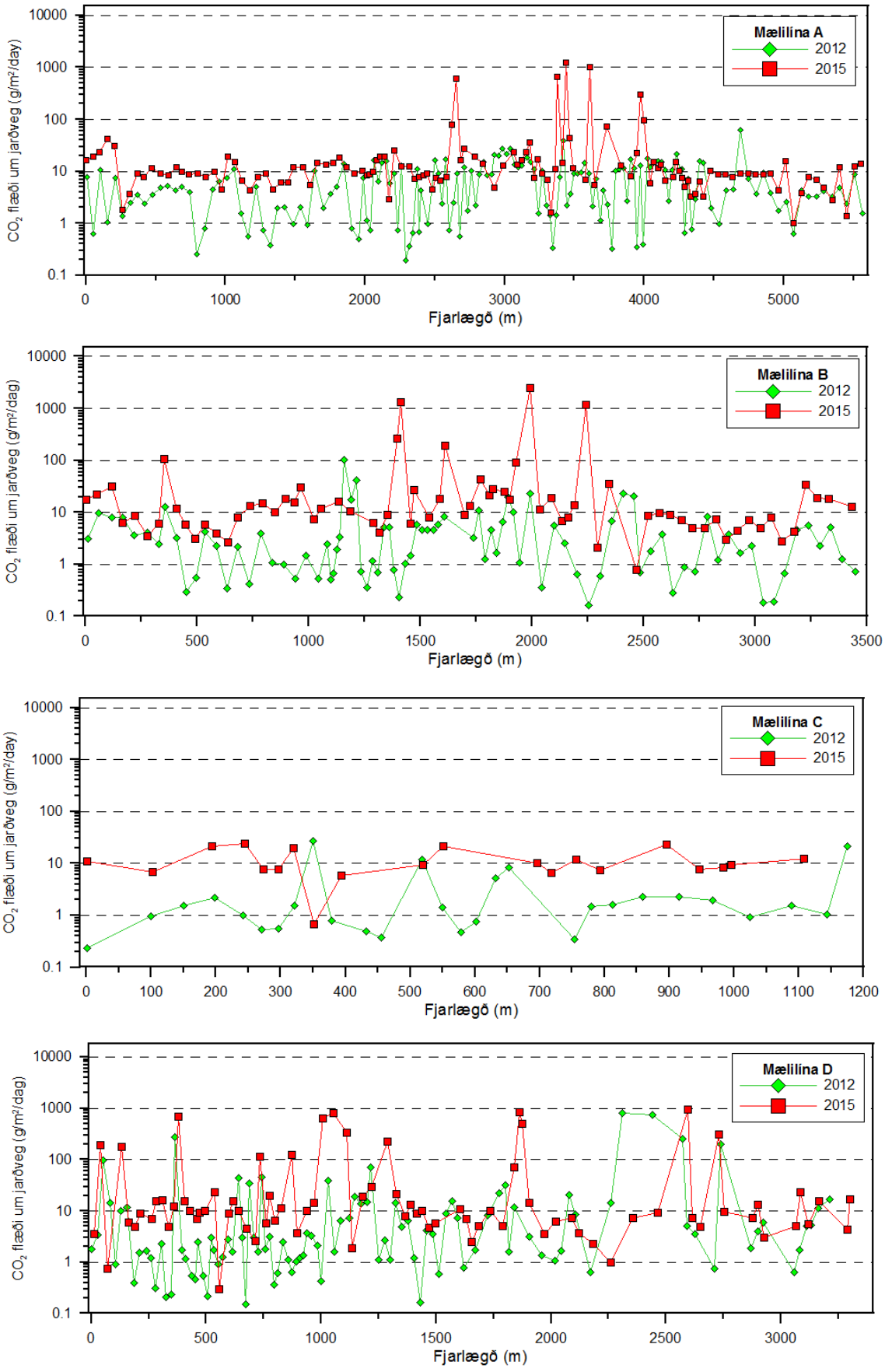
Mynd 38. *Gasflæði um jarðveg og jarðvegshitastig á Þeistareykjum 2015 (rauðir hringir), í Kröflu 2014 (dökkgráir tíglar) og Námafjalli 2013 (ljósgráir tíglar). Á x-ás er koldíoxíðflæði á logra skala.*

Þegar gögnin frá Þeistareykjum eru borin saman við gögn sem aflað var í Kröflu sumarið 2014 má sjá að bakgrunnskoldíoxíðflæði er aðeins lægra á Þeistareykjum en í Kröflu. Þetta stafar að mestu leyti af mismunandi jarðvegsgerð og þykkt jarðvegs en jarðvegur á Þeistareykjum er víðast hvar frekar þunnur og liggur ofan á gropnum hraunlögum. Annað sem vekur athygli er að mælipunktar þar sem hitastig er á bilinu 30–80°C eru mjög fátíðir, eða aðeins 3,5% tilvika. Hugsanleg skýring á þessu gæti verið að öflugur grunnvatnsstraumurinn í Þeistareykja-sprungusveimnum komi í veg fyrir að stór hluti varmans geti borist til yfirborðs. Varmi sem kemur frá varmagjafanum í Þeistareykjakerfinu lendir í grunnvatninu og berst burt úr kerfinu. Aðeins þar sem uppstreymi gufu og koldíoxíðs er verulegt nær það til yfirborðs og mælist þá yfirleitt hitastig yfir 80°C og CO_2-flæði yfir bakgrunnsgildum.

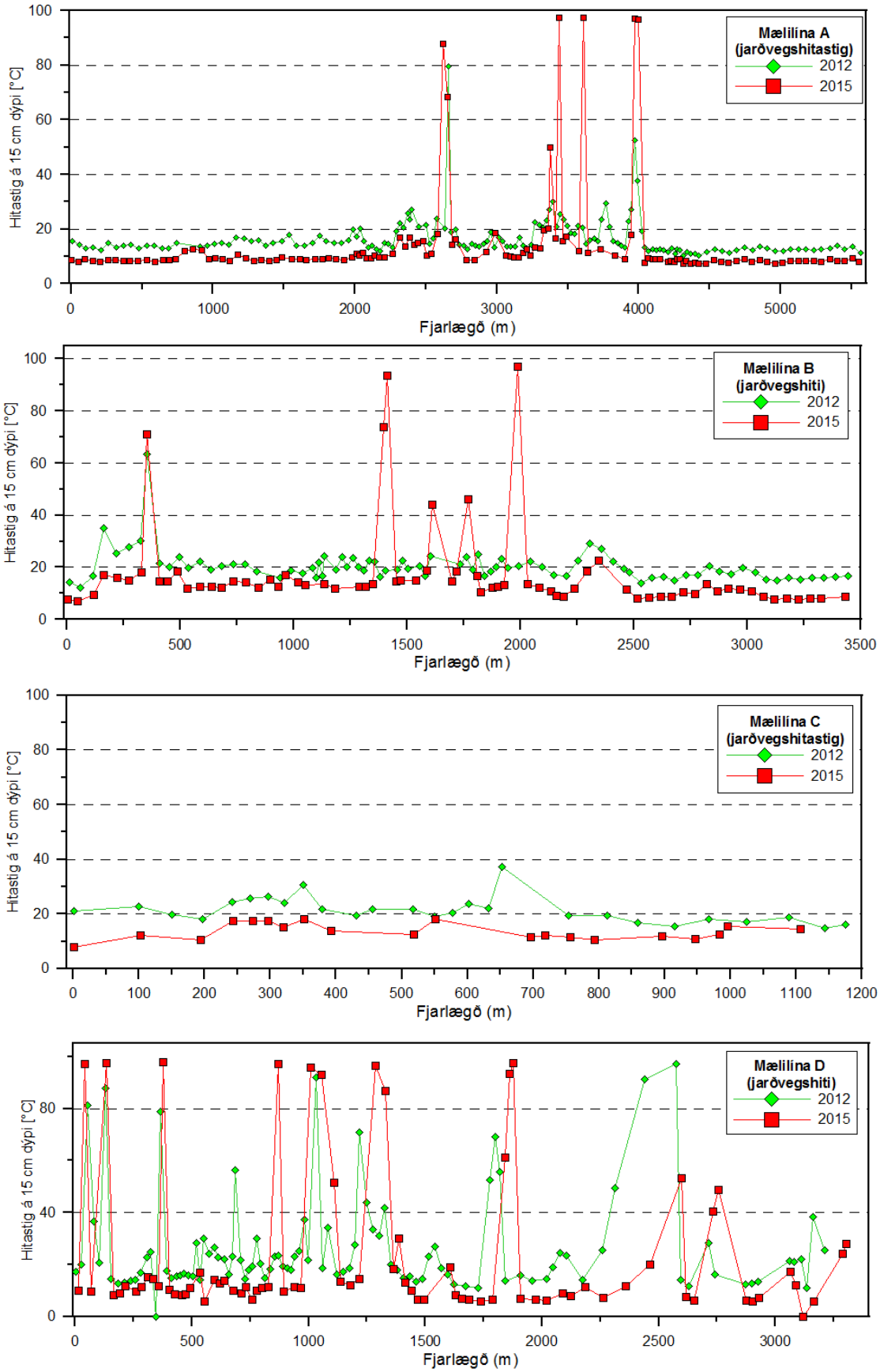
Niðurstöðurnar frá sumrinu 2015 voru bornar saman við fyrri niðurstöður frá árinu 2012 á Þeistareykjum. Mælt var í nokkurn veginn sömu punktum á hverri mælilínu og áður, og sömu mælitæki og aðferðafræði notuð. Til að bera saman þessi gögn voru gerð línurit fyrir bæði koldíoxíðflæði og jarðvegshitastig fyrir hverja mælilínu um sig. Fyrir línuritin gildir að á x-ás er fjarlægð í metrum frá einum mælipunkti til þess næsta frá vestri til austurs (mælilína A) og frá suðri til norðurs (mælilínur B og C) og frá mælilínu A, til suðurs svo til norðurs (mælilína D). Gasflæðigildin (y-ás) eru sýnd á logra skala. Niðurstöðurnar eru settar fram á mynd 39.

Samanburður á koldíoxíðflæði í eldri mælingum og mælingum frá því sumarið 2015 sýna að í náttúrulegu ástandi sveiflast það töluvert. Víða koma fram gildi þar sem lítil breyting hefur átt sér stað en talsvert er um að gildin hafi breyst, bæði koma fram punktar þar sem koldíoxíð-flæði hefur dregist saman og þar sem koldíoxíðflæði hefur aukist og eru þeir heldur fleiri. Meðalkoldíoxíðflæði var á öllum fjórum mælilínunum hærra árið 2015 en árið 2012 og munaði mestu á mælilínu B þar sem meðalgildið var 5,7 (g/m^2)/dag árið 2012 en 89,69 (g/m^2)/dag árið 2015 og þegar samanburðarlínurit þessara lína er skoðað sést að þetta orsakast ekki af einu mjög háu gildi heldur virðist gasflæði í flestum mælipunktum vera meira sumarið 2015. Á stöku stað er koldíoxíðflæðið mjög ólíkt milli eldri og yngri mælinga. Slíkir stakir punktar vekja að öllu jöfnu ekki sérstaka athygli þar sem óvissa í GPS-mælingum veldur því að ekki er hægt að tryggja að mælt sé á nákvæmlega sömu punktum frá ári til árs. Eins geta þessar náttúrulegu sveiflur að einhverju leyti orsakast af samspili jarðhitans og grunnvatnsstraums eins og áður var vikið að, og smávægilegar breytingar á rennslisleiðum gufu upp til yfirborðs geta skapað miklar breytingar á mælilínunum.

Hitastigsmælingarnar voru unnar á sama hátt og bornar saman við eldri mælingar og eru niðurstöðurnar sýndar á línuritum á mynd 40. Á línuritunum má sjá að hitastig hefur í flestum tilfellum breyst lítið á milli ára. Gegnumgangandi er nokkrum gráðum lægra hitastig 2015 en 2012 á öllum mælilínum og stafar það af því að mælingarnar sumarið 2012 voru gerðar í fádæma blíðu og sumarhita. Í mælipunktum þar sem jarðhitaáhrifa gætir og hitastig mældist yfir bakgrunnsgildi árið 2012 hefur hitastig í flestum þeirra mælst ívið hærra sumarið 2015. Mestra breytinganna varð vart á mælilínum A og B en á mælilínu A koma fram nokkrir mælipunktar þar sem hiti er yfir 50°C en voru ekki áberandi heitir árið 2012. Á mælilínu B komu fram 5 mælipunktar á um 600 m kafla þar sem hitastig hefur hækkað úr því að vera bakgrunnsgildi yfir í að sýna augljós ummerki jarðhitavirkni.



Mynd 39. *Línurit sem sýna samanburð á koldíoxíðflæði um jarðveg á öllum fjórum mælilínunum sem mældar voru sumarið 2015, samanborið við eldri mælingar frá 2012.*



Mynd 40. *Línurit sem sýna samanburð á hitastigi á 15 cm dýpi í jarðvegi á öllum fjórum mælilínunum sem mældar voru sumarið 2015, samanborið við eldri mælingar frá 2012.*

2.3.3 Samantekt

Viðamiklar mælingar á jarðvegshitastigi og koldíoxíðflæði um jarðveg voru gerðar á Þeistareykjum sumarið 2015. Mælingarnar voru gerðar í 1449 mælipunktum, bæði á mælineti yfir virkasta hluta svæðisins og einnig á mælilínum sem áður höfðu verið mældar sumarið 2012. Niðurstöðurnar sýna að bæði koldíoxíðflæði og hækkað jarðvegshitastig er fyrst og fremst að finna þar sem einnig er virk jarðhitavirkni á yfirborði. Niðurstöðurnar sýna að virknin á Þeistareykjum er mjög skellótt, þ.e. háan hita og mikið koldíoxíð er oftast að finna á mjög afmörkuðum blettum sem aðeins koma fram á stökum mælipunktum en slíka punkta er að finna vítt og breitt um svæðið. Heildarkoldíoxíðflæði var metið 300±18 tonn á dag. Hitastigsmælingarnar sýndu einnig blettótta virkni og fátítt að heit svæði næðu mikilli stærð. Athyglisvert var að mælipunktar, þar sem hitastig er á bilinu 30–80°C voru mjög fátíðir, eða aðeins í 3,5% tilvika. Samanburður á koldíoxíðflæði eldri mælinga og mælinga frá því sumarið 2015 sýndu að breytileiki koldíoxíðflæðisins í náttúrulegu ástandi jarðhitasvæðisins er töluverður. Meðalkoldíoxíðflæðið allra mælilínanna var nokkru hærra árið 2015 en árið 2012. Endurtekning á þessum mælingum ásamt öðrum athugunum getur varpað ljósi á hugsanlegar breytingar og útbreiðslu jarðhitavirkni á yfirborði vegna vinnslu frá svæðinu.

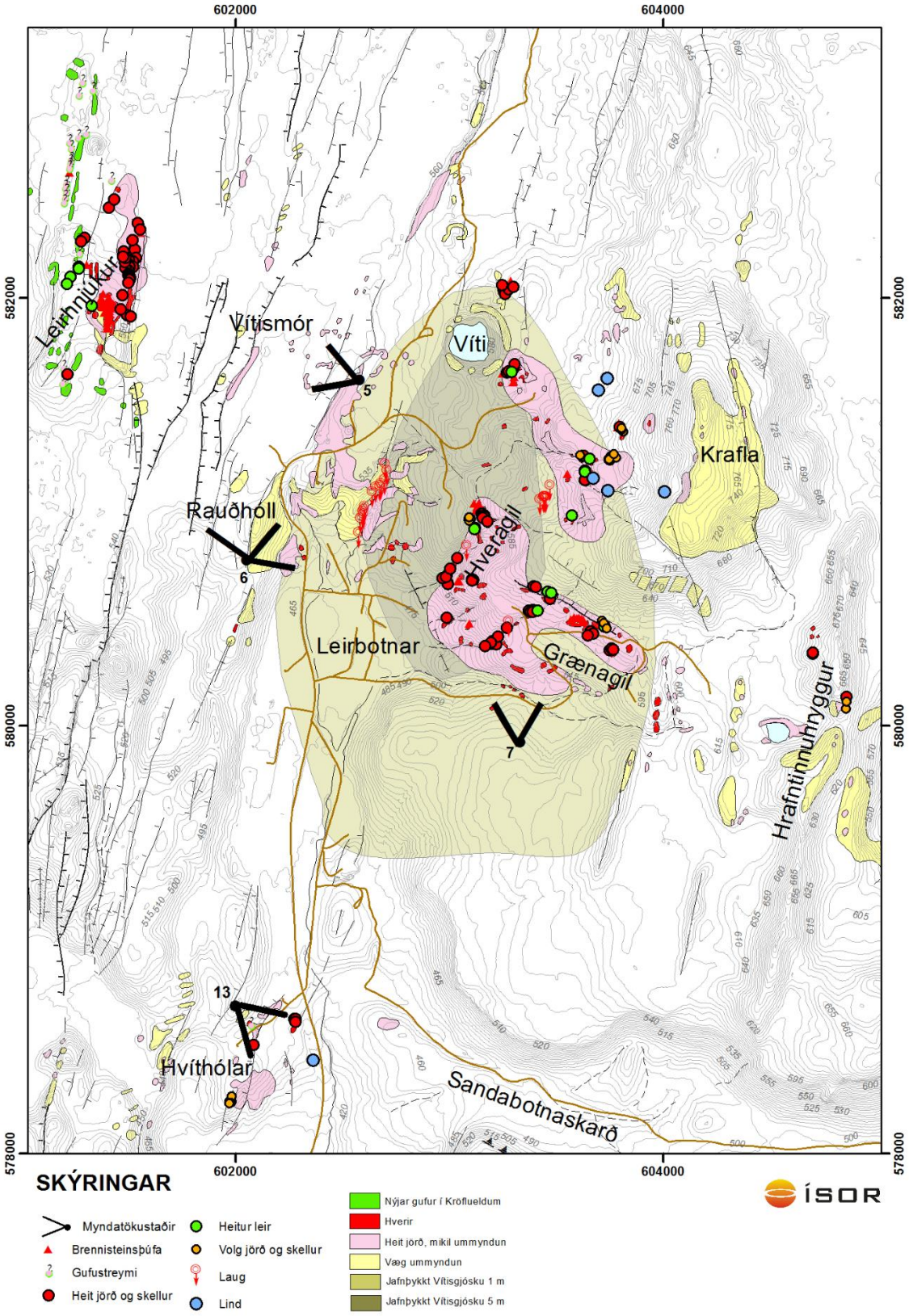
3 Krafla

3.1 Yfirborðsvirkni í Kröflu

Skipting svæða á Kröflusvæðinu í gegnum tíðina hefur verið í nokkuð föstum skorðum. Skipting svæðanna er eftirfarandi: Leirbotnar, Leirhnjúkur, Vítissvæðið, Hveragil, Vesturhlíðar og Suðurhlíðar. Þessum svæðum hefur verið lýst áður í ýmsum eftirlitsskýrslum (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2011; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a, 2013b, 2014). Að auki var farið á svæði í jaðri Kröfluöskjunnar, þ.e. Hvíthóla, Hrafntinnuhrygg og Sandabotnahrygg, til yfirlits en enga virkni var þá að sjá á þessum svæðum nema við Hrafntinnuhrygg og í Hvíthólum.

Dagana 16.–18. ágúst 2015 var farið á öll svæðin og yfirborðsvirkni athuguð, ljósmynduð og hitamyndir teknar. Staðsetning og stefna hitamyndatökustaða er sýnd á jarðhitakorti (sjá mynd 41). Kortið byggist á jarðhitakorti Kristjáns Sæmundssonar (2008) að viðbættum gjóskugeira Vítis frá 1724 og nákvæmari afmörkun á ummyndun umhverfis Hveragil.

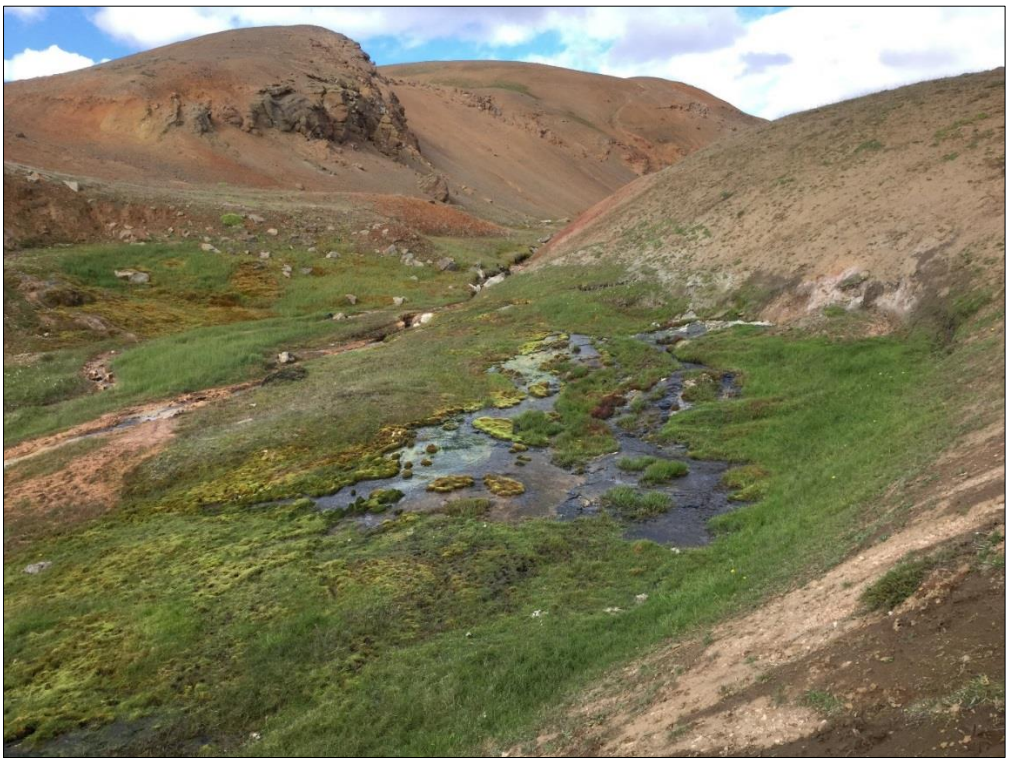
Í köflunum sem hér koma á eftir er farið yfir hvert svæði um sig og fjallað um niðurstöður athugana á yfirborðsvirkni 2015 og hvort einhverjar breytingar hafi orðið síðustu árin.



Mynd 41. *Jarðhitakort af Kröflu. Athuganir 2015 sýndu óverulegar breytingar frá undanförnum árum.*

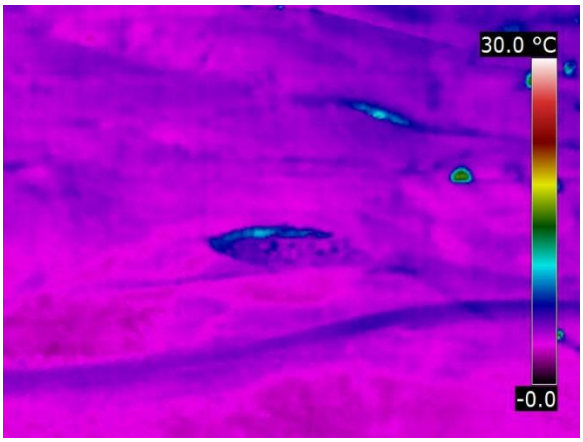
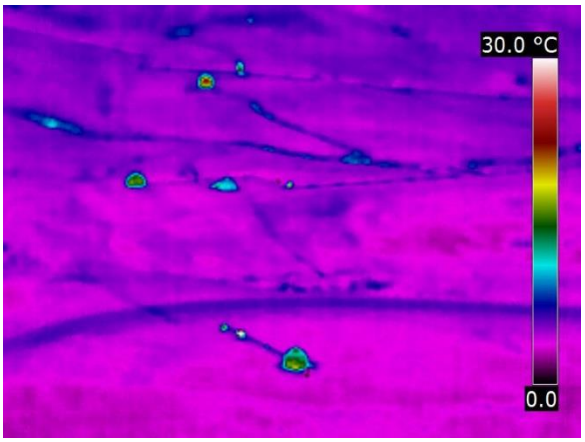
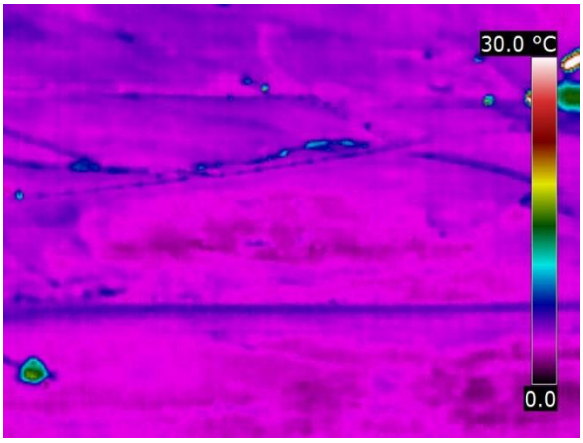
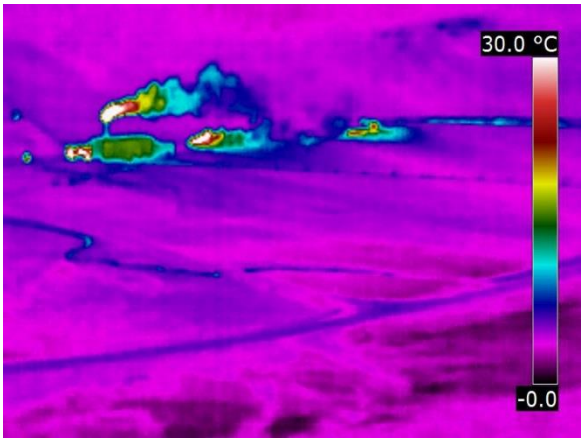
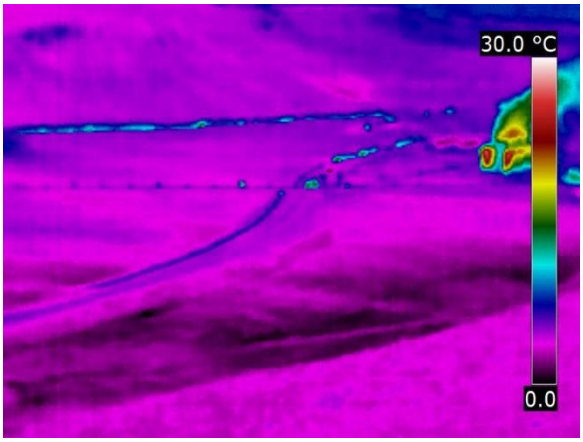
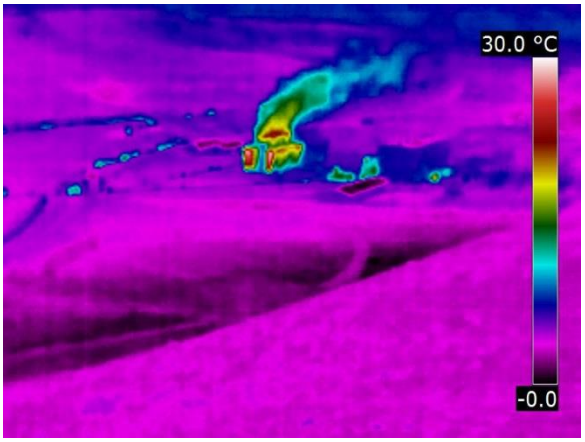
3.1.1 Leirbotnar

Á svæðinu við Leirbotna var farið á alla þá staði sem nefndir eru í skýrslu Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2011) en enginn virkur jarðhiti var á þeim stöðum sem þar eru nefndir. Einnig var litið yfir svæðið en ekkert gufustreymi var sjáanlegt frekar en undanfarin ár. Í skýrslu Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2011) er þess getið að árið 2010 hafi engin gufa verið sjáanleg í Leirbotnum. Beinar mælingar voru gerðar á nokkrum stöðum en annars var notast við hitamyndavél að kvöldlagi og myndað frá Rauðhól (myndatökustað 6 á mynd 41, sjá mynd 43).



Mynd 42. *Gilskorningur milli holna K-11 og K-27. Nokkrar heitar lindir spretta fram á þessum stað.*

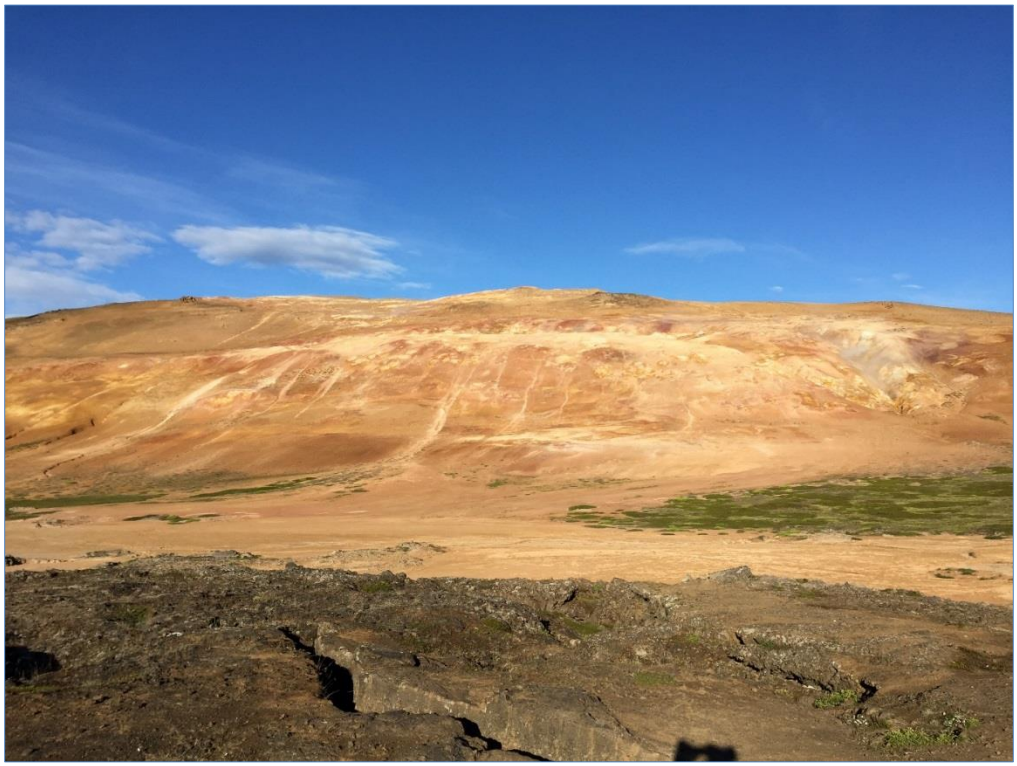
Velgjur og uppsprettur eru í gilskorningi sem gengur upp á milli borholna K-11 og K-27. Hiti er 50–65°C og rennsli frá uppsprettum < 1 L/s. Á mynd 42 sést upp gilið, lækur rennur niður með blöndu af jarðhitavatni og kaldri snjóbráð. Grænt og svart slý er meðfram uppsprettunum. Í brekkunni austan við borholu K-5 var engan hita að finna né heldur neðan við borholu K-9 eða í Hveragilsrana. Á borplani K-6 var enginn hiti merkjanlegur. Lítil merki sáust um hitaútstreymi frá svæðinu á hitamyndunum (mynd 43) og einu ummerkin um hita sem sjást á myndunum eru volgu lækjarsprænurnar og mannvirki, svo sem kúluhús yfir borholunum, gufuleiðslum, skiljustöð og kæliturnum við Kröflustöð.

	
1. *Leirbotnar. Hola K-26 við veginn*	**2.** *Leirbotnar. Frh. til austurs*
	
3. *Leirbotnar. Heitir affallslækir koma skýrt fram*	***4.*** *Skiljustöðin*
	
5. *Leirbotnar.*	***6.*** *Kröfluvirkjun*

Mynd 43. *Myndir teknar ofan af Rauðhól (myndatökustaður 6, mynd 41), horft til austurs á Leirbotna og svo til suðurs. Engin virkni sjáanleg nema á mynd 1 og 2. Heitar laugar eru í gili milli holna K-11 og K-27.*

3.1.2 Leirhnjúkur

Jarðhiti á Leirhnjúkssvæðinu einkennist af leirhverum, gufuaugum og brennisteinsþúfum (mynd 41). Leirummyndun og brennisteinn eru víða áberandi en jarðhiti er einnig greinilega undir nýjum hraunum þótt vart sjáist ummyndun. Sést það t.d. á því hvernig mosi vex hraðar þar sem hiti er undir hraunum (sést greinilega frá göngustígnum frá Leirhnjúk norður í gíginn Hóf).



Mynd 44. *Austurhlíð Leirhnjúks. Gufuvirkni var nokkur 2015 en dreifð. Hlíðin ofan til er þó öll heit, brennisteinn og heitar leirskellur, eins og kemur vel í ljós á hitamyndum (mynd 48).*

Jarðhiti og ummyndun í Leirhnjúk sjálfum er mikil og eru margir leirhverir utan í hnjúknum eins og sést frá göngustígunum að honum sem og ofan af toppi hans. Svolítil gufa kemur upp úr kolli Leirhnjúks en þó nokkur virkni er í austuröxl hans, heit jörð með brennisteinsþúfum og leirhverum. Svæðið við útsýnispallinn í norðaustanverðum Leirhnjúk var með rólegra móti og ekki mikil gufa. Virkni í leirskálinni er lítil enda skálin vatnsfyllt (mynd 45) og ekki mikið uppstreymi í henni. Einna mest var virknin rétt ofan við vatnsfylltu skálina en þar hefur myndast einskonar hryggur með gufuvirkni og brennisteini. Ofan við leirskálina á leiðinni að toppi Leirhnjúks, þ.e. norðaustan til í honum, eru heitar skellur sem tengjast virkninni í austurhlíðinni (mynd 46). Í austurhlíðinni og eftir endilöngum toppi Leirhnjúks eru brennisteinsþúfur mest áberandi. Tengjast þær misgengjum sem liggja eftir honum með NNA-lægri stefnu. Þó nokkur gufuvirkni var á þessu svæði í ár eins og í fyrra.



Mynd 45. *Hverasvæðið við Leirhnjúk. Gufuvirkni sumarið 2015 var svipuð og undanfarin ár.*



Mynd 46. *Jarðhitinn í brotinu sem liggur meðfram austurhlíðinni með NNA-lægri stefnu. Heitar skellur með leirhverum og brennisteinsþúfum.*

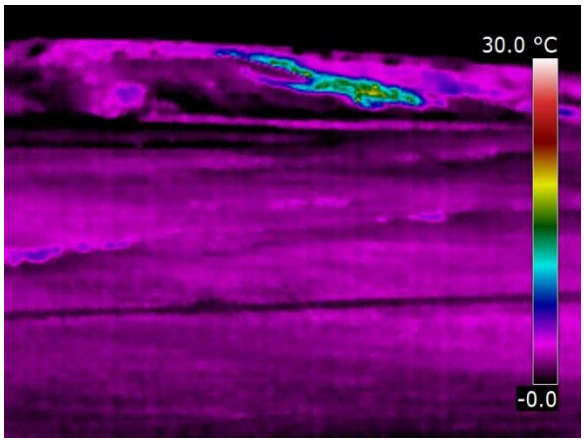


Mynd 47. *Hraun og gígar við norðurenda Leirhnjúks. Horft til suðurs í átt að Leirhnjúki. Lítil gufa var 2015 miðað við í fyrra en þó nokkur vindur var sem hefur töluverð áhrif.*

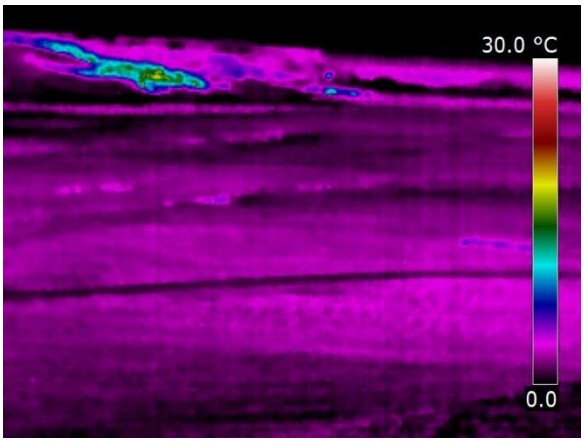
Í stórum gíg frá Kröflueldum norðanvert í Leirhnjúk stíga gufur víða upp (mynd 47) og mældist hitinn í gufuaugunum 97–99°C, auk þess voru brennisteinsblettir áberandi. Í gígaröðinni suðvestan í Leirhnjúk kom gufan ekki eins greinilega fram 2015 eins og í fyrra vegna veðurskilyrða en hiti mældist yfir 90°C þegar náðist að mæla ofan í kargann. Smá vottur af brennisteinslykt var af gufunni og á nokkrum stöðum sáust brennisteinsútfellingar í hrauninu.

Sjá má gufu stíga upp úr holum í nýja hrauninu norðan og norðvestan við gíginn Hóf. Þar kom upp hraunspýja í upphafi Kröfluelda í desember 1975 en einnig síðar, mest þó í síðasta gosinu í september 1984. Hitinn á gufunni í hrauninu var 25–60°C sem er svipaður hiti og mældist í fyrra.

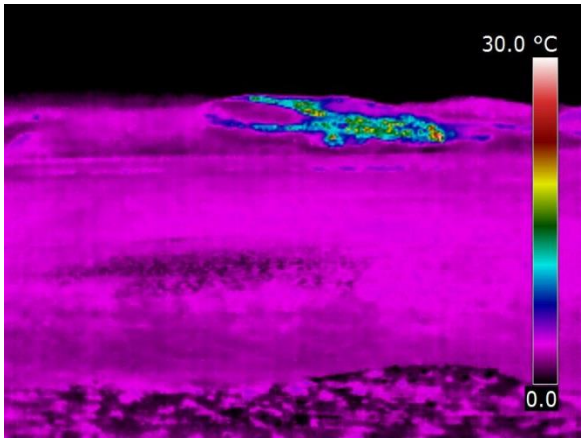
Austurhlíðar Leirhnjúks voru hitamyndaðar frá borteig holu IDDP-1 (myndatökustaður 5 á mynd 41). Samkvæmt hitamyndunum (mynd 48) tengist hæsti hitinn gufuvirkum svæðum um miðja austurhlíðina og upp á topp hnjúksins, teygir sig síðan norður eftir hlíðinni og út á sléttuna. Á þessari línu eru gufu- og leirhverir ríkjandi. Af hitamyndunum að dæma er dreifing jarðhitans við Leirhnjúk (séð frá IDDP-1 og Rauðhól) svipuð og í fyrra.



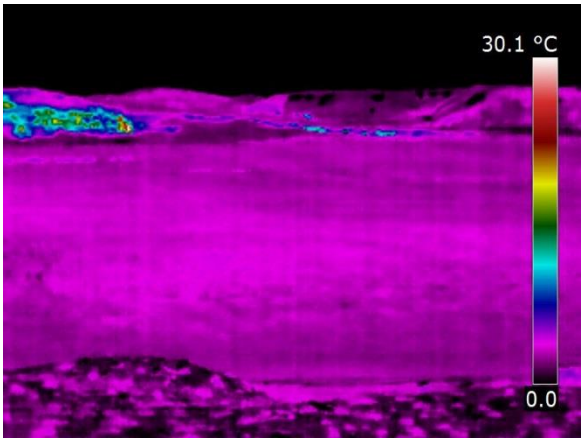
1. *Leirhnjúkur frá IDDP*



2. *Leirhnjúkur frá IDDP*



3. *Leirhnjúkur frá Rauðhól*



4. *Leirhnjúkur frá Rauðhól*

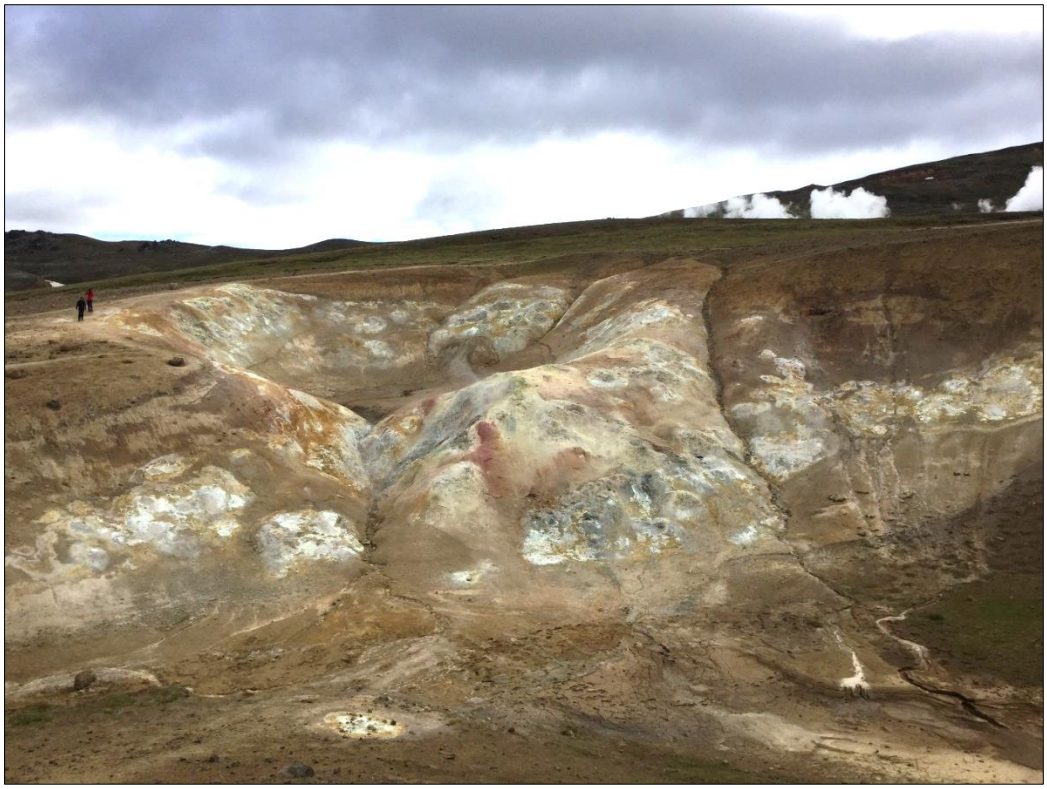
Mynd 48. *Myndir 1 og 2 sýna jarðhitann í Leirhnjúki frá borteig IDDP-1 (myndatökustaður 5, mynd 41) en myndir 3 og 4 sýna hann frá Rauðhól (myndatökustaður 6). Vítismór er í forgrunni en þar kemur enginn jarðhiti fram.*

3.1.3 Vítismór

Ummyndunarblettur (leir) er um 500 m NNV við Víti í átt að Hreindýrahól. Enginn hiti mældist þar í jarðvegi 2015 frekar en undanfarin ár. Engin önnur jarðhitavirkni er sjáanleg í norðurhluta Vítismós frá Víti til Leirhnjúks (mynd 48) en í suðurhlutanum, þ.e. við og vestur af borteig IDDP, austur að Hveragili og fram á brúnir Hlíðardals er ljós leirummyndun ríkjandi. Engin gufa er sjáanleg og hitamyndir sýna engan jarðhitavott.

3.1.4 Vítissvæðið

Allmikil ummyndun (leir) er umhverfis Víti og jarðhitavirkni sums staðar mikil. Helstu gufusvæðin eru norðan, austan og suðaustan við Víti. Norðan Vítis er þó nokkur gufuvirkni utan í gígskál við sýnatökustaðinn G-1 (mynd 49), virknin á þessum stað hefur heldur aukist síðustu ár og þá aðallega í vesturenda hennar þar sem annar gígur skarast við hinn. Heitur leir og brennisteinn ásamt hverasöltum er mest áberandi og hiti í gufuaugum er 97–98,5°C.



Mynd 49. *Svæðið norðan við Víti (G-1). Heit leirskella með brennisteinsútfellingum inni á milli.*

Tvíburavötn eru suðaustan við Víti og mynda tvær gígskálar, meginvirknin er í nyrðri skálinni. Gufusýni voru tekin úr gufuaugum við Tvíburavötn 2012 og 2013 en þau voru ekki nægilega kraftmikil til sýnatöku í ár sem og í fyrra (2014). Svæðið var mjög blautt sem gæti haft áhrif á yfirborðsvirknina. Svæðið myndar ílanga ræmu þar sem virknin einkennist af heitum skellum með gufuvirkni og bullandi leirhverum (mynd 50). Hiti á þessum stað er 97°C í heitu skellunum en 95°C í leirpyttum.



Mynd 50. *Við Tvíburavötn. Mest allur jarðhitinn er bundinn við þennan stað. Sumarið 2014 og 2015 var ekki hægt að taka sýni þar en gufustreymi var frekar dræmt. Mikil bleyta var á svæðinu. Gufustreymi á svæðinu er heldur minna en hefur verið.*

3.1.5 Hveragil

Neðst í Hveragili er allt kolummyndað en virknin er mest í miðju gilsins og austan til í því. Þar er meðal annars að finna öflug gufuaugu, leirhveri og brennisteinsþúfur (mynd 41, 51 og 52). Litla-Víti er mjög öflugur leirhver neðst í Hveragili með kröftugum gufustrók. Í botni Litla-Vítis mátti sjá 2–3 kröftug gufuaugu en stærsti hluti gígsins var vatnsfylltur og bullar ógurlega. Rétt neðan við Litla-Víti myndaðist hveraop árið 2009 (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson 2011) en síðastliðin ár hefur ekki mikil virkni verið í opinu en þó hefur gufað vel upp úr því. Í fyrra var meiri kraftur í opinu, þungir dynkir komu frá því og sletti það gráum leir 10 m frá sér, auk þess sem gufustreymi var stöðugt. Í ár var gufustreymið nokkuð stöðugt og þó nokkur kraftur í auganu en engar leirslettur eins og í fyrra (mynd 51). Til hliðar, ofan við og gegnt gufuauganu, eru heitar, upphleyptar skellur með gufustreymi. Útfellingar eru brennisteinn og myndlaus kísill sem og hverasölt. Á hitamyndum (mynd 57, hitamynd 5) má sjá hvernig hitinn teygir sig upp hlíðina ofan við Litla-Víti en þessi flekkur er meira áberandi í ár en 2013 og 2014. Á svæðinu gegnt Litla-Víti er lítils háttar gufustreymi úr leirflagi en flagið er allt mjög heitt, 70–98°C (mynd 52). Við kortlagningu árið 2013 kom í ljós að á móts við svokallaðan Jónshver hafði allstór spilda (100x30 m) fallið úr hlíðinni austan við holur K-15, K-32 og K-33. Jarðfallið hafði skriðið rólega fram og farið að hluta yfir lækinn. Vatn hefur síðan grafið sig aftur í gegnum jarðfallið. Virknin í gilinu er svipuð nú og þá. Enn bólar gas í lækjarbotninum og stakar brennisteinsþúfur eru norðan við og í jarðfallinu. Á móts við jarðfallið er heit jörð, > 90°C, mesti hiti í gufuaugum 96–99°C tengt brennisteinsopum en lítil gufuvirkni (Jónshver, mynd 53). Ummyndun er víðast hvar mjög mikil í gilinu og er ljós leir, brennisteinn og gifsútfellingar áberandi. Ekki er jarðhita að sjá ofar í Hveragili nema allra efst við veginn að

holum K-34, K-36 og K-38 en þar eru fimm litlar skellur 2x2 m á stærð með hverasöltum og hita allt að 96°C. Ofar er svo jarðhiti á nokkrum stöðum (t.d. G-28 og G-38) í gili austur upp af Hveragili en honum er lýst með Vesturhlíðum hér á eftir.



Mynd 51. *Litla-Víti og gufuopið á miðri mynd. Gufuvirkni er heldur meiri en í fyrra. Gufuopið spýtir nú gráum leir en það hefur ekki verið áður. Nokkrar hitaskellur eru í kringum Litla-Víti, aðallega sunnan við það og á móts við það.*



Mynd 52. *Heita leirflagið gegnt Litla-Víti. Gufan á myndinni er frá Litla-Víti.*



Mynd 53. *Virknin við Jónshver gegnt jarðfallinu. Mesta virknin er í lækjarfarveginum eins og undanfarin ár en smávægileg gufuvirkni er í skellunni með hita á bilinu 90–99°C.*

3.1.6 Vesturhlíðar

Vesturhlíðarnar voru skoðaðar 2015 og var gengið upp úr Hveragili og eftir vesturhlíðinni til suðurs, svo frá borteig K-38 og upp að jarðhitanum við slóðann upp á Kröflufjall og síðan til norðurs með hlíðinni. Þannig var farið yfir flestalla staði sem lýst er í skýrslu Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2011). Svæðunum er lýst frá norðri til suðurs. Við Þörungadýið norðaustan Vítis var ekkert gasuppstreymi eins og í fyrra en 2013 var töluvert gasuppstreymi í því. Mældur hiti var sá sami, um 12°C á 15 cm dýpi. Þessi staður var ekki skoðaður 2012 en hefur tekið breytingum frá lýsingum frá 2009 þar sem hiti var um 35–40°C en 2013 mældist enginn hiti í því (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2011). Lækjarspræna sem Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2011) lýsa sunnan við dýið var nánast þurr í fyrra en í ár var töluvert vatn í henni en allt kalt.

Í miðjum hlíðum Kröflu (norðan við slóðann upp á fjall) eru leirskellur (G-32) með hita frá 50–94°C en ekkert gufustreymi greindist frekar en árið 2013. Við Litlahver (G-33) sunnan við slóðann upp á Kröflufjall, miðja vegu milli G-32 og G-28, sáust nokkrir ummyndunarflekkir. Þar mældist mesti hiti 96°C og hvissaði svolítið í gufu. Í flekkjunum eru leirop, hverasölt þar sem meginvirknin er, en í útjaðri þeirra er hiti tæpar 50°C (mynd 54). Við G-38 var smá gufustreymi og hiti (95–96°C) í þremur litlum skellum (1x1–1x2 m) en töluverð virkni var hjá G-28. Suða var í lækjarfarveginum og gufustreymi beggja vegna við lækinn og leirhveravirkni austan við hann (mynd 55). Hiti í læknum mældist 95–96°C. Almennt virðist jarðhitavirknin í norðurhluta Vesturhlíða Kröflu ekki hafa verið mikil undanfarin ár skv. Jóni Benjamínssyni og Trausta Haukssyni (2011) og Sigurði G. Kristinssyni o.fl. (2013a, 2013b, 2014).



Mynd 54. *Litlihver (G-33) sunnan við slóðann upp á Kröflufjall. Lítil gufuvirkni en innan flagsins eru heitir blettir með hverasöltum og leiropum. Mesti hiti er 96°C. Ofar glittir svo í ummyndunarskellur (G-32) norðan vegar en engin gufuvirkni var frá þeim og hiti 44–96°C.*



Mynd 55. *G-28. Gufuvirkni 2015 var mest í árfarveginum þar sem vatn rann yfir sjóðandi jörð en heit skella er beggja vegna farvegarins með gufustreymi og leirhverum.*

Handan við hrygginn til vesturs frá G-28, mitt á milli G-28 og G-30 (sem var kalt) er Hækjan, ílöng (8 x 1,5 m) brennisteinsþúfa í brattri hlíð. Við hana mátti greina kísil, gifs og brennisteinsútfellingar og gufaði upp úr henni á nokkrum stöðum (brennisteinslykt). Hiti í gufustreymi var 97°C.

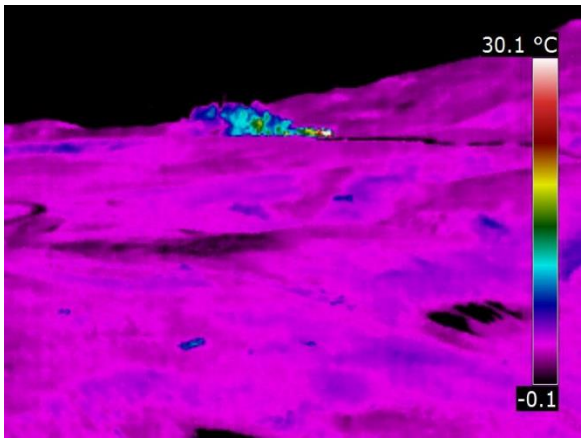
Stórihver (G-29), sem myndaðist um eða upp úr 1980 og var mjög áberandi í Vesturhlíðunum, hefur dalað smám saman. Töluverðar breytingar urðu á svæðinu árin eftir að hann kom fyrst upp. Hverinn eða öllu heldur hverirnir voru leirhverir ásamt gufuhverum. Á svæðinu voru áður fyrr tekin sýni (G-17 og G-29) en undanfarin ár hefur virkni verið mjög lítil. Í skýrslu Jóns og Trausta (2010) er sagt að gufað hafi upp úr svæðinu en ekki hafi verið farið á svæðið heldur það aðeins skoðað úr sjónauka. Neðan við Stórahver er síðan laugasvæði (mynd 56). Í ár sem og í fyrra var engin yfirborðsvirkni í skálinni þar sem Stórihver var. Laugasvæðið fyrir neðan var hins vegar vel virkt. Frá því runnu um 2–3 L/s með hita um 35°C en mesti hiti var 70°C efst á laugasvæðinu. Önnur laug er 70 m norðar og virðist ekki tengjast þessu svæði. Rennsli hennar var um 0,5 L/s af 34°C heitu vatni. Melskellurnar sem Jón og Trausti nefna í skýrslum sínum liggja nokkurn veginn milli G-28 og G-29 (Stórahvers). Ekki var vart við neina yfirborðsvirkni á því svæði.

Á hitamyndum sem teknar eru frá Rauðhól er ekki mikið að sjá en vesturbarmur Hveragils skyggir á neðsta hluta vesturhlíða Kröflu. Á hitamyndunum (mynd 57; hitamyndir 2, 3 og 4) má þó sjá staka blettir í fjallinu ofan við holu K-15 en líklega er þetta svæðið við Hækju og Stórahver (G-29) og laugarnar þar fyrir neðan. Sunnar með hlíðinni koma svo stöku blettir fram í hitamyndunum (mynd 57, hitamyndir 5 og 6) en það er virknin við mynni Hveragils og

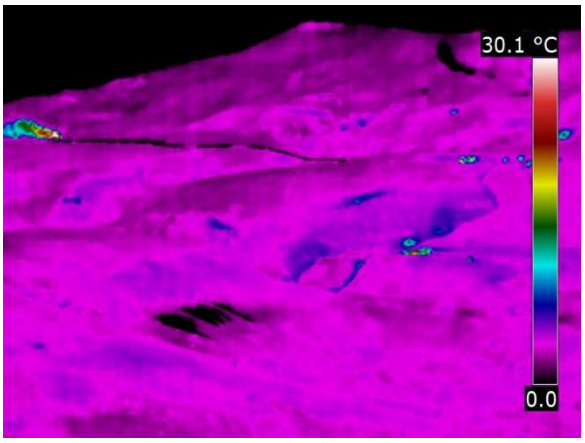
þar suður af. Á þessum myndum má sjá nokkra hitaaukningu frá myndunum í fyrra, í og við Litla-Víti og stemmir það við aukna virkni við gufuopið neðan Litla-Vítis.



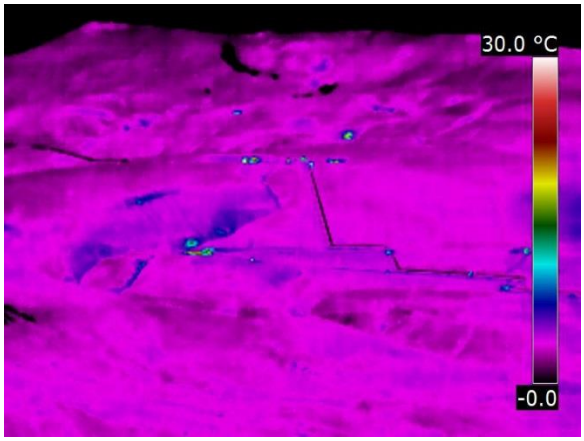
Mynd 56. *Laugarnar neðan Stórahvers (G-29). Mesti hiti er 70°C. Hiti í afrennsli svæðisins er 34°C og rennslið um 2–3 L/s. Hækjan er vestan í hryggnum sem G-28 liggur austan við. Brennisteinsútfellingar. Hiti í gufu er 97°C. Toppur Kröflufjalls er í baksýn til vinstri*



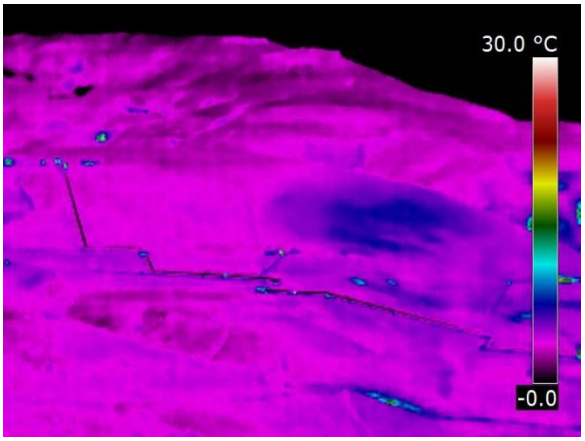
1. *Hola K-38 í blæstri ofan við Tvíburavötn*



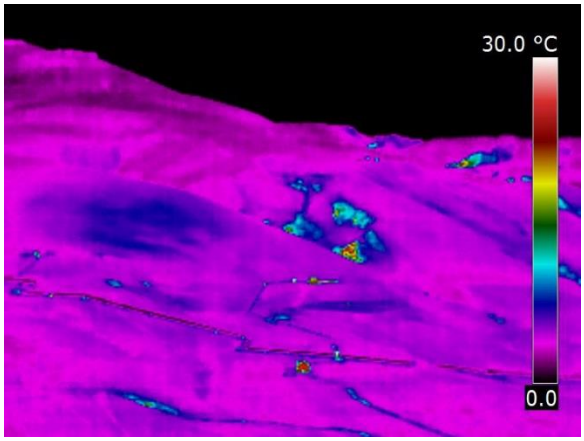
2. *Kröflufjall og holur K-15, K-32 og K-33*



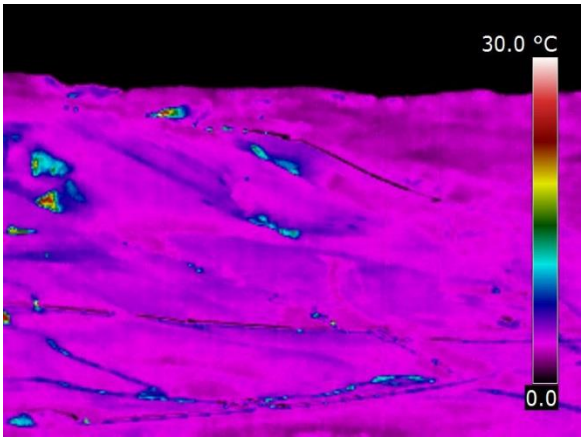
3. *Holur K-15, K-32 og K-33 í blæstri*



4. *Jarðhitinn fremst í Hveragili.*



5. *Litla-Víti og gufuopið fyrir miðju*



6. *Tvær heitar skellur sunnan Hveragils*

Mynd 57. *Hitamyndir af Vesturhlíðum Kröflu. Myndirnar eru teknar til austurs frá Rauðhól (myndatökustaður 6, mynd 41). Lítil sem engin virkni sést í efri hluta fjallsins. Nokkur velgja og heitir staðir eru þó í gilskorningum neðan til í Vesturhlíðum Kröflu en vesturbarmur Hveragils byrgir sýn á neðsta hluta Vesturhlíða. Litla-Víti og gufuopið koma vel fram í Hveragilskjaftinum (mynd 5).*

3.1.7 Suðurhlíðar

Suðurhlíðar Kröflu eru skornar mörgum giljum og úr fjarska má víða sjá ummyndunarskellur (leir og brennistein). Virkir jarðhitastaðir eru nokkrir. Umhverfis holu K-16 eru talsverðar útfellingar; kísill, hverasölt og brennisteinn, hiti um 98,7°C og svolítil gufa. Neðan við K-16 við gamla sýnatökustaðinn G-5 (mynd 58) gufaði lítið eitt en ekki nóg til sýnatöku. Meiri hiti (95°C) var rétt ofan við hann. Í gamla sýnatökurörinu eru brennisteinsútfellingar en annars er hitinn á svæðinu bundinn við fjórar litlar skellur. Enginn annar hiti fannst í ummyndunarskellum sem koma fram t.d. í gilinu austan við. Ofan vegar frá holu K-16 í brekkunni eru tveir þornaðir hverabollar. Í framhaldinu til norðvesturs er ljósbrúnt leirlag, í miðjum flekknum gufaði lítið eitt og var hitinn frá 87–95°C. Vottur af brennisteinsútfellingum var við gufuútstreymið. Neðan við þennan stað eru þrír litlir blettir. Sá fyrsti er neðst í gilskorningi; hvítur leir og vottur af brennisteini, hiti 88°C. Annar blettur er fast við veginn (1x1 m), þar mældist hiti 97,7°C en engin gufa sást. Sá þriðji var neðan vegar, lítið gufuauga rétt ofan við holur K-20 og K-31. Þaðan var tekið sýni árið 2012 og 2014 (G-102) en 2013 var lítill kraftur í gufuauganu og hiti 88°C þegar sýnataka fór fram en viku síðar var meiri kraftur í auganu og hiti 96°C. Í ár var ekki nægur kraftur í auganu fyrir sýnatöku.



Mynd 58. *Jarðhitaskellan neðan holu K-16. Þarna er gamli sýnatökustaðurinn G-5. Þar hefur ekki verið næg gufa til að taka sýni undanfarin ár. Hiti um 95°C og smávægilegar brennisteinsútfellingar.*

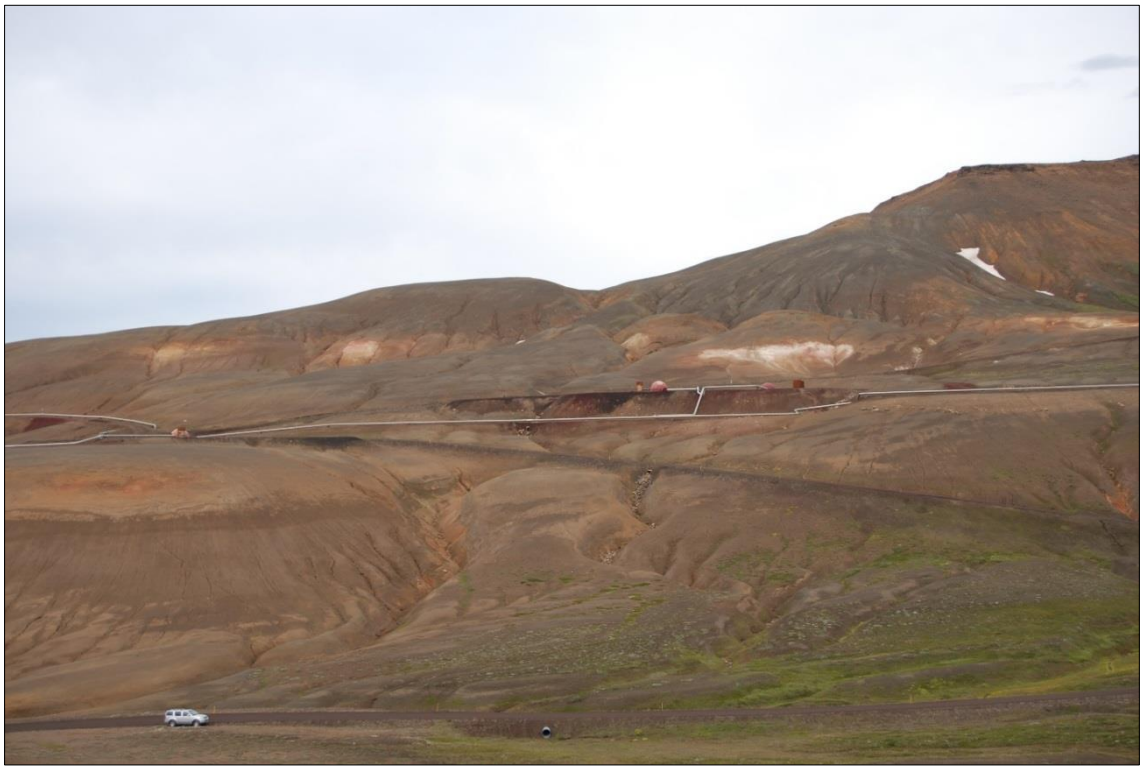
G-9 er gamall sýnatökustaður í ílöngu leirflagi með brennisteinsútfellingum og lítils háttar gufustreymi, hiti 92–98,5°C (mynd 59). Ekki var hægt að taka sýni þar frekar en í fyrra en gufan kom of dreifð upp í gegnum útfellingaskán. Í framhaldi til vesturs, í hlíðinni ofan (austan) við

K-19 og K-30, eru tvær heitar leirskellur með 76–96°C hita í vestari skellunni en 60–97°C í hinni. Svolítil gufa kemur upp og fylgja henni hverasölt og brennisteinn.

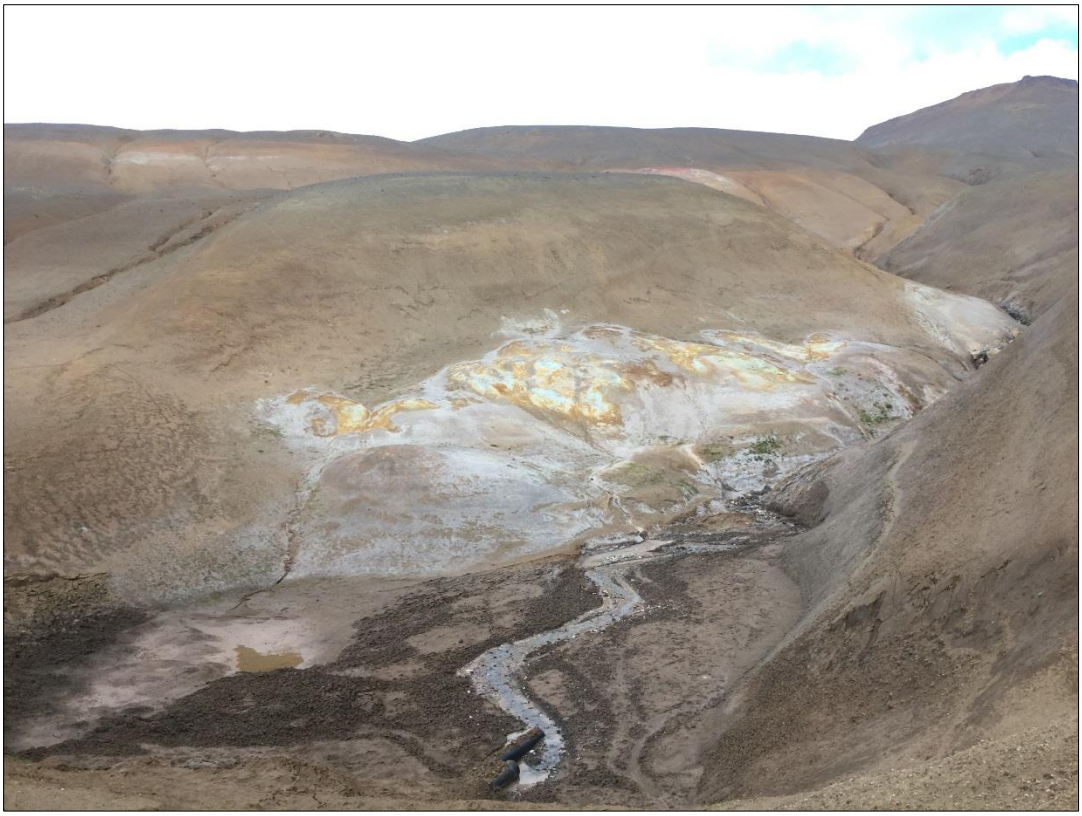
Í gili sem snýr til suðvesturs eru tvær heitar skellur ofan vegar að holum K-19 og K-30. Sú neðri er mjög heit (97°C) með smá gufuvirkni, hverasöltum og brennisteini (mynd 60) en við þá efri er heitur leir (74°C) en engin gufa. Neðan vegar í sama gili er svo stór jarðhitaskella (er í raun tvær um 15x5 m og 20x8 m) og fjórar minni. Nokkur gufuvirkni var þar og hiti var 95–97°C í gufuopum. Hverasölt, myndlaus kísill og heitur leir einkenna svæðið (mynd 61). Einnig voru brennisteinsútfellingar tengdar gufustreymi enda lyktar gufan þarna af brennisteinsvetni. Sýni var tekið á þessum stað í ár líkt og í fyrra en um er að ræða gamlan sýnatökustað, G-7.

Neðst og vestast í Suðurhlíðum ofan við holu K-12 er gilskorningur og þar gufaði lítið eitt frá einum bletti í annars volgu leirflagi (40–60°C). Hiti í gufunni var 98,4°C. Þessi staður var áður sýnatökustaður G-4 sem notaður var til viðmiðunar fyrir gufustreymi frá öðrum stöðum á svæðinu. Ekki hefur verið mikil virkni á þessum stað í mörg ár en hann dalaði svo mjög að upp úr 1988 var gufustreymi orðið mjög lítið (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2004). Mitt á milli G-4 og G-7 er stök brennisteinsþúfa. Engin gufa kemur frá henni en hitinn mælist 97,8°C.

Á hitamyndum (mynd 62) sem teknar voru af Suðurhlíðunum koma vel fram þær hitaskellur sem lýst hefur verið, nema þær sem eru ofan í giljum.



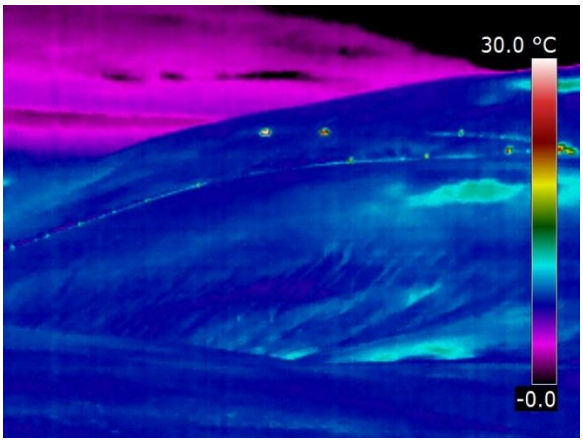
Mynd 59. *Suðurhlíðar. Ljósa flagið ofan við holur K-20 og K-31 er sýnatökustaður G-9. Ljósu leirflögin vinstra megin á myndinni eru bæði heit.*



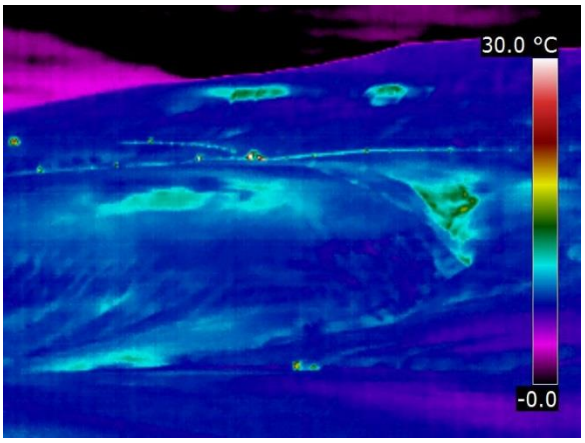
Mynd 60. *Ofan við veginn að holum K-19 og K-30. Heit skella, 95°C. Önnur minni skella er rétt ofar í gilinu. Þar er hiti >90°C en ekkert gufustreymi sást.*



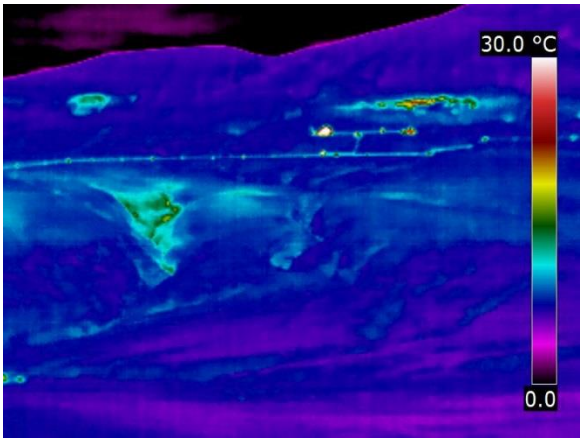
Mynd 61. *Nokkuð stór skella neðarlega í sama gili og sýnt er á mynd 60 (G-106, áður G-7). Mikill hiti og nokkurt gufustreymi. Hér var tekið sýni í ár eins og undanfarin ár.*



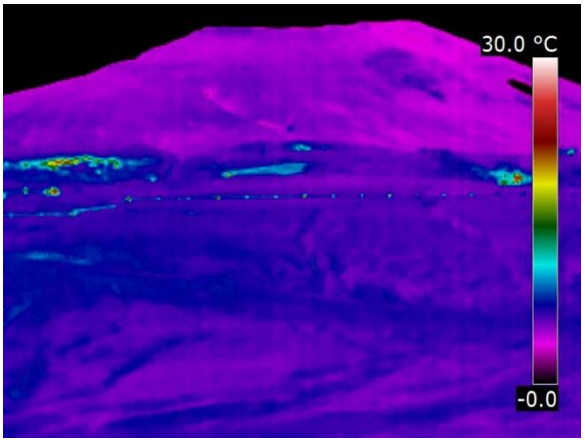
1. *Suðurhlíðar Kröflu. Holur K-19 og K-30*



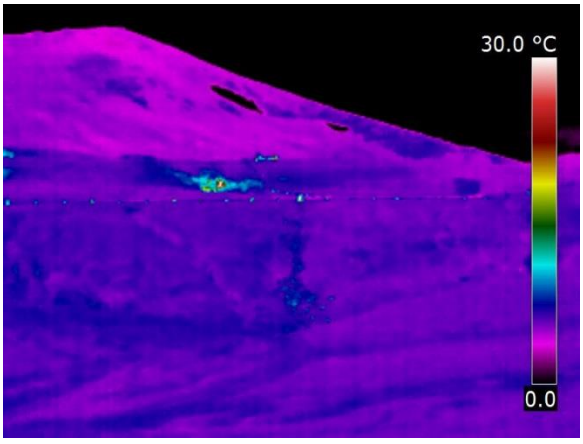
2. *Suðurhlíðar Kröflu*



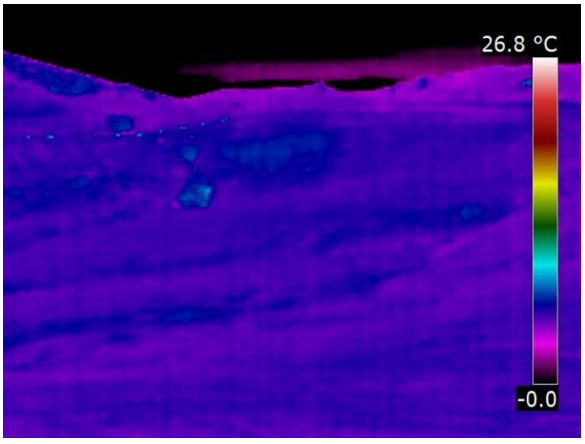
3. *Suðurhlíðar Kröflu. G-9 á miðri mynd*



4. *Suðurhlíðar Kröflu*



5. *Suðurhlíðar Kröflu. G-5 fyrir miðju*



6. *Suðurhlíðar Kröflu*

Mynd 62. *Hitamyndir af Suðurhlíðum frá myndatökustað 7 á mynd 41. Á hitamyndum 1 og 2 koma fram tvær heitar leirskellur (50–85°C). Austar, á myndum 3 og 4, er síðan ílanga skellan (G-9). Neðan vegar virðist vera smá velgja í gilskorningi sem og vestan við hann en ekki var mældur hiti þar. Austar á mynd 5 og 6 sést skellan neðan við holu K-16 (sýnatökustaður G-5).*

3.1.8 Hrafntinnuhryggur

Á tveimur stöðum austan og vestan hryggjarins norðan Grænutjarnar er virkur jarðhiti (sjá mynd 41). Í fyrra var hryggurinn skoðaður nokkuð vel en það hafði ekki verið gert árin á undan. Síðast var farið að hryggnum árið 2009 og gamlar útfellingaskellur skoðaðar og hitamældar. Enginn jarðhitavottur fannst þá en árið 2004 voru afbræðslublettir á hryggnum (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2004, 2010).

Í austanverðum Hrafntinnuhrygg sást jarðhitinn á þremur stöðum á litlu svæði, hitinn var frá 31,5–85,7°C. Jarðhitinn kom upp í miðjum hlíðum og sást ljós og rauð oxun í jarðveginum. Vestan hryggjar kom jarðhitinn líka upp í miðjum hlíðum í aflangri tungu sem teygir sig til vesturs frá hryggnum. Ummyndun er svipuð og austan hryggjar en við mesta hitann voru einnig hverasölt og smá brennisteinn. Hiti vestan megin var 47,5– 96,3°C.

3.1.9 Hvíthólar

Farið var yfir Hvíthólasvæðið og hiti mældur í ummyndunarskellum. Einnig voru teknar hitamyndir ofan af hólnum norðan við svæðið á myndatökustað 13 (mynd 41 og 65).

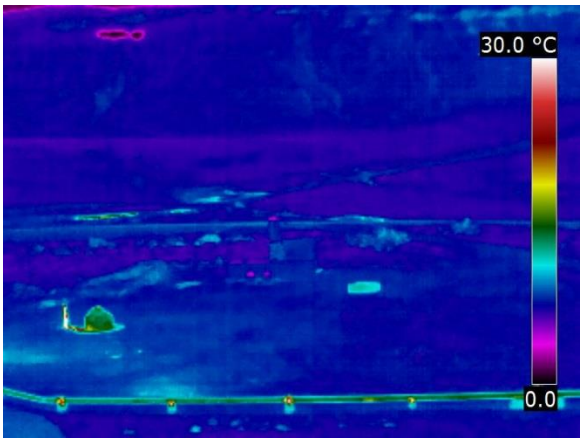
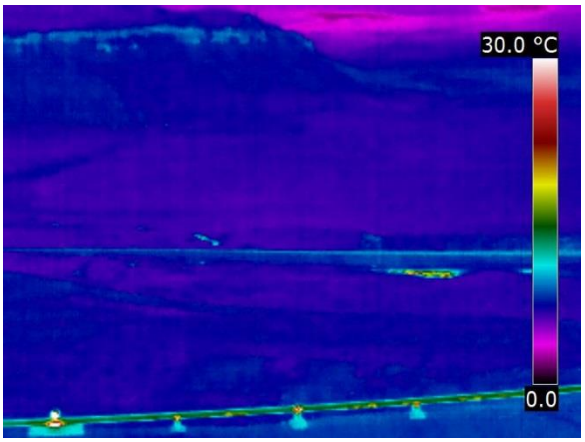
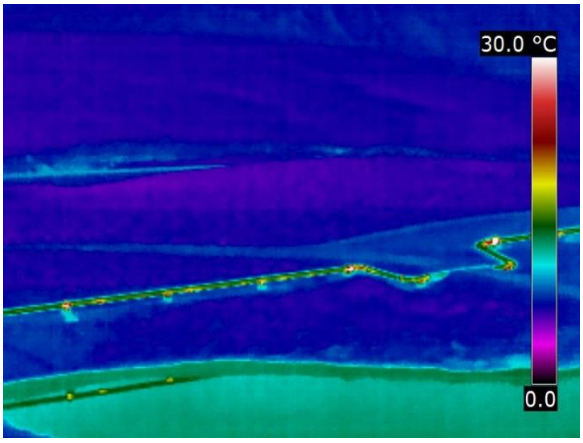
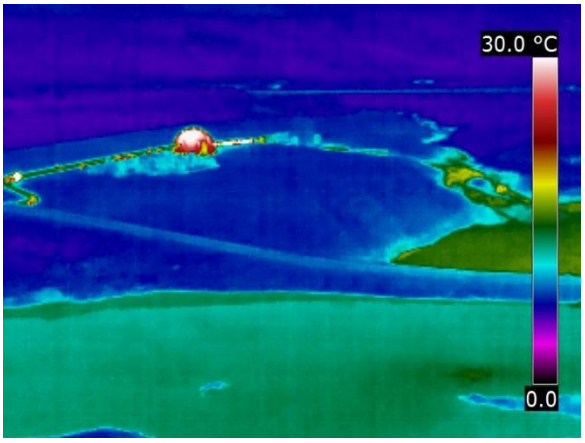
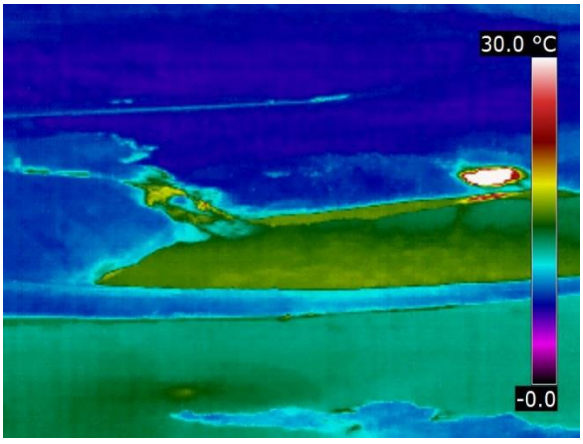
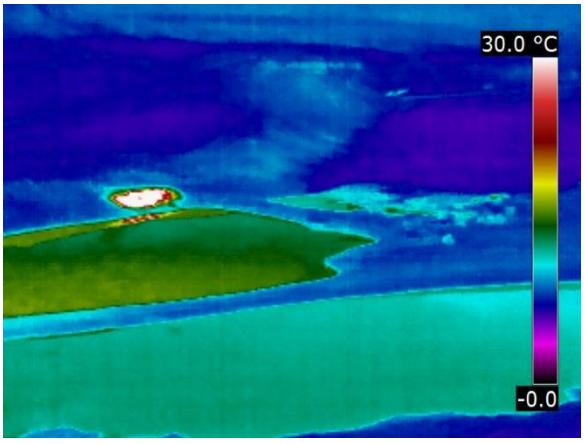
Jarðhitaskellan (10x3 m) sem liggur í misgenginu milli holna K-21 og K-23 var virk og gufaði lítið eitt úr henni. Hiti gufunnar mældist 99°C. Í skellunni eru hverasölt og kísil- og brennisteinsútfellingar. (mynd 63). Virkni var svipuð nú og 2014 en engin gufa sást þarna 2012. Austan við holu K-21 og sunnan vegarins að holunum er hringlaga ummyndunarblettur (ljós og rauður leir ásamt brennisteini) með velgju (20–50°C) en hærri hita (80°C) á afmörkuðu svæði. Þessi ummyndunarskella hefur númerið G-26 í skýrslum Jóns og Trausta (sjá heimildaskrá) og hefur verið að hjaðna undanfarin ár. Ekki var hægt að greina neina gufu frá G-26 árið 2015 frekar en undanfarin ár. Gufuhverinn á milli holna K-22 og K-23 var undir vatni í ár. Þessi gufuhver myndaðist 1987 og hefur verið nokkuð virkur síðan þá með litlum breytingum milli ára. Gömlu ummyndunarskellurnar í Hvíthólum (ljós leir og gifsútfellingar) sem eru í skarðinu sunnan Hvíthóla voru allar kaldar. Gegnt þeim til vesturs, ofarlega í kantinum, gufaði upp um nokkur op. Hiti í opunum var 35–45°C nema í einu þar sem hitinn fór upp í 97,5°C. Ekki fannst brennisteinslykt af gufunni. Gróður, þ.e. mosi, var áberandi öðruvísi í kringum hitann. Rauður leir var undir hraunkantinum. Þessum stað hefur ekki áður verið lýst sem og smá gufuvirkni ofan á hryggnum en þar mældist hiti 55°C í gufunni (mynd 64).



Mynd 63. *Skella við Hvíthóla, 10x3 m á stærð. Það gufar lítið eitt, svipað og í fyrra, en ekki varð vart við gufu frá staðnum líkt og 2012. Brennisteinn, hverasölt og myndlaus kísill. Mesti hiti 99°C. Skellan liggur á misgengi milli holna K-21 og K-23. Hljóðdeyfir K-22 í bakgrunni*



Mynd 64. *Ljósleitur mosagróður í kringum hitaopin. Hiti í gufu 55°C. Rétt austan við þennan stað er einnig heit jörð með smá gufustreymi en þar mældist hiti 97,5°C á einum stað. Engin brennisteinslykt var af gufunni. Þessi staður er vestan við mestu ummyndunina.*

	
1. *Hola K-22 við Hvíthóla*	**2.** *Bletturinn ofarlega á mynd er G-26*
	
3. *Framhald til suðurs*	**4.** *Hola K-21*
	
5. *Hola K-21 og gufuhverinn*	**6.** *Gufuhverinn og skellan vestan við K-21*

Mynd 65. *Hitamyndir frá Hvíthólum (myndatökustaður 13, mynd 41). Virki jarðhitinn kemur vel fram. Ekki verður vart við annan hita á svæðinu á myndunum.*

3.1.10 Sandabotnaskarð og Leirhóll

Keyrt var um skarðið inn að vatnsbólum Kröfluvirkjunar. Hiti var mældur í nokkrum ummyndunarskellum sem reyndust allar kaldar og engin yfirborðsvirkni var sjáanleg. Enga gufuvirkni var að sjá í ummyndunarskellum við Leirhól í Sandabotnaskarði. Hiti var mældur í nokkrum ummyndunarskellum en allar reyndust þær vera kaldar.

3.1.11 Niðurstöður

Sumarið 2015 var farið um Kröflusvæðið, jarðhitavirkni skoðuð og ljósmyndir og hitamyndir teknar. Farið var á flest alla þá staði sem eftirlit hefur verið haft með í gegnum árin.

Virkni í Vesturhlíðum Kröflu er frekar lítil en virkar skellur eru þó neðarlega í hlíðinni á svæðinu frá G-33 að Hækjunni. Virknin virðist vera svipuð og hefur verið undanfarin ár. Í Suðurhlíðum er nokkur virkni á stökum og afmörkuðum blettum. Í Hveragili er virkni svipuð og undanfarin ár en þó eru smávægilegar breytingar; gufuopið neðan við Litla-Víti, sem opnaðist með miklum krafti 2009 og hefur verið að dala síðustu ár, var kraftmeira nú en undanfarin ár. Gufustreymi var mun meira og kemur aukin virkni fram á hitamyndum. Við Leirhnjúk var virknin á hverasvæðinu með minna móti en gufuvirkni virtist vera meiri í toppi hnjúksins. Virknin einkennist af gufu, brennisteins- og leirhverum, nokkuð gufaði úr gosgígnum Hóf og í gossprungunni norður eftir. Í Hvíthólum voru þrjár heitar skellur á meginsvæðinu við borholurnar en einnig gufaði upp um op sunnar á svæðinu sem ekki hefur áður verið lýst. Í Sandabotnaskarði var allt kalt. Við Hrafntinnuhrygg voru heitar skellur beggja vegna hryggjar en virknin fremur lítil.

Almennt gildir fyrir Kröflusvæðið að þar hafa litlar breytingar orðið frá lýsingu Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2011) og athugunum ÍSOR undanfarin þrjú ár (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a, 2013b, 2014).

3.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum í Kröflu

3.2.1 Sýnatökustaðir í Kröflu

Þremur gufusýnum var safnað í Kröflu miðvikudaginn 12. ágúst við ágæt skilyrði, björtu og fögru veðri. Yfirlit um sýnatökustaði er í töflu 4 og staðsetning þeirra sýnd á mynd 66 ásamt öðrum gufuaugum í Kröflu sem sýni hafa verið tekin úr (Halldór Ármannsson og Trausti Hauksson, 1980; Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2011; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a, 2013b, 2014). Sýnatöku- og efnagreiningaraðferðum er lýst í viðauka 2 hér að aftan.

Til stóð að safna sýnum úr fjórum gufuaugum og svo vel vildi til að fjögur þeirra sex gufuaugna sem safnað var úr sumarið 2014 voru enn í fullu fjöri. Ákveðið var að safna sýnum úr þremur þeirra; G-104 í hlíðum Leirhnjúks, G-107 í gígskál norðan Vítis og G-106 í gili neðan holu K-14. Fjórða augað sem gaf færi á sér var auga G-109 við norðanverðan Leirhnjúk en þar eð niðurstöður fyrir það voru keimlíkar auga G-104 þótti ekki ástæða til að taka tvö sýni við Leirhnjúk að sinni. Hins vegar fannst enginn góður sýnatökustaður í Vesturhlíðum. Auga G-108 (G-38) var dautt úr öllum æðum og auga G-28, þar skammt frá lá í lækjarfarvegi, var ósýnatækt. Eina gufuvirknin sem sást í Vesturhlíðum ofan Jónshvers var í lækjarfarvegum og í Hækjunni, þar sem gufaði talsvert undan brennisteinshellu, en gufan var bæði frekar köld (97°C) og ófókuseruð. Í Hveragilinu var mikil virkni en engir heppilegir sýnatökustaðir. Við Tvíburavötn var svolítið líf í auganu G-105, þó ekki nógu mikið til að taka mætti sýni úr því, en augað G-103 var steindautt. Einnig var gáð að gufum við Hvíthóla en ekki þótti vænlegt að

safna sýnum þar þótt nokkuð gufaði upp úr hrauninu norðan vegarins að K-21 og einnig úr leirskellu sunnan vegarins.

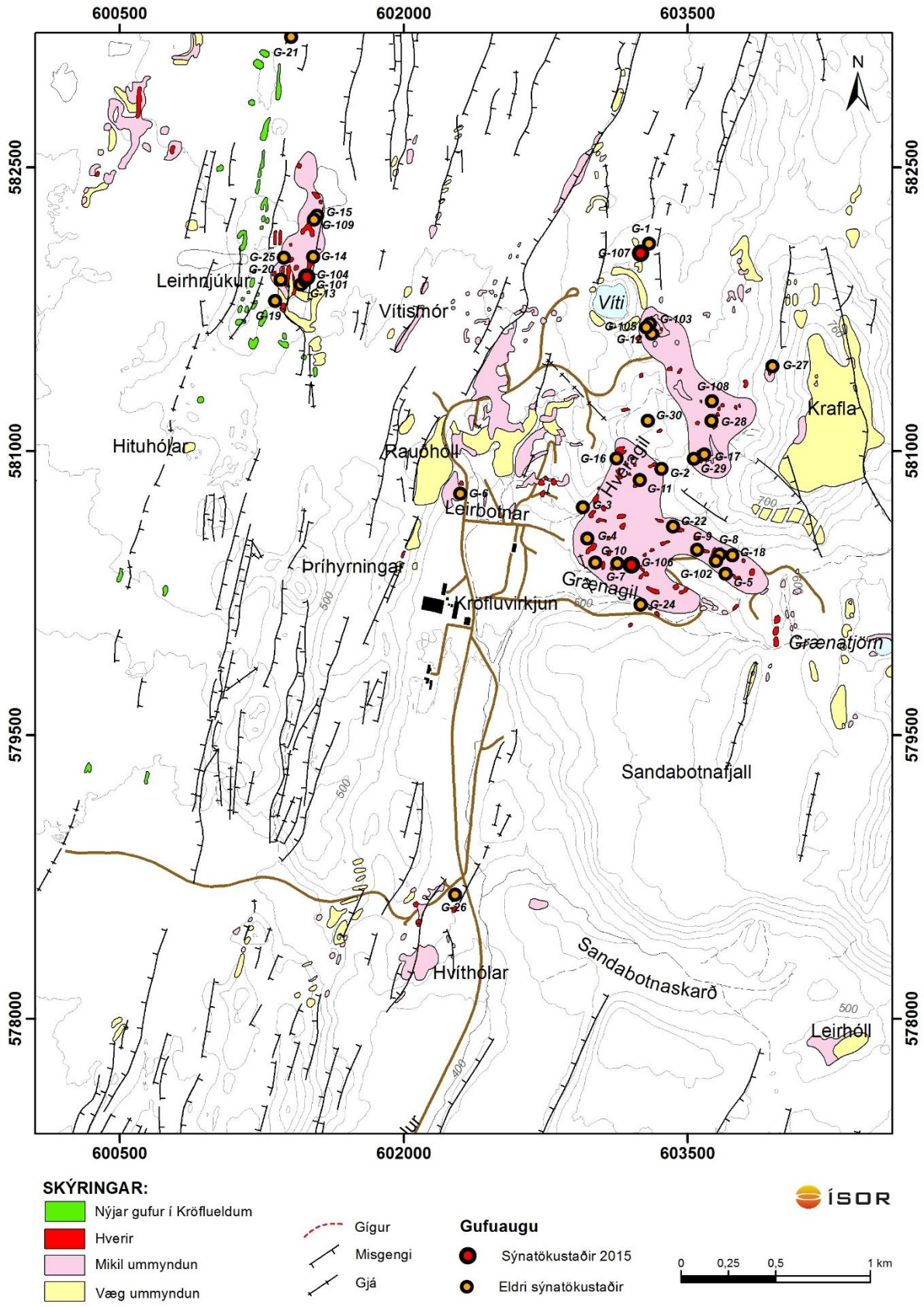
Því varð úr að einungis þremur sýnum úr gufuaugum var safnað á Kröflusvæðinu sumarið 2015. Sýnatökustöðunum er lýst nánar hér á eftir. Í gagnagrunni ÍSOR eru sýnatökuaugu áranna 2012–2015 í Kröflu kölluð „K G-101“ og svo framvegis til að forðast rugling við gufuaugu á öðrum svæðum en í texta og á myndum hér á eftir eru nöfn gufuaugna víða stytt í „G-101“ til einföldunar.

Tafla 4. *Sýnatökustaðir í Kröflu í ágúst 2015.*

Nafn auga*	Staðar-númer	Eldri sýni**	x-hnit	y-hnit	Hæð (m y.s.)	Lýsing
G-104	H 10198	G-13/-101	601488	581921	572	Í flagi í austurhlíð Leirhnjúks
G-106	H 10200	G-7	603204	580399	541	Ofarlega í gili neðan við holu K-14
G-107	H 93514	G-1	603252	582046	589	Í gígskál norðan Vítis

* *Nöfn gufuaugna eru stytt. Fullt nafn í gagnagrunni ÍSOR er „K G-104“ o.s.frv.*

** *Hér er vísað til gufuaugna sem lýst er í skýrslum Halldórs Ármannssonar og Trausta Haukssonar (1980), Trausta Haukssonar og Jóns Benjamínssonar (2011) og Sigurðar G. Kristinssonar o.fl. (2013a, 2013b, 2014).*



Mynd 66. *Gufuaugu í Kröflu. Gufuaugu sem safnað var úr sumarið 2015 eru sýnd með rauðum táknum.*

K G-104: Öflugt gufuauga ofarlega í stóru leirflagi í austurhlíð Leirhnjúks (myndir 66 og 67). Þetta auga er hið neðsta þriggja álitlegra gufuaugna á hrygg utan í leirskellu þar sem virkni var umtalsverð 2015. Augað er talið vera á sömu slóðum og hið forna G-13, svo og auga G-101 sem safnað var úr árið 2012. Talsverð virkni var í flaginu og gnótt góðra sýnatökustaða.

K G-106: Kröftugt gufuauga neðarlega í allstórri leirskellu ofarlega í gili sem liggur niður frá holu K-14. Augað er nærri gamla G-7 (myndir 66 og 68). Fleiri álitleg augu voru í þessari skellu (myndir 66 og 68) en aðgengi var þægilegast að þessu, sem var neðst í henni. Einnig virtist nokkur virkni vera neðar í gilinu.

K G-107: Nokkur gufuvirkni er í brúnum beggja skálanna norðan Vítis, mest þó í norðurbrún þeirrar dýpri, þar sem allnokkur kröftug gufuaugu eru í sömu leirskellunni, á sömu slóðum og G-1 mun hafa verið. Augað sem varð fyrir valinu var ofarlega í skellunni austanverðri, allkröftugt, vel fókuserað og aðgengilegt (myndir 66 og 69).



Mynd 67. *Gufuaugað K G-104 í austurhlíð Leirhnjúks. Horft til norðausturs.*



Mynd 68. *Gufusýnataka úr gufuauga K G-106 í gili vestan við holu K-14.*



Mynd 69. *Undirbúningur sýnatöku úr gufuauga K G-107 í gígskál norðan Vítis.*

3.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga

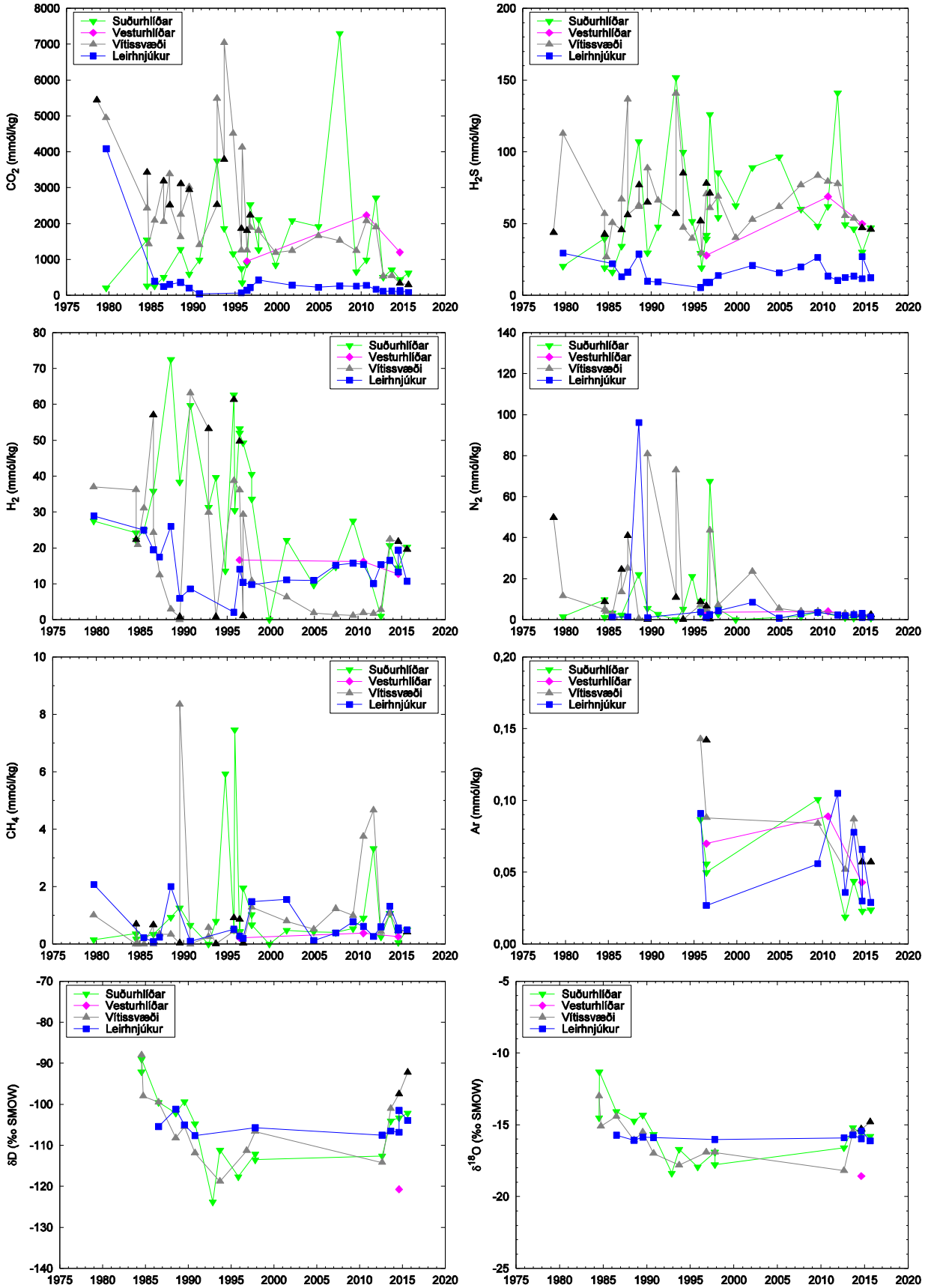
Niðurstöður efnagreininga sýna sem tekin voru á Kröflusvæðinu sumarið 2015 eru sýndar í töflu 5 og á mynd 70 ásamt efnasamsetningum eldri sýna úr öðrum gufuaugum á svipuðum slóðum. Auk sýnanna sem safnað var úr G-104, G-106 og G-107 í ágúst, eru sýnd eldri gögn frá öðrum augum á sömu slóðum. Þar er um að ræða gufuaugun G-15, G-19, G-101 og G-109 í Leirhnjúki, G-5, G-7 og G-102 í Suðurhlíðum, G-12, G-103 og G-105 við Tvíburavötn austan Vítis, G-1 í gígskál norðan Vítis, og G-38 og G-108 í Vesturhlíðum. Sýnum sem eru augljóslega menguð andrúmslofti er sleppt á myndum af N_2 og Ar.

Efnagreiningar eldri sýna eru fengnar úr skýrslum og gögnum Orkustofnunar (Jón Benjamínsson, 1985, 1999; Jóns Benjamínsson og Trausti Hauksson, 1988, 1989, 1990, 1993, 1994, 1995, 1996, 1998, 2000, 2001; 2004, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012), Stefáns Arnórssonar o.fl. (1995, 1996) og Sigurðar G. Kristinssonar o.fl. (2013a, 2013b, 2014), og eru þær sýndar í töflum V-12 til V-17 í viðauka 1 ásamt vísunum í frumheimildir.

Tafla 5. *Efnasamsetning gufusýna úr Kröflu sumarið 2015.*

Sýni	20150257	20150258	20150259
Dagsetning	12.8.2015	12.8.2015	12.8.2015
Staður	K G-104	K G-107	K G-106
Hitastig (°C)	98,2	98,4	99,2
Gasstyrkur í gufu (mmól/kg)			
CO_2	84,8	293	625
H_2S	12,3	46,1	47,2
H_2	10,7	19,5	20,3
CH_4	0,499	0,425	0,500
N_2	1,39	2,46	0,836
O_2	<0,01	<0,01	<0,01
Ar	0,029	0,057	0,024
Steinefni í þéttivatni (mg/kg)			
Cl	0,21	0,02	0,02
B	0,03	0,03	0,04
Samsætur í þéttivatni (‰SMOW)			
$\delta^{18}O$	-16,11	-14,80	-15,79
δD	-103,9	-92,2	-102,1

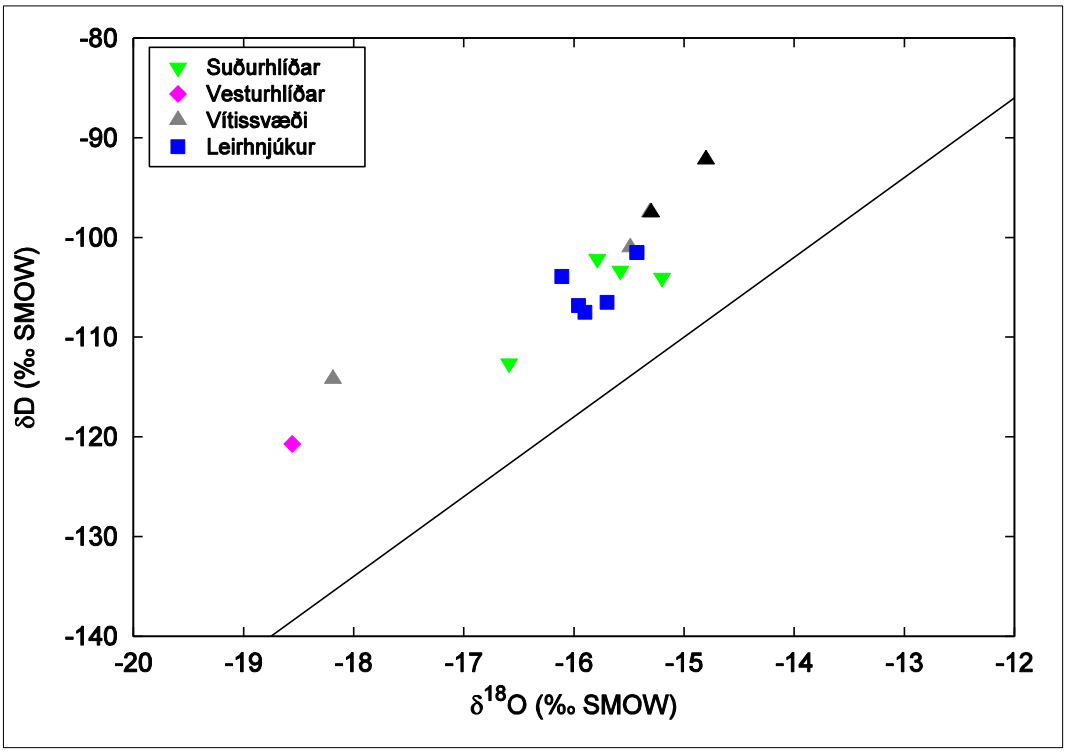
Í töflu 6 er sýndur reiknaður djúphiti út frá mældum styrk hinna ýmsu gastegunda. Notast er við kvarðanir Stefáns Arnórssonar o.fl. (1998) sem reiknaðar eru út frá ætluðu jafnvægi við steindafylkin klínózóisít-kalsít-kvars-prehnít (CO_2) og pýrít-pyrrhótít-prehnít-epidót (H_2S og H_2). Fyrir Vítissvæði og Suðurhlíðar er notuð sú kvörðun CO_2-hitamælisins sem gerir ráð fyrir talsverðu CO_2-flæði frá kviku, þrátt fyrir að það hafi talsvert dregist saman miðað við árin um og eftir Kröfluelda. Þessi kvörðun CO_2-hitamælisins á síður við um Leirhnjúkssvæðið enda komu áhrif kvikugass hraðar fram þar og dofnuðu jafnframt hraðar og fyrir sýni úr Leirhnjúk er því hér notast við þá kvörðun gashitamælisins sem gerir ekki ráð fyrir miklu CO_2-flæði frá kviku.



Mynd 70. *Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum í Kröflu. Sýni frá Vítissvæði eru ýmist frá Tvíburavötnum (grá tákn) eða gígunum norðan Vítis (svört tákn).*

Tafla 6. *Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áranna 2012–2015 af Kröflusvæðinu, skipt eftir svæðum. Notast er við kvarðanir Stefáns Arnórssonar o.fl. (1998). Tölum í sviga er sleppt við útreikninga á meðaltali ($\bar{x}$) og staðalfráviki (σ).*

Sýni	Auga	T_{CO2}	T_{H2S}	T_{H2}	$T_{CO2/N2}$	$T_{H2S/Ar}$	$T_{H2/Ar}$	$\bar{x}$	σ
20150257	G-104	290	(255)	298	294	277	285	289	9
20140256	G-109	315	282	323	281	276	281	293	20
20140257	G-104	299	(254)	307	313	275	289	297	15
20130248	G-104	309	(259)	316	285	(253)	274	296	20
20120188	G-101	284	(256)	313	292	272	289	290	15
20150259	G-106	303	301	324	323	295	284	305	16
20140259	G-106	323	286	311	(364)	309	296	305	14
20130250	G-106	(347)	301	326	(422)	303	290	305	15
20140258	G-102	328	301	(228)	261	257	(199)	315	19
20120189	G-102	329	303	(227)	(393)	331	(247)	321	16
20150258	G-107	(340)	302	325	(417)	321	302	313	12
20140254	G-107	309	302	329	327	296	286	308	17
20130249	G-105	333	306	330	346	(288)	(278)	329	16
20120190	G-103	332	308	(254)	342	303	(247)	321	19
20140255	G-108	(377)	304	305	(403)	306	281	299	12



Mynd 71. *Samsætuvik sýna áranna 2012–2015 úr gufuaugum á Kröflusvæðinu, ásamt úrkomulínu Craigs (1961).*

K G-104: Styrkur CO_2 og H_2S hefur jafnan verið mun lægri í Leirhnjúk en í hlíðum Kröflu og svo er enn (styrkur CO_2 í nýjasta sýninu úr austurhlíð Leirhnjúks er 85 mmól/kg samanborið við 290 og 620 mmól/kg í augum á Vítissvæðinu og Suðurhlíðum). Styrkur H_2S og H_2 er sömuleiðis heldur lægri en á hinum svæðunum þótt ekki muni eins miklu; H_2S mælist 12 mmól/kg og H_2 um 11 mmól/kg. Samsætugildum fyrir gufuaugu í Leirhnjúki ber ágætlega saman milli ára. Tvívetnisgildi eru á bilinu -108 til -100‰ og súrefnishliðrun um -2‰. Styrkur bórs mælist 0,03 mg/kg en klóríð er hærra; 0,21 mg/kg. Reiknaður meðalgashiti fyrir sýnið frá 2015 er nú 289°C sem er heldur lægra en undanfarin ár. H_2S-hitamælinum er sleppt þegar meðaltalið er reiknað þar eð hann gefur marktækt lægri gildi en hinir gashitamælarnir.

K G-106: Gasstyrkur í auga G-106 er heldur hærri nú en árið 2014 en gildin þá voru reyndar óvenju lág. Nú mælist styrkur CO_2 um 625 mmól/kg og H_2S styrkur er 47 mmól/kg sem er mjög svipað og árið 2013. Almennt hefur gasstyrkur í Suðurhlíðum flökt umtalsvert en þau gildi sem mælast nú eru vel innan þess bils sem dæmigert getur talist. Styrkur klóríðs og bórs í þéttivatni er mjög lágur, 0,02 og 0,03 mg/kg. Samsætugildi breytast lítið milli síðustu þriggja ára; tvívetnisgildið er -102‰ og súrefnishliðrun -2‰. Meðalefnahiti reiknast 305°C, sem stemmir upp á punkt og prik við gildi síðustu ára.

K G-107: Svo virðist sem áhrif kvikugass í Kröflueldum hafi verið mest á Vítissvæðinu og þar hefur styrkur CO_2 lengst af verið hæstur, þótt nú mælist gasstyrkur hæstur í Suðurhlíðum. Sýnið 2015 er tekið úr gígbarmi norðan Vítis líkt og árið 2014 en næstu ár á undan var sýnum safnað við Tvíburavötn. Niðurstöðurnar fyrir gasið hafa hins vegar verið mjög áþekkar síðan 2012. Styrkur CO_2 mælist um 290 mmól/kg og styrkur H_2S er 46 mmól/kg. Styrkur H_2 er um 20 mmól/kg og styrkur Cl og B í þéttivatni er lágur; 0,02 og 0,04 mg/kg. Samsætugildi þokast upp á við milli ára, tvívetnisgildið er -92‰ og hefur hækkað úr -101‰ árið 2013. Enn lægra gildi (-114‰) mældist árið 2012 en það kann að vera vegna þéttingar sýnisins. Súrefnishliðrun er um -2‰, líkt og á hinum svæðunum í Kröflu. Gashitamælar gefa meðaltalið 313°C en þá er CO_2 og CO_2/N_2 hitamælunum sleppt. Þetta er eilítið hærra en árið 2014, þá var meðaltalið 308°C.

3.2.3 Samantekt

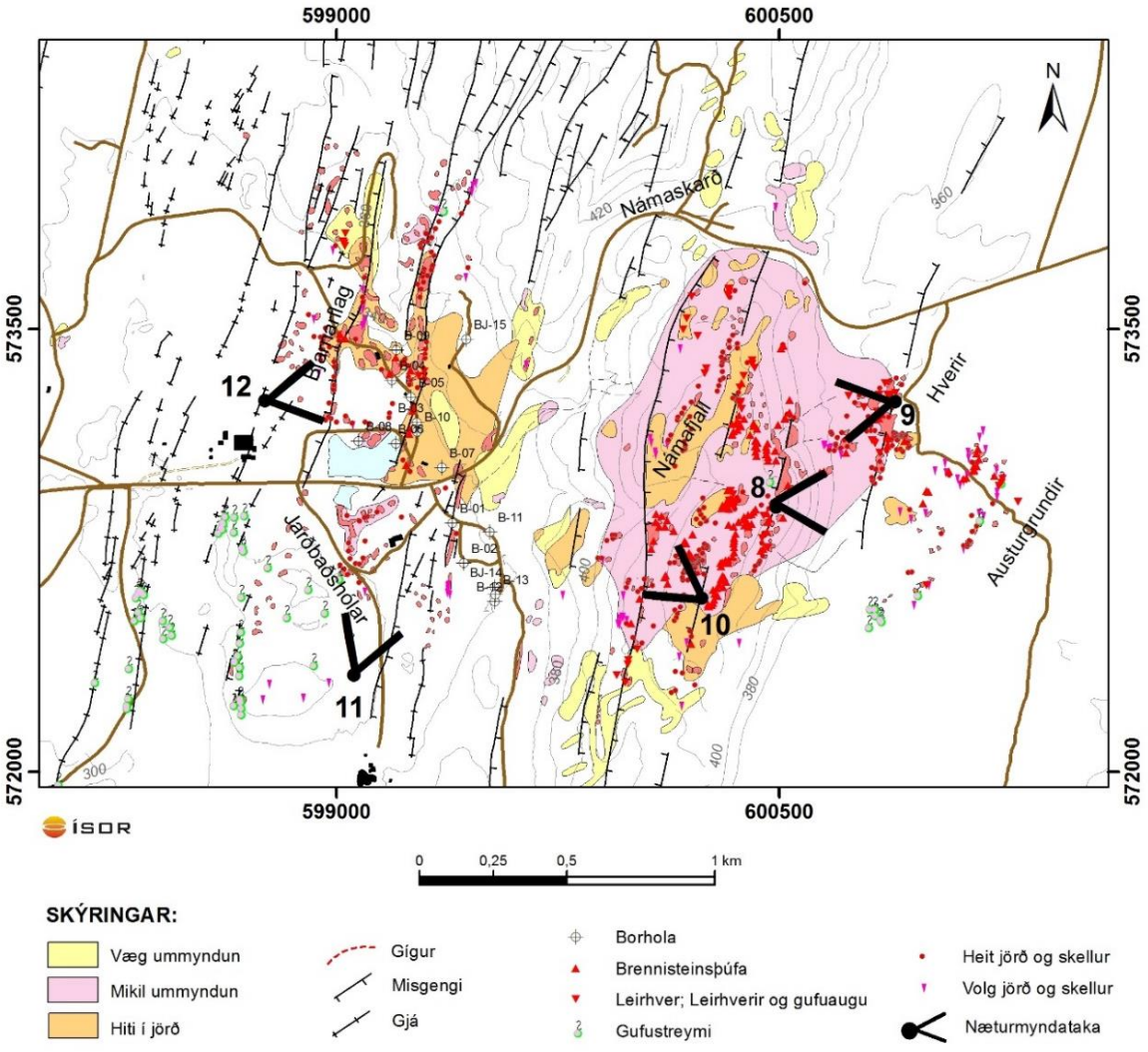
Gufan sem stígur upp af Suðurhlíðum Kröflu og Vítissvæðinu er mun gasríkari en gufan í Leirhnjúk. Samanlagður gasstyrkur í sýnum ársins er um 110 mmól/kg í Leirhnjúk en hér um bil 360 mmól/kg við Víti og 690 mmól/kg í Suðurhlíðum. Þar er jafnframt hæsta CO_2/H_2S hlutfallið, um 13, en sama hlutfall er 6–7 við Leirhnjúk og Víti. Sögulega virðist gasstyrkur flökta meira í Suðurhlíðum en á hinum svæðunum. Gashiti reiknast heldur lægri í Leirhnjúk en í kringum Kröflu, þ.e. 290°C í stað 305–315°C. Styrkur Cl mælist nú 0,02–0,2 mg/kg í þéttivatni en var iðulega hærri en 1 mg/kg á árunum um og eftir Kröfluelda (sjá t.d. samantekt hjá Jóni Benjamínssyni og Trausta Haukssyni, 1998). Styrkur B í þéttivatni mælist undir 0,05 mg/kg í öllum sýnum.

Samsætugildi í gufuaugum í Suðurhlíðum og við Leirhnjúk eru býsna stöðug, á bilinu -110 til -100‰, í flestum sýnum. Meiri hreyfing hefur verið á samsætugildum í sýnum af Vítissvæðinu, og sýni síðustu tveggja ára sem safnað var norðan Vítis (svört tákn á mynd 71) eru áberandi þyngri, með $\delta D > -100‰$. Sýni frá Tvíburavötnum 2012 hefur líklega þést að einhverju marki og hið sama á væntanlega við um sýni úr Vesturhlíðum 2014. Súrefnishliðrun er svipuð í öllum sýnum, hér um bil -2‰. Gufusýnin eru almennt léttari en sem nemur áætluðu innstreymi í kerfið, nema sýnin sem safnað var norðan Vítis. Sennilega er það til marks um að gufan sé að hluta til soðin upp af blöndu jarðhitavatns og grunnvatns.

4 Námafjall

4.1 Yfirborðsvirkni í Námafjalli

Námafjallssvæðið er notað sem yfirheiti yfir jarðhitasvæðið sem skiptist í eftirfarandi fimm undirsvæði og er þeim lýst nokkurn veginn frá austri til vesturs í þessari röð: *Austurgrundir, Hverir (Hverarönd), Námafjall, Bjarnarflag og Jarðbaðshólar* (mynd 72). Hér á eftir er lýsing af hverju einu þeirra eins og staðan á yfirborðvirkninni var sumarið 2013, að viðbættum athugunum frá 2015. Farið var yfir svæðin á tímabilinu 17.–19. ágúst 2015 og jarðhitanum lýst og hann flokkaður eftir jarðhitafyrirbærum. Flokkunin fer að stórum hluta eftir lýsingu Hauks Jóhannessonar og Kristjáns Sæmundssonar (2005) og lýsingum Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2010, 2011), sem og skýrslum Sigurðar G. Kristinssonar o.fl. (2013a, 2013b, 2014) en þá var farið yfir sömu svæði.



Mynd 72. *Jarðhitakort af Námafjalli.*

4.1.1 Austurgrundir

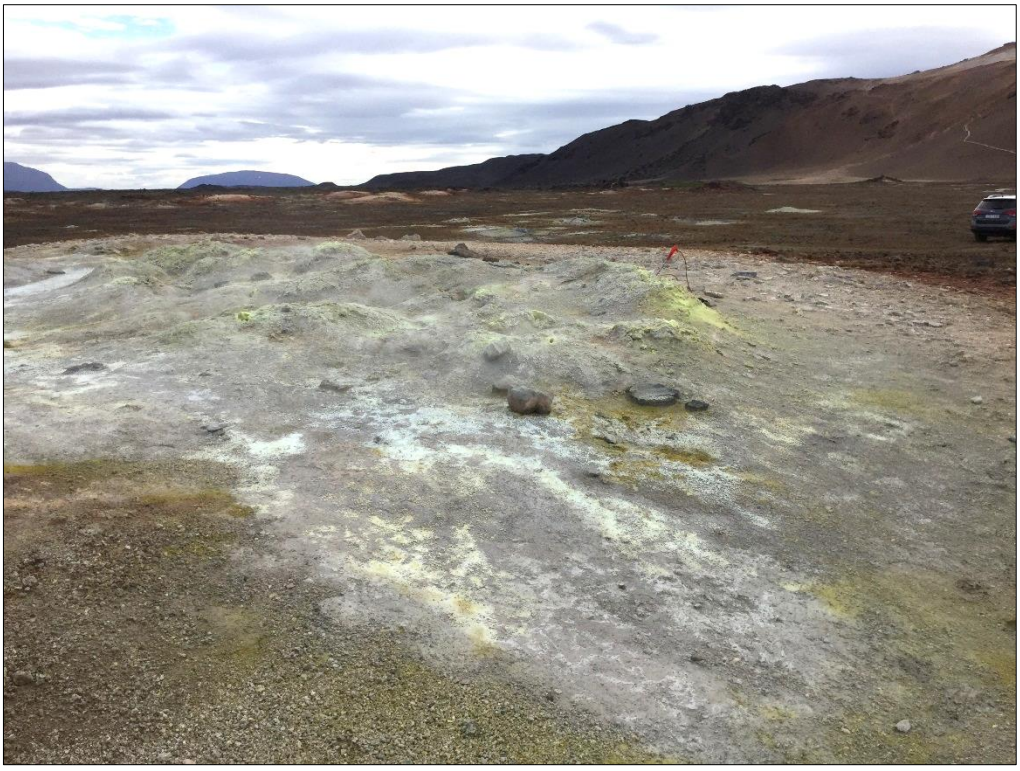
Austurgrundir er hraunsléttan austan Námafjalls (mynd 73) en hún einkennist af fjölmörgum brennisteinsþúfum sem eru yfirleitt ekki miklu stærri en 3x1 m og tæplega 1 m háar. Þó eru undantekningar á þessu og töluvert stærri þúfur finnast á svæðinu. Þær stærstu koma yfirleitt upp um hraunhóla sem gerir þær nokkuð hærri en ella. Svæðið er um 1x0,4 km að stærð en stærsti hluti brennisteinsþúfnanna er volgur, þ.e. ekki mjög virkur nú. Nánast allur jarðhitinn kemur upp á tveimur stöðum; á línu með NNA-SSV stefnu sem er austast á svæðinu, en þar er hitinn 50–97°C, og nyrst á svæðinu með þyrpingu brennisteinshvera. Hæstu hitagildin mældust þó aðeins á stöku stöðum en velgja er inni á milli. Virkustu þúfurnar voru á norðurhluta svæðisins en þar var einnig mesta gufuvirknin og þar fannst brennisteinslykt (mynd 74). Syðst á svæðinu er smávægilegt og nánast lyktarlaust gufustreymi um op í hrauninu en hiti þar er 65–80°C (mynd 75).

Fáar virkar brennisteinsþúfur eru á svæðinu en mun fleiri eru kaldar eða volgar. Hitamyndir staðfesta þetta vel (mynd 76). Hiti á svæðinu er hæstur nyrst og austast en lítið sem ekkert er að gerast frá virka hlutanum að Hverum. Hitamyndir staðfesta þó að nokkur velgja er í svæðinu og kom það einnig berlega í ljós í snjóafbræðslumælingunum 2013 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013b).

Tveir virkir staðir á Austurgrundum munu vera í frekari eftirliti í framtíðinni. Fyrri staðurinn er á norðurhluta svæðisins og er brennisteinsþúfa í toppi hóls, sem einkennist af nokkurri gufuvirkni. Hiti við gufuop er 97°C en um 50°C á jaðri þúfunnar. Rauð og ljós leirummyndun er í kringum gufuopin, auk brennisteinsútfellinga. Virkni á þessum stað er svipuð og í fyrra (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013b) þegar farið var yfir svæðið (mynd 74). Seinni staðurinn (mynd 75) er sunnarlega á svæðinu og er í raun nokkur gufuop á afmörkuðu svæði. Hitinn í gufuopunum er 50–80°C og gufan nokkuð stöðug. Gufan flokkast sem lyktarlaus þótt greina megi vott af brennisteinslykt (lyktarlaus í athugunum 2012).



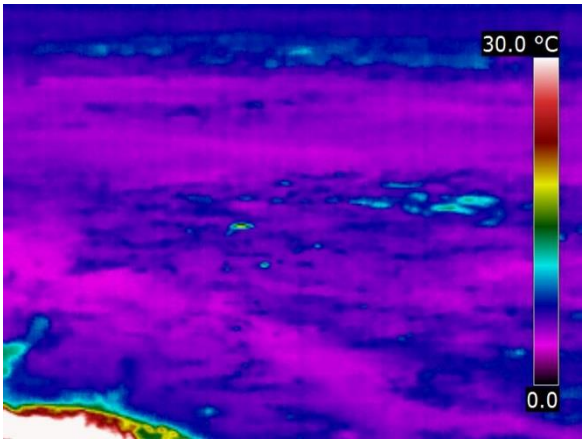
Mynd 73. *Yfirlitsmynd af Austurgrundum tekin ofan af Námafjalli. Ljósu skellurnar sýna vel dreifingu ummyndunarskellna sem eru aðallega brennisteinsþúfur en virknin virðist minnkandi.*



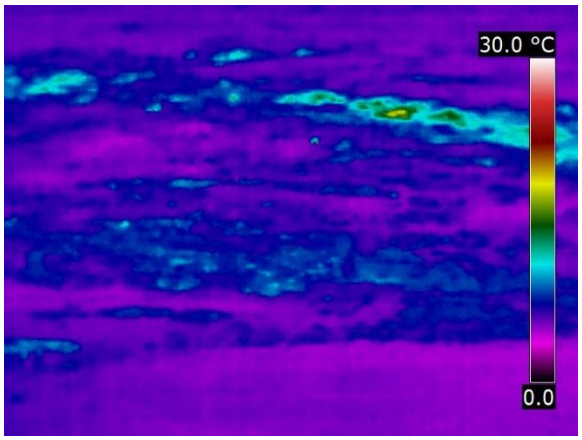
Mynd 74. *Virk brennisteinsþúfa nyrst á Austurgrundum með 96°C hita. Gufustreymi með brennisteinslykt kemur dreift upp um þúfuna sem einkennist af þykkum brennisteinsútfellingum.*



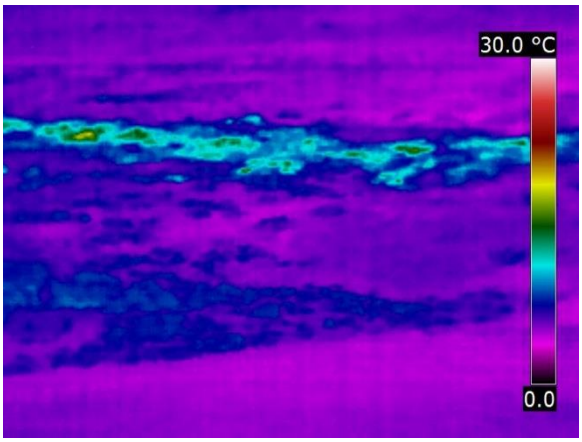
Mynd 75. *Gufustreymi syðst á Austurgrundum kemur upp um op og sprungur í hrauninu. Hiti er 50–80°C en gufan er nánast lyktarlaus.*



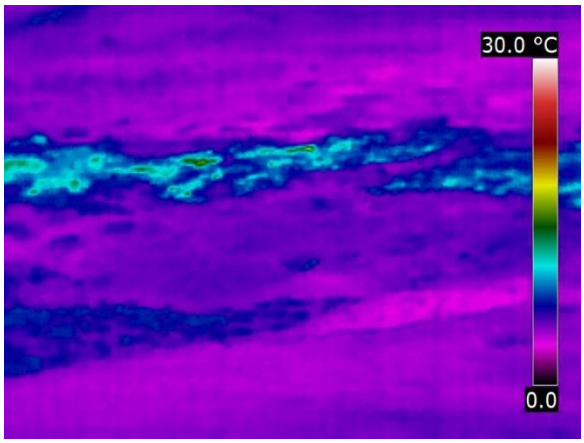
1. *Jarðhitinn á Austurgrundum frá Mið-Kollu*



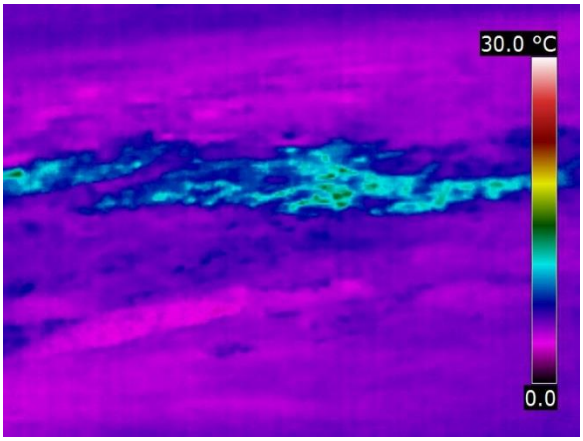
2. *Jarðhitinn á Austurgrundum frá Mið-Kollu*



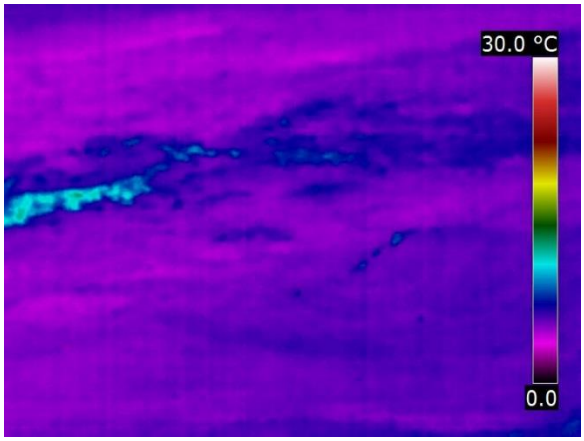
3. *Jarðhitinn á Austurgrundum frá Mið-Kollu*



4. *Jarðhitinn á Austurgrundum frá Mið-Kollu*



5. *Jarðhitinn á Austurgrundum frá Mið-Kollu*



6. *Jarðhitinn á Austurgrundum frá Mið-Kollu*

Mynd 76. *Hitamynd af Austurgrundum frá myndatökustað 8 (sjá mynd 72). Myndirnar eru teknar til norðausturs (hitamynd 1) og til suðausturs (hitamynd 6). Engar breytingar eru frá 2014.*

4.1.2 Hverir

Svæðið sem er kennt við Hveri er eitt helsta aðdráttarafl ferðamanna á svæðinu en þar er að finna blásandi borholur, sjóðandi leirhveri, hvissandi gufuop með brennisteinsútfellingum og litskrúðugan leir. Hraunkantur Heiðarsporðshrauns, sem sker svæðið frá norðri til suðurs, skiptir því í tvennt, annars vegar hraunkantinn sjálfan og hins vegar svæðið vestan við hraunið. Í og við hraunkantinn (misgengið) eru brennisteinsþúfur, gufustreymi (brennisteinslykt), heit og sundursoðin jörð með hvítri skán (myndlaus kísill) og hverasöltum sem og stakir leirhverir, sérstaklega norðarlega á svæðinu.



Mynd 77. *Yfirlitsmynd af Hverarönd. Gufustreymi er mest við hraunkantinn og frá gömlu borholunum ofan við hann.*

Ofan við hraunkantinn (misgengið) einkennist virknin af blásandi þurrgufuholum og smá svæði kringum þá austustu (H-8) sem ekki er í línu við hinar. Þó nokkur kraftur var í holunum 2015 sem og í fyrra. Engin gufuvirkni né sjáanlegur jarðhiti er á milli Hverarandar og Austurgrunda og kemur það vel fram á hitamyndunum (mynd 76).

Neðan við hraunkantinn eru leirhverir mest áberandi. Samtals eru þar um 15 myndarlegir leirhverir sem liggja flestir á svæðinu nærri hraunbrúninni. Hverirnir eru allt frá 1 m og upp í 5 m í þvermál, í heitu skellunum eru þó fleiri mun smærri leirhverir (op). Virkni í stóru hverunum einkennist af dökkgráum, bullandi leir í flestum tilfellum. Virkni þeirra er þó mismikil en mest er hún við útsýnispallinn (mynd 78) og í næsta flagi þar suður af. Lengra til suðurs taka við brennisteinsþúfur og gufuhverir sem eru 10–50 m^2 á stærð og lyktar gufan af brennisteini. Gufuvirknin er svipuð því sem hún var í fyrra. Nær Námafjalli koma aftur heitar skellur og brennisteinsútfellingar en þetta svæði er 100 m^2 á stærð. Einnig gufaði úr holunum tveimur í hlíðum Námafjalls austanverðs og töluverður hiti var í kringum þær, sér í lagi þeirri sem sunnar er, og var hiti þar um og yfir 95°C.



Mynd 78. *Leirhverir við Hverarönd. Dökkur leir og bullandi virkni á stöku stað.*

Jarðhitinn teygir sig síðan upp í tvo gilskorninga sem ganga niður úr toppi fjallsins (mynd 79). Töluverð gufuvirkni er ofarlega í skorningunum sem einkennist aðallega af brennisteinsþúfum og heitum leirskellum. Þessi virkni er með NNA-læga stefnu og eru brennisteinsþúfur og gufuhverir í framhaldi af virkninni í giljunum áfram til norðurs frá þeim.

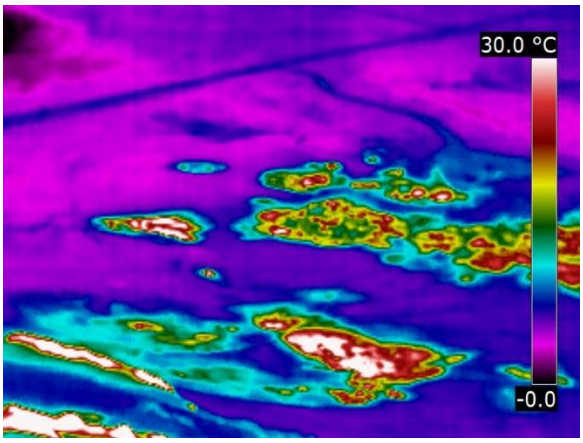
Virki jarðhitinn kemur skýrt fram á hitamyndum (mynd 80) sem teknar voru ofan af Mið-Kollu og sýna jarðhitann á sléttunni, sem og á hitamyndunum (mynd 81) sem teknar voru á útsýnispallinum við Hveri og sýna jarðhitann í austurhlíð fjallsins. Samanburður við hitamyndirnar frá fyrra ári bendir ekki til meiri háttar breytinga. Eins og kemur fram á hitamyndum sem teknar voru ofan af Námafjalli er virknin mest norðarlega á svæðinu en syðst er hún aðallega meðfram hraunstallinum (misgenginu). Myndirnar sýna greinilega að jarðhitinn raðar sér upp á N til NA-læga stefnu. Sama er uppi á teningnum þegar hitamyndir af austurhlíð fjallsins eru skoðaðar þar sem jarðhitinn myndar línuleg form í hlíðinni með norðlæga stefnu. Mestur er hitinn við Mið-Kollu og þar norðan við í og við gilskorningana.

Út frá yfirferðinni sumarið 2015 og samanburði við hitamyndir frá 2012, 2013 og 2014 er ljóst að ekki hafa orðið miklar breytingar á milli ára. Helst má þó nefna gufustreymi úr og við holur 4 og 5 í hlíðum Námafjalls. Ekki varð vart við gufu úr þeim 2012 en nokkurt gufustreymi hefur verið úr þeim síðan.

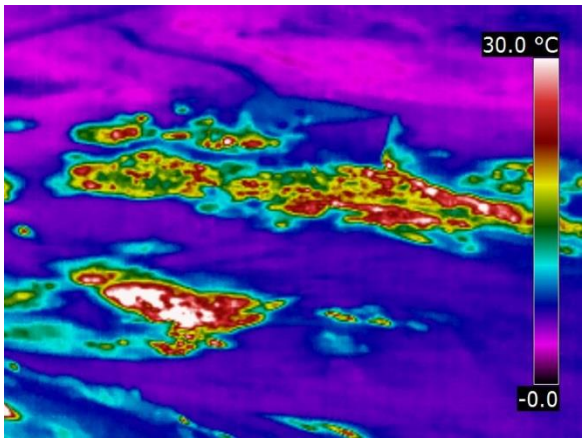
Staðir sem fylgjast ætti með eru virka svæðið við borholurnar (holur 4 og 5) í hlíðinni sem og virknin í hraunstallinum meðfram göngustígnum, þ.e. leirhverirnir og gufu- og brennisteinshverirnir. Neðarlega í hlíð fjallsins er brennisteinsþúfa (ílöng í framhaldi af virkninni í giljunum) með norðlæga stefnu sem gufar nokkuð úr.



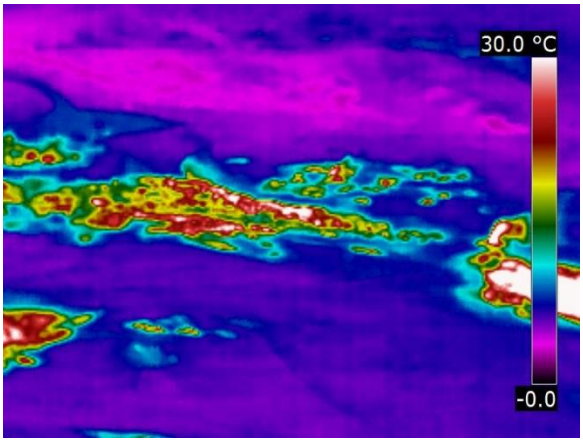
Mynd 79. *Austurhlíð Námafjalls. Mikil virkni er ofarlega í gilskorningunum tveimur sem teygja sig upp á fjallið og með hlíðum þess.*



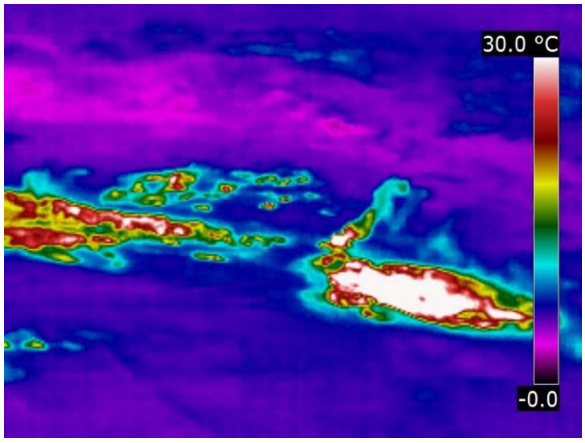
1. *Jarðhitinn á Hverum frá Mið-Kollu*



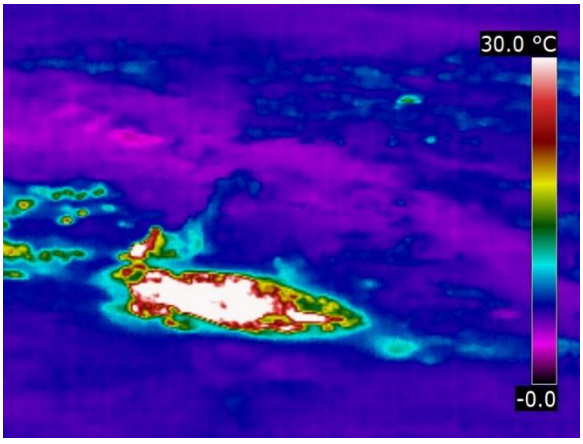
2. *Jarðhitinn á Hverum frá Mið-Kollu*



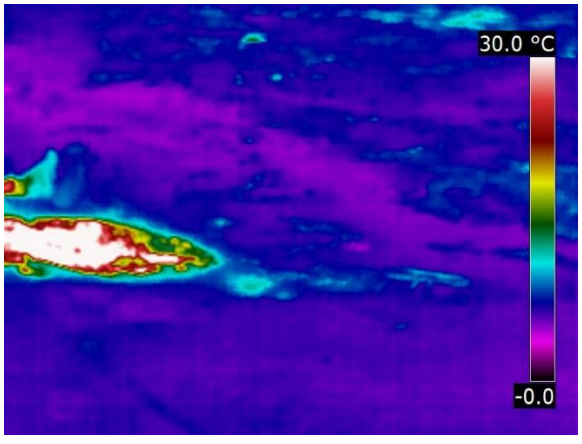
3. *Jarðhitinn á Hverum frá Mið-Kollu*



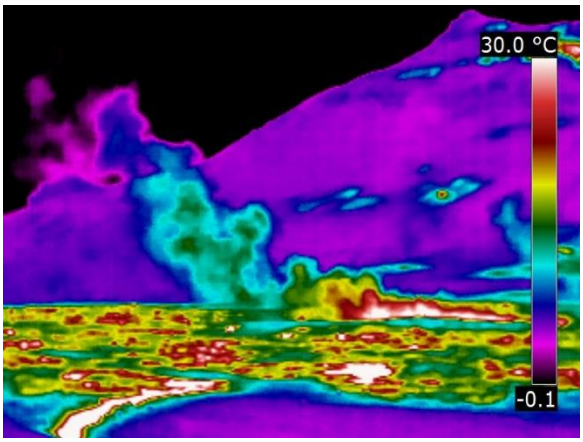
4. *Jarðhitinn á Hverum frá Mið-Kollu*



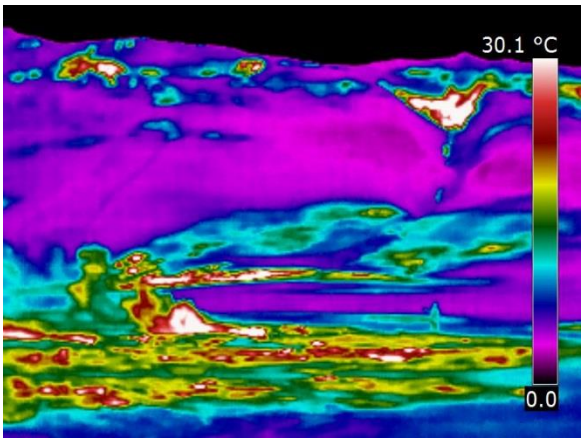
5. *Jarðhitinn á Hverum frá Mið-Kollu*



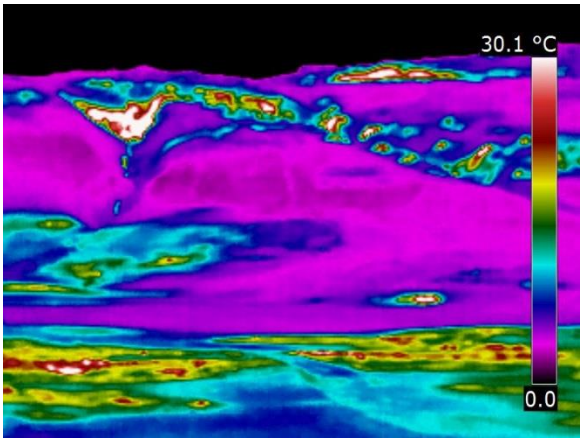
Mynd 80. *Hitamyndir af Hverum séð ofan af Mið-Kollu. Myndatökustaður 8 (sjá mynd 72), mynd 1 tekin til norðausturs en mynd 5 beint til austurs.*



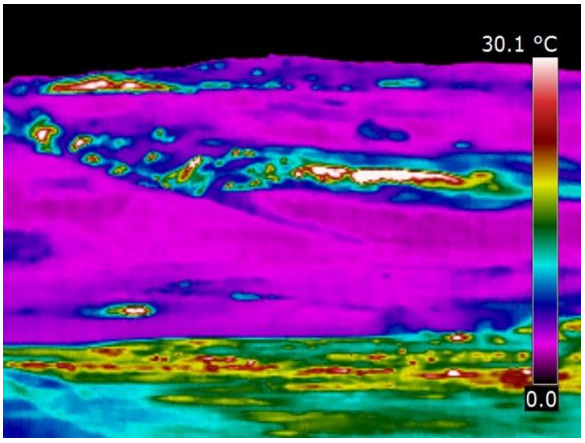
1. *Hverir og austurhlíðar Námafjalls*



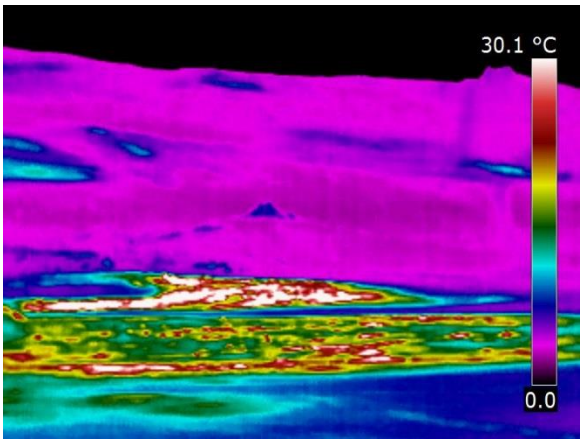
2. *Hverir og austurhlíðar Námafjalls*



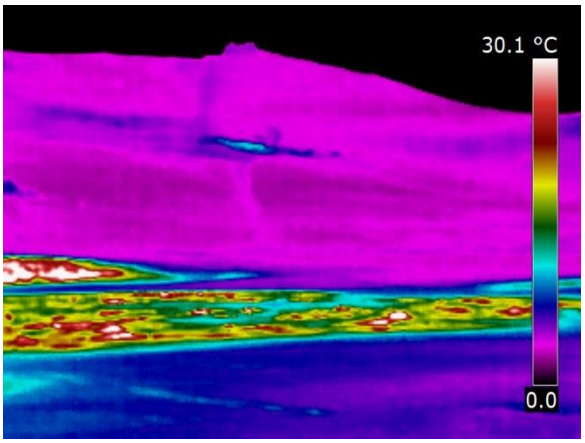
3. *Hverir og austurhlíðar Námafjalls*



4. *Hverir og austurhlíðar Námafjalls*



5. *Hverir og austurhlíðar Námafjalls*



6. *Hverir og austurhlíðar Námafjalls*

Mynd 81. *Hitamyndir af Hverum og austurhlíðum Námafjalls. Myndatökustaður 9 (sjá mynd 72). Töluverður hiti er í efri hlíðum fjallsins með misgengi en einnig er sléttan öll volg eða heit.*

4.1.3 Námafjall

Námafjall er mest allt sundursoðið og ummyndað í ljósan eða rauðlitan leir. Töluverður yfirborðsjarðhiti liggur til norðurs eftir endilöngu fjallinu. Virki jarðhitinn myndar stakar skellur þar sem leir, brennisteinn og hverasölt einkenna jarðhitann. Nokkur gufuvirkni er í jarðhitaskellunum, mest um miðbik fjallsins (Mið-Kollu) en árið 2008 kom upp ný virkni vestan við Kolluna og er þar síðan gufu- og leirhveravirkni. Virknin í ár var töluverð á þessum stað og hefur gufuvirknin aukist frá því 2012 þegar farið var yfir svæðið og enn meira en þegar myndir voru teknar sumarið 2009. Svæðið virðist þó vera svipað að stærð (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2009; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a, 2013b, 2014).

Virknin í toppi fjallsins myndar í raun tvær línur með norðlæga stefnu þar sem jarðhitinn er í skellum með nokkuð samfelldri virkni. Í austanverðu fjallinu er gufuvirkni í heitum skellum og brennisteinn er allsráðandi ásamt ljósum leir (myndir 82 og 84). Gilin tvö sem ganga niður úr hlíðinni austanverðri eru með mest áberandi jarðhitavirkni, mest efst í fjallinu (mynd 79). Þessi virkni teygir sig síðan til suðurs og tengist að hluta virkninni efst á miðju fjallinu sem kom upp árið 2008 (mynd 83).



Mynd 82. *Jarðhitinn á toppi Námafjalls við Mið-Kollu. Á þessu svæði eru aðallega virkar brennisteinsþúfur en einnig leirhverir.*

Jarðhitinn á N-S misgengjunum tveimur (þremur línum) á austanverðu og vestanverðu Námafjalli er ekki breiður, rétt um 10–20 m þar sem mest er. Jarðhitavirknin á vestustu línunni er nánast eina virknin í vestanverðu fjallinu (mynd 86). Austan megin teygir virknin sig niður á jafnsléttu, þ.e. niður á svæðið sem kennt er við Hveri.

Virknin á miðju fjallinu teygir sig síðan í norður en dvínar mikið eftir að komið er norður fyrir Náma-Kollurnar og er virknin mun minni vestan megin. Almennt var meiri gufuvirkni á fjallinu sumrin 2013, 2014 og 2015 en 2012.

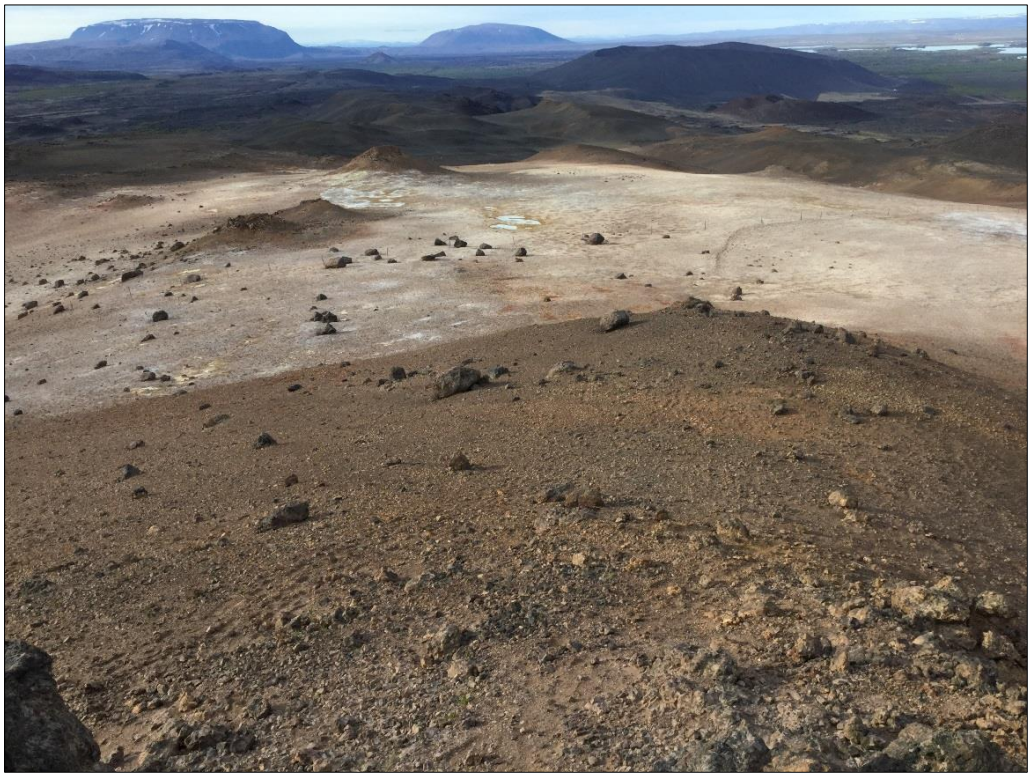
Leirpyttir sem komu fram á toppi fjallsins árið 2008 sunnan Náma-Kollu eru enn töluvert virkir sem og brennisteinsþúfurnar á sama svæði. Leirhverirnir eru 24–25 talsins, misstórir en umhverfis þá er brennisteinn í gufuopum. Grár og ljós leir bullar í hverunum og er brennisteinslykt í gufu frá gufuopum umhverfis leirhverina. Hiti á svæðinu er >95°C (mynd 83).



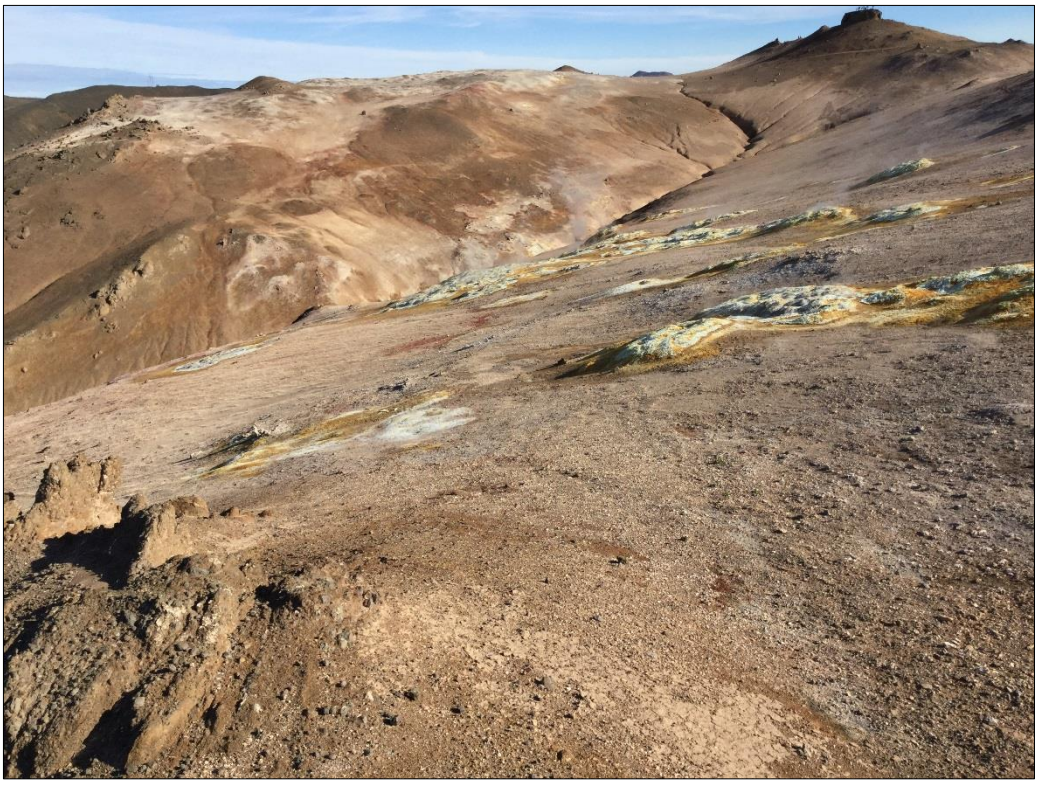
Mynd 83. *Leirhverirnir á toppi Námafjalls sem Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2009) lýstu fyrst 2008. Virknin á þessum stað hefur aukist síðan 2008 sem og á öllu fjallinu frá Mið-Kollu suður að Syðstu-Kollu (á miðri mynd).*



Mynd 84. *Toppur Námafjalls. Toppurinn er meira og minna sundursoðinn, leir og brennisteinshúfur. Mynd tekin til norðurs frá Syðstu-Kollu.*



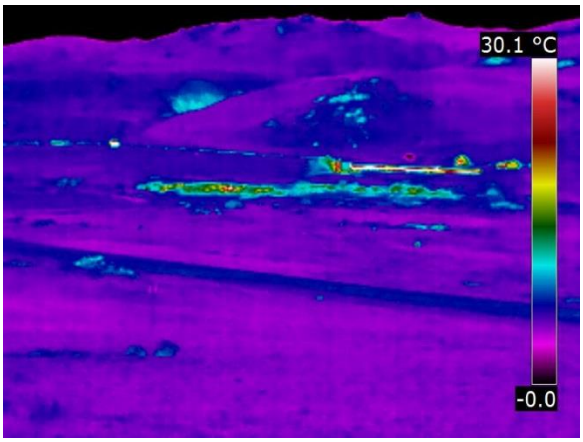
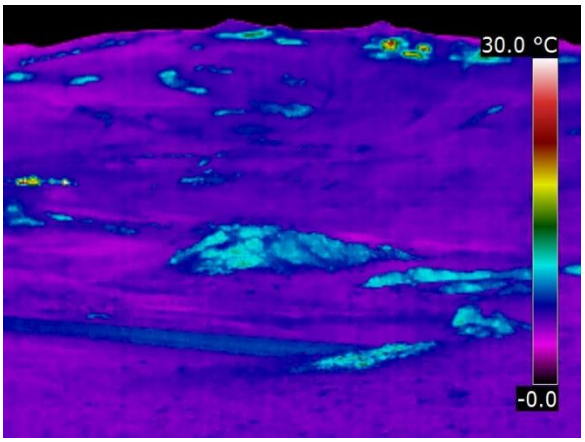
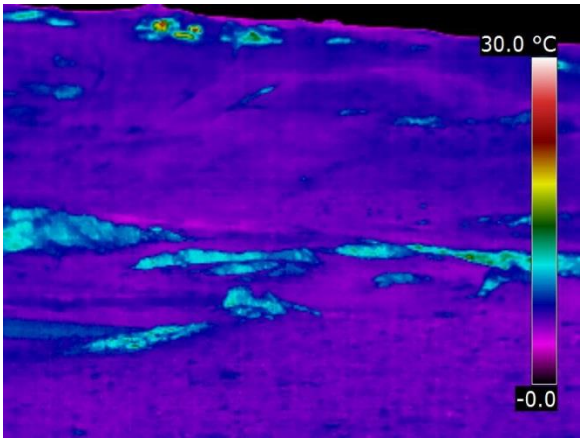
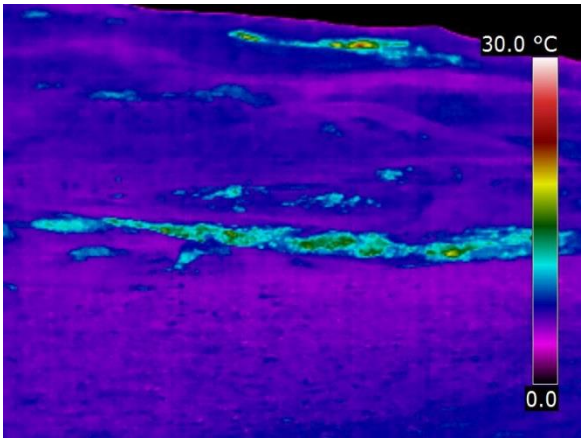
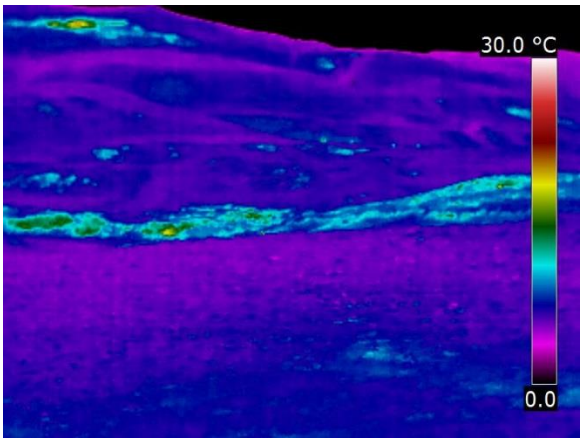
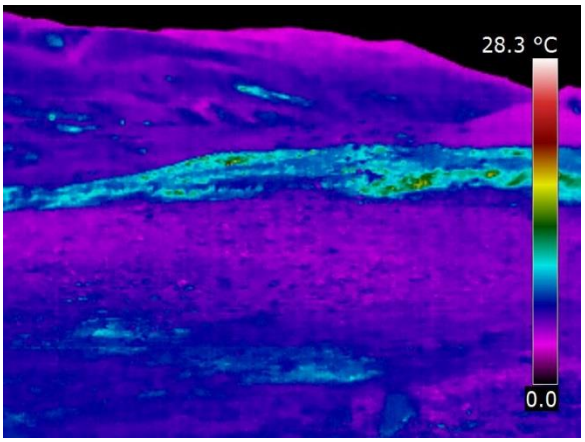
Mynd 85. *Frá Syðstu-Kollu til suðurs. Töluvert dregur úr jarðhitavirkninni til suðurs og ummyndun verður vægari.*



Mynd 86. *Jarðhitavirknin í vesturhluta Námafjalls, horft til norðurs. Heitar skellur raða sér upp með norður-suður stefnu.Virkni er ekki mikil en svipuð því sem hefur verið undanfarin þrjú ár.*

Staðir sem skoða á sérstaklega í eftirlitinu eru leirhverasvæðið sem myndaðist á miðju fjallinu 2008. Sýnatökustað N G-101 norðan Ystu-Kollu og virknin syðst á fjallinu (t.d. mynd 85), sem og virknin í gilskorningunum sem ganga niður af Mið-Kollu nærri sýnatökustað N G-102.

Hitamyndir sem teknar voru til vesturs ofan af Syðstu-Kollu (myndatökustaður 10, mynd 72) í sumar eins og í fyrra sýna ekki nægilega vel staðsetningu yfirborðsvirkninnar og eru því ekki sýndar hér. Líklega verður þessum stað sleppt í eftirlitinu. Annars gekk hitamyndatakan vel og kemur jarðhitinn glöggt fram á myndunum. Hitadreifingin er áþekk því sem var í fyrra. Almennt er lítil breyting á milli ára.

	
1. *Vesturhlíðar Námafjalls. Hola B-12 vinstra megin á mynd.*	**2.** *Vesturhlíðar Námafjalls*
	
3. *Vesturhlíðar Námafjalls*	**4.** *Vesturhlíðar Námafjalls*
	
5. *Vesturhlíðar Námafjalls*	**6.** *Vesturhlíðar Námafjalls*

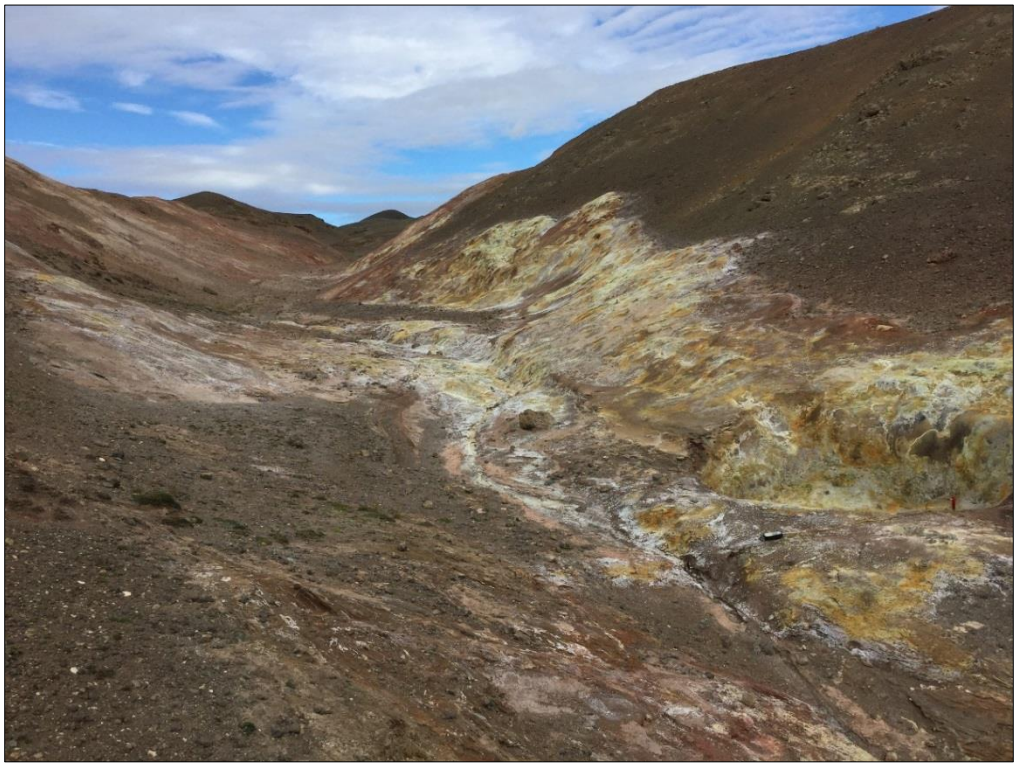
Mynd 87. *Hitamyndir af vesturhlíðum Námafjalls teknar frá myndatökustað 11 á mynd 72. Hitamynd 1 er tekin til ANA en myndirnar hliðrast svo til suðausturs.*

4.1.4 Bjarnarflag

Á Bjarnarflagssvæðinu er virknin mest í kringum Gamla bakaríið og skiljustöðina en þar er svæðið allt sundursoðið. Rauðlitaður leir ásamt brennisteini og hverasöltum er áberandi. Í litlum gilskorningi ofan við holu B-9 er töluverður og nánast samfelldur jarðhiti upp með austurhlíðinni og nær hann um 800 m til norðurs frá holunni (mynd 88). Einnig er virkni vestan til í gilinu, mest í brúnum þess. Gilið er í raun myndað af tveimur misgengjum sem mynda litla sigdæld. Misgengisstallurinn sem myndar brotið að austanverðu með fall til vesturs nær lengra og er jarðhitavirknin þar töluverð (mynd 89). Framhald vestara brotsins kemur fram með stórri brennisteinsskellu sunnan við veginn að skiljustöðinni (mynd 90) en hún heldur slitrótt áfram til suðurs niður að lóninu.

Virknin er einnig töluverð sunnan við holu B-9 og að holu B-4. Virknin frá Gamla bakaríinu og til norðurs er svipuð og í fyrra en töluvert er af sölnuðum gróðri á svæðinu, aðallega ofan við Bakaríið. Gróðurinn er yfir leirkenndum jarðvegi (rauðum leir) að hluta, þannig að einhvern tímann hefur verið töluverð virkni þarna áður. Umfang sölnaðs gróðurs hefur ekki aukist frá því 2012.

Á sléttunni milli Bjarnarflagsvirkjunar og gömlu Kísiliðjunnar liggur lítill sigdalur, þ.e. misgengi með fall til vesturs (Krummaskarðsmisgengi) austast á svæðinu og misgengi með fall til austurs vestast á svæðinu (Grjótagjármisgengi). Inni á milli þessara misgengja eru svo smærri misgengi sem einnig mynda sigdældir. Mest allur jarðhitinn er tengdur þessum brotum (sjá mynd 72).



Mynd 88. *Gilið ofan við holu B-9, sýnatökustaður G-103 í holunni. Holan er um 1 m að dýpt. Í fyrra mátti sjá hvar mótaði fyrir henni en þá var hún ekki nema um 30 cm djúp. Vegna breytinganna var ekki unnt að taka sýni á þessum stað í ár.*

Sunnan vegarins að Jarðböðunum er heit leirskella sem er 300x100 m, hiti yfir 90°C og tengist væntanlega sama misgengi og gilskorningurinn austan við holu B-9. Önnur lína, aðeins vestar, tengist síðan við virknina við Gamla bakaríið og þar áfram norður eftir að kartöflugörðunum. Sunnan þjóðvegar myndar þessi lína (misgengi) mestu virknina í vesturhlíð Jarðbaðshóla.

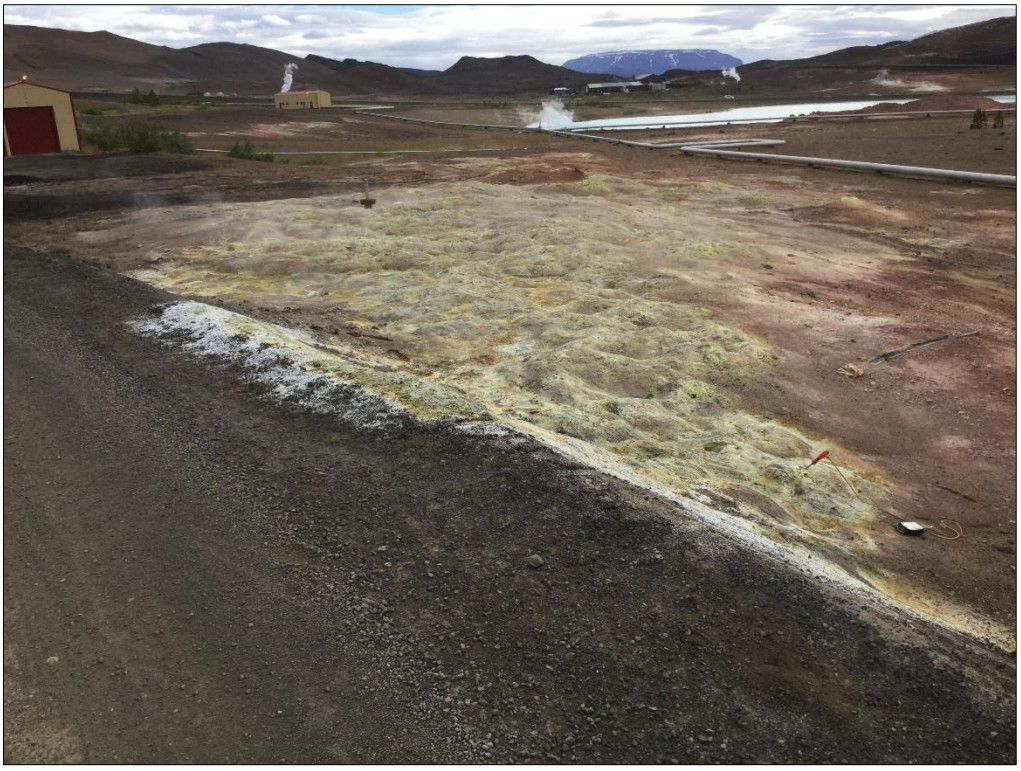
Staðir sem skoða ætti sérstaklega og hafa eftirlit með eru: Gufu- og brennisteinsvirknin við Gamla bakaríið (GB-5, mynd 91) og framhald jarðhitans þar norður af. Gufuvirkni, brennisteinn og hverasölt í heitum skellum í gilinu við sýnatökustað G-103 (mynd 88). Gufusprengigígurinn (GB-4) ofan vegar í hlíðinni ofan við hitaveituskemmu, sem er heit leirskella með bullandi leirhverum og gufuhverum þar sem brennisteinn og hverasölt finnast við gufuop (mynd 89).

Hitamyndir af Bjarnarflagi (mynd 92) voru teknar ofan af mön við vinnubúðir Landsvirkjunar (gömlu Kísiliðjuna) vestan Bjarnarflags. Myndirnar eru teknar frá norðri til austurs og sýna ágætlega jarðhitann á svæðinu en ekki þó jarðhitann sem er inni í giljum (t.d. í gilinu inn af holu B-9). Norðan við Gamla bakaríið eru heitir blettir (mynd 92, hitamyndir 1 og 2) sem liggja á sama misgengi og liggur í gegnum Gamla bakaríið. Á hitamynd 3 er svo Gamla bakaríið fyrir miðri mynd en nokkur hiti er fyrir ofan það og er það í samræmi við athuganir okkar í sumar. Rétt austar (hitamynd 4) er svo gufuaflstöðin en aftan við hana er hinn mikli jarðhiti í gilinu við holu B-9. Áframhald á þeirri virkni sést svo á hitamynd 5.

Jarðhitavirknin við Bjarnarflag liggur að mestu leyti frá misgenginu og brotum við Gamla bakaríið og austur fyrir sigspilduna í gilinu við holu B-9. Heitar leirskellur, gufuvirkni og brennisteinn einkenna svæðið og virkni er svipuð og var í fyrra og undanfarin ár (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2010; Sigurður G. Kristinsson o.fl. 2013a., 2013b, 2014).



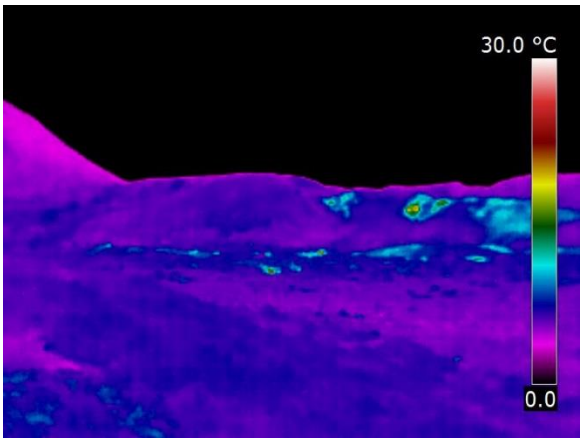
Mynd 89. *GB-4. Virknin í framhaldi af gilinu sunnan B-9. Pyttur þar sem allt er í suðu, heit skella með hverasöltum, myndlausum kísli og brennisteini. Í slakkanum eru svo bullandi leirhverir og nokkur gufuvirkni.*



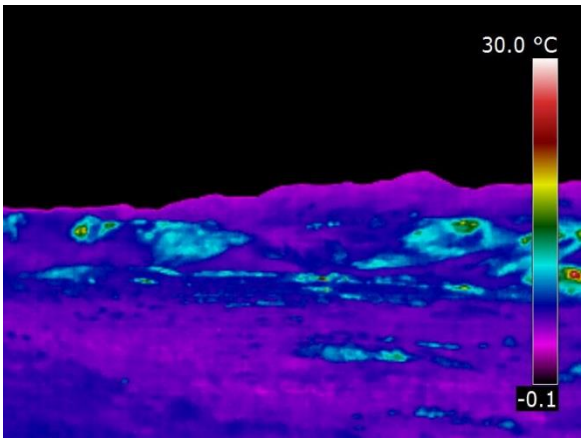
Mynd 90. *Þó nokkur gufuvirkni er við holu B-4, brennisteinn og myndlaus kísill. Holtoppur B-4 stendur upp úr útfellingunum.*



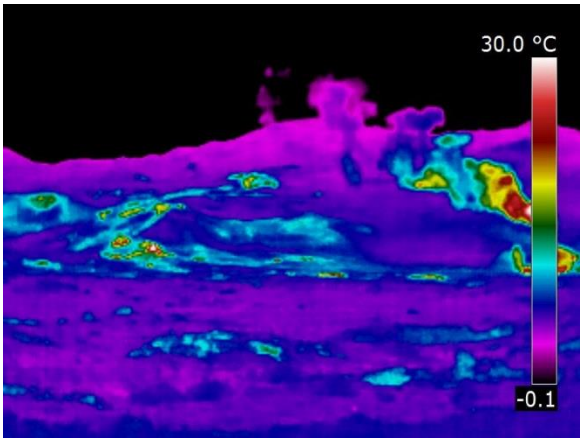
Mynd 91. *GB-5. Brennisteinsútfellingar í Gamla bakaríinu. Virkni svipuð og í fyrra og undanfarin ár.*



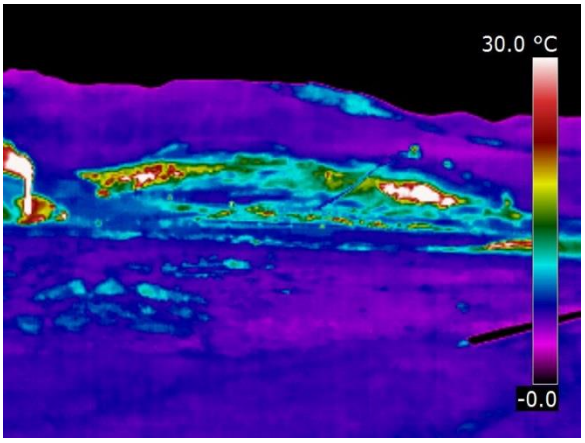
1. *Bjarnarflag til norðurs*



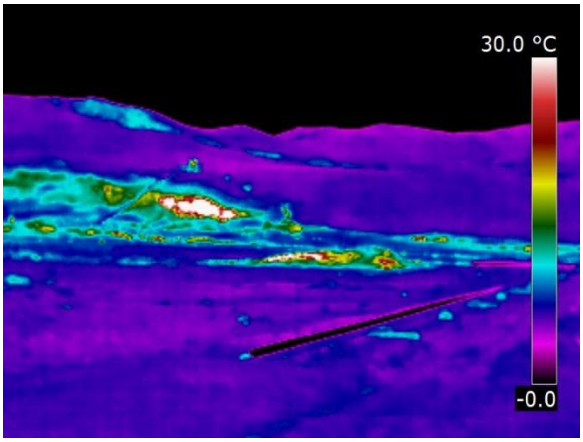
2. *Bjarnarflag til norðurs*



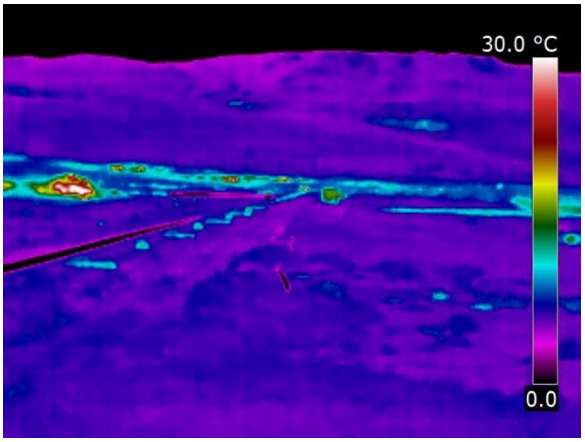
3. *Gamla bakaríið á miðri mynd.*



4. *Gufuaflstöðin*



5. *Bjarnarflag*



6. *Bjarnarflag. Hitaveitulögnin lengst til vinstri*

Mynd 92. *Hitamyndir í Bjarnarflagi. Myndatökustaður (12) við gömlu Kísiliðjuna (sjá mynd 72). Myndir teknar til norðurs (mynd 1) en síðan til austurs (mynd 6). Hitaskellurnar sem ganga áfram inn gilið við holu B-9 (ofan við gufuaflstöðina, myndir 4 og 5) koma vel fram sem og virknin kringum Gamla bakaríið (mynd 3) og þaðan norður eftir (myndir 1 og 2).*

4.1.5 Jarðbaðshólar

Á kyrrum kvöldum má sjá gufa upp um nánast allt hraunið frá Jarðbaðshólum að Reykjahlíð. Mest af gufunni kemur upp um sprungur og misgengi (mynd 72) á svæðinu við veginn að Grjótagjá. Virknin er ívið meiri gígmegin við Grjótagjárveginn (austan megin). Á svæðinu frá Námafjalli að gígunum er virkni einna mest meðfram veginum að Jarðböðunum, hár hiti með töluverðri ummyndun, einkum heitum leirskellum, austan vegar og er lýst með Bjarnarflagi. Í gígunum við veginn kemur upp lyktarlaus gufa og eins úr norðlægum sprungum sem ganga þar í gegn. Mesta virknin er í sprungum sem ganga í gegnum vesturhlíð gíganna. Hiti í gufunni er einna mestur við veginn að Jarðböðunum (þ.e. næst leirskellunum) en þar er hann um 80°C, annars mælist hann á bilinu 40–65°C. Í gíg sem er austan Jarðbaðanna nær Námafjalli er svolítil gufuvirkni og í toppi gígbarmsins sunnanverðum en hitinn þar var 38°C og gufan lyktarlaus.

Í Grjótagjá mælist hitinn í Karlagjánni um 46°C árið 2015, en rúmlega gráðu minni í Kvennagjánni. Til suðurs með misgengjum er gufustreymi sjáanlegt töluvert suður eftir. Allt að 1–1,5 km í átt að Hverfjalli sem og niður að Mývatni má sjá gufu koma upp um gjár og hraunkolla. Mest virðist koma upp með gígaröðinni sem er í framhaldi til suðurs frá Jarðbaðshólum (gígaröðin sunnan Jarðbaða í átt að Hverfjalli). Hiti í gufu næst jarðböðunum er nærri 40°C.

Engar marktækar breytingar eru á gufustreymi síðustu árin en veðurfar hefur mikið um það að segja hversu sýnilegt gufustreymið er. Engin ný virkni var sjáanleg.



Mynd 93. *Dæmigerð virkni við Jarðbaðshóla. Gufa streymir upp um sprungur (misgengi) sem skera hólana með norður-suður stefnu. Gufustreymið gengur bæði til norðurs og suðurs frá hólunum. Hiti er 40–75°C og gufan er lyktarlaus.*

4.1.6 Niðurstöður

Jarðhiti og ummyndun er útbreidd á Námafjallssvæðinu. Mesta virknin á svæðinu er við Hveri og Námafjall austanvert en einnig er töluverður jarðhiti á toppi fjallsins. Á þessu svæði eru brennisteinsþúfur, gufu- og leirhverir mest áberandi. Almennt er mikil jarðhitavirkni frá og með misgengi sem liggur með fjallsbrúninni vestanveðri en jarðhitavirkni minnkar mikið eftir að komið er norður fyrir Náma-Kollur á Námafjalli. Misgengið hefur fall til austurs og er nánast allur jarðhitinn fyrir austan það. Í Bjarnarflagi er meginyfirborðsvirknin frá Gamla bakaríinu í vestri og austur að sigspildunni við holu B-9. Mest áberandi eru brennisteinsþúfur en einnig eru gufu- og leirhverir. Aðeins á tveimur svæðum má finna lyktarlausa gufu (upphitað grunnvatn) en það er á stóru svæði út frá Jarðbaðshólum sem og syðst á Austurgrundum. Sunnan og vestan Jarðbaðshóla er töluverð gufuvirkni sem kemur upp á dreifðu svæði allt vestur til Mývatns og suður fyrir Rauðuborg.

Jarðhitastaðirnir virðast ekki hafa breyst mikið frá jarðhitakorti Kristjáns Sæmundssonar (2010), athugunum Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2010) og Sigurðar G. Kristinssonar o.fl. (2013a, 2013b, 2014).

4.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum í Námafjalli

4.2.1 Sýnatökustaðir

Fjórum gufusýnum var safnað á Námafjallssvæðinu þriðjudaginn 11. ágúst í ágætu veðri; björtu og þurru, þótt nokkuð blési. Upphaflega var gert ráð fyrir að safna sýnum úr sömu augum og sumarið 2014, og því voru þeir staðir kannaðir ásamt öðrum eldri sýnatökustöðum.

Í gilinu við holu B-9 sat auga G-105 á svipuðum stað og sumarið 2014 en þegar gengið var að auga G-103 var virknin þar að mestu kulnuð, þótt enn væri hiti í katlinum sem hafði myndast um augað þegar komið var að því sumarið 2014. Á hrygg Námafjalls gufaði upp úr G-101 og brennisteinsskellunni þar í kring en ekkert auga þar virtist vænlegt til sýnatöku. Ekkert heppilegt auga var heldur á svæðinu norður og norðvestur af Syðstu-Kollu þar sem sýni var safnað úr auga G-107 sumarið 2014. Hins vegar fundust tvö ágæt augu í sama brennisteins-/leirflaginu hér um bil mitt á milli G-107 og G-102. Þar voru einnig sjóðandi leirhverir. Annað þessara augna var valið sem sýnatökustaður og fékk það nafnið G-108. Virknin ofarlega í gilinu var allmikil eins og undanfarin ár. Hið upphaflega G-102 er enn sjóðandi leirhver sem gusar svo af sér að varla er fært upp gilið lengur. Sýnatökustaðurinn frá 2013 var útdauður og svæðið ofan gilsins var svo blautt að ekki var hættandi á að fara inn á það að sýnatökustaðnum frá 2014, né heldur að sérlega girnilegu auga alveg á gilbarminum. Hins vegar voru tvö þokkaleg augu utarlega og ofarlega í svæðinu og var ákveðið að taka sýni úr efra auganu. Þótt það sé líklega um 10 m frá hnitsetta auganu var ákveðið að láta nafnið halda sér. Loks reyndist Hveraröndin heldur þurrari en 2014 og því nokkrir ágætir sýnatökustaðir þar, m.a. augað G-106 sem safnað var úr sumarið 2014.

Yfirlit um sýnatökustaði er í töflu 7 og staðsetning þeirra er sýnd á mynd 94 ásamt öðrum gufuaugum sem sýni hafa verið tekin úr í Námafjalli og Bjarnarflagi. Á mynd 94 eru eldri gufusýnatökustaðir á svæðinu auðkenndir með þrennum hætti; staðir merktir N-1 til N-20 og H-1 og H-2 eru sýnatökustaðir skilgreindir af Baldri Líndal (Jarðboranir ríkisins, 1951; Halldór Ármannsson, 1993), staðir merktir A til X eru sýnatökustaðir skilgreindir af Stefáni Arnórssyni og Herði Svavarssyni (1985) og loks eru tveir staðir merktir SA-1 og SA-2 en þar tóku Stefán

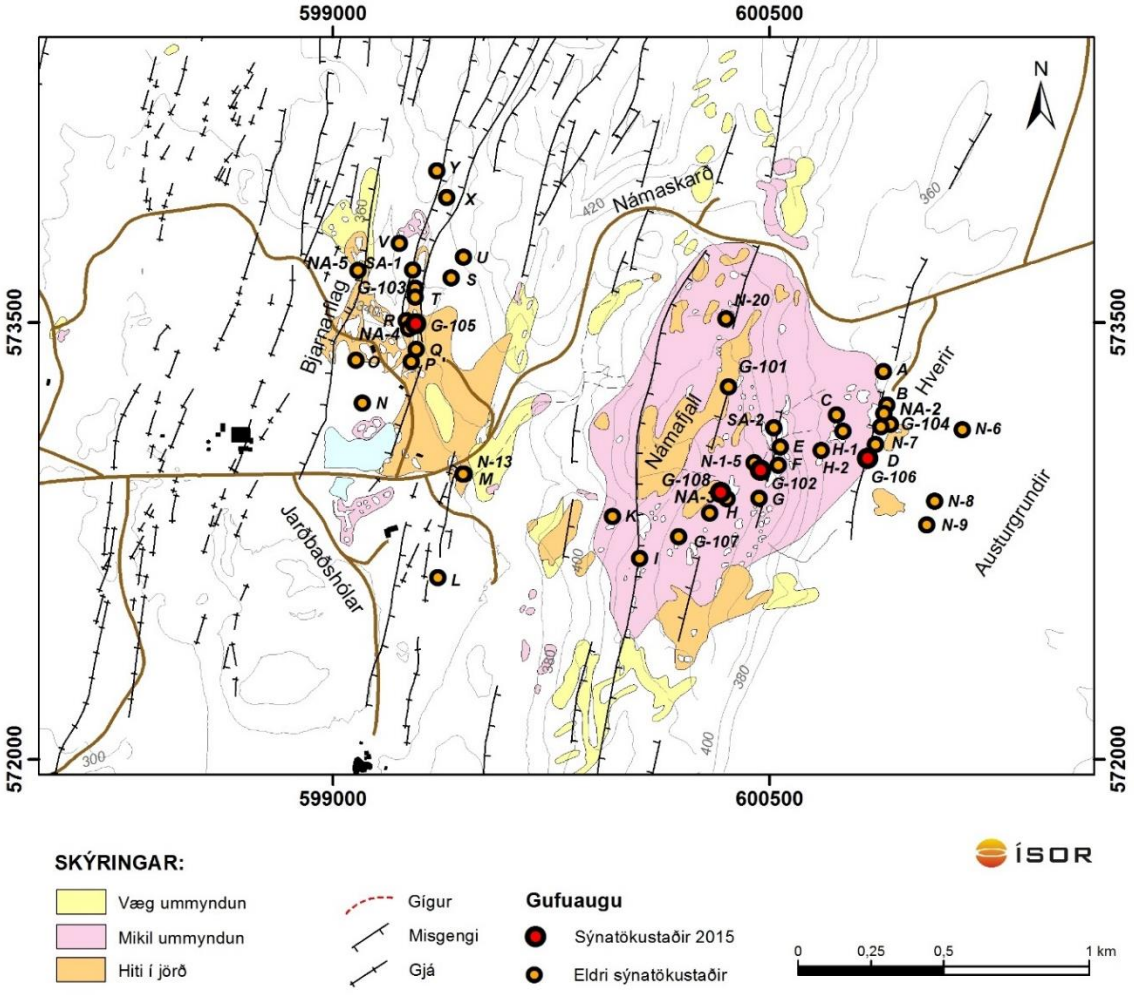
Arnórsson o.fl. (1995, 1996) gufusýni. Stefán Arnórsson og félagar tóku sýni á mun fleiri stöðum en þeir staðir höfðu flestir verið skilgreindir í eldri rannsóknum.

Sýnatökustöðum ársins 2015 í Námafjalli er lýst frekar hér á eftir. Í gagnagrunni ÍSOR eru sýnatökuaugu áranna 2012–2015 í Námafjalli kölluð „N G-101“ og svo framvegis til að forðast rugling við gufuaugu á öðrum svæðum en í texta og á myndum hér á eftir eru nöfn gufuaugna víða stytt í „G-101“ til einföldunar. Sýnatöku- og efnagreiningaraðferðum er lýst í viðauka 2.

Tafla 7. *Sýnatökustaðir í Námafjalli sumarið 2015.*

Nafn auga*	Staðarnúmer	x-hnit	y-hnit	Hæð (m y.s.)	Lýsing
G-102	H 10192	600469	572994	471	Í gili hátt í Námafjalli austanverðu
G-105	H 93517	599285	573497	347	Í gili norður af holu B-9
G-106	H 93518	600837	573034	364	Vestan syðstu holunnar á Hverum
G-108	H 93558	600332	572917	476	Í flagi á hrygg Námafjalls

** Nöfn gufuaugna eru stytt. Fullt nafn í gagnagrunni ÍSOR er „N G-101“ o.s.frv.*



Mynd 94. *Gufuaugu í Námafjalli og Bjarnarflagi. Gufuaugun fjögur, sem safnað var úr sumarið 2015, eru sýnd með rauðum táknum.*

N G-102: Ágætt gufuauga í norðurjaðri blauts leirflags ofan við syðri gilskorninginn í Námafjalli (sjá myndir 79, 94 og 95). Augað er hið efra tveggja á þessum stað, sem er um 10 m frá hinu upphaflega G-102.

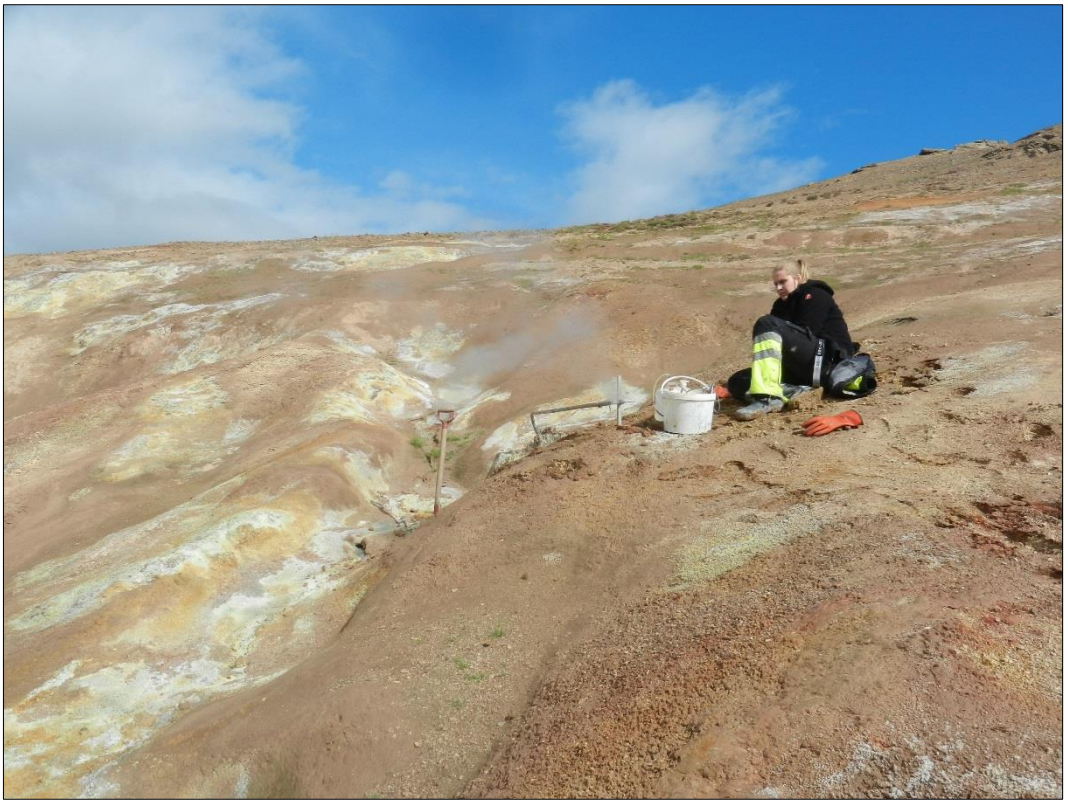
N G-105: Ágætlega kraftmikið gufuauga með fókuseruðu streymi framarlega í grunnu gili sem liggur norður frá holu B-9 í Bjarnarflagi (myndir 94 og 96). Talsverð virkni teygir sig upp eftir allri austurhlíð gilsins en þetta auga er í fremstu ummyndunarskellunni.

N G-106: Allkröftugt gufuauga í leirflagi vestan við syðstu borholuna á Hverum (H-9), rétt neðan við göngustíg fyrir ferðamenn. Skellan sú var of blaut til að hægt væri að fara inn á hana sumarið 2013 en var sæmilega þurr sumrin 2014 og 2015 (sjá myndir 94 og 97).

N G-108: Kraftmikið gufuauga við hlið leirhvers í fremur litlu leir-/brennisteinsflagi á hrygg Námafjalls, suðvestan við Náma-Kollu. Á svipuðum slóðum voru staður H hjá Stefáni Arnórssyni og Herði Svavarssyni (1985) og staður NA-3 í gagnagrunni ÍSOR (sjá myndir 94 og 98).



Mynd 95. *Svæðið kringum gufuauga N G-102 ofan við gil í Námafjalli austanverðu. Augað sjálft er neðan við miðja mynd, umkringt rauðleitum leir. Krafla er í baksýn.*



Mynd 96. *Sýnataka úr gufuauga N G-105 í austurbarmi gils upp af stöðvarhúsinu í Bjarnarflagi.*



Mynd 97. *Gufuauga N G-106 á Hverum, hægra megin við miðja mynd. H-9 blæs í baksýn.*



Mynd 98. *Gufuauga N G-108 á Námafjalli, hægra megin við miðja mynd. Horft til norðausturs.*

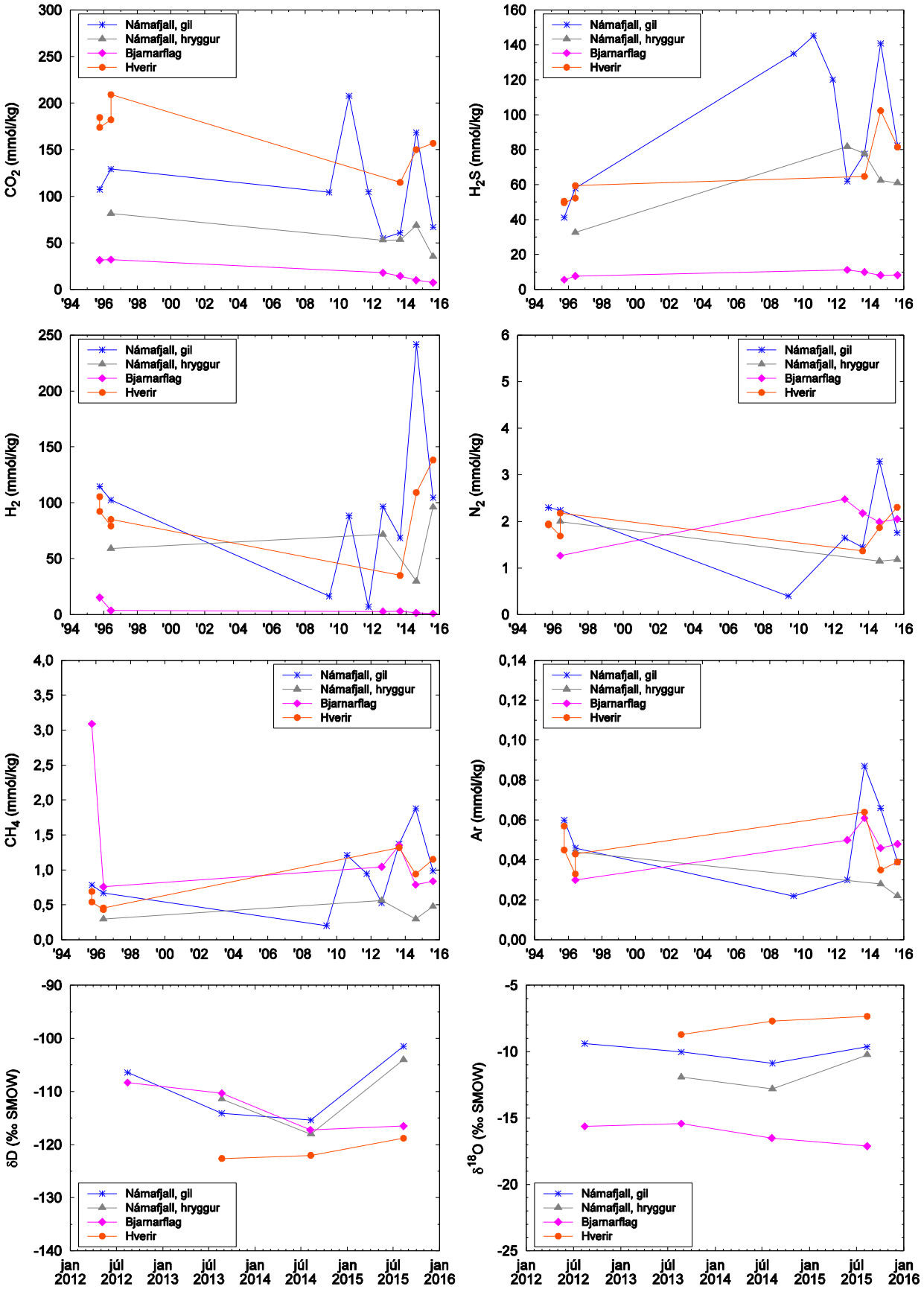
4.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga

Niðurstöður efnagreininga sýna sem tekin voru við Námafjall sumarið 2015 eru skráðar í töflu 8. Mynd 99 sýnir styrk CO_2, H_2S, H_2, N_2, CH_4 og Ar í gufuaugum á Námafjalli og í Bjarnarflagi í tímans rás. Nýjustu sýnin voru tekin í ágúst 2015 en einnig eru sýnd gögn úr öðrum augum af sömu slóðum og nýju augun þar sem þeim er að dreifa. Efnagreiningar eldri sýna eru fengnar úr skýrslum Stefáns Arnórssonar o.fl. (1995, 1996), Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2010, 2011, 2012) og Sigurðar G. Kristinssonar o.fl. (2013a, 2013b, 2014) og eru þær gefnar í töflum V-8 til V-11 í viðauka 1 ásamt tilvísunum í frumheimildir. Einnig eru á mynd 99 sýnd samsætuhlutföll í þéttivatni. Á myndunum fyrir N_2 og Ar er þeim sýnum sleppt sem eru greinilega umtalsvert menguð andrúmslofti þar eð styrkur andrúmsloftsgasanna í þeim sýnum er margfalt hærri en gengur og gerist í gufusýnum og skekkir því myndina verulega.

Í töflu 9 er sýndur reiknaður djúphiti út frá mældum styrk hinna ýmsu gastegunda. Notast er við kvarðanir Stefáns Arnórssonar og félaga (1998) sem reiknaðar eru út frá ætluðu jafnvægi við steindafylkin klínózóisít-kalsít-kvars-prehnít (CO_2) og pýrít-pyrrhótít-prehnít-epidót (H_2S og H_2). Fyrir Námafjall er notuð sú kvörðun CO_2-hitamælisins sem gerir ekki ráð fyrir miklu CO_2-flæði frá kviku.

Tafla 8. *Efnasamsetning gufusýna frá Námafjallssvæðinu.*

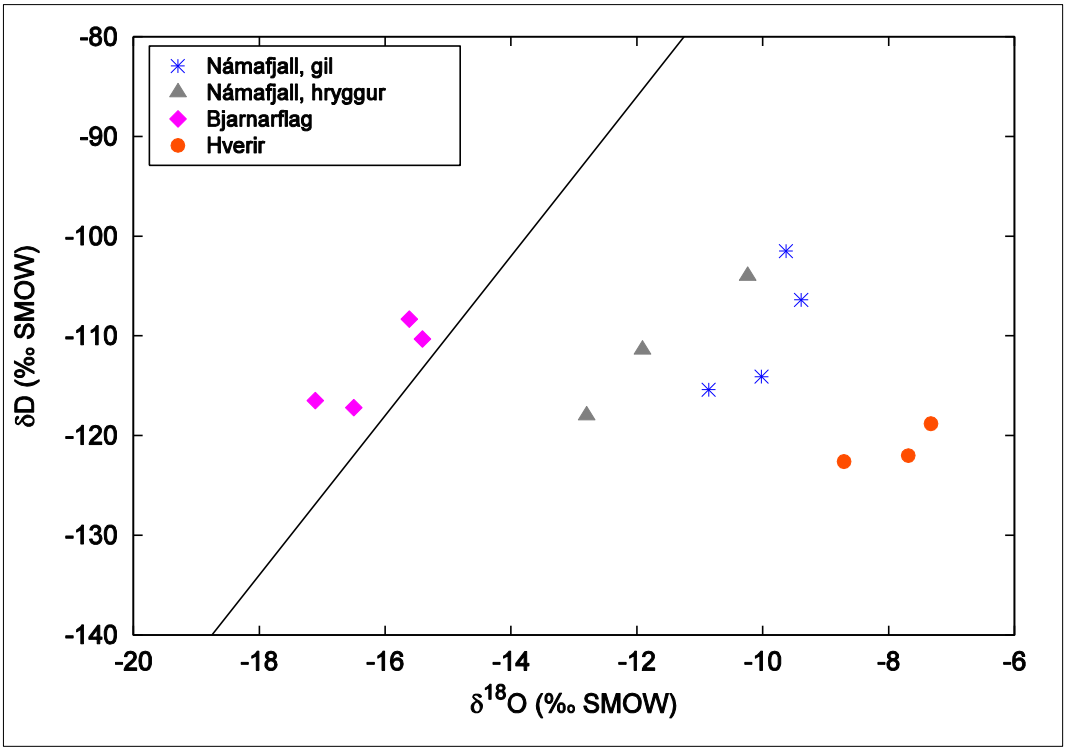
Sýni	20150253	20150254	20150255	20150256
Dagsetning	11.8.2015	11.8.2015	11.8.2015	11.8.2015
Staður	N G-108	N G-102	N G-105	N G-106
Hitastig (°C)	99,0	99,0	99,1	99,0
Gasstyrkur í gufu (mmól/kg)				
CO_2	35,5	67,0	7,50	157
H_2S	61,0	82,5	8,22	81,6
H_2	96,2	105	1,11	138
CH_4	0,478	0,987	0,839	1,15
N_2	1,18	1,76	2,05	2,31
O_2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ar	0,022	0,039	0,048	0,039
Steinefni í þéttivatni (mg/kg)				
Cl	0,03	0,02	<0,01	0,05
B	0,02	0,46	0,04	0,04
Samsætur í þéttivatni (‰SMOW)				
$\delta^{18}O$	-10,24	-9,63	-17,11	-7,33
δD	-104,0	-101,5	-116,5	-118,8



Mynd 99. *Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum á Námafjallssvæðinu.*

Tafla 9. *Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áranna 2012–2015 frá Námafjallssvæðinu, skipt eftir svæðum. Notast er við kvarðanir Stefáns Arnórssonar o.fl. (1998). Tölum í sviga er sleppt við útreikninga á meðaltali ($\bar{x}$) og staðalfráviki (σ).*

Sýni	Auga	T_{CO2}	T_{H2S}	T_{H2}	$T_{CO2/N2}$	$T_{H2S/Ar}$	$T_{H2/Ar}$	$\bar{x}$	σ
20150253	G-108	251	311	(413)	267	332	336	299	38
20140271	G-107	280	312	(344)	294	325	307	304	17
20130258	G-101	268	320	(446)	(147)	(208)	(247)	294	36
20120191	G-101	268	322	(394)	(183)	(262)	(274)	295	38
20150254	G-102	279	322	(419)	276	324	326	305	25
20140270	G-102	329	342	(484)	287	324	332	323	21
20130259	G-102	274	320	(391)	280	298	301	295	18
20120192	G-102	269	312	(414)	271	327	333	302	30
20150255	G-105	196	242	230	203	252	230	226	22
20140260	G-105	206	242	240	212	254	239	232	19
20130257	G-103	218	248	258	220	251	246	240	17
20120193	G-103	226	253	256	222	259	248	244	16
20150256	G-106	324	322	(439)	299	323	332	320	12
20140269	G-106	332	330	(422)	306	333	329	324	11
20130260	G-104	306	313	(352)	307	302	293	304	7



Mynd 100. *Samsætuvik sýna áranna 2012–2015 úr gufuaugum í Námafjalli, ásamt úrkomulínu Craigs (1961).*

N G-102: Flest sýni eru til af þessu svæði, í eða ofan gilsins í Námafjalli, þótt reyndar séu sýnin ekki tekin á nákvæmlega sama stað milli ára. Sýni áranna 2010 og 2011 voru talsvert menguð andrúmslofti sem útskýrir að nokkru leyti flöktið sem sést á mynd 99. Þá var gasstyrkur sýnisins frá hausti 2014 óvenju hár, sennilega vegna þéttingar gufu, enda eru gashitagildin um 20°C hærri en hin árin (sjá töflu 9). Gasstyrkur árið 2015 er svipaður því sem mældist árin 2012 og 2013; styrkur CO_2 er 67 mmól/kg og H_2S 82 mmól/kg. Hæstur er styrkur H_2, 105 mmól/kg, sem er umtalsvert hærra en sem nemur jafnvægi við berg í djúpinu. Því er líklegt að djúpgufa sé til staðar í kerfinu. Sé H_2-hitamælinum sleppt reiknast meðalgashiti 305°C sem er á svipuðu róli og fyrir sýni áranna 2012 og 2013. Athygli vekur að CO_2-hitamælarnir sýna kerfisbundið lægri gildi en aðrir hitamælar, sem bendir til þess að styrkur CO_2 stjórnist ekki af jafnvægi við berg heldur framboði gass frá hitagjafanum. Tvívetnisgildi er í hærri kantinum, um -102‰ í stað -115‰ sem má telja dæmigert fyrir svæðið, og bórstyrkur er 0,46 mg/kg. Hvort tveggja mætti skýra með því að þéttivatnssýnið sé að nokkru blandað vatni sem gæti hafa borist með gufunni. Til að kanna þá hugmynd betur var Na greint í þéttivatninu og reyndist um 780 mg/kg, en ætti að vera < 0,1 mg/kg í hreinni gufu, svo líklega er um vatnsmeðburð að ræða. Styrkur Cl er lágur; 0,02 mg/kg.

N G-105: Styrkur CO_2 í gilinu ofan B-9 fer enn lækkandi; hann var á bilinu 59–67 mmól/kg árin 1995 og 1996 en hefur lækkað nokkuð samfellt síðustu fjögur ár og mælist nú 7,5 mmól/kg. Sömu sögu er að segja af styrk H_2S og H_2 en styrkur beggja gastegunda var á bilinu tæplega 20 til um 25 mmól/kg árin 1995 og 1996 en H_2S mælist nú 8,2 mmól/kg og styrkur H_2 aðeins 1,1 mmól/kg. Styrkur annarra gastegunda breytist minna. Efnahitamælum ber ágætlega saman, bæði innbyrðis og milli ára, og reiknast efnahiti að meðaltali 226°C í sýni ársins 2015 en var 232°C árið 2014. Tvívetnisgildið er -117‰ líkt og 2014 en gildi áranna 2012 og 2013 voru svolítið hærri (-108‰ og -110‰) en þau sýni voru tekin úr auga G-103, um 120 m innar í gilinu. Meðalgashiti sýnanna úr G-103 var einnig um 10°C hærri. Styrkur B er mjög lágur, 0,04 mg/kg, en styrkur Cl er undir greiningarmörkum (<0,01 mg/kg).

N G-106: Styrkur CO_2 mælist 157 mmól/kg í flaginu vestan undir holu H-9 á Hverum, og er það svipað og árið 2014, en nokkru lægra en niðurstöður Stefáns Arnórssonar og félaga frá 1995 og 1996. H_2S og H_2 hafa styrk 82 og 138 mmól/kg og eru bæði gildi nokkru hærri en niðurstöður Stefáns og félaga. Hér reiknast efnahiti allhár, 320°C að meðaltali, að H_2-hitanum slepptum. Öðrum gashitamælum ber ágætlega saman. Þetta er í samræmi við niðurstöður fyrri ára. Tvívetnisgildi eru áberandi lægst á Hverum, nú -119‰ en -122‰ árin 2013 og 2014. Hins vegar eru gildin fyrir ^{18}O hæst á Hverum, og þar með hafa sýnin mesta súrefnishliðrun Námafjallssýnanna, um 9‰ (sjá mynd 100). Styrkur bæði B og Cl er lágur, 0,04 og 0,05 mg/kg.

N G-108: Gasstyrkur í auga G-108 á hrygg Námafjalls er ekki ósvipaður styrk í eldri sýnum úr augum G-107 og G-101. Þó mælist vetnisstyrkur umtalsvert hærri en 2014; 96 mmól/kg. Styrkur CO_2 mælist um 35 mmól/kg og styrkur H_2S 61 mmól/kg. Efnahiti reiknast að meðaltali 299°C, ef H_2-hitanum er sleppt. Líkt og fyrir G-102 gefa gashitamælarnir þar sem CO_2 kemur við sögu talsvert lægri hitastig en hinir gashitamælarnir (tafla 9). Samsætugildum svipar einnig til sýna úr G-102 og sömuleiðis tekur tvívetni ámóta stökk á báðum stöðum, og mælist -104‰ í G-108. Þetta bendir til hugsanlegs meðburðar vatns við sýnatökuna. Greining á styrk Na gefur hið sama til kynna; mældur styrkur Na er 99 mg/kg. Styrkur B og Cl er hins vegar mjög lágur; 0,04 og 0,03 mg/kg.

4.2.3 Samantekt

Talsverður innbyrðis munur er milli þeirra þriggja undirsvæða í Námafjalli þar sem gufuvirkni á yfirborði er nægilega mikil til að ná megi sýnum af gufunni. Djúphiti er lægstur í Bjarnarflagi, 230–240°C, en hækkar eftir því sem austar dregur, er um 300°C á Námafjalli sjálfu og um 320°C við Hveraröndina. Hár vetnisstyrkur gefur til kynna að nokkur djúpgufa sé til staðar undir Námafjalli og Hveraröndinni en vetnisstyrkur í Bjarnarflagi er í samræmi við það sem vænta má miðað við að jarðhitavökvinn sé í jafnvægi við berg. Aftur á móti samræmist koldíoxíðstyrkur í Bjarnarflagi og Hverum jafnvægi milli djúpvökva og bergs en koldíoxíðstyrkur á Námafjalli sjálfu er lægri en hann ætti að vera, væri kerfið í slíku jafnvægi. Þetta mætti túlka sem svo að afgösun CO_2 sé meiri á jöðrum kerfisins en undir Námafjalli sjálfu og að magn koldíoxíðs sem berst upp gegnum fjallið sé minna en sem nemur því sem þarf til að viðhalda þessu jafnvægi. Þetta er í samræmi við lágt gasflæði um jarðveg á Námafjalli sem sást í mælingum árin 2010 og 2013 (Auður Agla Óladóttir, 2010; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013b). Mólhlutfallið CO_2/H_2S er á bilinu 0,6–0,9 nema í Hverum þar sem það er 1,9. Styrkur Cl í þéttivatni er mjög lágur og sömuleiðis styrkur B nema í sýninu úr G-102. Líklegt er að hækkaður bórstyrkur þar stafi af meðburði gufuhitaðs yfirborðsvatns. Greiningar á styrk Na í þéttivatninu renna stoðum undir þá tilgátu.

Afgerandi munur undirsvæðanna þriggja sést einnig í samsætugildunum (sjá mynd 100). Léttasta gufan ($\delta D \approx -120‰$) er austast í kerfinu, í Hverum, og þar er súrefnishliðrun einnig mest (8–9‰). Þegar komið er upp á Námafjall sjálft mælist meira af tvívetni og gildi á bilinu -110 til -115‰ mega teljast dæmigerð þótt mæligildin frá 2015 séu heldur þyngri (-104 til -101‰). Súrefnishliðrun á þessu svæði er 3–5‰ sem bendir til þess að efnahvörf milli bergs og vatns séu ekki gengin jafn langt og í Hverum. Sýnin úr Bjarnarflagi sýna hins vegar svolitla neikvæða súrefnishliðrun (< 1‰) og liggja því vinstra megin við úrkomulínuna. Það kann að benda til þess að gufan þar sé mynduð við suðu á grunnstæðara vatni eða blöndu djúpvatns og grunnstæðara vatns. Síðari möguleikinn má heita sennilegri. Tvívetnisgildi Bjarnarflagsgufunnar eru á bilinu -118 til -108‰; lægri gildi virðast fást úr G-105 en G-103 að svo miklu leyti sem reyna má að álykta um slíkt með aðeins fjögur sýni í höndunum. Athygli vekur að tvívetnisgildi í gufuaugunum eru umtalsvert lægri en í reiknuðum djúpvökva djúpra borholna í Bjarnarflagi þar sem tvívetni er almennt á bilinu -100 til -95‰.

5 Vöktun grunnvatns í Mývatnssveit, á Þeistareykjum og í Kelduhverfi

Í þessum kafla verður greint frá niðurstöðum þeirra efnagreininga sem gerðar voru á vatnssýnum í tengslum við vöktun grunnvatns í Mývatnssveit, á Þeistareykjum og í Kelduhverfi árið 2015. Niðurstöður verða bornar saman við niðurstöður fyrri ára og helstu breytingar raktar. ÍSOR annaðist sýnatöku og efnagreiningar aðalefna en snefilefni voru greind hjá ALS Laboratories í Luleå í Svíþjóð og samsætur súrefnis og vetnis voru greindar hjá Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands. Sýnatöku- og efnagreiningaraðferðum er lýst í viðauka 2. Reikul efni (sýrustig, karbónat og leiðni) voru mæld á rannsóknarstofu ÍSOR innan tveggja til þriggja sólarhringa, og önnur efni síðar. Sýnataka og úrvinnsla er með svipuðum hætti og í þessu verkefni undanfarin ár. Í viðauka 3 og 4 eru sýndar myndir með efnastyrk í öllum þeim grunnvatnssýnum sem skráð eru í gagnagrunn ÍSOR og í viðauka 5 eru sýndar niðurstöður hitamælinga í eftirlitsholum í Mývatnssveit og í holum ÞR-8 og ÞR-9 á Þeistareykjum.

5.1 Mývatnssveit

Umhverfisvöktun með affallsvatni frá Kröflu- og Bjarnarflagsvirkjunum er lýst skýrslu Halldórs Ármannssonar og Magnúsar Ólafssonar (2004) en tillögur að eftirliti voru settar fram í skýrslum Halldórs Ármannssonar og Magnúsar Ólafssonar (2002) og Halldórs Ármannssonar (2003). Aðferðin byggist á því að fylgjast með „náttúrulegum ferilefnum“ á borð við arsen sem eru til staðar í margfalt hærri styrk í affallsvatni virkjananna en grunnvatni. Á grundvelli samkomulags við Umhverfisstofnun hefur grunnvatn í Mývatnssveit verið vaktað á tíu eftirlitsstöðum tvisvar á ári frá árinu 2004 og niðurstöður verið birtar árlega í skýrslum sem ÍSOR hefur tekið saman fyrir Landsvirkjun (sjá Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson, 2004, 2005, 2006a, 2007, 2012; Halldór Ármannsson o.fl., 2008, 2009, 2010, 2011; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a, 2013b, 2014). Í efnagrunni ÍSOR eru varðveittar niðurstöður efnagreininga sem ná talsvert lengra aftur í tímann fyrir suma vöktunarstaðina. Á árinu 2013 varð sú breyting á vöktun grunnvatns á svæðinu að vöktunarstöðum var fjölgað úr 10 í 19 og sýnataka fer nú fram einu sinni á ári (Umhverfisstofnun, 2014). Starfsmaður ÍSOR annast sýnatöku og ÍSOR sér um efnagreiningar og úrvinnslu gagna.

Á árinu 2015 fór sýnataka fram í september og alls voru tekin sýni á 21 vöktunarstað. Yfirlit um staðina er sýnt í töflu 10 og á mynd 101. Hola LUD-11 bættist í hóp eftirlitsholna og einnig var tekið sýni úr holu AE-10, líkt og gert var 2013 og 2014. Sýnataka fór fram samkvæmt verklagi ÍSOR (Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson, 2006b). Hiti vatnsins og styrkur brennisteinsvetnis var mældur við sýnatöku svo og rennsli úr þeim holum sem dælt var úr (tafla 11) en djúpdælur eru nú í átta vöktunarholum á Mývatnssvæðinu

Tafla 10. *Vöktunarstaðir í Mývatnssveit 2015.*

Staður	*Staðarnr.*	*Sýni nr.*	*Dags.*	*Hiti (°C)*	*X*	*Y*
Krafla-skiljustöð	M-20008	20150289	8.9.2015 10:30	94,8	602585	580452
AE-10	B-57890	20150322	13.9.2015 18:30	37,4	602263	577758
Hlíðardalslækur v/AB-2	V-2356	20150299	10.9.2015 17:30	12,5	602549	572138
AB-2	B-57842	20150300	10.9.2015 20:05	3,5	602504	572234
LUD-4	B-58504	20150290	8.9.2015 11:25	5,5	601182	571414
LUD-3	B-58503	20150315	13.9.2015 9:00	4,5	600780	570018
LUD-2	B-58502	20150318	13.9.2015 11:30	5,4	600210	567326
LUD-5	B-58505	20150291	8.11.2015 20:45	4,4	602746	570365
LUD-6	B-58506	20150296	9.9.2015 16:20	34,3	598927	570225
LUD-10	B-58510	20150324	14.9.2015 10:30	26,4	595256	571507
LUD-11	B-58521	20150295	9.9.2015 16:00	35,0	598375	574067
Bjarnarflagslón	M-20004	20150293	8.9.2015 21:30	12,5	598920	573066
Bjarg	H-10080	20150297	10.9.2015 8:00	18,8	595981	572967
Helgavogur	H-10082	20150317	13.9.2015 10:45	23,7	595660	572213
Stóragjá	H-10083	20150316	13.9.2015 10:15	27,7	596231	572759
Grjótagjá	H-10085	20150292	8.9.2015 17:00	46,1	597515	571469
Vogagjá	H-10087	20150288	7.9.2015 20:00	41,0	597236	570623
Langivogur	H-10088	20150319	13.9.2015 13:30	21,9	595991	570334
Hverfjallsgjá	K-559	20150294	9.9.2015 14:15	6,4	597107	569164
Vogaflói	K-558	20150320	13.9.2015 15:30	5,9	595856	569697
Garðslind	K-556	20150287	7.9.2015 18:00	6,2	593816	563105

Tafla 11. *Yfirlit um dælt magn við sýnatöku 2015 úr vöktunarholum í Mývatnssveit.*

Hola	*Staðarnr.*	*Sýni nr.*	*Dags.*	*Hiti (°C)*	*Magn (L)*
AB-2	B-57842	20150300	10.9.2015	3,5	2900
LUD-2	B-58502	20150318	13.9.2015	5,4	3050
LUD-3	B-58503	20150315	13.9.2015	4,5	2170
LUD-4	B-58504	20150290	8.9.2015	5,5	3050
LUD-5	B-58505	20150291	8.9.2015	4,4	4870
LUD-6	B-58506	20150296	9.9.2015	34,3	5400
LUD-10	B-58510	20150324	14.9.2015	26,4	dælt í 2 klst.
LUD-11	B-58521	20150295	9.9.2015	35,0	10800

Niðurstöður efnagreininga eru sýndar í töflu 13 og til glöggvunar eru niðurstöður mælinga á arseni bornar saman við fyrri niðurstöður á myndum 102–104 og fyrir ál á myndum 105–107. Myndirnar sýna niðurstöður mælinga fyrir sýni á tímabilinu 1995–2015 en ekki eru til mælingar á þessum efnum sem ná svo langt aftur fyrir alla vöktunarstaðina. Á myndum 1–12 í viðauka 3 eru sýndar niðurstöður á mælingum hitastigs og allra tiltækra efna og samsætuhlutfalls vetnis og súrefnis fyrir vöktunarstaði allt frá 1990 fram til 2015. Hafa ber í huga við skoðun myndanna í viðauka 3 að gögnin eru ekki yfirfarin með tilliti til aðstæðna við sýnatöku eða greiningaraðferða, sem hafa breyst í gegnum tíðina. Þessi gögn eru fremur sýnd hér til

þess að benda á að umsvifamikil vöktun á efnasamsetningu grunnvatns, heits og kalds, hefur farið fram í Mývatnssveit um langa hríð.

Myndum 102–107, sem sýna niðurstöður fyrir styrk arsens og áls, er skipt upp eftir svæðum. Myndir 102 og 105 sýna styrk arsens (mynd 102) og áls (mynd 105) fyrir skiljuvatn frá Kröflustöð, vatn í Hlíðardalslæk við holu AB-2, úr holu LUD-4 og úr „svelgnum" vestast í Bjarnarflagslóni. Myndir 103 og 106 sýna styrk arsens og áls úr öllum vöktunarholunum (AE-10, AB-2 og LUD-2, LUD-3, LUD-4, LUD -5, LUD-6 og LUD-10). Á það skal bent að niðurstöður fyrir holu LUD-4 eru sýndar bæði á myndum 102 og 103 fyrir arsen og á myndum 105 og 106 fyrir ál. Á myndum 104 og 107 er síðan sýndur styrkur arsens og áls í sýnum úr heitum, volgum og köldum lindum í Mývatnssveit. Rétt er að benda sérstaklega á að styrkur einstakra efna getur verið mjög breytilegur milli þessara svæða og kvarðar á y-ás myndanna, þar sem styrkur efna er sýndur, þess vegna mismunandi. Þetta þarf að hafa í huga við samanburð þeirra. Á myndunum sem sýna niðurstöður arsenmælinga (myndir 102–104) eru sýnd umhverfismörk þar sem við á en þau eru tilgreind í reglugerð um varnir gegn mengun vatns nr. 796/1999. Í reglugerðinni eru sett umhverfismörk fyrir nokkur snefilefni og þeim skipt í fimm flokka (tafla 12). Á myndunum eru einnig sýnd mörk fyrir neysluvatn (0,01 mg/L) eins og þau eru skilgreind í reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001. Fyrir ál eru einnig sýnd norsk umhverfismörk (0,02 og 0,08 mg/L) eins og nánar er fjallað um í skýrslu ÍSOR (Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson, 2005). Eituráhrif áls gagnvart fiski eru þekkt og sett hafa verið mörk um hámarksstyrk þess í neysluvatni. Viðmiðunarmörk áls fyrir styrk í neysluvatni eru víðast á bilinu 0,1–0,2 mg/L (Srinivasan o.fl., 1999) en hér á landi eru þau 0,2 mg/L samkvæmt reglugerð nr. 536/2001 um neysluvatn. Í Noregi hefur verið lagt til að umhverfismörk fyrir lífríki verði annars vegar 0,02 mg/L fyrir lax en 0,08 mg/L fyrir silung (Löfgren og Lydersen, 2002).

Tafla 12. *Umhverfismörk fyrir málma í yfirborðsvatni til verndar lífríkis (styrkur efna í mg/L).*

Umhverfismörk	***I***	***II***	***III***	***IV***	***V***
Kopar	≤0,0005	0,0005-0,003	0,003-0,009	0,009-0,045	>0,045
Zink	≤0,005	0,005-0,02	0,02-0,06	0,06-0,3	>0,3
Kadmíum	≤0,00001	0,00001-0,0001	0,0001-0,0003	0,0003-1,005	>1,005
Blý	≤0,0002	0,0002-0,001	0,001-0,003	0,003-0,015	>0,015
Króm	≤0,0003	0,0003-0,005	0,005-0,015	0,015-0,075	>0,075
Nikkel	≤0,0007	0,0007-0,0015	0,0015-0,0045	0,0045-0,0225	>0,0225
Arsen	≤0,0004	0,0004-0,005	0,005-0,015	0,015-0,075	>0,075

Skýringar við töflu 12:

Umhverfismörk I: Mjög lítil eða engin hætta á áhrifum.

Umhverfismörk II: Lítil hætta á áhrifum.

Umhverfismörk III: Áhrifa að vænta á viðkvæmt lífríki.

Umhverfismörk IV: Áhrifa að vænta.

Umhverfismörk V: Ávallt ófullnægjandi ástand vatns fyrir lífríki/þynningarsvæði.

Á myndum 102–104 kemur fram að heilt yfir eru ekki sýnilegar miklar breytingar í styrk arsens milli áranna 2014 og 2015. Líkt og áður er styrkur arsens hæstur og mjög sveiflukenndur í affallsvatni frá Bjarnarflagsvirkjun (mynd 102) og mældist hann 0,154 mg/L haustið 2015. Á undanförnum 15 árum hefur hann mælst á bilinu 0,04 (2008) til 0,291 (2006) mg/L og að meðaltali 0,176 mg/L. Styrkur arsens er sem fyrr mun lægri í affalli frá skiljustöð Kröfluvirkjunar og mældist 0,0251 mg/L haustið 2015 sem er svipaður styrkur og verið hefur frá því mælingar hófust 2001. Meðalstyrkur þess síðastliðin 15 ár er um 0,029 mg/L.

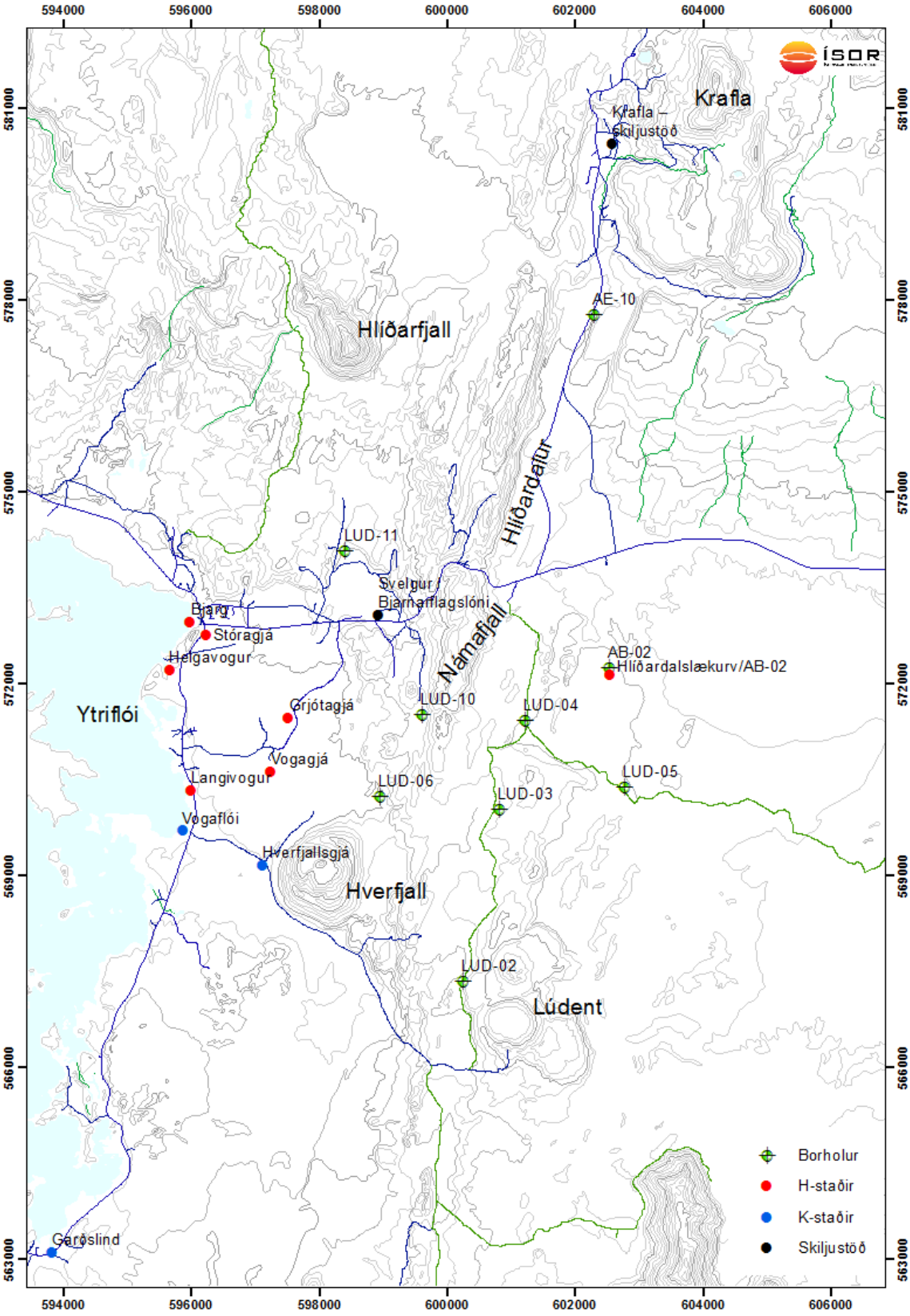
Mynd 103 sýnir styrk arsens í öllum vöktunarholunum í Mývatnssveit. Þar sést vel að vatn úr þeim öllum liggur núna innan við umhverfismörk II (0,005 mg/L) og í flestum tilvikum innan við umhverfismörk I (0,0004 mg/L). Vatn úr holu AB-2 liggur nánast á línunni sem sýnir umhverfismörk I en vatn úr holu LUD-4 er við umhverfismörk II. Þar sést einnig vel að styrkur arsens náði ákveðnu hámarki í vatni úr holu LUD-4 á árunum 2008–2010 en er nú kominn niður fyrir það sem hann var þegar mælingar hófust árið 2003. Talið er líklegt að breyting þessi geti stafað af breytingu í því magni affallsvatns sem farið hefur í Hlíðardalslækinn. Magn þess jókst nokkuð á árunum 2004–2008 en er mun minna nú (Magnús Ólafsson o.fl., 2013). Styrkur arsens í vatni úr öðrum holum hefur ekki breyst markvert. Í öllum eftirlitsholunum er styrkur arsens vel innan við viðmiðunarmörk fyrir neysluvatn, sem eru 0,01 mg/L.

Mynd 104 sýnir styrk arsens í heitum og köldum lindum í Mývatnssveit. Styrkurinn fellur neðan umhverfismarka I í þeim öllum, og hefur alltaf gert, ef frá eru talin tvö til þrjú „hágildi“ í Grjótagjá frá í júní 2003, maí 2010 og október 2010. Engin einhlít skýring hefur fundist sem skýrt geti þessi „hágildi“. Í mörgum lindanna er styrkur arsens innan greiningarmarka þeirra aðferða sem notuð er (0,00005 mg/L). Engin merki sjást um hækkaðan styrk arsens í lindum við Mývatn. Um þetta var fjallað ítarlega í nýlegri skýrslu um áhrif jarðhitanýtingar í Bjarnarflagi á grunnvatn við Mývatn (Magnús Ólafsson o.fl., 2013) og var niðurstaða vöktunar á styrk arsens undanfarinn u.þ.b. einn og hálfan áratug sú að ekki er unnt að greina neina langtímaleitni í átt að hækkandi styrk arsens í grunnvatni við austanvert Mývatn. Sýnin sem safnað var haustið 2015 styðja þá niðurstöðu.

Á myndum 105–107 er sýndur styrkur áls í vatni frá öllum vöktunarstöðum. Þar eru einnig sýnd umhverfismörk I (0,02 mg/L) og II (0,08 mg/L) eins og þau eru tilgreind fyrir grunnvatn í Noregi (Löfgren og Lydersen, 2002). Á fjórum vöktunarstöðum; skiljustöð Kröfluvirkjunar, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni, mælist styrkur áls yfir umhverfismörkum II. Myndin sýnir að styrkur áls í vatni úr Bjarnarflagslóni er að jafnaði hærri en á öðrum stöðum líkt og verið hefur og einnig sést að hann hefur verið nokkuð sveiflukenndur í gegnum tíðina. Styrkur þess mældist 2,09 mg/L haustið 2015 en hefur að meðaltali verið 1,835 mg/L síðastliðinn einn og hálfan áratug. Minni sveiflur koma fram í styrk áls í affallsvatni Kröflustöðvar. Hann mældist 1,43 mg/L haustið 2015 og hefur verið að meðaltali 1,491 mg/L síðastliðin 15 ár. Á myndinni sést einkennileg og óútskýrð hækkun í styrk áls í vatni úr Hlíðardalslæk og er litið svo á að um gallaða efnagreiningu sé að ræða. Fylgst verður grannt með styrk áls á þessum stað við vöktun á næsta ári. Á mynd 105 sést einnig að styrkur áls í vatni úr LUD-4 hefur lækkað umtalsvert frá hámarki áranna 2006–2008, eins og sjá má betur á mynd 106. Mynd 106 sýnir styrk áls í vatni úr öllum vöktunarholunum og á öllum stöðum er hann innan við umhverfismörk II (0,08 mg/L) og í flestum tilvikum nánast við umhverfismörk I (0,02 mg/L). Mynd 107 sýnir styrk áls í heitum og köldum lindum í Mývatnssveit og er styrkur þess í flestum tilvika innan við umhverfismörk I (0,02 mg/L). Vatn úr lind í Langavogi hefur stundum haft álstyrk rétt við umhverfismörk II, eins og Grjótagjá og Vogagjá. Styrkur áls er vel innan við neysluvatnsmörk (0,2 mg/L) í holunum, nema í holu LUD-4.

Skoðun á niðurstöðum efnagreininga fyrir aðra málma en arsen og umhverfismörk þeirra samkvæmt reglugerð um varnir gegn mengun vatns nr. 796/1999 (tafla 12) sýnir að í flestum tilfellum fellur vatnið á eftirlitsstöðum í Mývatnssveit í flokk I eða II. Á þessu eru þó undantekningar, einkum hvað varðar kopar og króm, en þá ber að hafa í huga að frá náttúrunnar hendi er styrkur þessara efna frekar hár í vatni á eldvirkum svæðum hér á landi. Aftur á móti setur styrkur efni eins og kadmíum og blý öll vatnssýni í flokk I og sama má segja um nikkel að frátöldum sýnum úr Hlíðardalslæk. Sýni úr borholum falla í flokk II.

Tiltæk gögn um efnasamsetningu grunnvatns, heits og kalds, í lindum við austanvert Mývatn sýna óveruleg áhrif sem rekja má til jarðhitanýtingar í Bjarnarflagi eða Kröflu. Helst má merkja áhrif í eftirlitsholum í „Búrfellshrauni“ austan Námafjalls en þar hefur hækkun í styrk arsens og áls að mestu gengið til baka. Styrkur kvikasilfurs er alls staðar undir umhverfismörkum.



Mynd 101. *Sýnatökustaðir í Mývatnssveit 2015. Borholur eru sýndar grænar með krossi. Volgar lindir eru rauðar, kaldar lindir bláar og manngerðir staðir eru svartir.*

Tafla 13. *Niðurstöður efnagreininga á vatnssýnum frá vöktunarstöðum haustið 2015. Styrkur efna í mg/L.*

Staðarnafn	Skiljustöð	AE-10	Hlíðardalslækur v/AB-2	AB-2	LUD-4
Sýnanúmer	20150289	20150322	20150299	20150300	20150290
Staður	M-20008	B-57890	V-2356	B-57842	B-58504
Dagsetning	8.9.2015	13.9.2015	10.9.2015	10.9.2015	8.9.2015
Hitastig (°C)	94,8	37,4	12,5	3,5	5,5
Sýrustig (pH / °C)	9,82 / 21,2	8,07 / 21,0	7,66 / 21,4	7,81 / 20,7	8,01 / 21,3
Leiðni við 25°C (µS/cm)	1207	339	656	153	367
Karbónat (CO_2)	38,8	81,4	85,0	49,8	63,4
Brennisteinsvetni (H_2S)	21,5	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	1,00	0,03	0,42	0,05	0,14
Kísill (SiO_2)	610	49,8	158	27,8	47,6
Natríum (Na)	256	42,3	82,6	10,8	51,1
Kalíum (K)	31,7	1,51	9,94	1,53	2,20
Magnesíum (Mg)	0,006	1,01	10,5	5,20	8,25
Kalsíum (Ca)	2,84	29,1	33,4	10,5	12,9
Flúoríð (F)	1,25	0,13	0,35	0,21	0,27
Klóríð (Cl)	82,0	3,78	23,7	3,96	10,5
Súlfat (SO_4)	226	66,7	181	12,8	83,4
Ál (Al)	1,43	0,00890	1,39	0,00449	0,137
Arsen (As)	0,0251	<0,00005	0,0102	0,000464	0,00452
Baríum (Ba)	0,00283	0,000947	0,00272	0,000263	0,000465
Kadmíum (Cd)	0,000004	<0,000002	0,000010	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	0,000015	0,000008	0,00140	0,000007	0,000011
Króm (Cr)	0,00187	0,000174	0,00488	0,000650	0,000517
Kopar (Cu)	0,000666	0,000110	0,00489	0,000528	0,00112
Járn (Fe)	0,0493	0,0763	2,39	0,00524	0,0242
Kvikasilfur (Hg)	0,000004	<0,000002	0,000008	<0,000002	<0,000002
Mangan (Mn)	0,00331	0,0111	0,0934	0,000631	0,00123
Mólybden (Mo)	0,00704	0,000786	0,00352	0,000310	0,00139
Nikkel (Ni)	0,00113	0,000200	0,00473	0,000297	0,000234
Blý (Pb)	0,000015	0,000505	0,000056	<0,00001	<0,00001
Strontíum (Sr)	0,0226	0,0600	0,0450	0,0129	0,0175
Sink (Zn)	0,000860	0,00675	0,00367	0,00166	0,000244
Uppleyst steinefni (UE)	1348	204	563	124	270
Súrefnissamsætur ($\delta^{18}O$)	-	-	-	-	-
Tvívetni (δD)	-	-	-	-	-

Tafla 13. *(Frh.) Niðurstöður efnagreininga á vatnssýnum frá vöktunarstöðum haustið 2015. Styrkur efna í mg/L.*

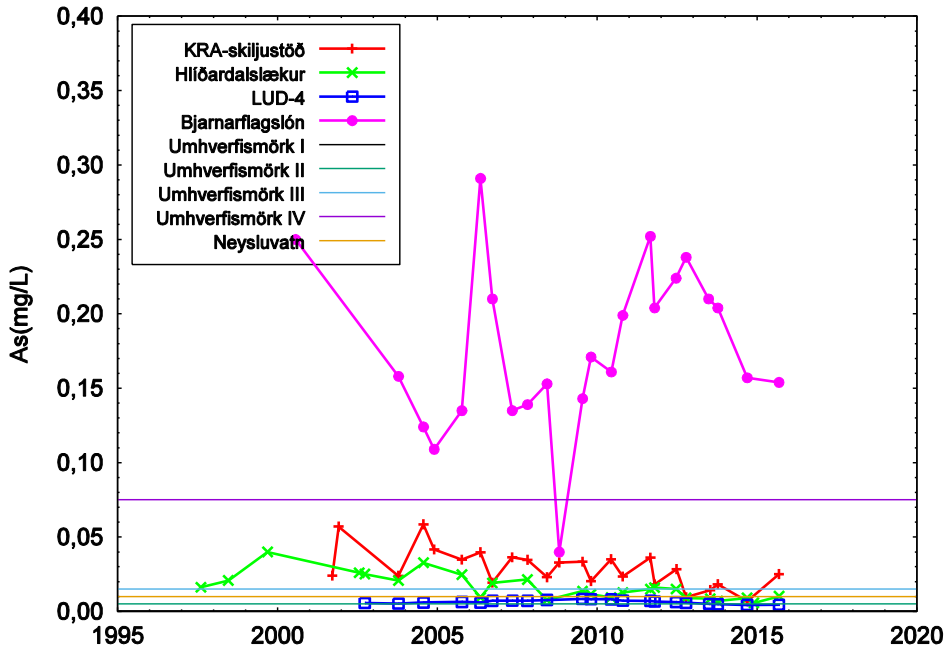
Staðarnafn	LUD-3	LUD-2	LUD-5	LUD-6	LUD-10
Sýnanúmer	20150315	20150318	20150291	20150296	20150324
Staður	B-58503	B-58502	B-58505	B-58506	B-58510
Dagsetning	13.9.2015	13.9.2015	8.9.2015	9.9.2015	14.9.2015
Hitastig (°C)	4,5	5,4	4,4	34,3	26,4
Sýrustig (pH / °C)	8,35 / 21,1	8,3 / 21,5	8,38 / 21,6	8,21 / 21,6	8,00 / 21,3
Leiðni við 25°C (µS/cm)	186	204	179	382	315
Karbónat (CO_2)	61,4	71,0	60,3	110,3	96,5
Brennisteinsvetni (H_2S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,05	0,08	0,03	0,10	0,04
Kísill (SiO_2)	21,5	23,1	21,4	62,1	42,9
Natríum (Na)	15,1	18,4	14,1	52,2	38,9
Kalíum (K)	1,83	1,67	1,86	5,55	3,82
Magnesíum (Mg)	7,05	7,69	6,92	7,47	8,71
Kalsíum (Ca)	11,1	10,3	10,3	18,0	14,8
Flúoríð (F)	0,18	0,17	0,18	0,24	0,33
Klóríð (Cl)	5,01	5,46	4,65	5,29	4,42
Súlfat (SO_4)	14,2	15,7	11,2	55,6	40,4
Ál (Al)	0,00745	0,00708	0,00465	0,00607	0,00489
Arsen (As)	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	0,000113
Baríum (Ba)	0,000281	0,000281	0,000179	0,00309	0,00546
Kadmíum (Cd)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	0,000008	<0,000005	0,000012	<0,000005	0,000067
Króm (Cr)	0,00107	0,00139	0,00124	0,000320	0,000053
Kopar (Cu)	0,000559	0,00151	0,000637	0,000143	0,000114
Járn (Fe)	0,00807	0,00171	0,00543	0,0105	0,00839
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Mangan (Mn)	0,000411	0,000031	0,000122	0,000546	0,0495
Mólybden (Mo)	0,000578	0,000643	0,000577	0,000791	0,00131
Nikkel (Ni)	0,000187	0,000178	0,000399	0,000159	0,000320
Blý (Pb)	0,000011	<0,00001	0,000010	0,000023	0,000014
Strontíum (Sr)	0,0143	0,0163	0,0120	0,0543	0,0339
Sink (Zn)	0,000470	0,000552	0,000548	<0,0002	0,000288
Uppleyst steinefni (UE)	113	130	117	277	184
Súrefnissamsætur ($\delta^{18}O$)	-	-	-	-	-
Tvívetni (δD)	-	-	-	-	-

Tafla 13. *(Frh.) Niðurstöður efnagreininga á vatnssýnum frá vöktunarstöðum haustið 2015. Styrkur efna í mg/L.*

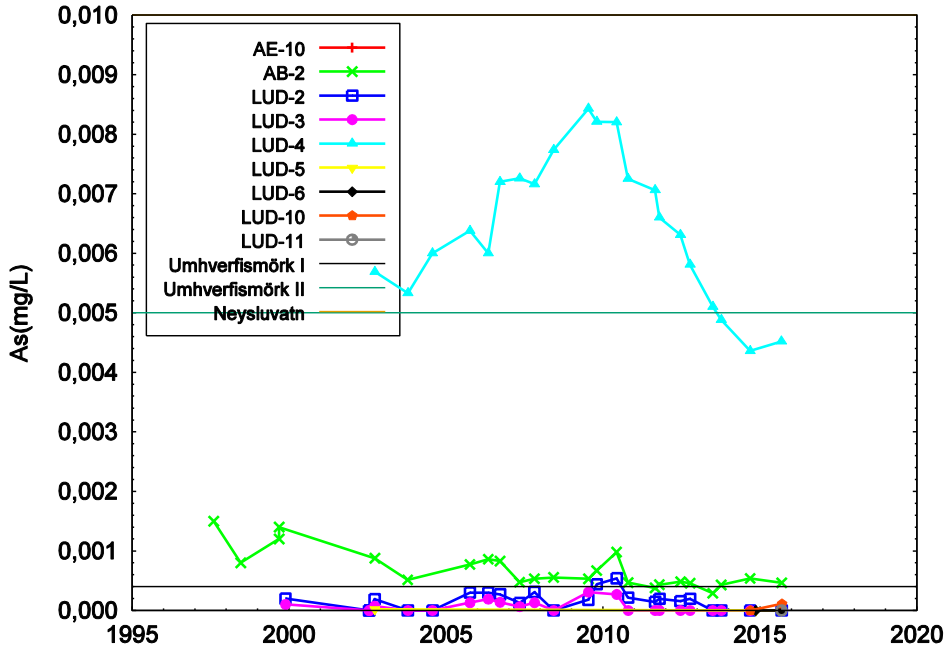
Staðarnafn	LUD-11	Svelgur	Bjarg	Helgavogur	Stóragjá
Sýnanúmer	20150295	20150293	20150297	20150317	20150316
Staður	B-58521	M-20004	H-10080	H-10082	H-10083
Dagsetning	9.9.2015	8.9.2015	10.9.2015	13.9.2015	13.9.2015
Hitastig (°C)	35,0	12,5	18,8	23,7	27,7
Sýrustig (pH / °C)	7,60 / 21,6	6,00 / 21,1	7,99 / 21,0	8,15 / 21,5	8,16 / 21,6
Leiðni við 25°C (µS/cm)	550	686	318	395	439
Karbónat (CO_2)	169,9	7,8	79,4	105,2	110,0
Brennisteinsvetni (H_2S)	<0,03	0,06	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,10	1,50	0,09	0,11	0,13
Kísill (SiO_2)	76,6	222	58,2	70,4	81,7
Natríum (Na)	64,5	119	44,3	53,8	61,8
Kalíum (K)	6,38	19,5	3,62	4,69	5,50
Magnesíum (Mg)	10,0	1,26	3,99	5,47	5,46
Kalsíum (Ca)	38,8	2,61	15,9	24,4	25,7
Flúoríð (F)	0,19	0,72	0,23	0,25	0,27
Klóríð (Cl)	5,29	47,3	9,34	7,87	9,26
Súlfat (SO_4)	88,7	46,7	46,1	66,2	80,7
Ál (Al)	0,00325	2,09	0,00571	0,00740	0,00968
Arsen (As)	<0,00005	0,154	0,000101	<0,00005	<0,00005
Baríum (Ba)	0,00894	0,000967	0,000668	0,00151	0,00184
Kadmíum (Cd)	0,000003	0,000003	0,000002	<0,000002	0,000008
Kóbalt (Co)	0,000009	0,000117	0,000019	0,000005	0,000006
Króm (Cr)	0,000732	0,000507	0,000736	0,000814	0,000835
Kopar (Cu)	0,000739	0,00160	0,00119	0,000646	0,000646
Járn (Fe)	0,0296	0,401	0,00159	0,00179	0,00144
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Mangan (Mn)	0,00642	0,0103	0,000140	<0,00003	0,000050
Mólybden (Mo)	0,000909	0,00333	0,000916	0,000967	0,000978
Nikkel (Ni)	0,000265	0,000480	0,000190	0,000111	0,000159
Blý (Pb)	0,000016	<0,00001	0,000026	<0,00001	0,000011
Strontíum (Sr)	0,0731	0,0144	0,0265	0,0376	0,0398
Sink (Zn)	0,000578	0,000941	0,000475	0,000316	0,000786
Uppleyst steinefni (UE)	397	1099	239	292	339
Súrefnissamsætur ($\delta^{18}O$)	-	-	-	-	-
Tvívetni (δD)	-	-	-	-	-

Tafla 13. *(Frh.) Niðurstöður efnagreininga á vatnssýnum frá vöktunarstöðum haustið 2015. Styrkur efna í mg/L.*

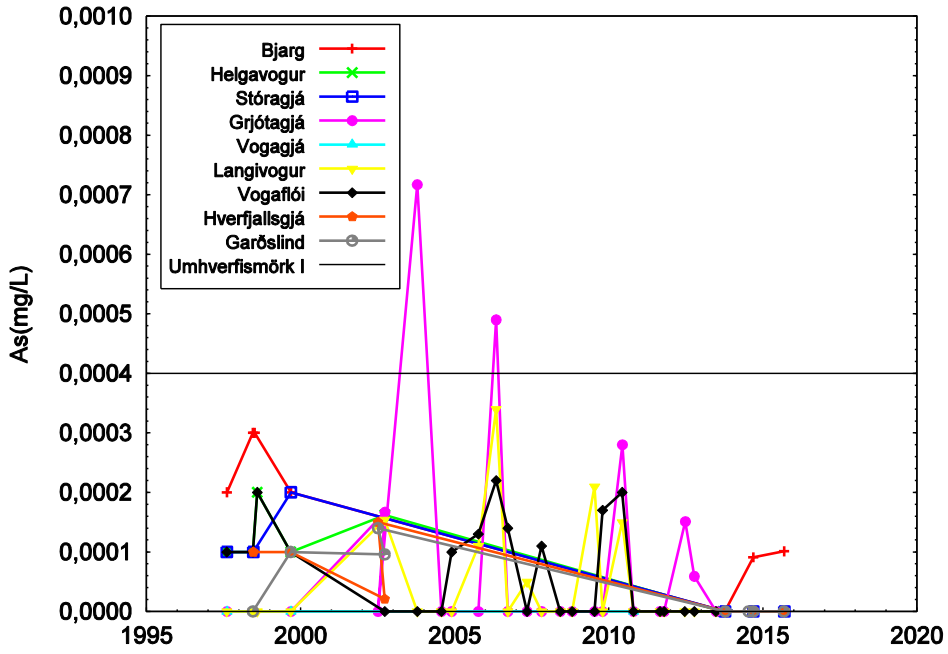
Staðarnafn	Grjótagjá	Vogagjá	Langivogur	Hverfjallsgjá	Vogaflói	Garðslind
Sýnanúmer	20150292	20150288	20150319	20150294	20150320	20150287
Staður	H-10085	H-10087	H-10088	K-559	K-558	K-556
Dagsetning	8.9.2015	7.9.2015	13.9.2015	9.9.2015	13.9.2015	7.9.2015
Hitastig (°C)	46,1	41,0	21,9	6,4	5,9	6,2
Sýrustig (pH / °C)	8,27 / 21,6	8,38 / 21,4	8,43 / 21,1	8,34 / 21,4	8,54 / 21,5	8,78 / 20,0
Leiðni við 25°C (µS/cm)	505	531	486	225	202	154
Karbónat (CO_2)	91,0	75,6	77,4	68,2	64,8	59,0
Brennisteinsvetni (H_2S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,33	0,30	0,27	0,06	0,00	0,02
Kísill (SiO_2)	149	144	122	24,3	22,1	19,5
Natríum (Na)	87,0	90,1	78,7	21,6	21,2	17,6
Kalíum (K)	7,76	7,21	6,44	1,92	1,93	1,36
Magnesíum (Mg)	2,92	2,46	3,66	7,18	6,36	4,69
Kalsíum (Ca)	14,4	15,8	15,4	12,4	11,7	7,09
Flúoríð (F)	0,35	0,34	0,33	0,19	0,20	0,17
Klóríð (Cl)	17,1	16,3	14,3	5,04	4,60	2,50
Súlfat (SO_4)	103	226	108	23,0	21,1	7,26
Ál (Al)	0,0212	0,0201	0,0115	0,00639	0,00536	0,0103
Arsen (As)	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Baríum (Ba)	0,00239	0,00176	0,00178	0,000283	0,000272	0,000159
Kadmíum (Cd)	<0,000002	0,000003	<0,000002	0,000006	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	0,000009	0,000006	<0,000005	0,000011	0,000007	0,000014
Króm (Cr)	0,000143	0,000529	0,000504	0,00145	0,00146	0,00144
Kopar (Cu)	0,000621	0,000768	0,000283	0,00152	0,000813	0,000738
Járn (Fe)	0,00175	0,00243	0,00149	0,00120	0,00161	0,00266
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Mangan (Mn)	0,00475	0,000111	0,000043	0,000077	0,000048	0,000132
Mólybden (Mo)	0,000199	0,000262	0,000366	0,000736	0,000803	0,000741
Nikkel (Ni)	0,000208	0,000331	0,000136	0,000180	0,000137	0,000560
Blý (Pb)	<0,00001	0,000023	<0,00001	<0,00001	0,000013	0,000020
Strontíum (Sr)	0,0234	0,0220	0,0232	0,0177	0,0157	0,00970
Sink (Zn)	0,00107	0,00165	0,000367	0,000945	<0,0002	0,00234
Uppleyst steinefni (UE)	436	471	401	172	124	98
Súrefnissamsætur ($\delta^{18}O$)	-	-	-	-	-	-
Tvívetni (δD)	-	-	-	-	-	-



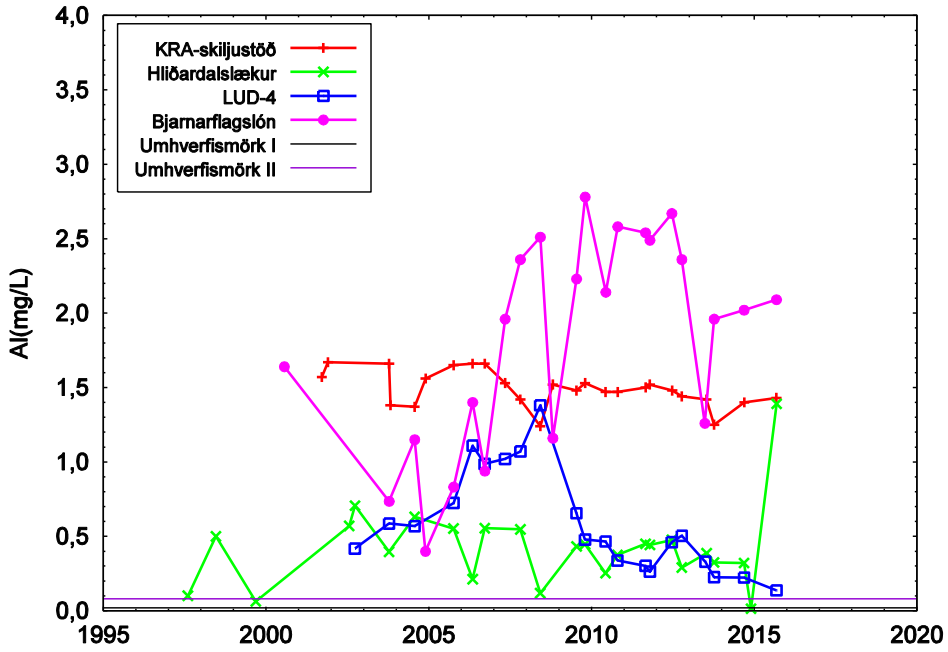
Mynd 102. *Styrkur arsens í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni á árunum 1995–2015 ásamt umhverfismörkum I, II, III og IV og mörkum fyrir neysluvatn.*



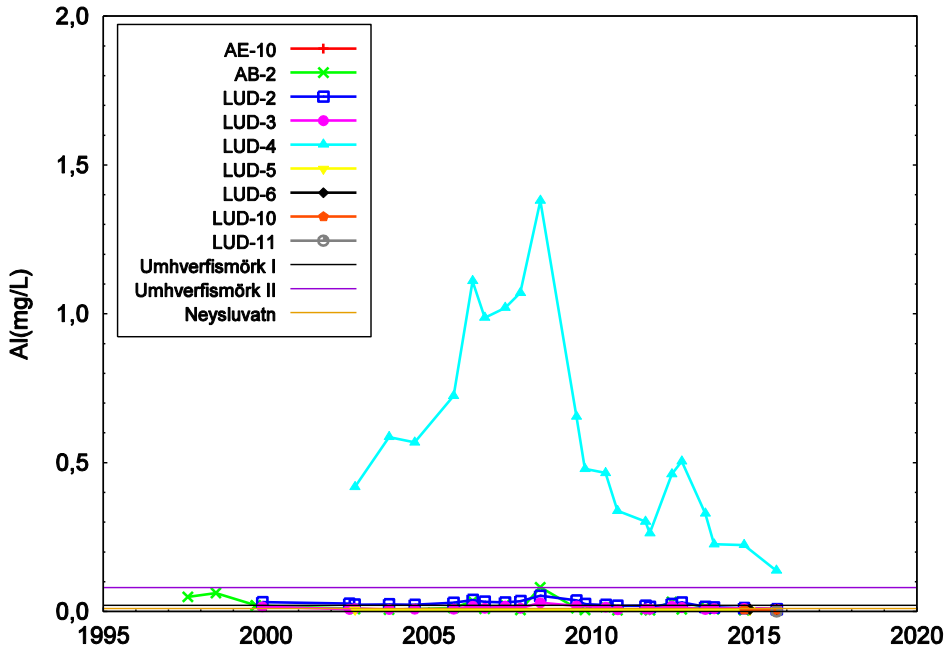
Mynd 103. *Styrkur arsens í vatni borholum á árunum 1995–2015 ásamt umhverfismörkum I, og II. Viðmiðunarmörk fyrir styrk arsens í neysluvatni eru 0,01 mg/L, efst á myndinni.*



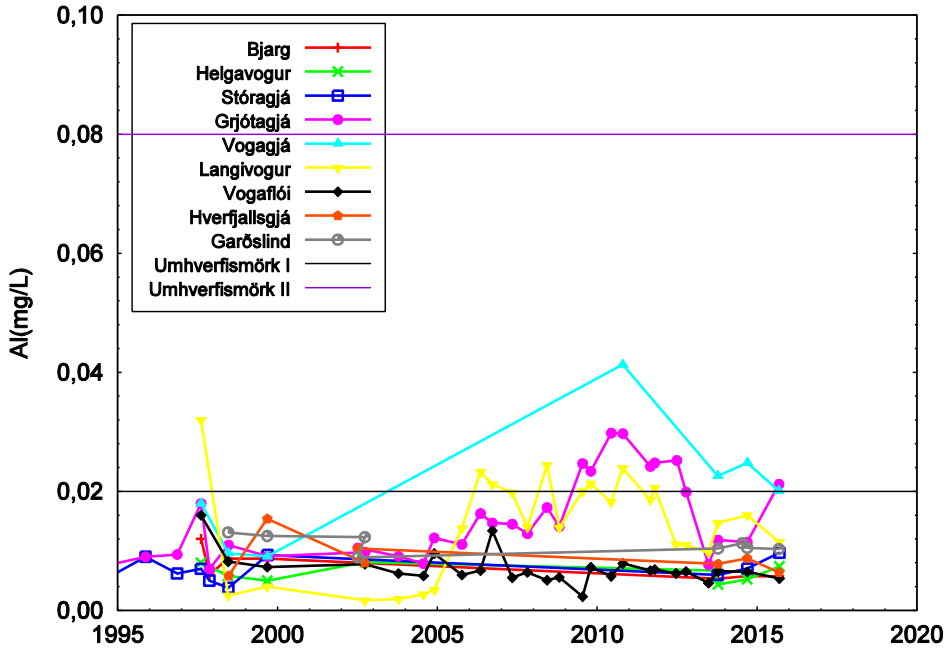
Mynd 104. *Styrkur arsens í lindum við Mývatn á árunum 1995–2015 ásamt umhverfismörkum I.*



Mynd 105. *Styrkur áls í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni á árunum 1995–2015 ásamt umhverfismörkum I og II. Mikil hækkun í styrk áls í vatni úr Hlíðardalslæk er talin stafa af gallaðri greiningu.*



Mynd 106. *Styrkur áls í vatni úr borholum á árunum 1995–2015 ásamt norskum umhverfismörkum I og II.*



Mynd 107. *Styrkur áls í vatni linda við Mývatn á árunum 1995–2015 ásamt norskum umhverfismörkum I og II.*

5.2 Þeistareykir og Kelduhverfi

Um þessar mundir vinnur Landsvirkjun að byggingu gufuaflsvirkjunar á háhitasvæðinu á Þeistareykjum. Einn liður í vöktun svæðisins er að kanna efnasamsetningu grunnvatns á Þeistareykjum og í grunnvatnsstraumnum sem þaðan rennur til sjávar í Öxarfirði, gegnum Kelduhverfi. Forsendur vöktunar grunnvatnsins voru raktar í vöktunarskýrslu fyrir árið 2012 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a) og er hér vísað til rökstuðnings þar, t.d. um val á vöktunarstöðum. ÍSOR hefur lagt til að sýnataka á vöktunarstöðum fari fram einu sinni á ári (Magnús Ólafsson og Þórólfur H. Hafstað, 2012).

Haustið 2015 fór sýnataka á Þeistareykjum og Kelduhverfi fram í september, líkt og í Mývatnssveit. Í Kelduhverfi er sýnum safnað úr köldum og volgum lindum og á Þeistareykjum hafa sérstakar holur verið boraðar fyrir grunnvatnseftirlit og í holurnar hafa verið settar djúpdælur. Einnig er sýnum safnað úr vatnsbóli Þeistareykja og úr vatnsbóli Sæluhússins. Yfirlit um sýnatökustaðina er gefið í töflu 14 og þeir eru einnig sýndir á mynd 108.

Tafla 14. *Sýnatökustaðir á Þeistareykjum og í Kelduhverfi 2015.*

Staður	Staðarnr.	Sýni nr.	Dags.	Hiti (°C)	X	Y
Þeistareykir-vatnsból	M-20409	20150309	12.9.2015 10:00	18,0	594285	599848
Þeistareykir-Skáli	H-10124	20150310	12.9.2015 10:30	9,7	593046	599344
ÞR-8	B-60368	20150314	12.9.2015 17:00	2,3	591519	608366
ÞR-9	B-60369	20150313	12.9.2015 15:30	7,7	590436	602733
ÞR-15	B-60376	20150312	12.9.2015 15:00	15,2	595016	608951
ÞR-16	B-60377	20150311	12.9.2015 11:00	4,6	589985	598152
Krossdalur	K-2745	20150306	11.9.2015 17:00	3,8	602765	622250
Rifós - Tangabrunnur	K-2743	20150304	11.9.2015 11:30	10,3	594606	624481
Lón	K-2744	20150303	11.9.2015 11:00	4,4	593990	623909
Fjöll - vatnsból	K-568	20150302	11.9.2015 10:15	2,6	592404	622118
Fjöll - lind	K-2742	20150301	11.9.2015 10:00	2,7	592391	620833

Djúpdælur eru í 5 vöktunarholum á Þeistareykjum og í töflu 15 er sýnt yfirlit um þær og hve miklu var dælt úr hverri holu við sýnatöku haustið 2015 og hiti vatnsins. Að þessu sinni láðist að taka sýni úr ÞR-5 en það verður tryggt að sýni verður tekið úr holunni að ári

Tafla 15. *Yfirlit um dælt magn og vatnshita við sýnatöku 2015 úr vöktunarholum á Þeistareykjum.*

Hola	Staðarnr.	Sýni nr.	Dags.	Hiti (°C)	Magn (L)
ÞR-5	B-60365	-	-	-	-
ÞR-8	B-60368	20150314	12.9.2015	2,3	3630
ÞR-9	B-60369	20150313	12.9.2015	7,7	Í dælingu
ÞR-15	B-60376	20150312	12.9.2015	15,2	3560
ÞR-16	B-60377	20150311	12.9.2015	4,6	2100

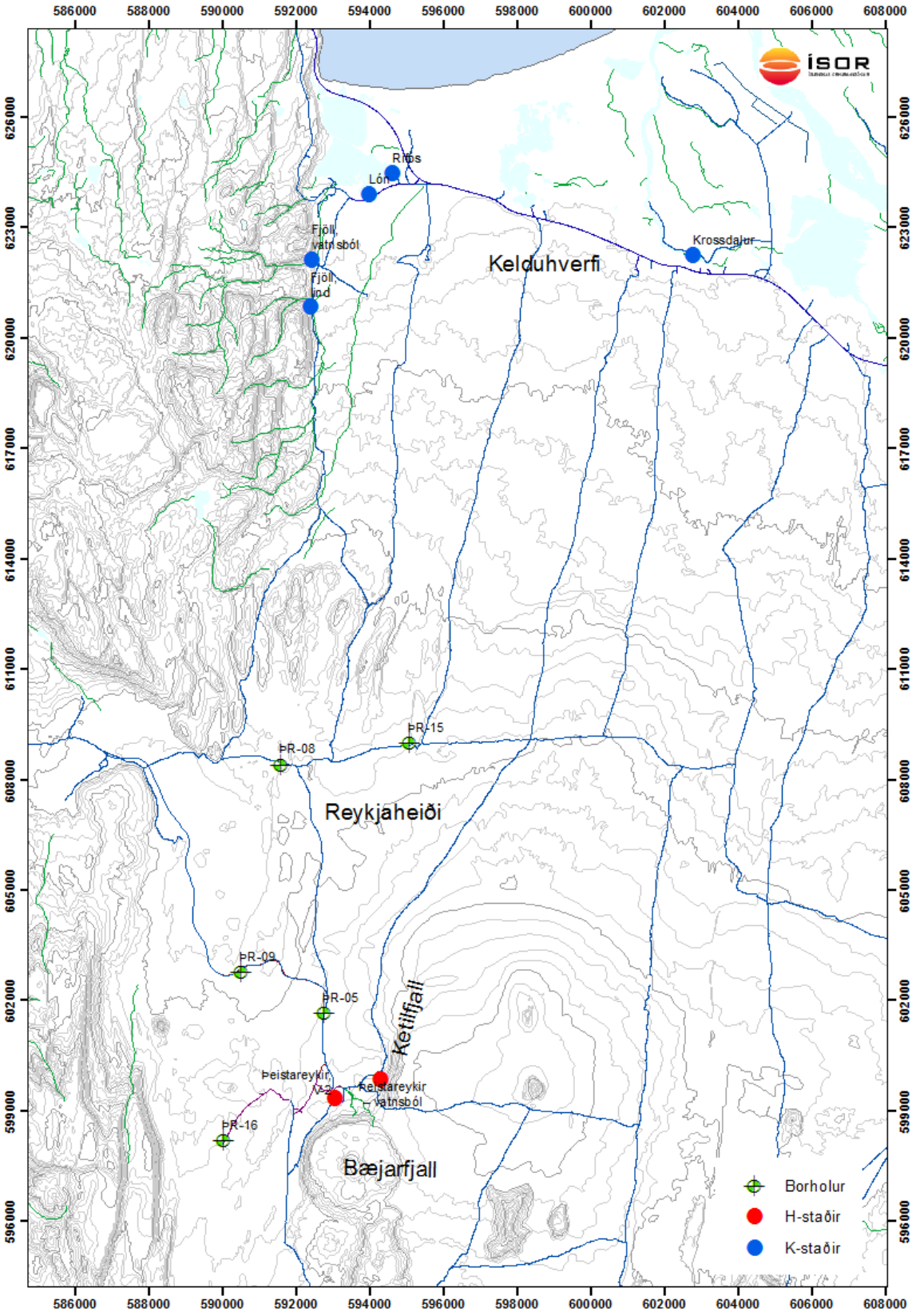
Niðurstöður efnagreininga eru sýndar í töflu 16. Á myndum 109–112 eru sýndar niðurstöður fyrir styrk arsens og áls og er þeim þannig upp skipt að annars vegar eru sýndar niðurstöður fyrir sýni úr lindum í Kelduhverfi (myndir 109 og 111) og hins vegar úr borholum og lindum á Þeistareykjum (myndir 110 og 112).

Myndir 109 og 110 sýna niðurstöður efnagreininga á arseni. Þar eru einnig sýndar niðurstöður úr fyrri mælingum frá Háskólanum á Akureyri (Hrefna Kristmannsdóttir, 2010). Inn á myndirnar eru dregin umhverfismörk I fyrir arsen (sjá töflu 12) og sést þá vel að styrkur arsens er á öllum vöktunarstöðunum vel innan við umhverfismörk I (0,0004 mg/L) og á sumum stöðum mælist styrkur arsens nærri greiningarmörkum, sem eru 0,00005 mg/L. Á myndum 111 og 112 er sýndur styrkur áls og umhverfismörk I og II. Þar sést að styrkur áls er innan við umhverfismörk I (0,02 mg/L) fyrir utan eitt sýni frá 2009 úr lind við Fjöll, sem þó er innan við umhverfismörk II. Í sýninu mældist styrkur áls 0,0664 mg/L en í ljósi þess að styrkur áls í sýnum fyrir og eftir 2009 á þessum sama stað var mun lægri og undir umhverfismörkum I er talið líklegt að greiningin sé vafasöm.

Á myndum 1–8 í viðauka 4 eru sýndar niðurstöður á mælingum hitastigs og allra tiltækra efna og samsætuhlutfalls vetnis og súrefnis fyrir vöktunarstaði á Þeistareykjum og í Kelduhverfi. Hafa ber í huga við skoðun myndanna í viðauka 4 að þau eru ekki yfirfarin með tilliti aðstæðna við sýnatöku eða greiningaraðferða, sem hafa breyst í gegnum tíðina.

Styrkur kvikasilfurs er mældur í öllum eftirlitssýnum í Kelduhverfi og á Þeistareykjum (sjá viðauka 4). Niðurstöður sýna að styrkur þess er í öllum tilvikum <0,000002 mg/L sem eru greiningarmörk þeirrar aðferðar sem notuð er við efnagreiningu kvikasilfurs (sjá viðauka 2). Samkvæmt reglugerð 800/1999 um losunarmörk, umhverfismörk og gæðamarkmið fyrir losun á kvikasilfri í yfirborðsvatn má heildarstyrkur kvikasilfurs í yfirborðsvatni á landi, þar sem áhrifa fráveituvatns gætir ekki, fara yfir 0,001 mg/L.

Jarðhitaáhrifa gætir á sumum sýnatökustöðum á Þeistareykjum. Sést það t.d. vel í hækkuðum styrk kísils í vatni úr holu ÞR-5 þar sem hann mælist rúmlega 50 mg/L, og í vatnsbólunum neðan undir Ketilfjalli og við Sæluhúsið. Lítils háttar jarðhitaáhrif sjást í vatni úr holu ÞR-9 (kísilstyrkur 23,7 mg/L). Til samanburðar mældist styrkur kísils í vatni úr holu ÞR-8 rúmlega 18 mg/L en þar gætir engra jarðhitaáhrifa og hitastig vatnsins mældist 2,3°C. Í holu ÞR-15, sem er langt norðan við Þeistareyki austan við holu ÞR-8, sjást áhrif jarðhita. Hiti mælist þar um 15°C og styrkur kísils um 35 mg/L.



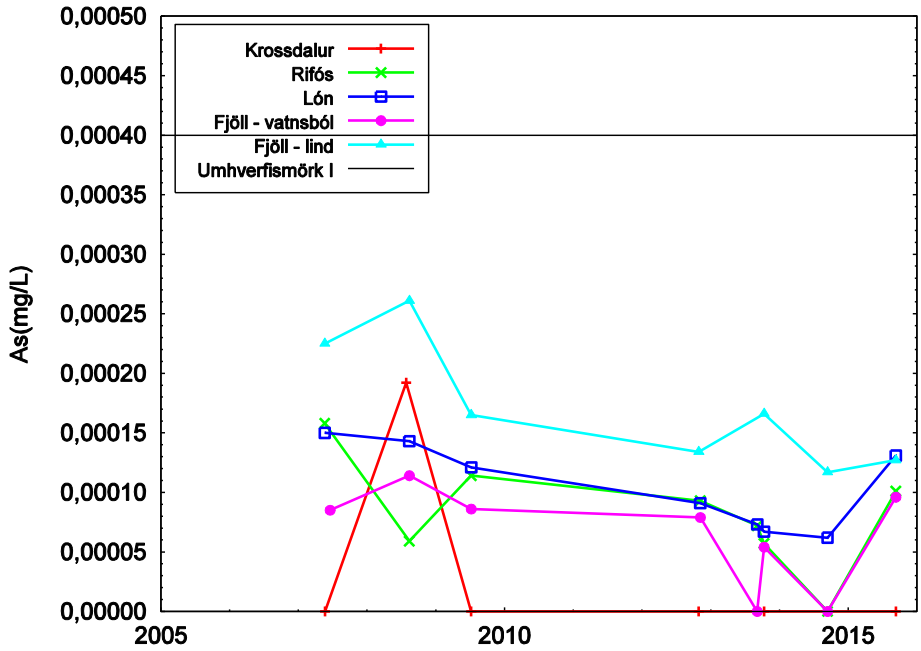
Mynd 108. *Sýnatökustaðir í Kelduhverfi og á Þeistareykjum 2015. Borholur eru sýndar grænar með krossi. Volgar lindir eru rauðar og kaldar lindir bláar.*

Tafla 16. *Niðurstöður efnagreininga á vatnssýnum frá vöktunarstöðum haustið 2015. Styrkur efna í mg/L.*

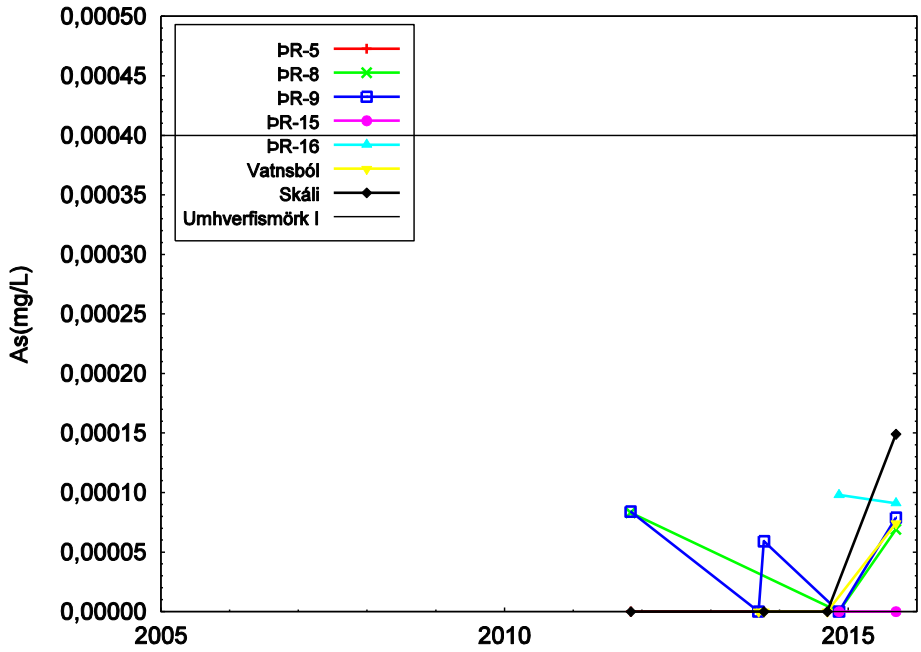
Staðarnafn	Þeistareykir vatnsból	Þeistareykir skáli	ÞR-08	ÞR-09	ÞR-15	ÞR-16
Sýnanúmer	20150309	20150310	20150314	20150313	20150312	20150311
Staður	M-20409	H-10124	B-60368	B-60369	B-60376	B-60377
Dagsetning	12.9.2015	12.9.2015	12.9.2015	12.9.2015	12.9.2015	12.9.2015
Hitastig (°C)	18,0	9,7	2,3	7,7	15,2	4,6
Sýrustig (pH / °C)	6,74 / 21,4	7,05 / 21,5	7,90 / 21,7	7,80 / 21,5	7,89 / 21,3	8,58 / 21,7
Leiðni við 25°C (µS/cm)	238	143	77,5	125	167	96
Karbónat (CO_2)	120,0	45,0	26,8	38,4	48,6	33,3
Brennisteinsvetni (H_2S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,06	0,05	0,02	0,03	0,04	0,02
Kísill (SiO_2)	50,9	27,2	18,3	23,7	35,2	21,7
Natríum (Na)	15,2	10,9	6,94	10,3	13,5	9,01
Kalíum (K)	1,86	1,15	0,64	1,06	1,20	1,17
Magnesíum (Mg)	7,06	4,12	2,32	3,69	4,26	3,41
Kalsíum (Ca)	21,3	9,06	3,81	7,26	12,0	4,19
Flúoríð (F)	0,03	0,08	0,04	0,09	0,06	0,09
Klóríð (Cl)	5,58	5,61	7,27	5,77	7,14	5,15
Súlfat (SO_4)	9,98	11,3	1,80	11,8	16,6	1,88
Ál (Al)	0,000699	0,00253	0,0105	0,00329	0,00323	0,00635
Arsen (As)	0,000074	0,000149	0,000069	0,000079	<0,00005	0,000091
Baríum (Ba)	0,000615	0,000161	0,000108	0,000077	0,000194	0,000142
Kadmíum (Cd)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	<0,000005	<0,000005	0,000074	0,000008	0,000006	<0,000005
Króm (Cr)	0,000197	0,000672	0,00421	0,000677	0,000718	0,000822
Kopar (Cu)	0,000239	0,000807	0,000486	0,00113	0,000350	0,000478
Járn (Fe)	0,00525	0,0402	0,0219	0,0445	0,00556	0,00695
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Mangan (Mn)	0,00152	0,00110	0,000436	0,00163	0,000177	0,000281
Mólybden (Mo)	0,000114	0,000175	0,000628	0,000208	0,000201	0,000228
Nikkel (Ni)	0,000153	0,000146	0,00391	0,000149	0,000155	0,000141
Blý (Pb)	<0,00001	0,000044	0,000060	0,000015	0,000029	0,000011
Strontíum (Sr)	0,0252	0,0107	0,00669	0,00914	0,0166	0,00526
Sink (Zn)	0,000847	0,0142	0,00459	0,00162	0,00166	0,000721
Uppleyst steinefni (UE)	182	94	59	81	124	70
Súrefnissamsætur ($\delta^{18}O$)	-	-	-	-	-	-
Tvívetni (δD)	-	-	-	-	-	-

Tafla 16. *(Frh.) Niðurstöður efnagreininga á vatnssýnum frá vöktunarstöðum haustið 2015. Styrkur efna í mg/L.*

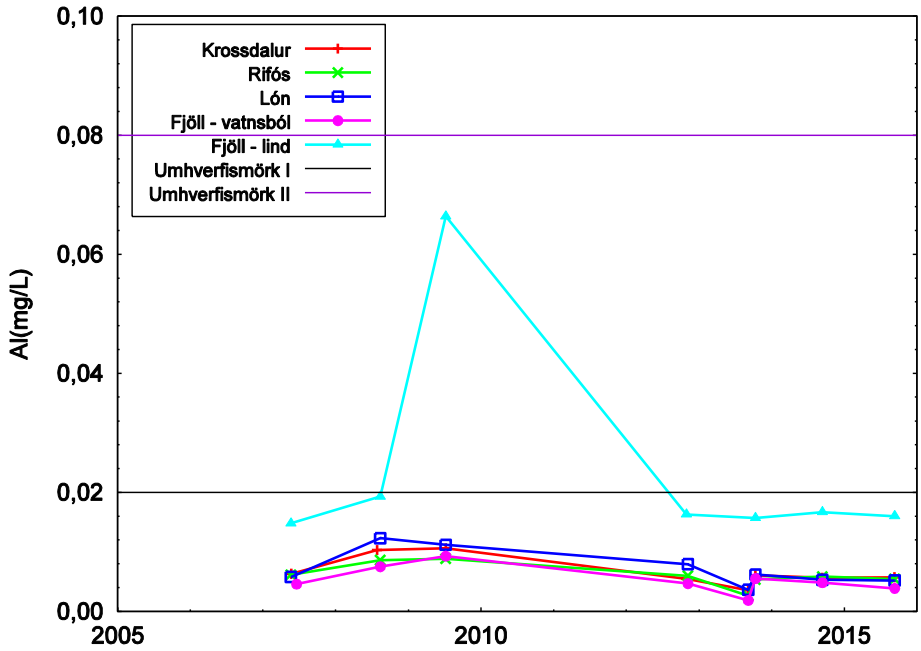
Staðarnafn	Krossdalur	Rifós	Lón	Fjöll, vatnsból	Fjöll, lind
Sýnanúmer	20150306	20150304	20150303	20150302	20150301
Staður	K-2745	K-2743	K-2744	K-568	K-2742
Dagsetning	11.9.2015	11.9.2015	11.9.2015	11.9.2015	11.9.2015
Hitastig (°C)	3,8	10,3	4,4	2,6	2,7
Sýrustig (pH / °C)	8,39 / 21,3	7,74 / 21,5	7,40 / 21,0	8,82 / 21,9	9,53 / 21,8
Leiðni við 25°C (µS/cm)	102	137	93	102	99
Karbónat (CO_2)	28,4	42,0	31,3	25,5	18,7
Brennisteinsvetni (H_2S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,05	0,05	0,03	0,02	0,04
Kísill (SiO_2)	21,8	31,1	21,1	12,2	10,0
Natríum (Na)	9,34	14,9	8,80	12,0	16,9
Kalíum (K)	0,81	1,29	0,90	0,12	0,04
Magnesíum (Mg)	2,67	3,53	2,69	0,45	0,05
Kalsíum (Ca)	5,64	6,49	4,49	7,47	2,77
Flúoríð (F)	0,09	0,09	0,06	0,01	0,02
Klóríð (Cl)	8,42	9,70	7,33	10,2	7,69
Súlfat (SO_4)	3,40	8,55	2,70	2,57	3,85
Ál (Al)	0,00573	0,00544	0,00520	0,00387	0,0160
Arsen (As)	<0,00005	0,000101	0,000131	0,000096	0,000127
Baríum (Ba)	0,000053	0,000105	0,000075	<0,00001	0,000026
Kadmíum (Cd)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	<0,000005	<0,000005	<0,000005	<0,000005	<0,000005
Króm (Cr)	0,000710	0,00103	0,000700	0,000361	0,000283
Kopar (Cu)	0,000294	0,000419	0,000476	0,000166	0,000260
Járn (Fe)	0,00108	0,00287	0,00171	0,00125	0,00367
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Mangan (Mn)	0,000143	0,000069	0,000044	0,000034	0,000106
Mólybden (Mo)	0,000142	0,000199	0,000207	0,000073	0,000156
Nikkel (Ni)	0,000088	0,000128	0,000157	0,000082	0,000142
Blý (Pb)	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,000020
Strontíum (Sr)	0,00928	0,0112	0,00681	0,000556	0,000543
Sink (Zn)	<0,0002	0,000556	0,000251	<0,0002	0,000509
Uppleyst steinefni (UE)	61	104	73	75	66
Súrefnissamsætur ($\delta^{18}O$)	-	-	-	-	-
Tvívetni (δD)	-	-	-	-	-



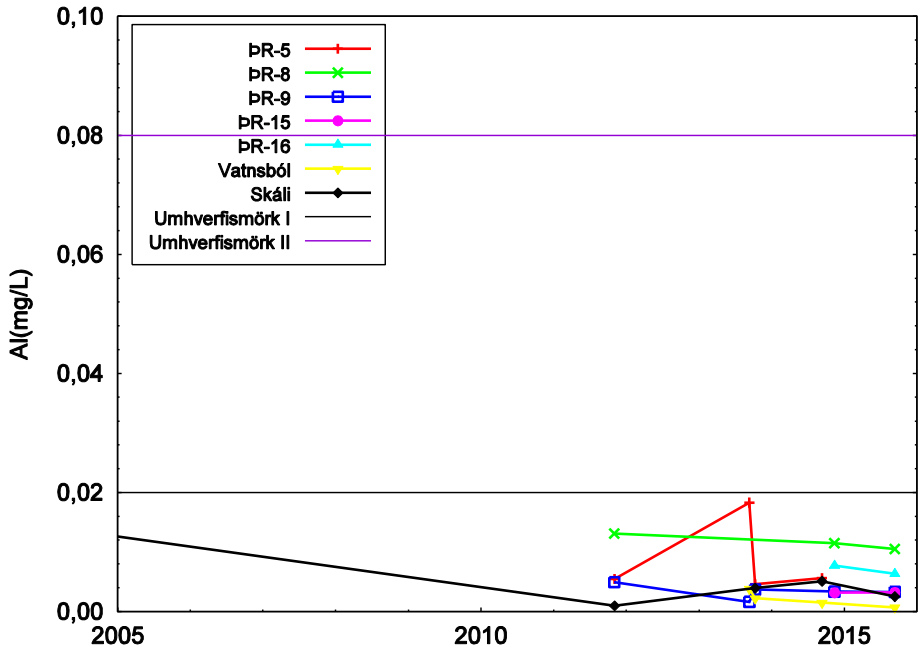
Mynd 109. *Styrkur arsens í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I.*



Mynd 110. *Styrkur arsens í vatni úr borholum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I.*



Mynd 111. *Styrkur áls í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I og II.*



Mynd 112. *Styrkur áls í vatni úr borholum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I og II.*

6 Helstu niðurstöður

Gerð er grein fyrir niðurstöðum einstakra þátta í viðkomandi undirköflum fyrir hvert svæði en markmið þessa kafla hér er að draga saman helstu niðurstöður. Hér er einkum leitast við að greina frá þeim breytingum sem hafa sést frá fyrri athugunum en nákvæmar lýsingar á aðstæðum á svæðinu 2015 er að finna í undirköflum.

6.1 Þeistareykir

6.1.1 Yfirborðsvirkni

Dreifing jarðhitans sem kortlagður var á Þeistareykjum sumarið 2012 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a) var áþekk því sem áður hefur verið lýst (Gestur Gíslason o.fl., 1984; Kristján Sæmundsson, 2007). Þetta á einnig við um athuganir sumarsins 2015. Almennt virtist gufuvirkni vera svipuð í sumar (2015) og hún var 2013. Hinsvegar var meiri gufuvirkni 2014, sem gæti haft veðurfræðilega skýringu en logn og frekar kalt var á svæðinu þegar athuganirnar voru gerðar 2014. Helstu ásýndarbreytingar frá 2012 lágu í meira vatni í hverum (leirhverum) og gufu í misgengjum sem liggja upp á Bæjarfjall. Þar sást engin gufa 2012 en hefur verið nokkur síðustu þrjú ár. Þessar breytingar stafa vafalaust af meiri rigningu og kaldara veðurfari en sumarið 2012 sem var frekar þurrt og heitt. Yfirborðsjarðhitinn á norðanverðum Tjarnarási heldur áfram að dala en nokkur aukning hefur orðið syðst á Tjarnarási næst Bæjarfjalli sem og í fjallshlíðinni ofan við holur ÞG-1, ÞG-4 og ÞG-5. Nýleg eða endurvakin virkni er svo rétt norðan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7. Hvort þessi aukna virkni tengist upphleypingu holna á svæðinu árin 2014 og 2015 er ekki gott að segja.

6.1.2 Efnasamsetning gufu

Greinilegt er að talsverðar breytingar urðu á virkni og gassamsetningu í gufuaugum á Þeistareykjum á 10. áratug síðustu aldar. Samanburður við árið 1981 bendir hins vegar til þess að kerfið sé í svipuðu ástandi nú og þá, sé litið framhjá þéttingu gufu í stöku sýni.

Sjá má á gassamsetningunni, einkum styrk H_2 og N_2, að svæðið í Röndum reiknast mun kaldara en hin svæðin, eða um 250–280°C, samanborið við 300°C í Tjarnarási og á Þeistareykjagrundum, og um 310°C í Ketilfjalli. Gashiti sýnisins úr norðurhlíð Bæjarfjalls reiknast um 290°C. Þetta virðist lítið breytast milli síðustu ára en hjá Halldóri Ármannssyni (2004) kemur fram að Tjarnarás og Randasvæðið hafi kólnað talsvert (yfirborðshiti < 90°C) á árunum 1991 og 1995–1997. Styrkur vetnis í gufunni er almennt frekar hár á austanverðu svæðinu, hærri en sem nemur jafnvægi við steindir í djúpkerfinu, en í Tjarnarási og á Röndum fellur vetnishiti ágætlega saman við aðra gashitamæla. Þessi hái vetnisstyrkur bendir til djúpgufu í kerfinu, þ.e. að vökvinn í jarðhitageyminum sé tvífasa.

Tvívetnisgildi gufunnar spanna bilið -110 til -118‰, að undanskildu sýninu úr G-105 sem er enn léttara (-121‰) en hefur að öllum líkindum þést á leið til yfirborðs. Gildin eru hæst á Þeistareykjagrundum en lægst í Ketilfjalli.

6.1.3 Gasflæðimælingar

Viðamiklar mælingar á jarðvegshitastigi og koldíoxíðflæði um jarðveg voru gerðar á Þeistareykjum sumarið 2015. Mælingarnar voru gerðar í 1449 mælipunktum, bæði á mælineti yfir virkasta hluta svæðisins og einnig á mælilínum sem áður höfðu verið mældar sumarið 2012. Niðurstöðurnar sýna að bæði koldíoxíðflæði og hækkað jarðvegshitastig er fyrst og fremst að finna þar sem einnig er virk jarðhitavirkni á yfirborði. Niðurstöðurnar sýna að virknin á

Þeistareykjum er mjög skellótt, þ.e. háan hita og mikið koldíoxíð er oftast að finna á mjög afmörkuðum blettum sem aðeins koma fram á stökum mælipunktum en slíka punkta er að finna vítt og breitt um svæðið. Heildarkoldíoxíðflæði var metið 300±18 tonn á dag. Hitastigsmælingarnar sýndu einnig blettótta virkni og fátítt að heit svæði næðu mikilli stærð. Athyglisvert var að mælipunktar, þar sem hitastig er á bilinu 30–80°C, voru mjög fátíðir, eða aðeins í 3,5% tilvika. Samanburður á koldíoxíðflæði eldri mælinga og mælinga frá því sumarið 2015 sýndu að breytileiki koldíoxíðflæðisins í náttúrulegu ástandi jarðhitasvæðisins er töluverður. Meðalkoldíoxíðflæðið allra mælilínanna var nokkru hærra árið 2015 en árið 2012. Endurtekning á þessum mælingum ásamt öðrum athugunum getur varpað ljósi á hugsanlegar breytingar og útbreiðslu jarðhitavirkni á yfirborði vegna vinnslu frá svæðinu.

6.2 Krafla

6.2.1 Yfirborðsvirkni

Sumarið 2015 var farið um Kröflusvæðið, jarðhitavirkni skoðuð og ljósmyndir og hitamyndir teknar. Farið var á flest alla þá staði sem eftirlit hefur verið haft með í gegnum árin. Almennt gildir að á Kröflusvæðinu hafa litlar breytingar orðið frá lýsingu Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2011) og athugunum ÍSOR undanfarin ár (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a, 2013b, 2014).

Virkni í Vesturhlíðum Kröflu er frekar lítil en virkar skellur eru þó neðarlega í hlíðinni á svæðinu frá G-33 að Hækjunni. Virknin virðist vera svipuð og hefur verið undanfarin ár. Í Suðurhlíðum er nokkur virkni á stökum og afmörkuðum blettum. Í Hveragili er virkni svipuð og undanfarin ár en þó eru smávægilegar breytingar; gufuopið neðan við Litla-Víti sem opnaðist með miklum krafti 2009 og hefur verið að dala síðustu ár var kraftmeira nú en á undanförnum árum og hitadreifingin á hitamyndum hefur verið að aukast upp af Litla-Víti. Gufustreymi var mun meira og kemur aukin virkni fram á hitamyndum. Virknin við Tvíburavötn hefur heldur verið að dala og ekki hefur verið hægt að taka sýni þar undanfarin tvö ár. Við Leirhnjúk var virknin á hverasvæðinu með minna móti en gufuvirkni virtist vera meiri í toppi hnjúksins. Virknin einkennist af gufu, brennisteins- og leirhverum, nokkuð gufaði úr gosgígnum Hófi og í gossprungunni norður eftir. Í Hvíthólum voru þrjár heitar skellur á meginsvæðinu við borholurnar en einnig gufaði upp um op sunnar á svæðinu sem ekki hefur áður verið lýst. Í Sandabotnaskarði var allt kalt. Við Hrafntinnuhrygg voru heitar skellur beggja vegna hryggjar en virknin fremur lítil.

6.2.2 Efnasamsetning gufu

Gufan sem stígur upp af Suðurhlíðum Kröflu og Vítissvæðinu er mun gasríkari en gufan í Leirhnjúk. Samanlagður gasstyrkur í sýnum ársins er um 110 mmól/kg í Leirhnjúk en hér um bil 360 mmól/kg við Víti og 690 mmól/kg í Suðurhlíðum. Þar er jafnframt hæsta CO_2/H_2S hlutfallið, um 13, en sama hlutfall er 6–7 við Leirhnjúk og Víti. Sögulega virðist gasstyrkur flökta meira í Suðurhlíðum en á hinum svæðunum. Gashiti reiknast heldur lægri í Leirhnjúk en í kringum Kröflu, þ.e. 290°C í stað 305–315°C. Styrkur Cl mælist nú 0,02–0,2 mg/kg í þéttivatni en var iðulega hærri en 1 mg/kg á árunum um og eftir Kröfluelda.

Samsætugildi í gufuaugum í Suðurhlíðum og við Leirhnjúk eru býsna stöðug, á bilinu -110 til -100‰, í flestum sýnum. Meiri hreyfing hefur verið á samsætugildum í sýnum af Vítissvæðinu, og sýni síðustu tveggja ára sem safnað var norðan Vítis eru áberandi þyngri, með δD > -100‰. Súrefnishliðrun er svipuð í öllum sýnum, hér um bil -2‰. Gufusýnin eru almennt

léttari en sem nemur áætluðu innstreymi í kerfið, nema sýnin sem safnað var norðan Vítis. Sennilega er það til marks um að gufan sé að hluta til soðin upp af blöndu jarðhitavatns og grunnvatns.

6.3 Námafjall

6.3.1 Yfirborðsvirkni

Jarðhiti og ummyndun er útbreidd á Námafjallssvæðinu. Mesta virknin á svæðinu er við Hveri og Námafjall austanvert og einnig er töluverður jarðhiti á toppi fjallsins. Á þessu svæði eru brennisteinsþúfur og gufu- og leirhverir mest áberandi. Almennt breytist jarðhitavirknin frá og meðfram misgengi sem liggur með fjallsbrúninni vestanveðri en jarðhitavirkni minnkar mikið eftir að komið er norður fyrir Náma-Kollur á Námafjalli. Misgengið hefur fall til austurs og er nánast allur jarðhitinn fyrir austan það. Í Bjarnarflagi er meginyfirborðsvirknin frá Gamla bakaríinu í vestri, austur að sigspildunni við holu B-9. Mest áberandi eru brennisteinsþúfur en einnig eru gufu- og leirhverir. Aðeins á tveimur svæðum má finna lyktarlausa gufu (upphitað grunnvatn) en það er á stóru svæði út frá Jarðbaðshólum sem og syðst á Austurgrundum. Sunnan og vestan Jarðbaðshóla er töluverð gufuvirkni sem kemur upp á dreifðu svæði allt vestur til Mývatns og suður fyrir Rauðuborg.

Jarðhitastaðirnir virðast ekki hafa breyst mikið frá jarðhitakorti Kristjáns Sæmundssonar (2010), athugunum Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2010) og Sigurðar G. Kristinssonar o.fl. (2013a, 2013b, 2014).

6.3.2 Efnasamsetning gufu

Talsverður innbyrðis munur er milli þeirra þriggja undirsvæða í Námafjalli þar sem gufuvirkni á yfirborði er nægilega mikil til að ná megi sýnum af gufunni. Djúphiti er lægstur í Bjarnarflagi, 230–240°C, en hækkar eftir því sem austar dregur, er um 300°C á Námafjalli sjálfu og um 320°C við Hveraröndina. Hár vetnisstyrkur gefur til kynna að nokkur djúpgufa sé til staðar undir Námafjalli og Hveraröndinni en vetnisstyrkur í Bjarnarflagi er í samræmi við það sem vænta má miðað við að jarðhitavökvinn sé í jafnvægi við berg. Aftur á móti samræmist koldíoxíðstyrkur í Bjarnarflagi og Hverum jafnvægi milli djúpvökva og bergs en koldíoxíðstyrkur á Námafjalli sjálfu er lægri en hann ætti að vera, væri kerfið í slíku jafnvægi.

Afgerandi munur undirsvæðanna þriggja sést einnig í samsætugildunum. Léttasta gufan (δD ≈ -120‰) er í Hverum og þar er súrefnishliðrun einnig mest (8–9‰). Þegar komið er upp á Námafjall sjálft mælist meira af tvívetni og gildi á bilinu -110 til -115‰ mega teljast dæmigerð. Súrefnishliðrun á þessu svæði er 3–5‰ sem bendir til þess að efnahvörf milli bergs og vatns séu ekki gengin jafn langt og í Hverum. Sýnin úr Bjarnarflagi sýna hins vegar svolitla neikvæða súrefnishliðrun og liggja því vinstra megin við úrkomulínuna. Það kann að benda til þess að gufan þar sé mynduð við suðu á grunnstæðara vatni eða blöndu djúpvatns og grunnstæðara vatns. Síðari möguleikinn má heita sennilegri.

6.4 Grunnvatnsvöktun í Mývatnssveit og Þeistareykjum

Mývatnssveit

Á árinu 2015 fór sýnataka á grunnvatni fram í september og var alls safnað vatni til efnagreininga á 21 vöktunarstað. Hola LUD-11 bættist í hóp vöktunarholna og jafnframt var tekið sýni úr holu AE-10.

Niðurstöður langtímavöktunar á uppleystum efnum í grunnvatni sýna að vatn í lindum við Mývatn og í grunnvatni vestan Námfjalls hefur ekki orðið fyrir áhrifum frá jarðhitavatni frá Bjarnarflags- eða Kröfluvirkjunum hvað varðar styrk arsens og áls.

Heilt yfir eru ekki sýnilegar miklar breytingar í styrk arsens milli áranna 2014 og 2015. Líkt og áður er styrkur arsens hæstur og mjög sveiflukenndur í affallsvatni frá Bjarnarflagsvirkjun og mældist hann 0,154 mg/L haustið 2015. Á undanförnum 15 árum hefur hann mælst á bilinu 0,04 (2008) til 0,291 (2006) mg/L og að meðaltali 0,176 mg/L. Styrkur arsens er sem fyrr mun lægri í affalli frá skiljustöð Kröfluvirkjunar og mældist 0,0251 mg/L haustið 2015 sem er svipaður styrkur og verið hefur frá því mælingar hófust 2001. Meðalstyrkur þess síðastliðin 15 ár er um 0,029 mg/L.

Hækkaður styrkur arsens og áls kom fram í eftirlitsholu LUD-4 austan Námafjalls, nærri þeim stað sem affallsvatn í Hlíðardalslæk sígur í hraunið. Hækkun þessi náði hámarki 2009 og 2010 en virðist gengin til baka.

Styrkur arsens í heitum og köldum lindum í Mývatnssveit fellur neðan umhverfismarka I á öllum vöktunarstöðum, ef frá eru talin tvö til þrjú „hágildi" í Grjótagjá frá því í júní 2003, maí 2010 og október 2010. Engin einhlít skýring hefur fundist sem skýrt getur þessi „hágildi".

Lítilsháttar hækkun í styrk áls í Grjótagjá og Langavogi varð á tímabilinu 2005–2012 og í einu sýni úr Vogagjá 2010 en hún sýnist gengin til baka að því frátöldu að styrkur áls í Grjótagjá mældist nú svipaður og á árunum 2009–2012.

Styrkur áls í vatni úr Bjarnarflagslóni er að jafnaði hærri en á öðrum vöktunarstöðum og hann hefur verið nokkuð sveiflukenndur í gegnum tíðina. Styrkur þess mældist 2,09 mg/L haustið 2015 en hefur að meðaltali verið 1,84 mg/L síðastliðinn einn og hálfan áratug. Minni sveiflur koma fram í styrk áls í affallsvatni Kröflustöðvar. Hann mældist 1,43 mg/L haustið 2015 og hefur verið að meðaltali 1,49 mg/L síðastliðin 15 ár. Einkennileg og óútskýrð hækkun í styrk áls í vatni úr Hlíðardalslæk mældist haustið 2015 og er litið svo á að um gallaða efnagreiningu sé að ræða.

Styrkur kvikasilfurs á öllum vöktunarstöðum er undir eða við greiningarmörk og vel innan umhverfismarka. Skoðun á niðurstöðum efnagreininga fyrir aðra málma en arsen og umhverfismörk þeirra sýnir að í flestum tilfellum fellur vatnið í flokk I eða II. Á þessu eru þó undantekningar, einkum hvað varðar kopar og króm, en þá ber að hafa í huga að frá náttúrunnar hendi er styrkur þessara efna frekar hár í vatni á eldvirkum svæðum hér á landi. Aftur á móti falla efni eins og kadmíum og blý öll í flokk I og sama má segja um nikkel að frátöldum sýnum úr Hlíðardalslæk. Sýni úr eftirlitsholum falla í flokk II.

Niðurstöður efnagreininga vatns á öllum vöktunarstöðum, og til eru í gagnagrunni ÍSOR, eru sýndar í viðauka 3. Er það gert í þeim tilgangi að sýna að umfangsmikil efnavöktun hefur farið fram á grunnvatni í Mývatnssveit um langa hríð. Ekki er fjalla nánar um þessi gögn hér enda utan þessa verkefnis.

Þeistareykir og Kelduhverfi

Tilgangur vöktunar á efnasamsetningu grunnvatns á Þeistareykjum og í Kelduhverfi er að safna grunnupplýsingum áður en jarðhitanýting hefst á Þeistareykjum, sem sýna þá efnasamsetningu grunnvatnsins við náttúrulegar aðstæður fyrir virkjun. Djúpdælur eru nú í fimm eftirlitsholum.

Styrkur arsens er á öllum vöktunarstöðum innan við umhverfismörk I og sama má segja um styrk áls utan eins sýnis úr lind við Fjöll frá árinu 2009. Styrkur kvikasilfur er á öllum stöðum innan greiningarmarka.

Yfirlit um efnasamsetningu vatns á öllum eftirlitsstöðum er sýnt í viðauka 4. Jarðhitaáhrifa gætir á sýnatökustöðum á Þeistareykjum, sem sést t.d. vel í hækkuðum styrk kísils í vatni á vöktunarstöðum. Að öðru leyti er ekki fjallað nánar um þessar niðurstöður þar sem það fellur utan þessa verkefnis.

7 Heimildir

Auður Agla Óladóttir (2010). *Gasflæðimælingar um yfirborð í Námafjalli sumarið 2010.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2010/075, Landsvirkjun, LV-2010/128.

Auður Agla Óladóttir (2012). *Application of soil measurements and remote sensing for monitoring changes in geothermal surface activity in the Reykjanes field, Iceland.* Meistaraprófsritgerð við Jarðvísindadeild Háskóla Íslands, 110 bls.

Ármannsson, H., Fridriksson, Th., Wiese, F., Hernández, P. og Pérez, N. (2007). CO_2 budget of the Krafla geothermal system NE-Iceland. Í Bullen, P. D. og Wang, Y. (ritstj.) *Water Rock Interaction*, 189–192.

Cardellini C., Chiodini G. og Frondini F. (2003). Application of stochastic simulations to CO_2 flux from soil: Mapping and quantifying gas release. *J. Geophys. Res., 108*, 2425.

Craig, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science, 133,* (1961), 1072.

Darling WG. and Ármannsson, H. Stable Isotopic Aspects of Fluid Flow in the Krafla, Námafjall and Theistareykir Geothermal Systems of Northeast Iceland. Chem. Geol., 1989.76:197-213.

Favara, R. Grassa, F., Inguaggiato, S. og Valenza, M. (2001). Hydrogeochemistry and stable isotopes of thermal springs: earthquake-related chemical changes along the Belice Fault (Western Sicily). *Appl. Geochem. 16*: 1–17.

Fridriksson, Th., Kristjánsson, B.R., Ármannsson, H., Margrétardóttir, E., Ólafsdóttir, S. og Chiodini, G. (2006). CO2 emissions and heat flow through soil, and steam heated mud pools at the Reykjanes geothermal area, SW Iceland. *Appl. Geochem., 21*, 1551–1569

Gestur Gíslason, Gunnar Johnsen, Halldór Ármannsson, Helgi Torfason og Knútur Árnason (1984). *Þeistareykir – Yfirborðsrannsóknir á háhitasvæðinu*. Orkustofnun, OS-84089/JHD-16. 134 bls. + 3 kort.

Granieri, D., Chiodini G., Marzocchi W. og Avino, R. (2003) Continuous monitoring of CO_2 soil diffuse degassing at Phlegraean Fields (Italy): Influence of environmental and volcanic parameters. *Earth and Planetary Science Letters 212*, 167–179.

Halldór Ármannsson (1993). *Jarðhitakerfið í Námafjalli. Efnafræðileg úttekt.* Samvinnuverkefni Landsvirkjunar og Orkustofnunar. Orkustofnun, OS-93053/JHD-29 B, 30 bls.

Halldór Ármannsson (2003). *Förgun affallsvatns frá Kröflu- og Bjarnarflagsvirkjunum.* Orkustofnun, OS-2003/032, 32 bls.

Halldór Ármannsson (2004). Chemical aspects of exploration of the Theistareykir high-temperature geothermal area, NE Iceland. Í Wanty, R. B. og Seal, R. R. (ritstj.) *Water-Rock Interaction*, 63–67.

Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2002). *Efnarannsóknir á vatni úr holum, lindum og gjám í Brúfellshrauni og nágrenni.* Orkustofnun, OS-2002/076, 36 bls.

Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2004). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2003.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2004/005, Landsvirkjun, LV-2004/052, 14 bls.

Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2005). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2004.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2005/006, Landsvirkjun, LV-2005/025, 15 bls.

Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2006a). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2005.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2006/013, Landsvirkjun, LV-2005/064, 15 bls.

Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2006b). *Collection of geothermal fluids for chemical analysis.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2006/016, 16 bls.

Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2007). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2006.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2007/003, Landsvirkjun, LV-2007/007, 14 bls.

Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2012). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2011.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/006; Landsvirkjun, LV-2012/021, 17 bls.

Halldór Ármannsson og Trausti Hauksson (1980). *Krafla. Samsetning gass í gufuaugum.* Orkustofnun, OS-80027/JHD-16, 51 bls.

Halldór Ármannsson, Magnús Ólafsson og Mozhgan Bagheri (2008). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2007.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2009/011, Landsvirkjun, LV-2008/064, 12 bls.

Halldór Ármannson, Magnús Ólafsson, Mozhgan Bagheri og Auður Ingimarsdóttir (2009). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2008.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2008/018, Landsvirkjun, LV-2009/020, 15 bls.

Halldór Ármannsson, Magnús Ólafsson og Ester Eyjólfsdóttir (2010). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2009.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2010/018, Landsvirkjun, LV-2010/055, 16 bls.

Halldór Ármannsson, Magnús Ólafsson og Hörður Tryggvason (2011). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2010.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2011/007, Landsvirkjun, LV-2011/027, 15 bls.

Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson (2005). *Flokkun jarðhitafyrirbæra á háhitasvæðum.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2005/023, 21 bls.

Hrefna Kristmannsdóttir (2010). *Grunnvatnsrannsóknir í Norðurþingi 2007–2009.* Landsvirkjun, LV-2011/074, 50 bls.

Jarðboranir ríkisins (1951). *Efnagreiningar á hverum og laugum.* Jarðboranir Ríkisins, Reykjavík, 88 bls.

Jón Benjamínsson (1985). *Krafla. Samanburður á gasi gufuaugna milli áranna 1979 og 1984/1985.* Orkustofnun, OS-85075/JHD-26 B, 28 bls.

Jón Benjamínsson (1999). *Kröflusvæði. Yfirborðsathuganir og efnagreiningar haustið 1999.* Landsvirkjun – Kröflustöð, 19 bls.

Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (1988). *Kröflusvæði, gufuaugu 1988.* Landsvirkjun – Kröflustöð, 38 bls.

Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (1989). *Kröflusvæði: rannsóknir á gufuaugum 1989.* Landsvirkjun – Kröflustöð, 38 bls.

Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (1990). *Kröflusvæði. Rannsóknir á gufuaugum 1990.* Landsvirkjun – Kröflustöð, 43 bls.

Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (1993). *Kröflusvæði: rannsóknir á gufuaugum 1992.* Landsvirkjun – Kröflustöð, 38 bls.

Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (1994). *Kröflusvæði og Námafjall. Rannsóknir á gufuaugum og frá rennsli 1993.* Landsvirkjun – Kröflustöð, 30 bls.

Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (1995). *Kröflusvæði og Námafjall. Yfirborðsathuganir haustin 1994 og 1995.* Landsvirkjun – Kröflustöð, 20 bls.

Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (1996). *Kröflusvæði og Námafjall. Yfirborðsathuganir og efnagreiningar haustið 1996*. Landsvirkjun – Kröflustöð, 31 bls.

Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (1998). *Kröflusvæði og Námafjall. Yfirborðsathuganir og efnagreiningar haustið 1997. Yfirlit um Kröflusvæðið.* Landsvirkjun – Kröflustöð, 104 bls.

Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2000). *Kröflusvæði og Námafjall. Yfirborðsathuganir og efnagreiningar 2000. Yfirlit um Kröflusvæðið.* Landsvirkjun – Kröflustöð, 33 bls.

Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2001). *Kröflusvæði. Umhverfisvöktun 2001.* Landsvirkjun – Kröflustöð, 41 bls.

Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2004). *Kröflusvæði og Bjarnarflag. Umhverfisvöktun 2004.* Landsvirkjun – Kröflustöð, 27 bls.

Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2008). *Kröflusvæði og Bjarnarflag. Umhverfisvöktun árið 2007.* Landsvirkjun – Kröflustöð, 33 bls.

Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2009). *Kröflusvæði og Bjarnarflag. Umhverfisvöktun árið 2008.* Landsvirkjun – Kröflustöð, LV-2009/141, 39 bls.

Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2010). *Kröflusvæði og Bjarnarflag. Umhverfisvöktun árið 2009.* Landsvirkjun – Kröflustöð, LV-2010/110, 39 bls.

Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2011). *Kröflusvæði og Bjarnarflag. Umhverfisvöktun 2011.* Landsvirkjun, LV-2011/119, 37 bls.

Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2012). *Kröflusvæði og Bjarnarflag. Umhverfisvöktun 2011.* Landsvirkjun, LV-2012/120, 43 bls.

Kristján Sæmundsson (2007). *Jarðfræðin á Þeistareykjum.* Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-07270, 23 bls.

Kristján Sæmundsson (2008). *Krafla. Jarðhitakort, 1:25.000.* Landsvirkjun og Íslenskar orkurannsóknir.

Kristján Sæmundsson (2010). *Námafjall. Jarðfræði og jarðhitakort, 1:25000.* Landsvirkjun og Íslenskar orkurannsóknir.

Löfgren, S. og Lydersen, E. (2002). *Heavy metal concentrations in the Nordic lakes in relation to presently used Critical Limits – a state of the art review.* Proc. Workshop on Heavy Metals (Pb, Cd and Hg) in Surface Water Monitoring and Biological Impact, March 18–20, Lillehammer, Norway. ICP-WATERS Report 67/2002. Trans Boundary Air Pollution

Programme on Assessment and Monitoring of Acidification of Rivers and Lakes. Norwegian Institute for Water Research, 26–27.

Magnús Ólafsson og Þórólfur H. Hafstað (2012). *Þeistareykir – Tillaga um grunnvatnsvöktun.* Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-12064, 9 bls.

Magnús Ólafsson, Þráinn Friðriksson, Þórólfur H. Hafstað, Sigríður Sif Gylfadóttir, Finnbogi Óskarsson og Halldór Ármannsson (2013). *Áhrif jarðhitanýtingar í Bjarnarflagi á volga grunnvatnsstrauminn til Mývatns.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2013/038, Landsvirkjun, LV-2013-096, 42 bls.

Maryam Khodayar, Sveinbjörn Björnsson, Ragna Kalsdóttir, Kristján Ágústsson og Magnús Ólafsson (2015). *Tectonic Control of Alteration, Gases, Resistivity, Magnetics and Gravity in Þeistareykir Area. Implications for Northern Rift Zone and Tjörnes Fracture Zone*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2015/002, Landsvirkjun, LV-2015-039, 59 bls.

Reglugerð um losunarmörk, umhverfismörk og gæðamarkmið fyrir losun á kvikasilfri í yfirborðsvatn nr. 800/1999.

Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001.

Reglugerð um varnir gegn mengun vatns nr. 796/1999.

Sigurður G. Kristinsson, Þráinn Friðriksson, Magnús Ólafsson, Sveinborg Hlíf Gunnarsdóttir og Steinþór Níelsson (2013a). *Háhitasvæðin á Þeistareykjum, í Kröflu og Námafjalli. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2013/037, Landsvirkjun, LV-2013-091, 152 bls.

Sigurður G. Kristinsson, Finnbogi Óskarsson, Magnús Ólafsson, Auður Agla Óladóttir, Hörður H. Tryggvason og Þráinn Friðriksson (2013b). *Háhitasvæðin í Námafjalli, Kröflu og á Þeistareykjum. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2013.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2013/060, Landsvirkjun, LV-2013-132, 160 bls.

Sigurður G. Kristinsson, Finnbogi Óskarsson, Magnús Ólafsson og Auður Agla Óladóttir (2014). *Háhitasvæðin í Kröflu, Námafjalli og á Þeistareykjum. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2014.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/058, Landsvirkjun, LV-2014-132, 173 bls.

Srinivasan, P. T., Viraraghavan, T. og Subramanian, K. S. (1999). Aluminium in drinking water: An overview. *Water SA, 25,* 47–55.

Stefán Arnórsson og Hörður Svavarsson (1985). Application of chemical geothermometry to geothermal exploration and development. *Geothermal Resource Council Transactions, 9*, 293–298.

Stefán Arnórsson, Kristján Geirsson, Þráinn Friðriksson og Andri Stefánsson (1995). *Krafla og Námafjall. Gas í borholum og gufuaugum.* Raunvísindastofnun Háskólans, RH 18-95, 14 bls.

Stefán Arnórsson, Þráinn Friðriksson og Ingvi Gunnarsson (1996). *Krafla og Námafjall. Skýrsla um athuganir á gasi í borholum og gufuaugum á árunum 1995 og 1996.* Raunvísindastofnun Háskólans, RH 12-96, 11 bls.

Stefán Arnórsson, Þráinn Friðriksson og Ingvi Gunnarsson (1998). Gas chemistry of the Krafla geothermal field. Í G. B. Arehart og J. R. Hulston (ritstj.) *Water-Rock Interaction.* Balkema, Rotterdam, 613–616.

Umhverfisstofnun (2014). *Breytingartillaga að vöktun grunnvatns á Mývatnssvæði.* Bréf dags. 12. júní 2014. Tilvísun: UST20140500178/döhþ

Þráinn Friðriksson (2009). *Gasflæði í Kröfluhlíðum. Fyrstu niðurstöður.* Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð ÍSOR-09019, 5 bls.

Þráinn Friðriksson, Kristján Sæmundsson, Auður Agla Óladóttir, Gunnlaugur M. Einarsson, Sigurður G. Kristinsson, Halldór Ármannsson og Ester Eyjólfsdóttir (2010). *Umhverfiseftirlit á jarðhitasvæðinu á Reykjanesi.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2010/100, 78 bls.

Viðauki 1: Eldri gufuefnagreiningar

Þeistareykir

Tafla V-1. *Efnasamsetning eldri gufusýna úr Þ G-101 (áður G-1) í mmól/kg.*

Tími	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
09.08.2014	20140266	89,3	26,7	0,026	0,093	30,0	1,26	<0,01
21.08.2013	20130253	76,8	25,2	0,041	0,165	23,6	0,87	<0,01
12.08.2012	20120182	75,0	25,9	0,019	0,051	19,9	1,27	<0,01
11.10.1997	19970690	178	34,4		5,04	28,9	4,29	0,43
12.11.1995	19950349	212	108					
28.09.1994	19940194	19,0	24,1		0,040	6,0	0,45	0,02
28.08.1993	19930154	58,4	26,2		0,085	33,6	6,43	0,82
24.10.1992	19920232	164	52,8		3,88	23,9	2,04	0,05
17.04.1991	19910093	70,0	31,8		0,073	31,9	1,06	0,02
08.10.1981	19811052	71,5	41,8		0,228	18,9	1,93	0,04

Tafla V-2. *Efnasamsetning eldri gufusýna úr Þ G-102 (áður G-3) í mmól/kg.*

Tími	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
09.08.2014	20140265	495	131	0,169	4,00	236	11,6	<0,01
21.08.2013	20130251	206	64,6	0,111	2,17	76,5	3,60	0,01
12.08.2012	20120183	170	55,0	0,053	0,944	71,4	3,68	<0,01
11.11.1997	19970691	244	1,67	0,116		0,140	9,21	2,14
11.11.1995	19950346	262						
27.09.1994	19940192	185	54,1		0,545	49,5	4,33	0,14
28.08.1993	19930153	139	50,0					
17.04.1991	19910094	120	44,4		0,248	39,7	2,06	0,04
11.08.1981	19811054	138	62,9		0,478	18,4	6,61	0,60

Tafla V-3. *Efnasamsetning eldri gufusýna úr Þ G-103 (áður G-6) í mmól/kg.*

Tími	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
09.08.2014	20140267	151	44,6	0,068	0,747	18,5	3,55	<0,01
21.08.2013	20130254	130	42,3	0,164	1,12	19,5	10,0	0,40
12.08.2012	20120187	110	38,2	0,024	0,335	15,0	1,77	<0,01
12.11.1997	19970693	334	1,29	0,083	0,023	0,20	6,95	0,06
28.09.1994	19940195	175	71,3					
29.08.1993	19930155	155	59,4		0,684	9,4	10,6	0,63
24.10.1992	19920234	141	37,5		0,838	3,0	7,87	0,91
18.04.1991	19910095	129	43,2		0,412	2,5	2,54	0,06
05.07.1982	19821045	562	66,3	0,650	9,32	38,9	23,2	0,07
13.08.1981	19811057	211	42,4		9,31	42,6	58,7	0,54

Tafla V-4. *Efnasamsetning eldri gufusýna úr Þ G-104 (áður G-12) í mmól/kg.*

Tími	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
21.08.2013	20130252	62,3	29,6	0,032	0,238	25,0	0,58	<0,01
12.08.2012	20120185	56,7	23,7	0,012	0,064	14,7	0,73	<0,01
09.08.1981	19811072	47,2	19,0		0,078	6,3	0,48	0,28

Tafla V-5. *Efnasamsetning eldri gufusýna úr Þ G-105 (áður G-17) í mmól/kg.*

Tími	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
09.08.2014	20140268	264	53,1	0,262	1,62	12,7	12,9	<0,01
21.08.2013	20130255	213	36,7	0,213	2,32	19,0	9,74	<0,01
12.08.2012	20120186	221	34,4	0,147	1,06	15,7	8,88	<0,01
14.08.1981	19811077	287	57,4		2,31	8,6	15,0	

Tafla V-6. *Efnasamsetning eldri gufusýna úr Þ G-106 (áður G-10) í mmól/kg.*

Tími	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
21.08.2013	20130256	58,4	14,7	0,028	0,382	6,51	1,13	<0,01
12.08.2012	20120187	60,7	15,6	0,019	0,175	7,56	1,26	<0,01
14.08.1981	19811061	99,3	20,0		0,740	2,33	35,1	

Tafla V-7. *Efnasamsetning eldri gufusýna úr Þ G-108 (áður G-5) í mmól/kg.*

Tími	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
12.08.1981	19811056	35,9	35,2		0,546	15,1	1,89	

Námafjall

Tafla V-8. *Efnasamsetning eldri sýna af hrygg Námafjalls (N G-101, G-107) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
10.08.2014	ÍSOR 14	20140271	68,9	62,5	0,028	0,297	29,9	1,15	<0,01
22.08.2013	ÍSOR 13b	20130258	53,4	77,8	2,74	1,49	151	209	20,4
14.08.2012	ÍSOR 13a	20120191	53,0	81,9	0,337	0,564	71,9	34,4	<0,01
01.06.1996	SA&fl 96	96-3136	81,6	32,7	0,044	0,296	59,2	1,95	0,00

Tafla V-9. *Efnasamsetning eldri sýna úr gili í Námafjalli (N G-102, NG-1) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
10.08.2013	ÍSOR 14	20140270	169	141	0,066	1,88	242	3,29	<0,01
22.08.2013	ÍSOR 13b	20130259	60,7	77,8	0,087	1,37	68,7	1,45	<0,01
14.08.2012	ÍSOR 13a	20120192	55,0	62,0	0,030	0,530	96,7	1,65	<0,01
04.10.2011	JB&TH 12	NG-1	105	120	0,208	0,948	7,09	15,7	1,75
10.08.2010	JB&TH 11	NG-1	208	145	0,492	1,22	88,4	39,9	6,6
02.06.2009	JB&TH 10	NG-1	104	135	0,022	0,203	16,5	0,4	0,0
01.06.1996	SA&fl 96	96-3138	129	57,9	0,046	0,671	103	2,24	0,00
01.10.1995	SA&fl 95	95-3119	108	41,2	0,060	0,786	115	2,28	0,00

Tafla V-10. *Efnasamsetning eldri sýna úr Bjarnarflagi (N G-103, G-105) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
07.08.2014	ÍSOR 14	20140260	10,0	8,22	0,046	0,788	1,66	1,99	<0,01
22.08.2013	ÍSOR 13b	20130257	14,5	10,0	0,061	1,35	3,19	2,18	<0,01
14.08.2012	ÍSOR 13a	20120193	18,1	11,3	0,050	1,05	2,97	2,48	<0,01
01.06.1996	SA&fl 96	96-3144	32,1	7,8	0,030	0,759	3,68	1,27	0,00
01.10.1995	SA&fl 95	95-3108	31,6	5,7	0,167	3,09	15,4	7,33	0,00

Tafla V-11. *Efnasamsetning eldri sýna af Hverum (N G-104, G-106) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
09.08.2014	ÍSOR 14	20140269	150	102	0,035	0,941	109	1,87	<0,01
22.08.2013	ÍSOR 13b	20130260	115	64,8	0,064	1,32	35,1	1,37	0,03
01.06.1996	SA&fl 96	96-3133	209	59,5	0,043	0,458	85,2	2,18	0,00
01.06.1996	SA&fl 96	96-3132	182	53,4	0,033	0,434	79,3	1,68	0,00
01.10.1995	SA&fl 95	95-3114	174	49,7	0,045	0,543	92,5	1,95	0,00

Krafla

Tafla V-12. *Efnasamsetning eldri gufusýna úr Leirhnjúk (K G-101, G-104, G-19) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
07.08.2014	ÍSOR 14	20140257	101	11,7	0,030	0,564	13,3	1,05	<0,01
20.08.2013	ÍSOR 13b	20130248	120	13,5	0,078	1,32	16,6	2,48	<0,01
13.08.2012	ÍSOR 13a	20120188	115	12,5	0,035	0,598	15,2	1,97	<0,01
03.10.2011	JB&TH 12	G-19	169	10,5	0,105	0,271	10,1	2,36	0,27
11.08.2010	JB&TH 11	G-19	278	13,5	0,469	0,619	15,4	38,2	7,9
02.06.2009	JB&TH 10	G-19	257	26,5	0,056	0,780	15,8	3,6	0,6
13.06.2007	JB&TH 08	G-19	264	19,9		0,391	15,2	2,9	0,3
01.12.2004	JB&TH 04	G-19	227	15,8		0,129	11,0	0,8	0,6
18.10.2001	JB&TH 01	G-19	286	20,9		1,56	11,1	8,5	0,9
20.10.1997	JB&TH 98	G-19	429	13,9		1,48	9,8	4,4	0,2
24.10.1996	JB&TH 96	G-19	221	9,1		0,200	10,4	2,5	1,1
01.06.1996	SA&fl 96	96-3121	144	9,0	0,027	0,281	14,1	1,2	0,0
30.09.1995	SA&fl 95	95-3105	70,0	5,5	0,091	0,520	2,1	3,8	0,0
08.10.1990	JB&TH 90	G-19	46,5	9,4		0,100	8,6		0,0
18.07.1989	JB&TH 89	G-19	205	9,8			6,0	1,1	0,0
14.07.1988	JB&TH 88	G-19	362	28,8		2,01	26,0	96,2	0,0
28.03.1987	JB&fl 87	G-19	306	16,2		0,238	17,5	1,4	0,0
10.07.1986	JB&fl 87	G-19	245	13,1		0,081	19,5		0,0
09.06.1985	JB&fl 85	G-19	393	22,1		0,223	25,0	1,3	0,0
12.09.1979	HÁ&TH 80	G-19	4086	29,4		2,08	28,9		0,0

Tafla V-13. *Efnasamsetning eldri gufusýna norðan við Leirhnjúk (K G-109) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
07.08.2014	ÍSOR 14	20140256	134	27,0	0,066	0,483	19,4	3,06	<0,01
01.06.1996	SA&fl 96	96-3120	185	14,4	0,046	0,373	30,2	2,0	0,0
01.06.1996	SA&fl 96	96-3119	191	13,1	0,062	0,361	30,3	3,3	0,0
30.09.1995	SA&fl 95	95-3104	119	6,4	0,108	0,500	30,0	1,9	0,0

Tafla V-14. *Efnasamsetning eldri gufusýna úr Suðurhlíðum (K G-102, G-106, G-5, G-7) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
07.08.2014	ÍSOR 14	20140259	447	30,2	0,023	0,055	14,6	1,57	<0,01
20.08.2013	ÍSOR 13b	20130250	720	46,4	0,044	1,07	20,7	0,90	<0,01
13.08.2012	ÍSOR 13a	20120189	508	49,3	0,018	0,249	0,998	1,03	<0,01
04.10.2011	JB&TH 12	G-5	2727	141	4,11	3,34	32,3	3000	11,9
10.08.2010	JB&TH 11	G-5	987	62,1	1,75	0,908	19,3	141	7,6
02.06.2009	JB&TH 10	G-5	662	48,4	0,101	0,543	27,6	3,8	0,6
12.06.2007	JB&TH 08	G-5	7303	60,0		0,411	14,7	1,7	0,0
30.11.2004	JB&TH 04	G-5	1921	96,5		0,429	9,7	108	9,0
18.10.2001	JB&TH 01	G-5	2092	89,2		0,482	22,2	206	0,0
30.10.1999	JB 99	G-5	846	62,7		0,000	0,0	0,0	0,0
21.10.1997	JB&TH 98	G-7	2116	85,7		0,673	33,7	5,39	0,0
20.10.1997	JB&TH 98	G-5	1274	54,4		1,04	40,6	2,7	0,6
24.10.1996	JB&TH 96	G-5	2539	126		1,96	49,3	67,5	16,0
01.06.1996	SA&fl 96	96-3130	886	39,2	0,050	0,426	52,1	2,2	0,0
01.06.1996	SA&fl 96	96-3129	900	42,1	0,056	0,439	53,3	2,5	0,0
30.09.1995	SA&fl 95	95-3115	753	29,4	0,087	0,501	62,7	3,1	0,0
04.11.1995	JB&TH 95	G-5	361	19,2		7,46	30,5	9,0	1,4
07.10.1994	JB&TH 95	G-5	1166	51,7		5,93	13,6	21,2	0,9
13.09.1993	JB&TH 94	G-5	1864	94,1		0,802	39,7	5,2	0,2
10.11.1992	JB&TH 93	G-5	3749	152		0,000	313	0,0	3,8
09.10.1990	JB&TH 90	G-5	987	47,8		0,659	59,8	2,7	1,0
17.07.1989	JB&TH 89	G-5	592	29,7		1,27	38,4	5,7	0,3
12.07.1988	JB&TH 88	G-5	1287	107		0,933	74,0	22,2	4,8
08.07.1986	JB&fl 87	G-5	509	34,5		0,343	35,9	2,4	0,1
06.06.1985	JB&fl 87	G-5	267	16,5		0,245	25,0	3,3	0,5
18.07.1984	HÁ&fl 84	G-5	263	19,3		0,182	22,2	1,2	0,2
14.07.1984	HÁ&fl 84	G-7	1549	39,7		0,366	24,3	9,88	2,20
07.09.1979	HÁ&TH 80	G-5	212	20,4		0,151	27,5	1,6	1,5

Tafla V-15. *Efnasamsetning eldri gufusýna úr Vesturhlíðum (K G-108, G-38) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
06.08.2014	ÍSOR 14	20140255	1204	49,9	0,043	0,262	12,8	2,07	<0,01
11.08.2010	JB&TH 11	G-38	2232	68,9	0,089	0,378	16,2	4,1	0,49
01.06.1996	SA&fl 96	96-3123	954	27,9	0,070	0,226	16,7	3,6	0,00

Tafla V-16. *Efnasamsetning eldri gufusýna við Tvíburavötn (K G-103, G-105, G-12) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
20.08.2013	ÍSOR 13b	20130249	549	53,7	0,087	1,07	22,5	2,81	<0,01
13.08.2012	ÍSOR 13a	20120190	533	55,5	0,052	0,430	2,81	2,96	<0,01
03.10.2011	JB&TH 12	G-12	1902	77,7	10,5	4,67	1,66	803	218
10.08.2010	JB&TH 11	G-12	2075	79,3	0,299	3,75	1,9	15,4	0,4
02.06.2009	JB&TH 10	G-12	1246	83,5	0,084	0,995	1,2	4,2	0,1
12.06.2007	JB&TH 08	G-12	1526	76,9		1,23	1,4	4,1	0,2
30.11.2004	JB&TH 04	G-12	1664	61,8		0,520	1,9	5,6	1,6
18.10.2001	JB&TH 01	G-12	1250	52,9		0,800	6,3	23,6	0,0
29.10.1999	JB 99	G-12	1195	40,1					
20.10.1997	JB&TH 98	G-12	1802	68,9		1,28	10,8	7,2	0,4
25.10.1996	JB&TH 96	G-12	1889	60,9		0,020	29,3	43,7	11,0
01.06.1996	SA&fl 96	96-3123	1255	70,7	0,088	0,324	36,1	4,8	0,0
03.11.1995	JB&TH 95	G-12	4125	29,5		0,000	0,0	17172	4026
30.09.1995	SA&fl 95	96-3102	1255	51,9	0,143	0,448	38,7	7,3	0,0
08.10.1994	JB&TH 95	G-12	4517	39,7		1,58	0,0	638	81,8
13.09.1993	JB&TH 94	G-12	7044	47,4		0,000	39,4	1336	100
09.11.1992	JB&TH 93	G-12	5485	141		0,575	29,9	73,0	17,8
09.10.1990	JB&TH 90	G-12	1407	66,1		0,000	63,2	370,2	8,4
17.07.1989	JB&TH 89	G-12	3020	88,6		8,35	0,0	80,9	13,5
21.07.1988	JB&TH 88	G-12	2249	61,9					
14.07.1988	JB&TH 88	G-12	1625	62,7		0,338	2,9	0,5	0,2
28.03.1987	JB&fl 87	G-12	3387	137		0,348	12,5	25,0	8,7
09.07.1986	JB&fl 87	G-12	2061	67,0		0,000	24,3	13,5	2,8
06.08.1985	JB&fl 85	G-12	2090	50,5		0,000	31,1	2,8	0,2
24.09.1984	HÁ&fl 84	G-12	1433	26,7		0,000	20,9	4,0	0,6
14.07.1984	HÁ&fl 84	G-12	2426	57,0		0,000	36,2	5,0	0,8
03.09.1979	HÁ&TH 80	G-12	4952	113		1,01	37,0	11,7	11,7

Tafla V-17. *Efnasamsetning eldri gufusýna af Vítissvæði (G-1, G-107) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
06.08.2014	ÍSOR 14	20140254	337	47,0	0,057	0,473	21,7	2,55	<0,01
18.10.1997	JB&TH 98	G-1	15133	328		0,000	21,7	1092	
25.10.1996	JB&TH 96	G-1	2235	71,2		0,031	1,09	0,27	
01.06.1996	SA&fl 96	96-3122	1808	78,1	0,142	0,861	49,7	6,63	0,000
30.09.1995	SA&fl 95	96-3103	1858	51,8	0,226	0,916	61,3	8,78	0,000
13.09.1993	JB&TH 94	G-1	3791	85,1		0,012	0,79	0,11	
09.11.1992	JB&TH 93	G-1	2526	57,0		0,262	53,2	10,9	
08.10.1990	JB&TH 90	G-1	1877	43,3		4,24	101	198	
20.07.1989	JB&TH 89	G-1	2944	64,8		0,031	0,79	0,10	
21.07.1988	JB&TH 88	G-1	3105	76,8					
29.03.1987	JB&fl 87	G-1	2518	56,2				40,9	
07.07.1986	JB&fl 87	G-1	3188	45,7		0,662	57,1	24,4	
24.09.1984	HÁ&fl 84	G-1	3431	42,5		0,699	22,4	8,8	
31.08.1979	HÁ&TH 80	G-1	7255	76,9		1,49	68,2	35,6	
01.08.1978	GG&fl 78	G-1	5445	43,7				49,8	

Viðauki 2: Sýnameðhöndlun og efnagreiningaraðferðir

Gufusýni

Ósúrt gas (H_2, CH_4, N_2, O_2, Ar): Sýnum er safnað yfir lút (50 mL af 10 M NaOH) í lofttæmdar glerflöskur og þau greind með gasskilju. Gasstyrkur er reiknaður út frá þrýstingi sýnis, flatarmáli toppa á rófinu og flatarmáli tilsvarandi toppa fyrir róf af staðalgasi.

Koldíoxíð (CO_2): Sýnum er safnað í lút í lofttæmdar glerflöskur og þau greind með títrun með HCl frá pH 8,2 niður í pH 3,8. Leiðrétt er fyrir styrk CO_2 í blindsýnum og styrk H_2S.

Brennisteinsvetni (H_2S): Sýnum er safnað í lút í lofttæmdar glerflöskur og þau títruð með kvikasilfursasetati þar sem dithizone í acetoni er notað sem litvísir.

Vatns- og þéttivatnssýni

Sýrustig (pH): Sýrustig er mælt með spennumælingu yfir rafskaut, annaðhvort strax við söfnun eða að sýnum er safnað á loftþéttar glerflöskur og sýrustig þeirra mælt við stofuhita eigi síðar en tveimur sólarhringum eftir söfnun.

Karbónat (CO_2): Sýnum er safnað á loftþéttar glerflöskur og þau greind með títrun með HCl frá pH 8,2 niður í pH 3,8 og baktítrun með NaOH frá pH 3,8 upp í pH 8,2 eigi síðar en tveimur sólarhringum eftir söfnun. Leiðrétt er fyrir klofnun H_2S, H_2O og fleiri daufra sýra.

Brennisteinsvetni (H_2S): Greint strax við söfnun. Títrað með kvikasilfursasetati í basískri lausn með dithizone í acetoni sem litvísi.

Rafleiðni: Mæld með spennumælingu, annaðhvort strax við söfnun eða að sýnum er safnað á loftþéttar glerflöskur og leiðni þeirra mæld eigi síðar en tveimur sólarhringum eftir söfnun. Leiðnigildi við stofuhita eða söfnunarhita eru umreiknuð og gefin upp við 25°C.

Aðalmálmar (Na, K, Mg, Ca): Sýnin eru síuð við söfnun, þau sett á plastflöskur og sýrð með saltpéturssýru (*suprapur*). Greining er í langflestum tilfellum gerð með atómísogsmælingum (AAS) á rannsóknastofu ÍSOR en í sumum tilfellum (vorsýni) með rafgasgreiningum (ICP-AES) á rannsóknastofu ALS í Svíþjóð.

Hliðarmálmar og snefilefni (Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, Zn): Sýni síuð við söfnun, þau sett á sýruþvegnar plastflöskur og sýrð með saltpéturssýru (*suprapur*). Greining með rafgasgreiningum (ICP-AES/MS) á rannsóknastofu ALS í Svíþjóð.

Kvikasilfur (Hg): Sýni eru síuð við söfnun, þau sett á sýruþvegnar plastflöskur og þau sýrð með saltpéturssýru (*suprapur*). Í sumum tilfellum (haustsýni 2014) var mettuð $KMnO_4$-lausn einnig notuð. Greining með atómflúrljómun (AFS) á rannsóknastofu ALS í Svíþjóð.

Anjónir (F, Cl, Br, SO_4): Sýni eru síuð við söfnun og geymd á plastflöskum. Þar sem styrkur H_2S er hærri en 1 mg/L er ZnS fellt úr lausninni við söfnun. Greining með jónaskiljun (IC) á rannsóknastofu ÍSOR.

Bór (B): Sýni eru síuð á plastflöskur við söfnun og greind á rannsóknastofu ÍSOR. Greint með mælingu á ljósgleypni bór-azómethín komplex við 415 nm bylgjulengd.

Kísill (SiO_2):

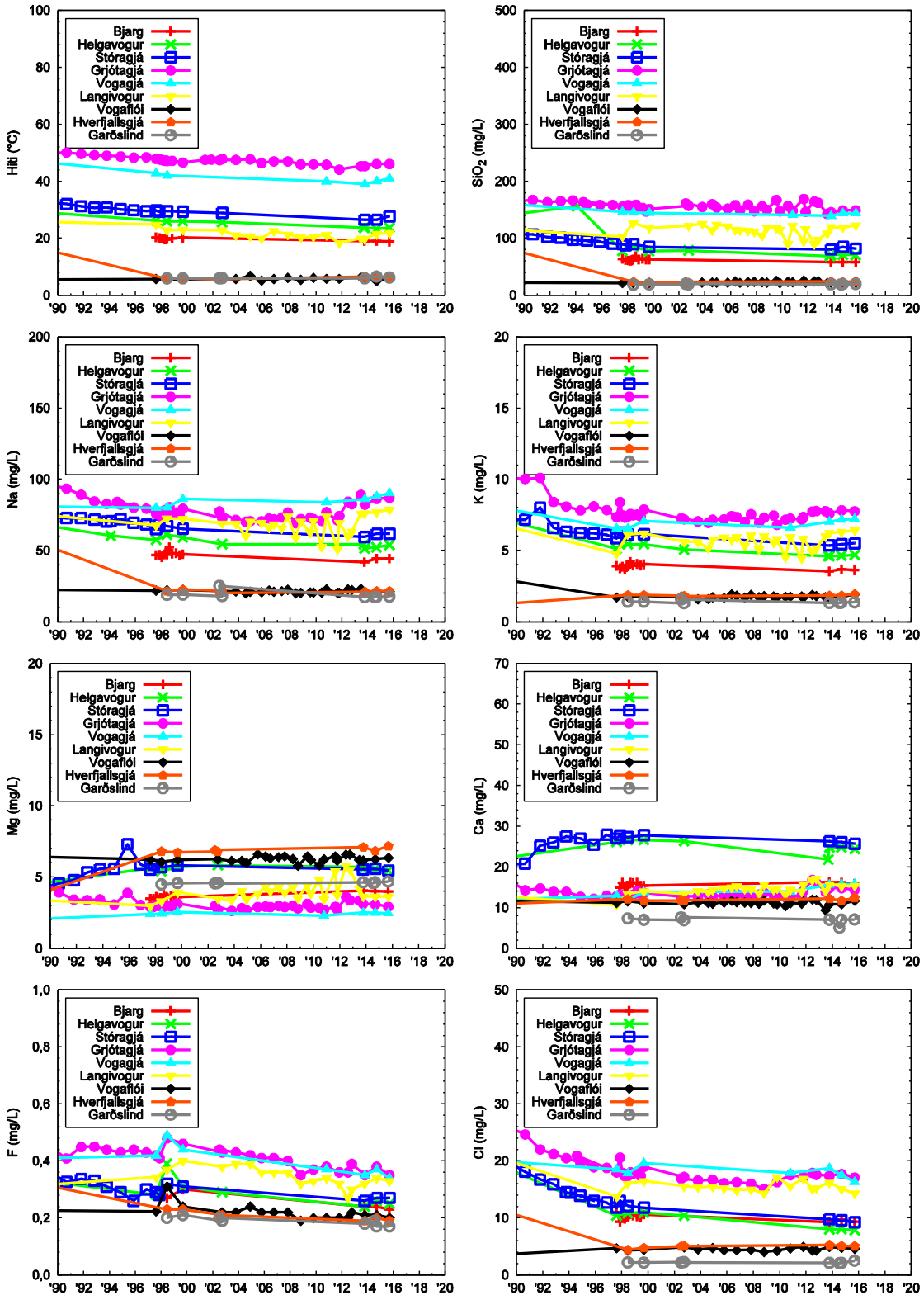
(i) Rannsóknarstofa ÍSOR: Ómeðhöndluðum eða þynntum (1:1 eða 1:10 þynning með eimuðu vatni) sýnum safnað á plastflöskur og kísilstyrkur greindur með mælingu á ljósgleypni kísilmólybdat komplex í súrri lausn við 410 nm bylgjulengd.

(ii) Rannsóknarstofa ALS (vorsýni): Sýni síuð við söfnun, þau sett á sýruþvegnar plastflöskur og þau sýrð með saltpéturssýru (*suprapur*). Greining á Si með rafgasgreiningum (ICP-AES) á rannsóknastofu ALS í Svíþjóð.

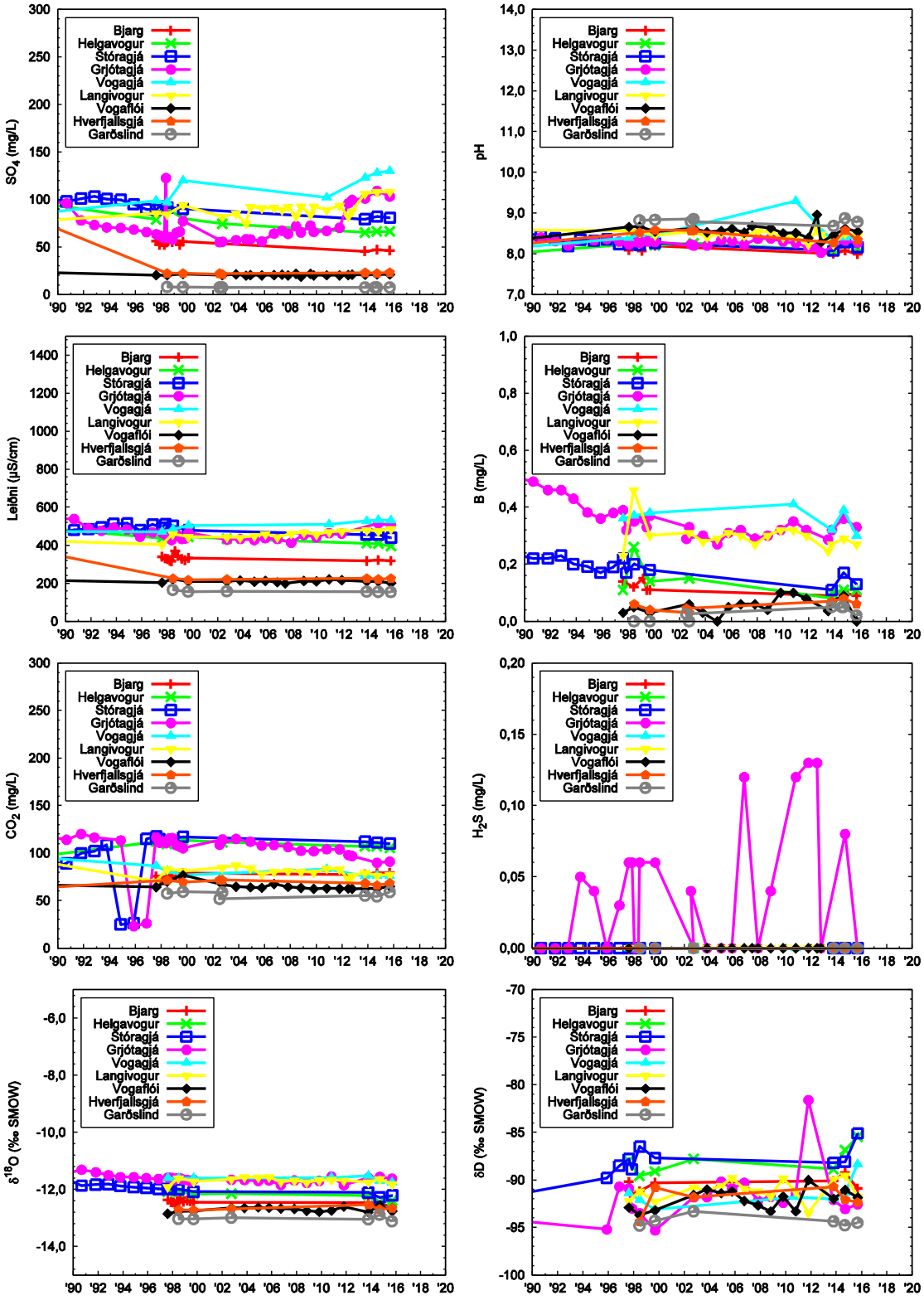
Uppleyst steinefni (TDS): Sýni eru síuð á plastflöskur við söfnun og greind á rannsóknastofu ÍSOR. 100 mL sýnis eru þurreimaðir og heildarmagn uppleystra steinefna ákvarðað út frá massa þurrefnis.

Samsætur (δD og $\delta^{18}O$): Sýnum er safnað á loftþéttar glerflöskur og hlutfall þungra og léttra samsætna ákvarðað á massagreini hjá Raunvísindastofnun Háskóla Íslands. Samsætuhlutföll eru gefin upp sem ‰-vik frá sömu hlutföllum í staðalsjó (SMOW).

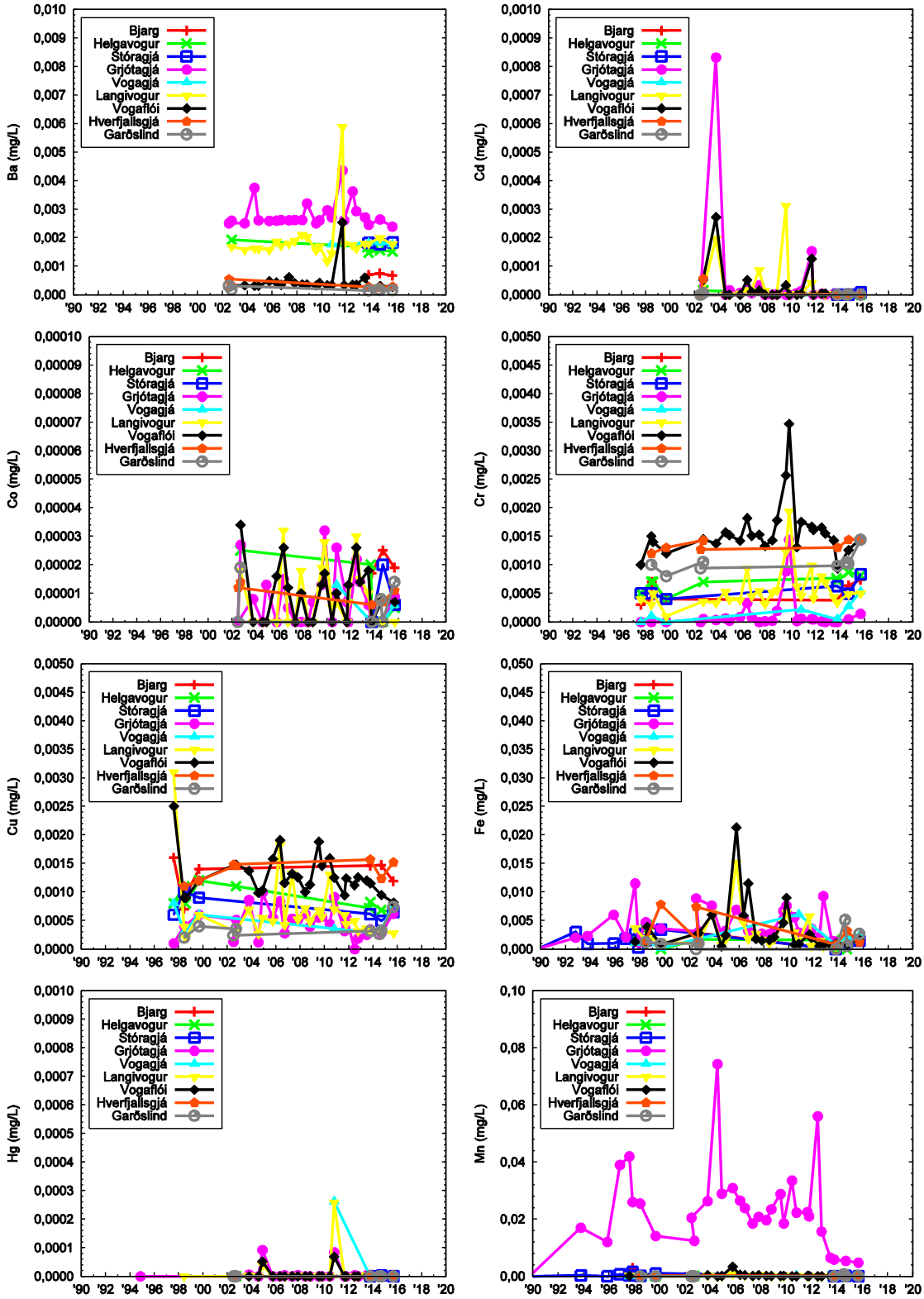
Viðauki 3: Mældur hiti við sýnatöku, styrkur efna og samsætuhlutföll í sýnum frá vöktunarstöðum í Mývatnssveit



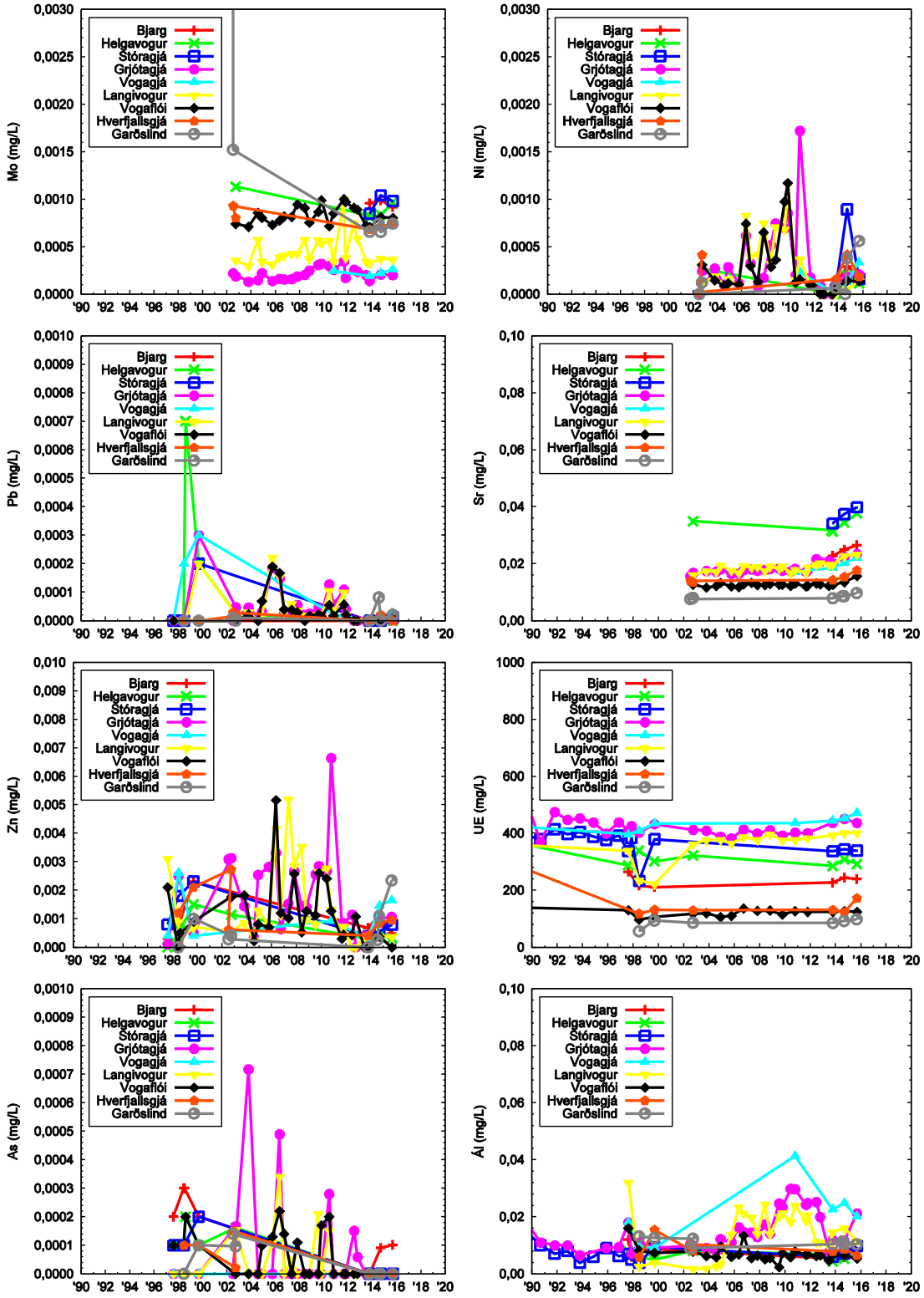
Mynd 1.


Bjarg
Helgavogur
Stóragjá
Grjótagjá
Vogagjá
Langivogur
Vogafjós
Hverfjallsgjá
Garðslind
SO4 (mg/L)
pH
Leiðni (µS/cm)
B (mg/L)
CO2 (mg/L)
H2S (mg/L)
δ18O (‰ SMOW)
δD (‰ SMOW)
'90 '92 '94 '96 '98 '00 '02 '04 '06 '08 '10 '12 '14 '16 '18 '20

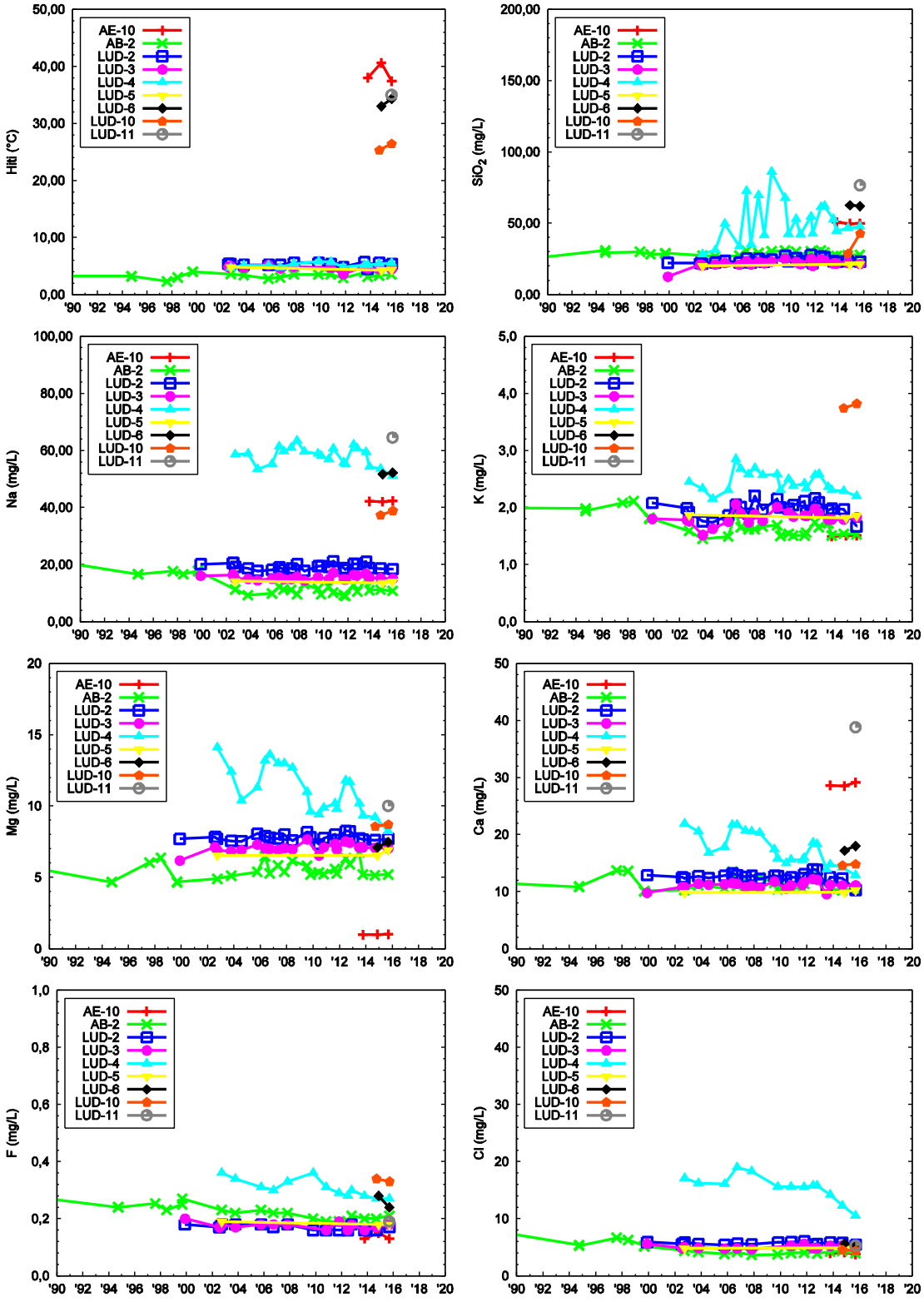
Mynd 2.


Ba (mg/L)
Cd (mg/L)
Co (mg/L)
Cr (mg/L)
Cu (mg/L)
Fe (mg/L)
Hg (mg/L)
Mn (mg/L)
Bjarg
Helgavogur
Stóragjá
Grjótagjá
Vogagjá
Langivogur
Vogafljót
Hverfjallsgjá
Garðslind

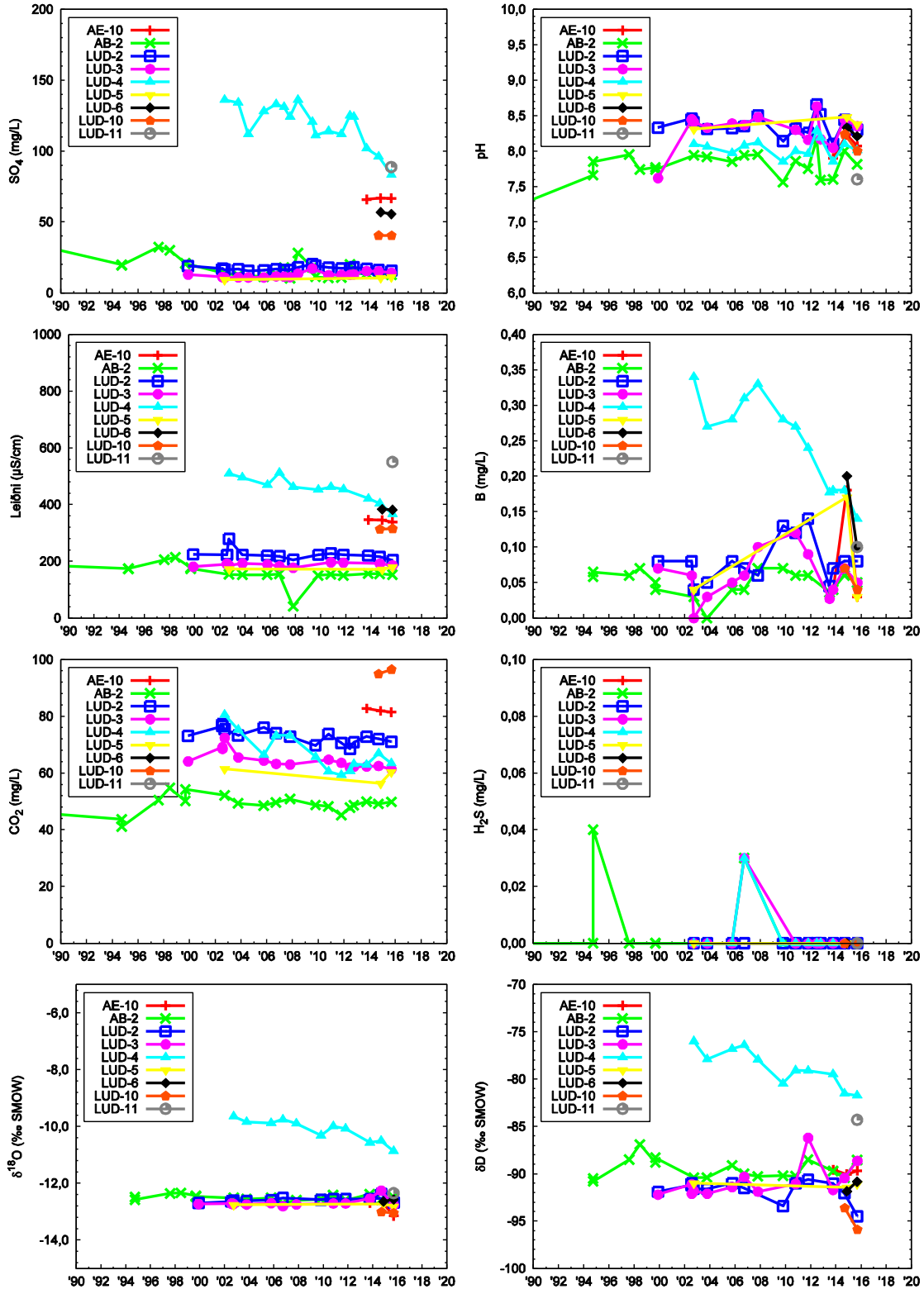
Mynd 3.


Mo (mg/L)
Ni (mg/L)
Pb (mg/L)
Sr (mg/L)
Zn (mg/L)
UE (mg/L)
As (mg/L)
Ái (mg/L)
Bjarg
Helgavogur
Stóragjá
Grjótagjá
Vogagjá
Langivogur
Vogafljót
Hverfjallsgjá
Garðslind

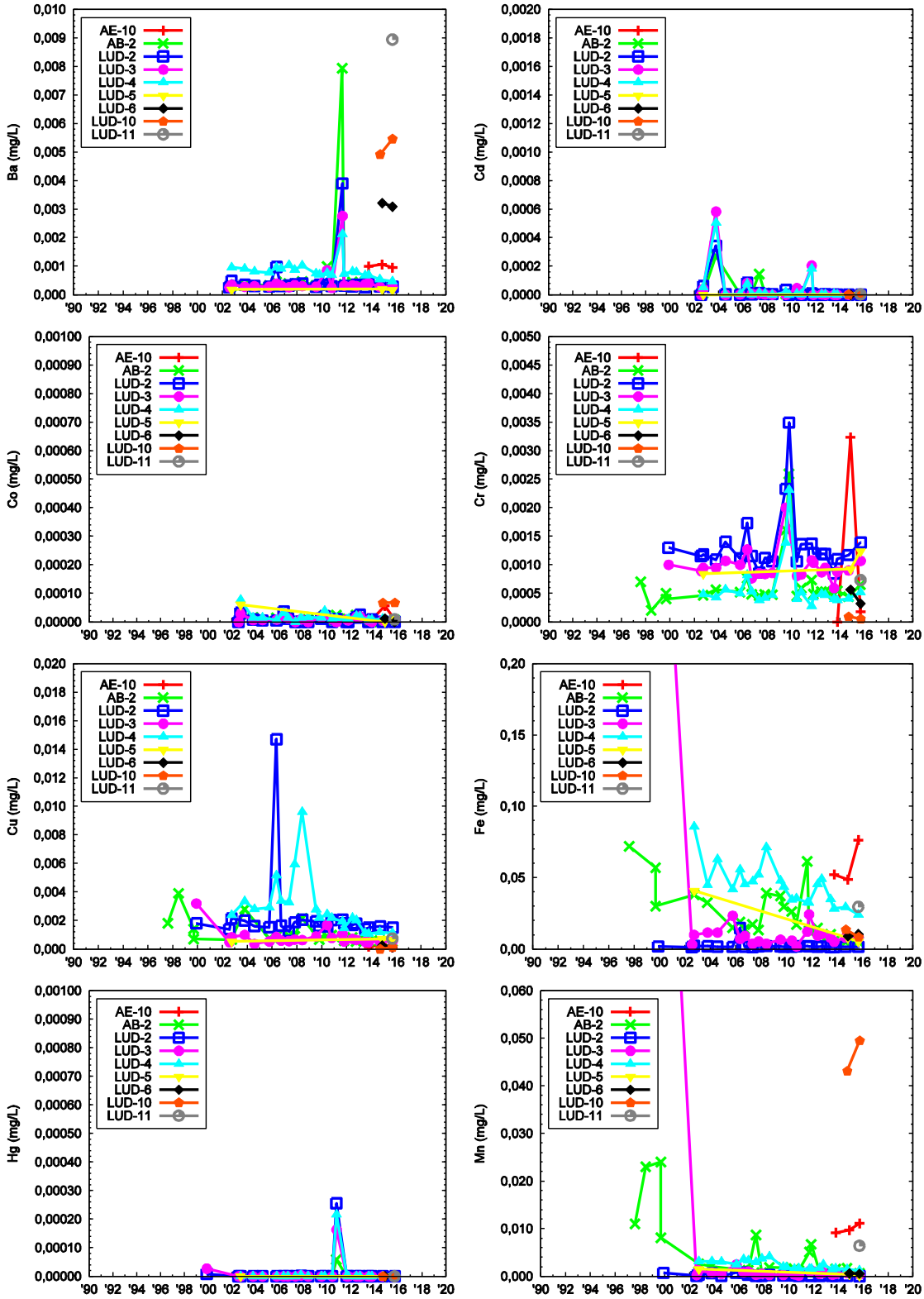
Mynd 4.


Hiti (°C)
SiO2 (mg/L)
Na (mg/L)
K (mg/L)
Mg (mg/L)
Ca (mg/L)
F (mg/L)
Cl (mg/L)
AE-10
AB-2
LUD-2
LUD-3
LUD-4
LUD-5
LUD-6
LUD-10
LUD-11
'90 '92 '94 '96 '98 '00 '02 '04 '06 '08 '10 '12 '14 '16 '18 '20

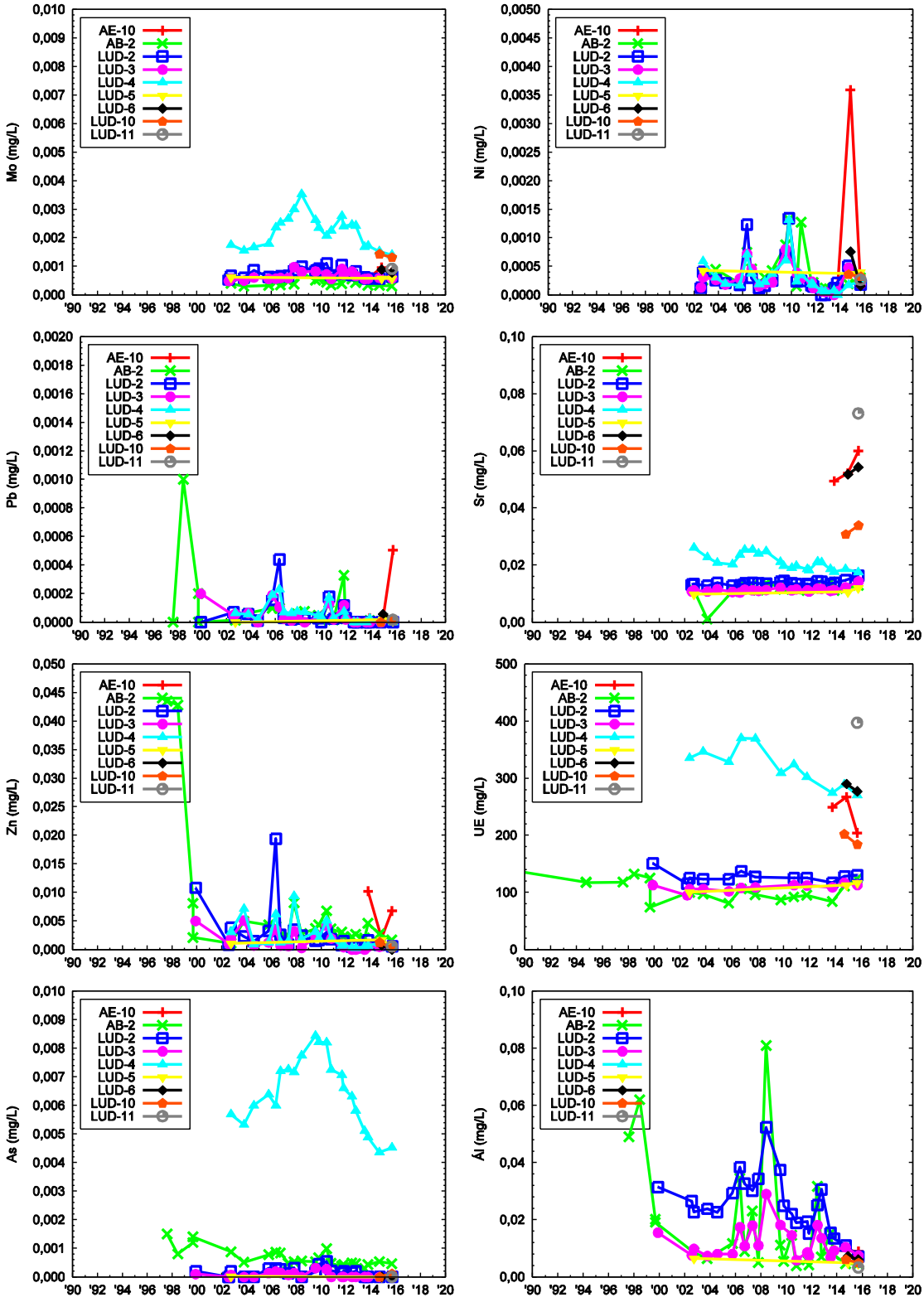
Mynd 5.


AE-10
AB-2
LUD-2
LUD-3
LUD-4
LUD-5
LUD-6
LUD-10
LUD-11
SO4 (mg/L)
pH
Leiðni (µS/cm)
B (mg/L)
CO2 (mg/L)
H2S (mg/L)
δ18O (‰ SMOW)
δD (‰ SMOW)
'90 '92 '94 '96 '98 '00 '02 '04 '06 '08 '10 '12 '14 '16 '18 '20

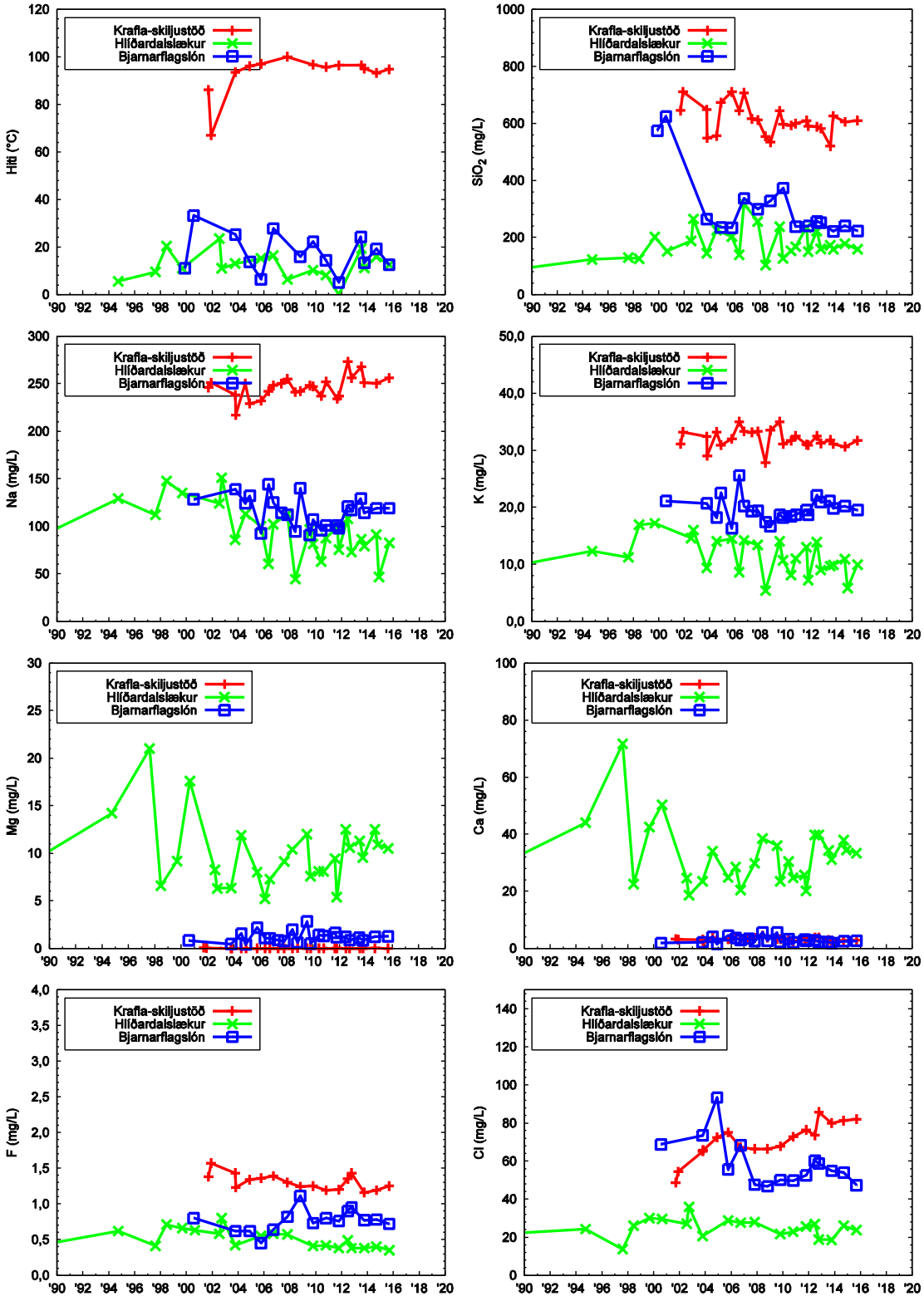
Mynd 6.


Ba (mg/L)
Cd (mg/L)
Co (mg/L)
Cr (mg/L)
Cu (mg/L)
Fe (mg/L)
Hg (mg/L)
Mn (mg/L)
AE-10
AB-2
LUD-2
LUD-3
LUD-4
LUD-5
LUD-6
LUD-10
LUD-11
'90 '92 '94 '96 '98 '00 '02 '04 '06 '08 '10 '12 '14 '16 '18 '20

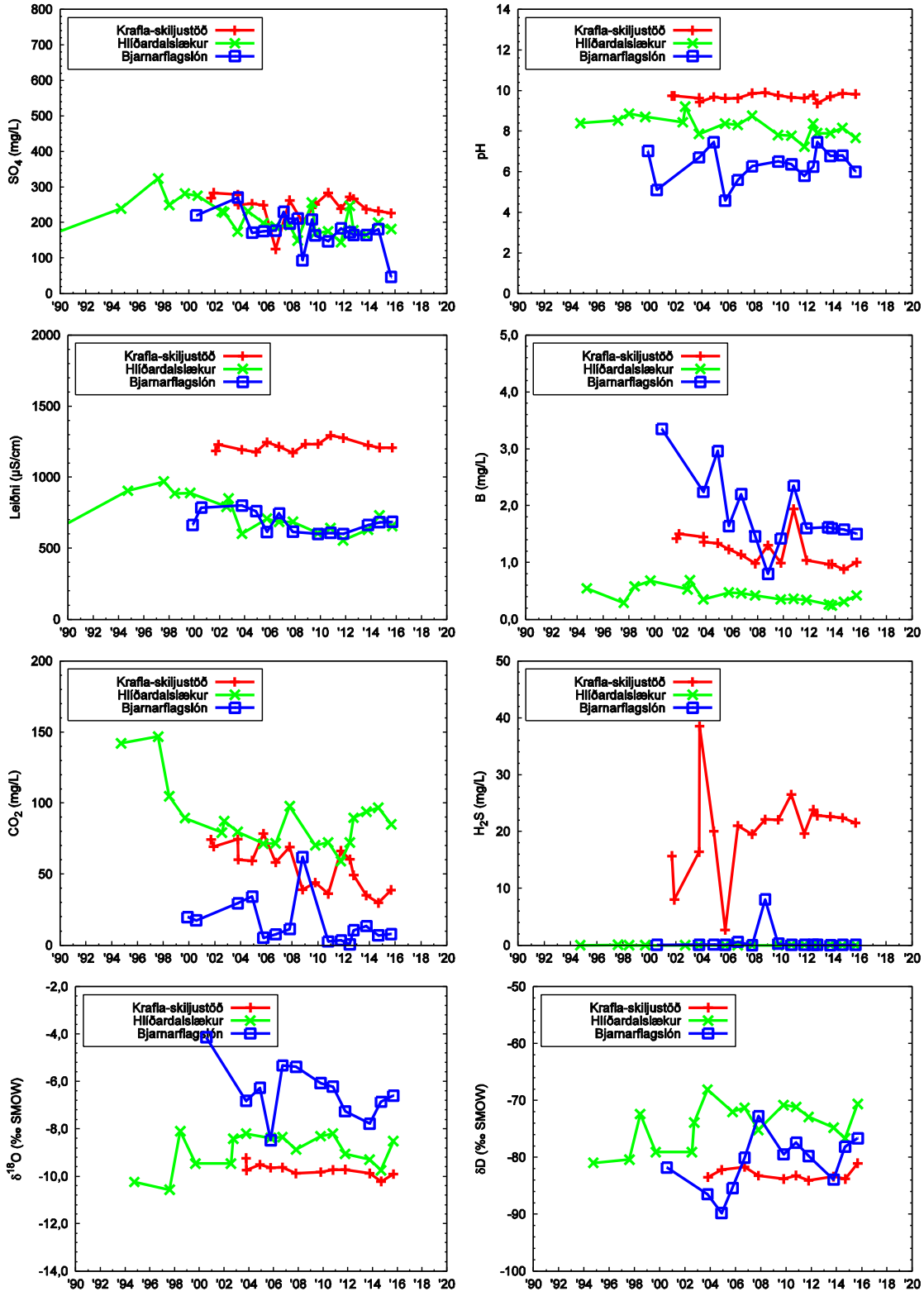
Mynd 7.


Mo (mg/L)
Ni (mg/L)
Pb (mg/L)
Sr (mg/L)
Zn (mg/L)
UE (mg/L)
As (mg/L)
Ál (mg/L)
AE-10
AB-2
LUD-2
LUD-3
LUD-4
LUD-5
LUD-6
LUD-10
LUD-11
'90 '92 '94 '96 '98 '00 '02 '04 '06 '08 '10 '12 '14 '16 '18 '20

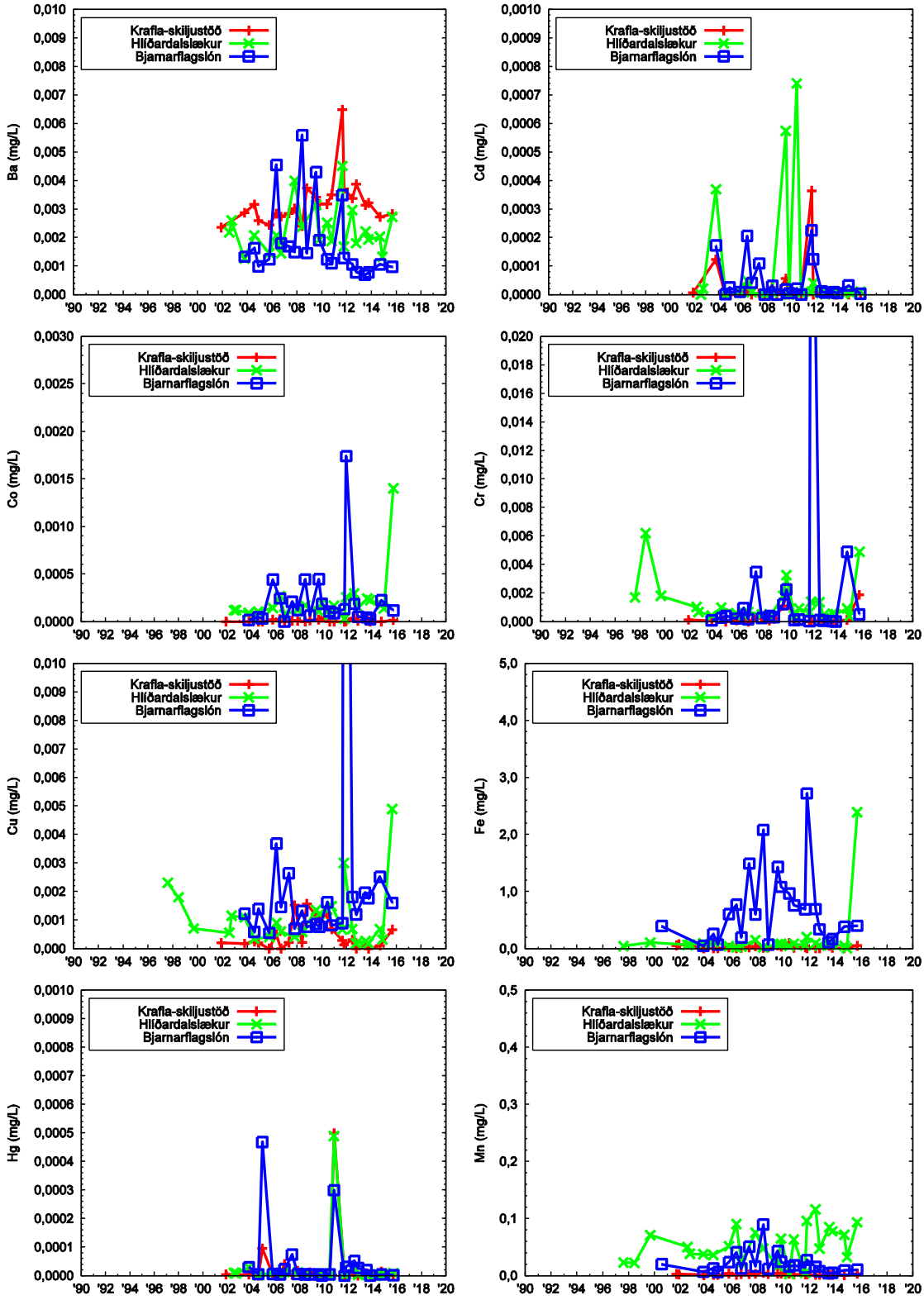
Mynd 8.


Krafla-skiljustöð
Hlíðardalslækur
Bjarnarflagslón
Hiti (°C)
SiO2 (mg/L)
Na (mg/L)
K (mg/L)
Mg (mg/L)
Ca (mg/L)
F (mg/L)
Cl (mg/L)
'90 '92 '94 '96 '98 '00 '02 '04 '06 '08 '10 '12 '14 '16 '18 '20

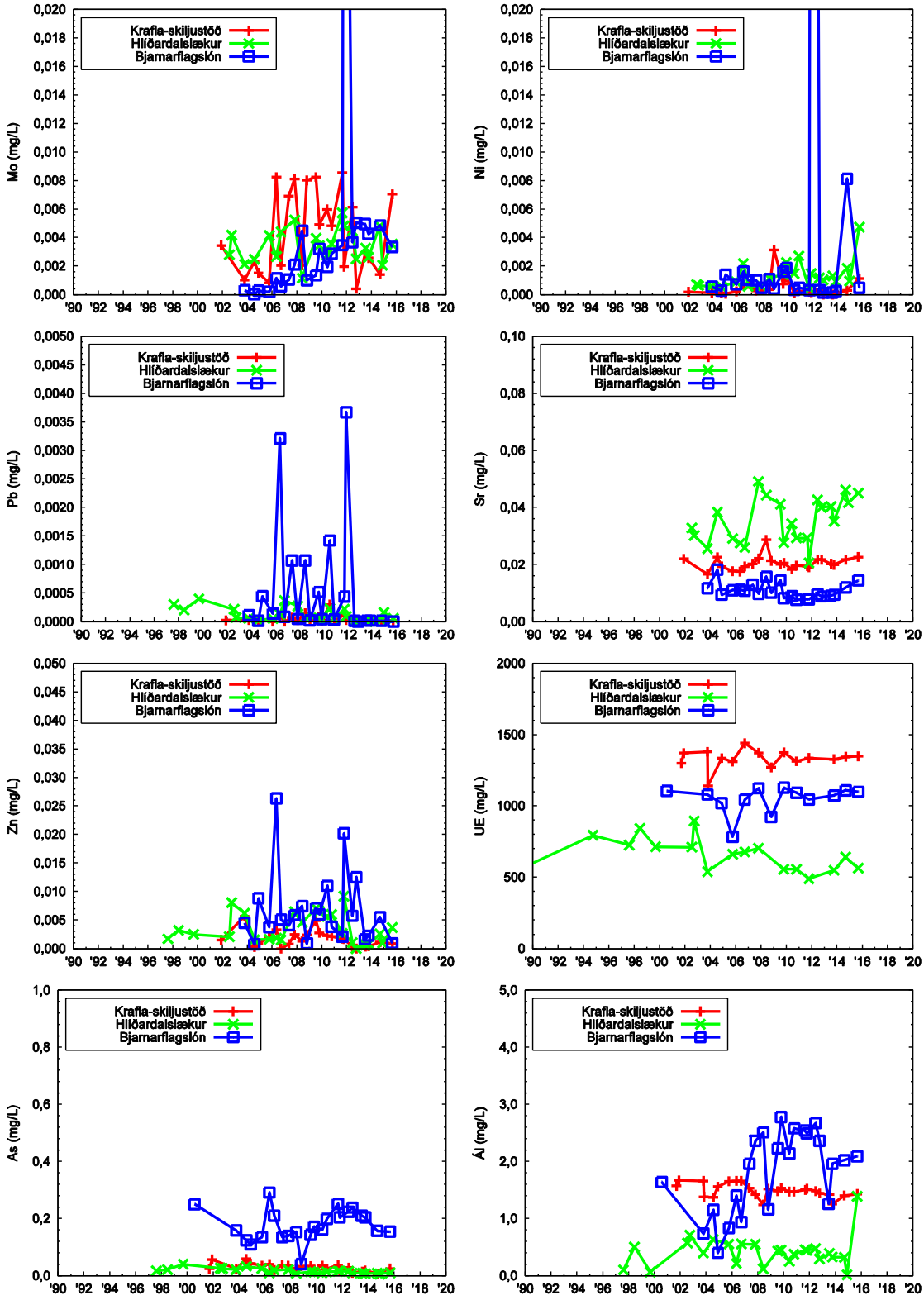
Mynd 9.


Krafla-skiljustöð
Hlíðardalslækur
Bjarnarflagslón
SO4 (mg/L)
pH
Leiðni (µS/cm)
B (mg/L)
CO2 (mg/L)
H2S (mg/L)
δ18O (‰ SMOW)
δD (‰ SMOW)
'90 '92 '94 '96 '98 '00 '02 '04 '06 '08 '10 '12 '14 '16 '18 '20

Mynd 10.

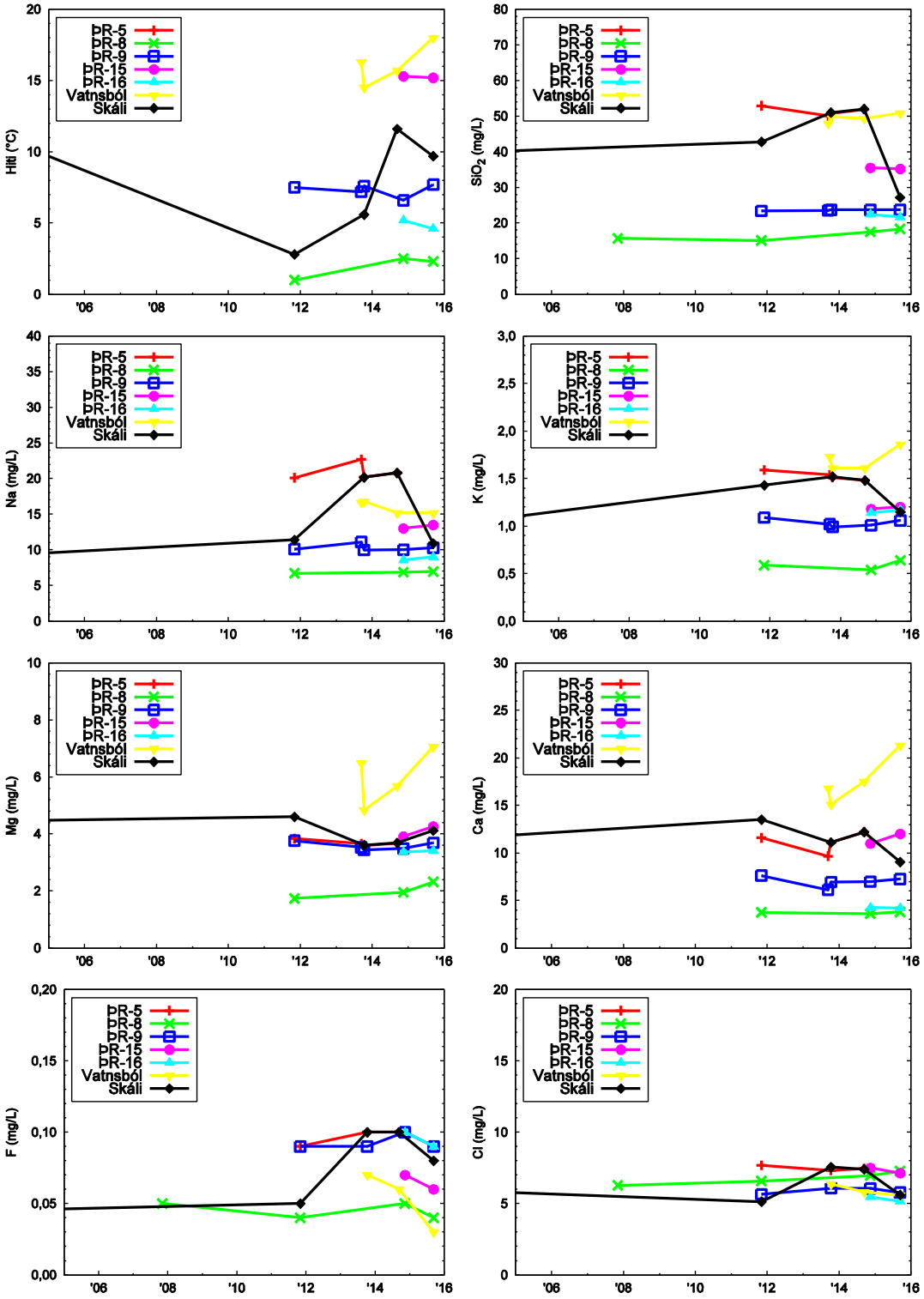

Krafla-skiljustöð
Hlíðardalslækur
Bjarnarflagslón
Ba (mg/L)
Cd (mg/L)
Co (mg/L)
Cr (mg/L)
Cu (mg/L)
Fe (mg/L)
Hg (mg/L)
Mn (mg/L)
'90 '92 '94 '96 '98 '00 '02 '04 '06 '08 '10 '12 '14 '16 '18 '20

Mynd 11.

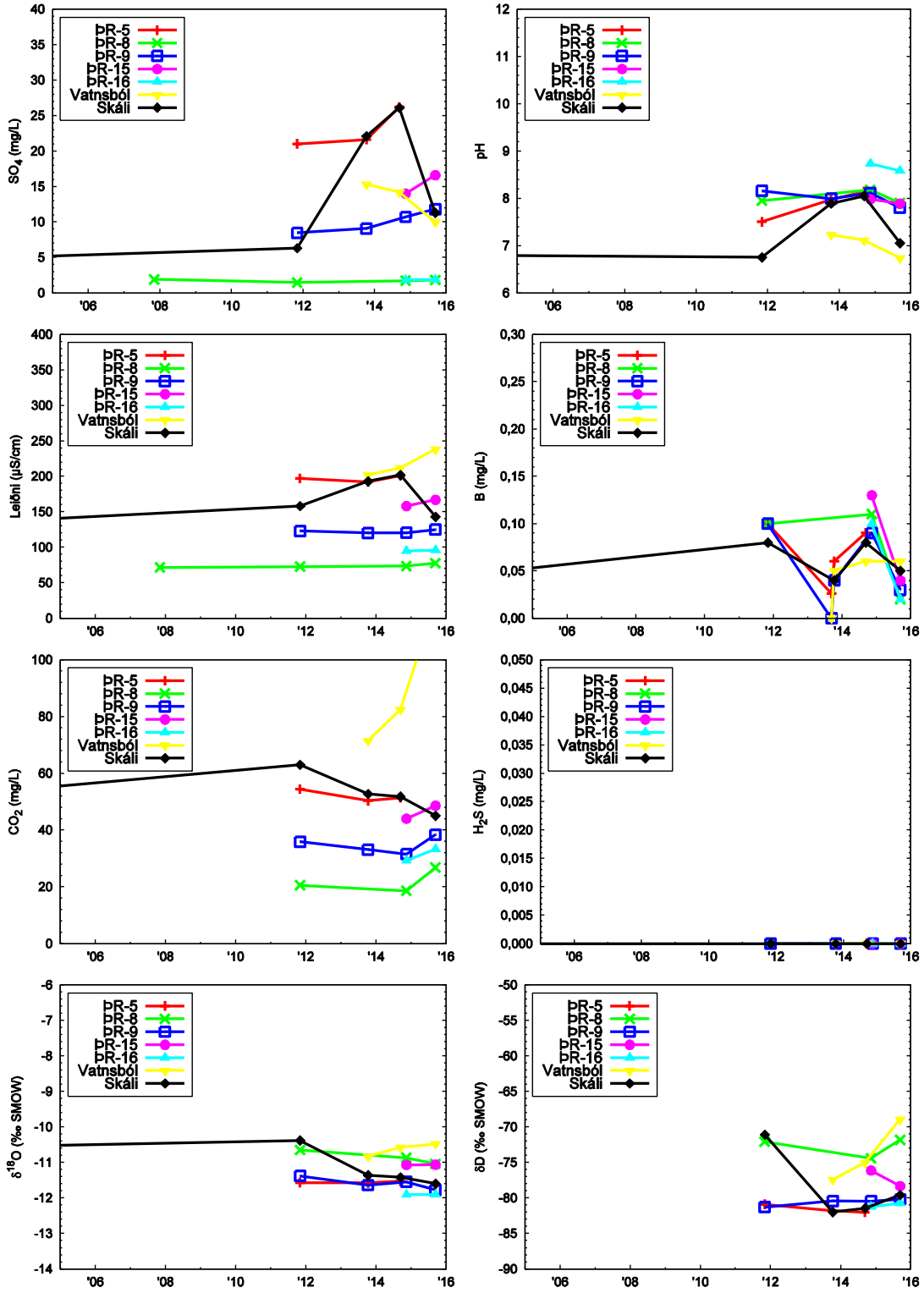

Krafla-skiljustöð
Hlíðardalslækur
Bjarnarflagslón
Mo (mg/L)
Ni (mg/L)
Pb (mg/L)
Sr (mg/L)
Zn (mg/L)
UE (mg/L)
As (mg/L)
Ál (mg/L)
'90 '92 '94 '96 '98 '00 '02 '04 '06 '08 '10 '12 '14 '16 '18 '20

Mynd 12.

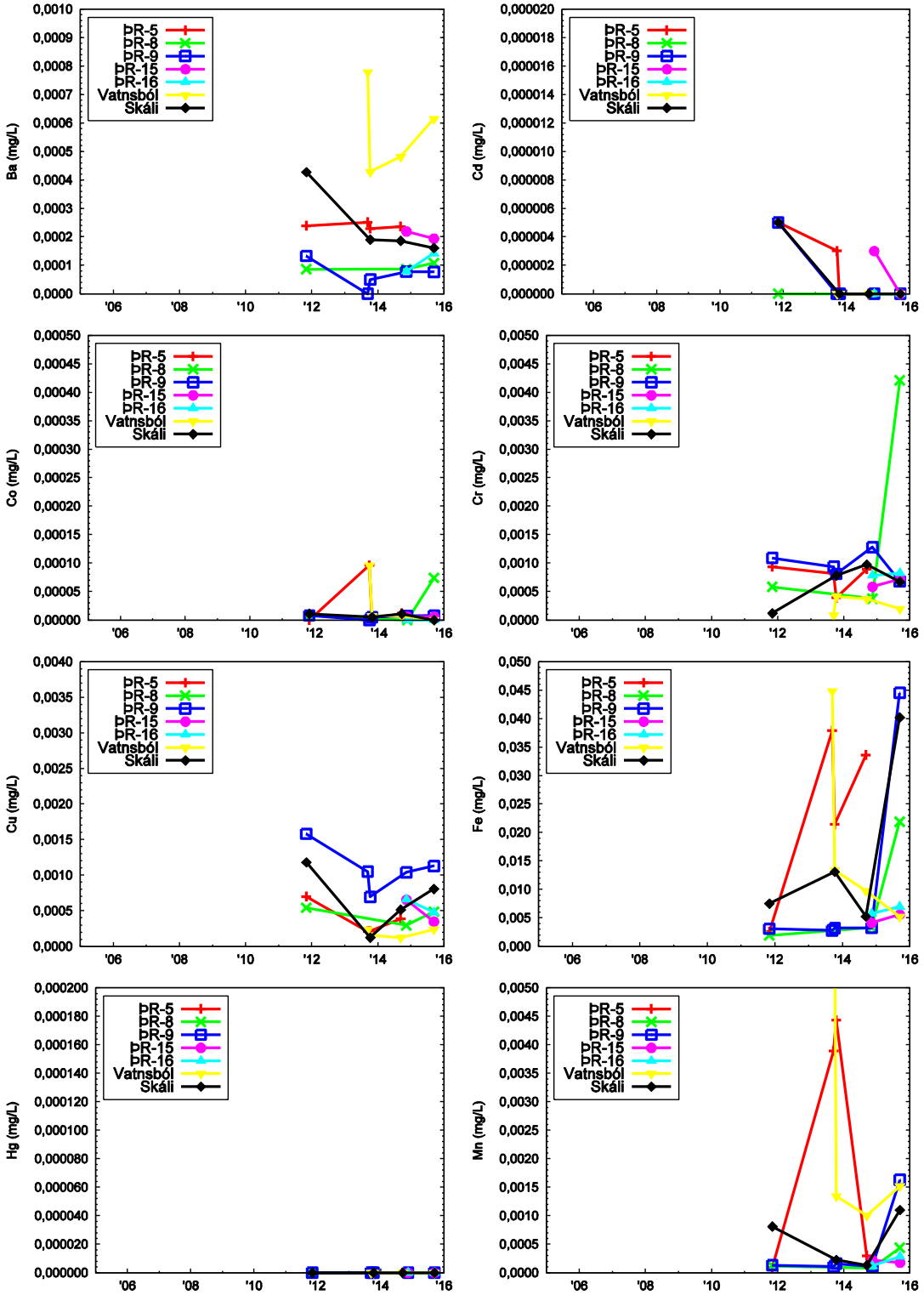
Viðauki 4: Mældur hiti við sýnatöku, styrkur efna og samsætuhlutföll í sýnum frá vöktunarstöðum á Þeistareykjum og í Kelduhverfi



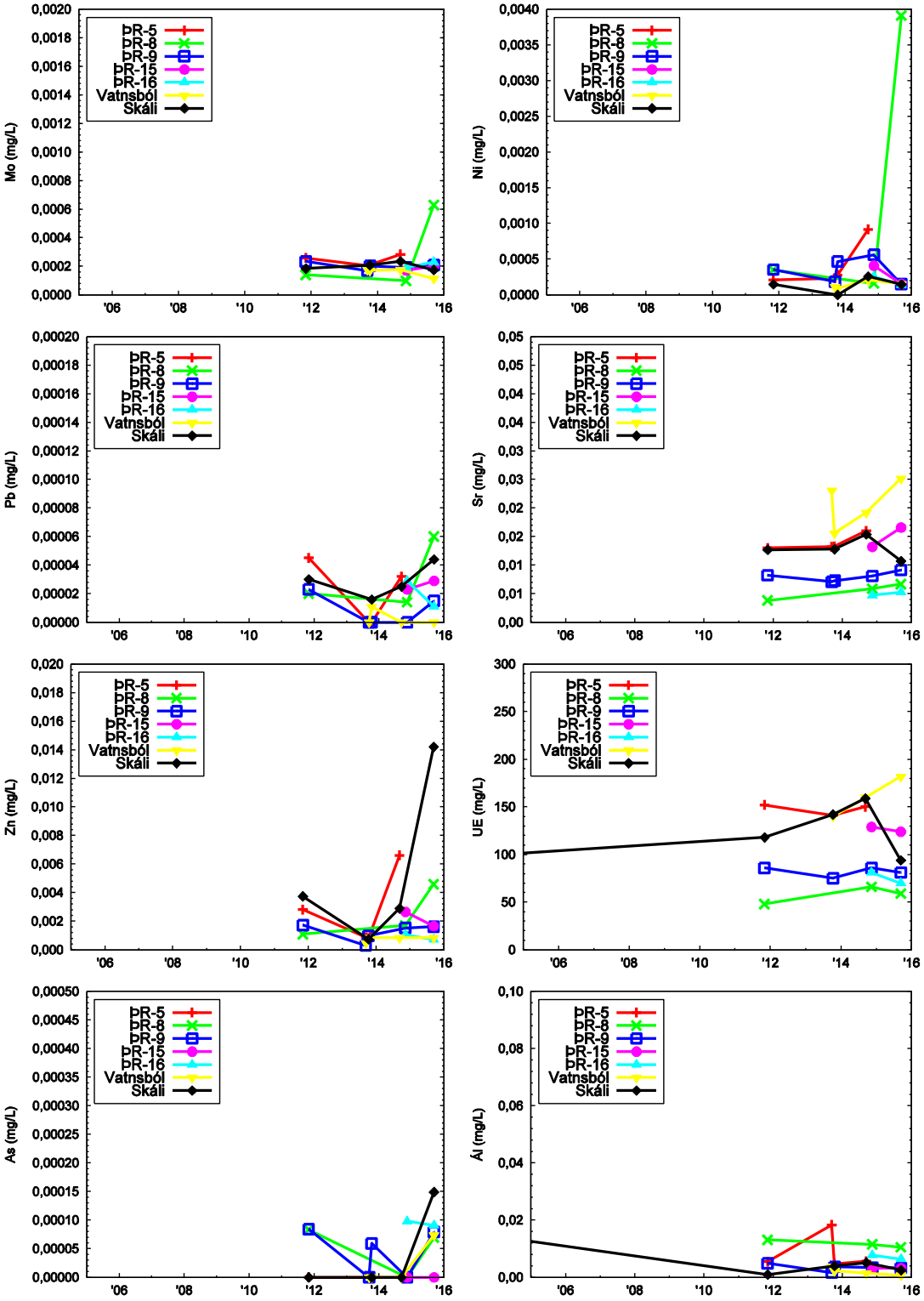
Mynd 1.


ÞR-5
ÞR-8
ÞR-9
ÞR-15
ÞR-16
Vatnsból
Skáli
SO4 (mg/L)
pH
Leiðni (µS/cm)
B (mg/L)
CO2 (mg/L)
H2S (mg/L)
δ18O (‰ SMOW)
δD (‰ SMOW)
'06
'08
'10
'12
'14
'16

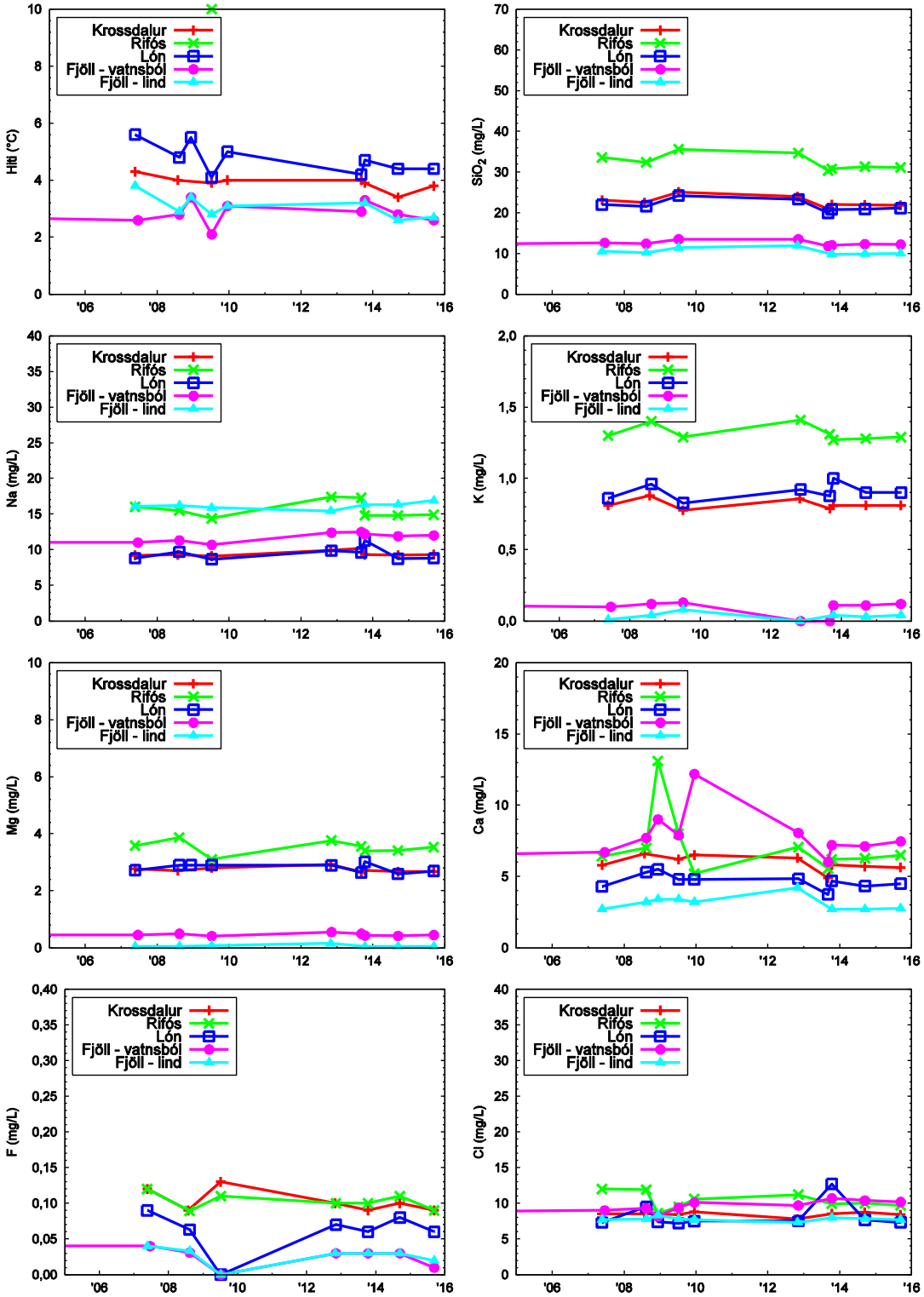
Mynd 2.


Ba (mg/L)
Cd (mg/L)
Co (mg/L)
Cr (mg/L)
Cu (mg/L)
Fe (mg/L)
Hg (mg/L)
Mn (mg/L)
ÞR-5
ÞR-8
ÞR-9
ÞR-15
ÞR-16
Vatnsból
Skáli
'06
'08
'10
'12
'14
'16

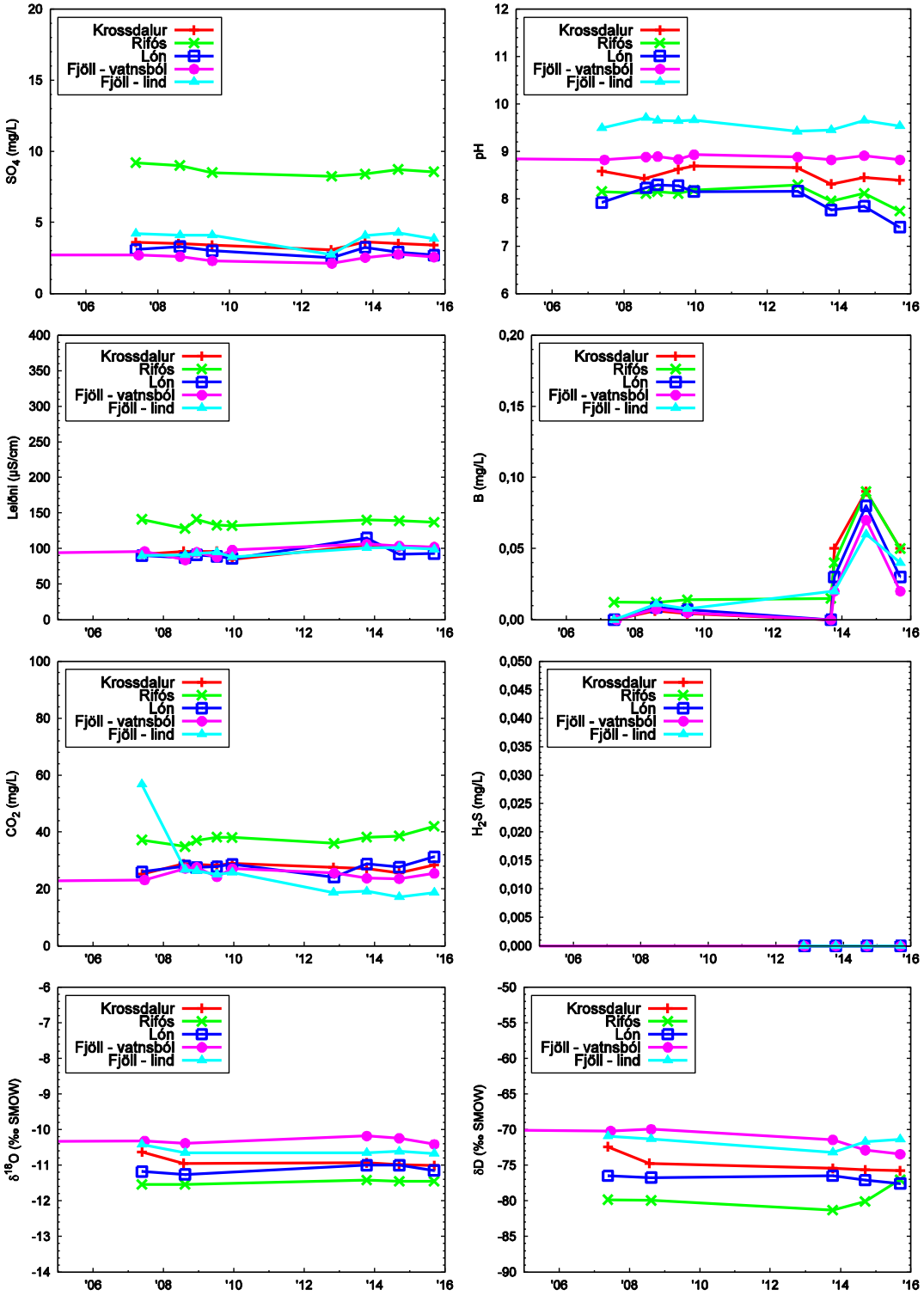
Mynd 3.


Mo (mg/L)
Ni (mg/L)
Pb (mg/L)
Sr (mg/L)
Zn (mg/L)
UE (mg/L)
As (mg/L)
Ál (mg/L)
ÞR-5
ÞR-8
ÞR-9
ÞR-15
ÞR-16
Vatnsból
Skáli
'06
'08
'10
'12
'14
'16

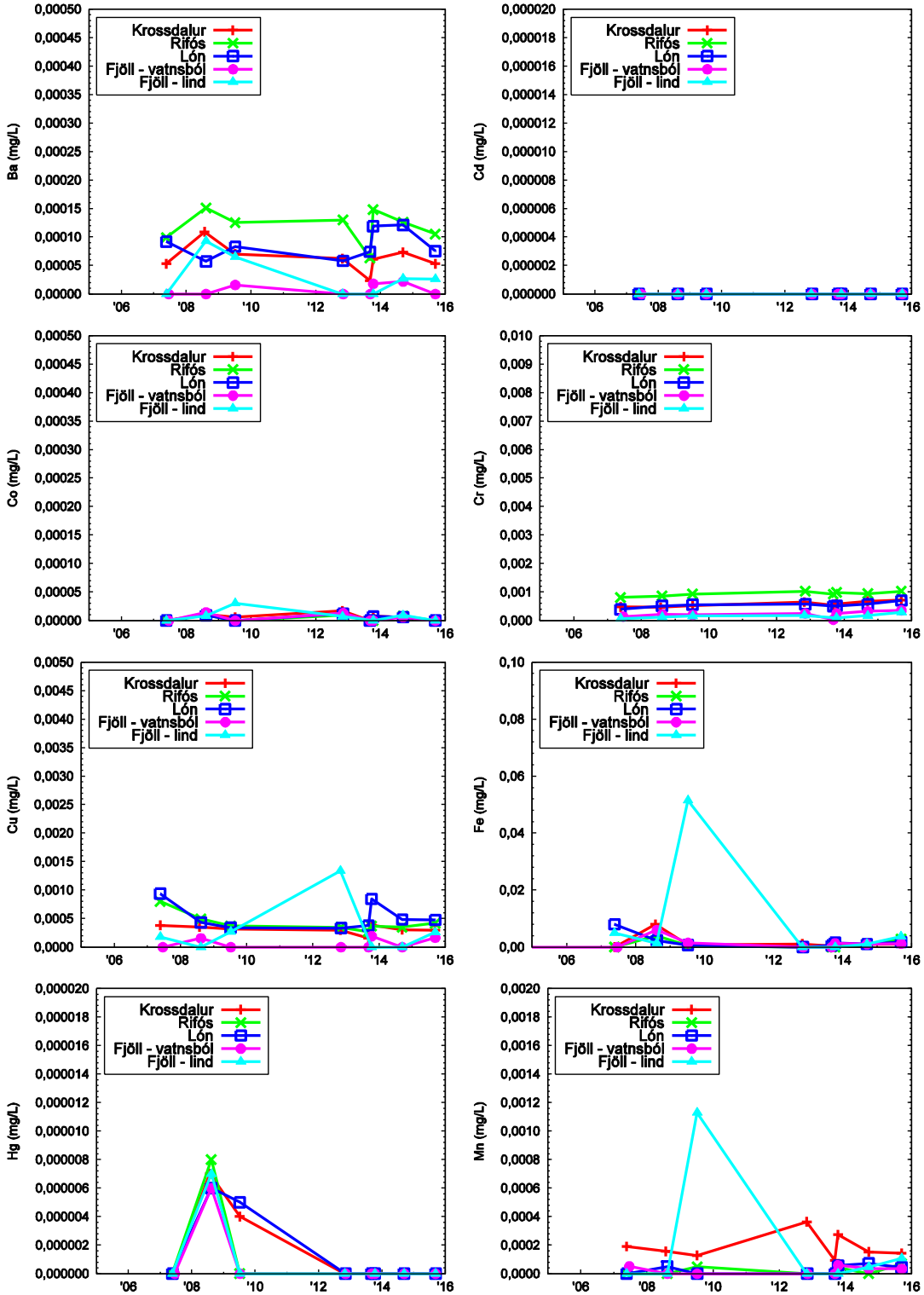
Mynd 4.


Krossdalur
Rifós
Lón
Fjöll - vatnsból
Fjöll - lind
Hiti (°C)
SiO2 (mg/L)
Na (mg/L)
K (mg/L)
Mg (mg/L)
Ca (mg/L)
F (mg/L)
Cl (mg/L)
'06
'08
'10
'12
'14
'16

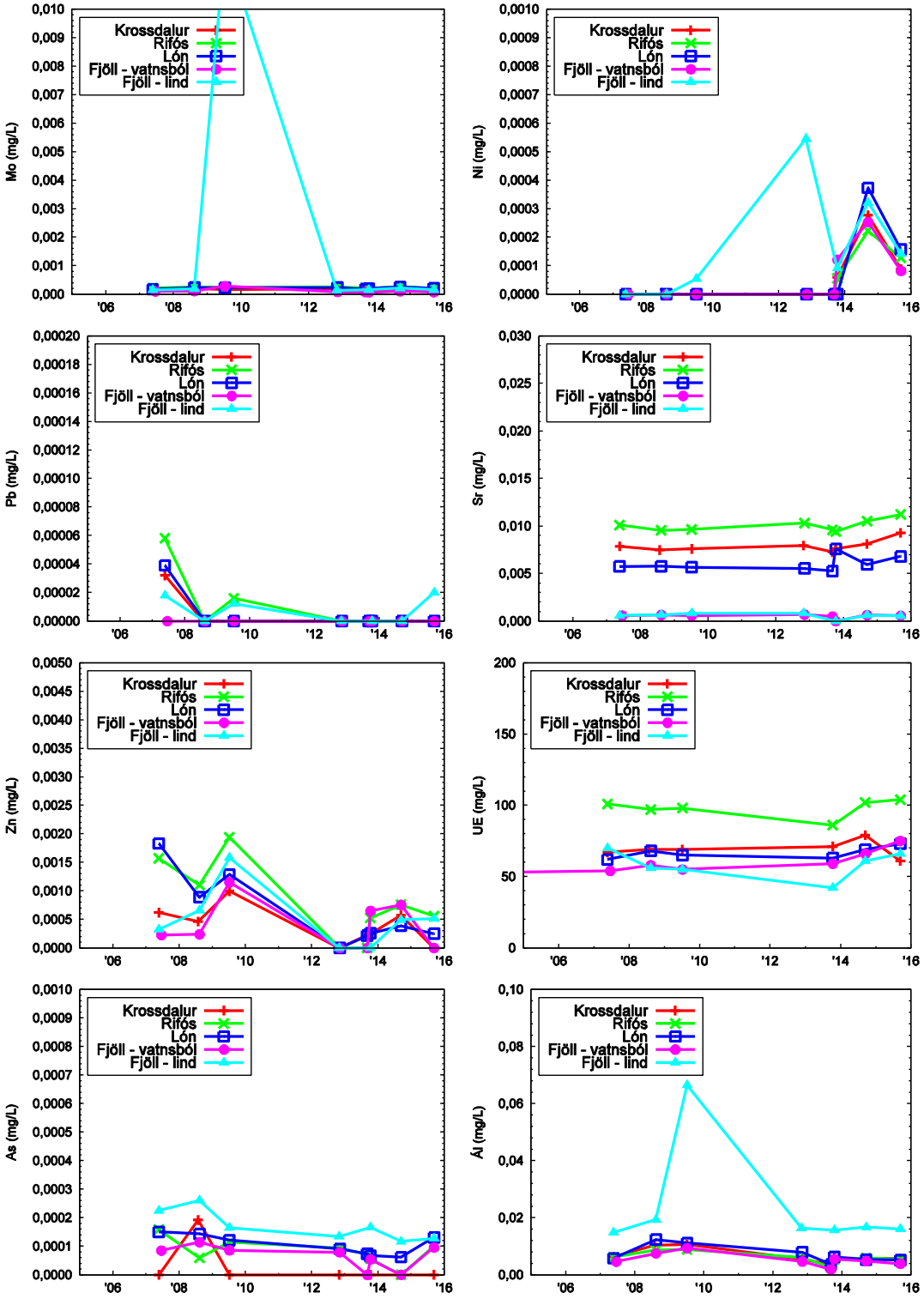
Mynd 5.


Krossdalur
Rifós
Lón
Fjöll - vatnsból
Fjöll - lind
SO4 (mg/L)
pH
Leiðni (µS/cm)
B (mg/L)
CO2 (mg/L)
H2S (mg/L)
δ18O (‰ SMOW)
δD (‰ SMOW)
'06
'08
'10
'12
'14
'16

Mynd 6.

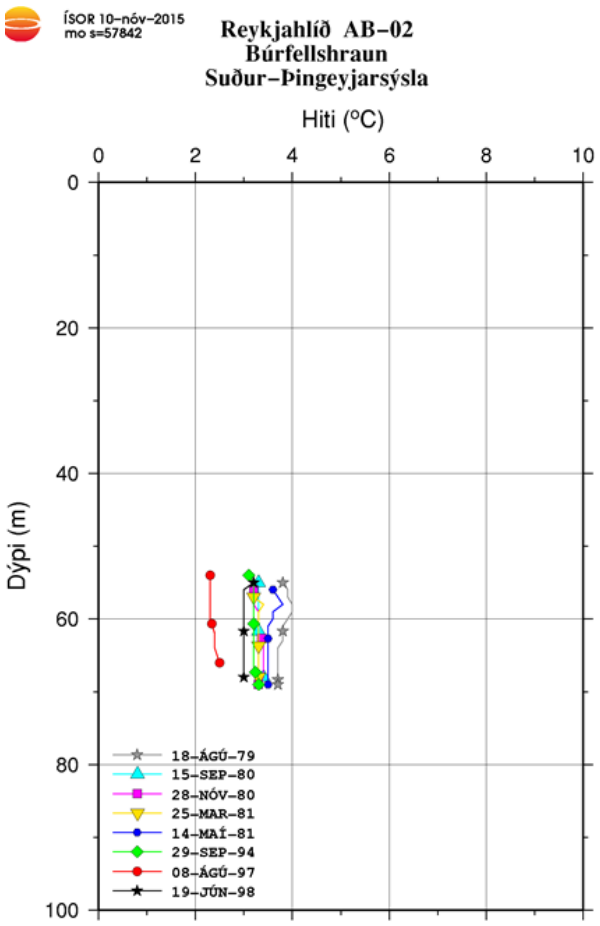

Ba (mg/L)
Cd (mg/L)
Co (mg/L)
Cr (mg/L)
Cu (mg/L)
Fe (mg/L)
Hg (mg/L)
Mn (mg/L)
Krossdalur
Rifós
Lón
Fjöll - vatnsból
Fjöll - lind
'06
'08
'10
'12
'14
'16

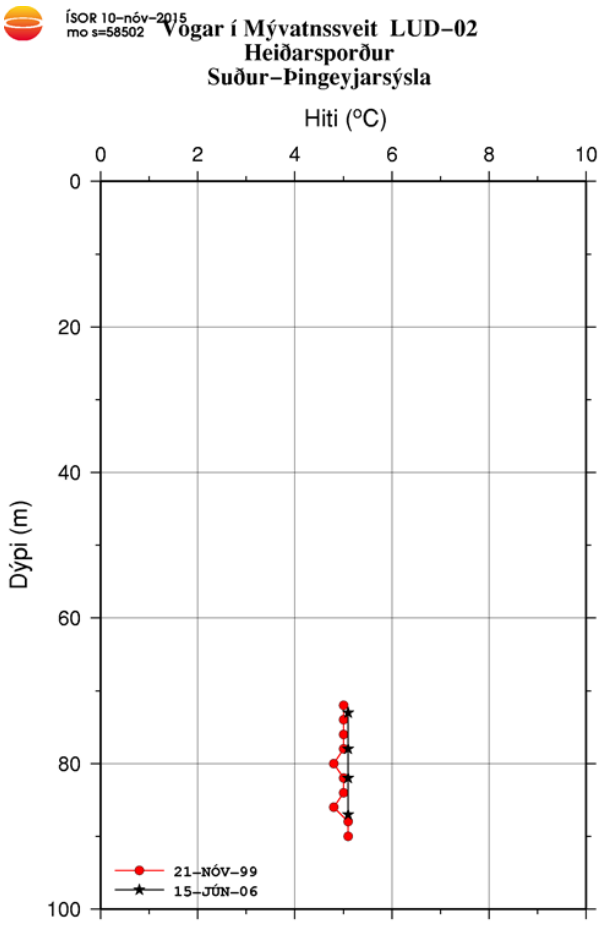
Mynd 7.

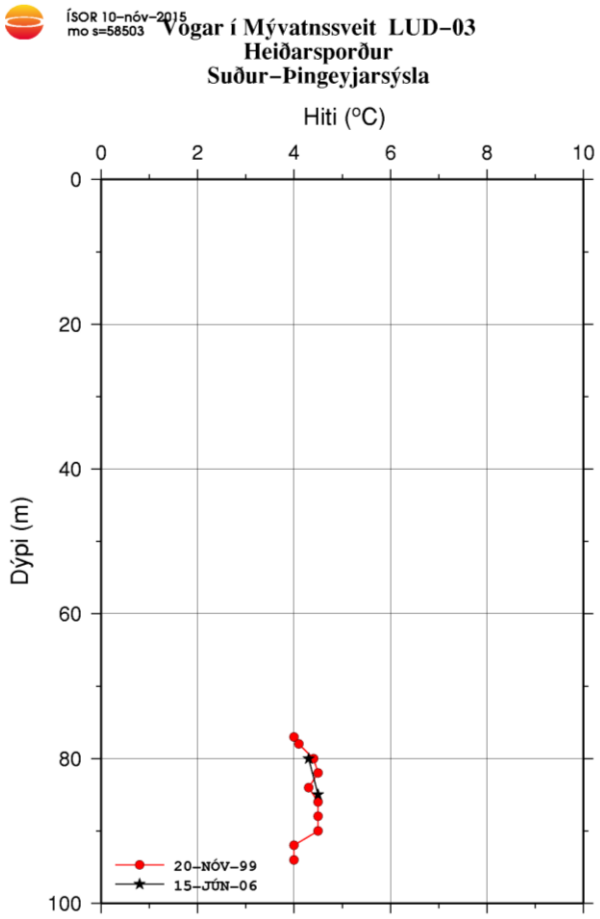

Krossdalur
Rifós
Lón
Fjöll - vatnsból
Fjöll - lind
Mo (mg/L)
Ni (mg/L)
Pb (mg/L)
Sr (mg/L)
Zn (mg/L)
UE (mg/L)
As (mg/L)
Ál (mg/L)
'06
'08
'10
'12
'14
'16

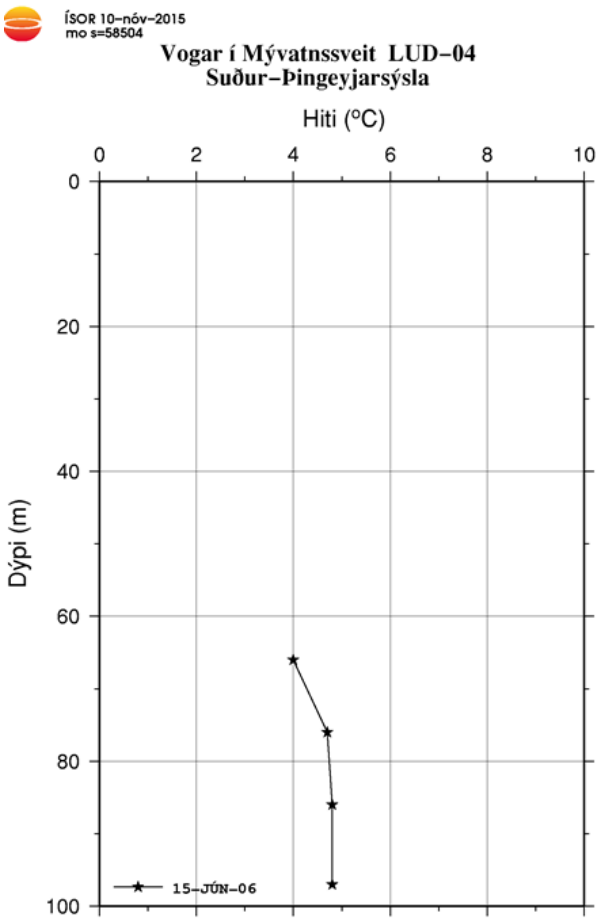
Mynd 8.

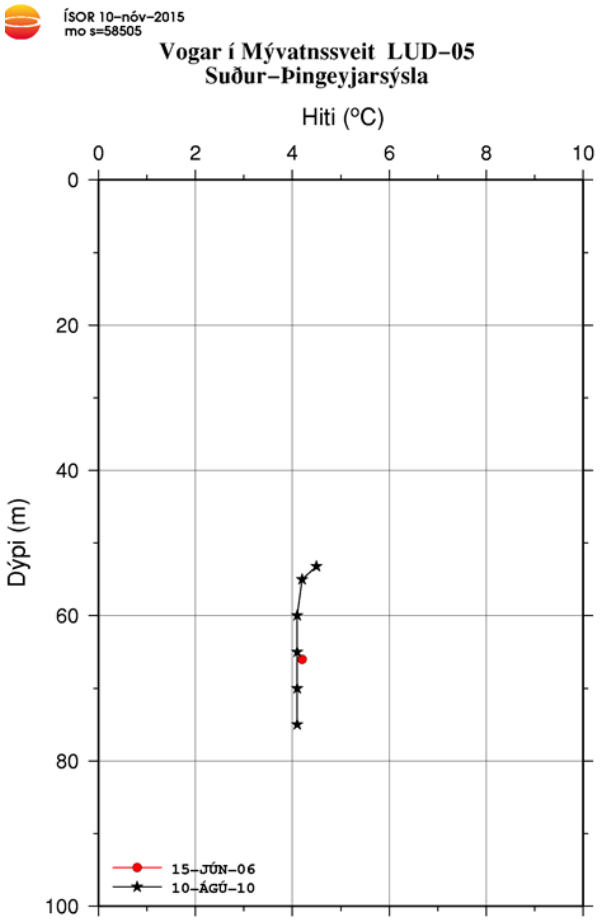
Viðauki 5: Hitamælingar í eftirlitsholum í Mývatnssveit

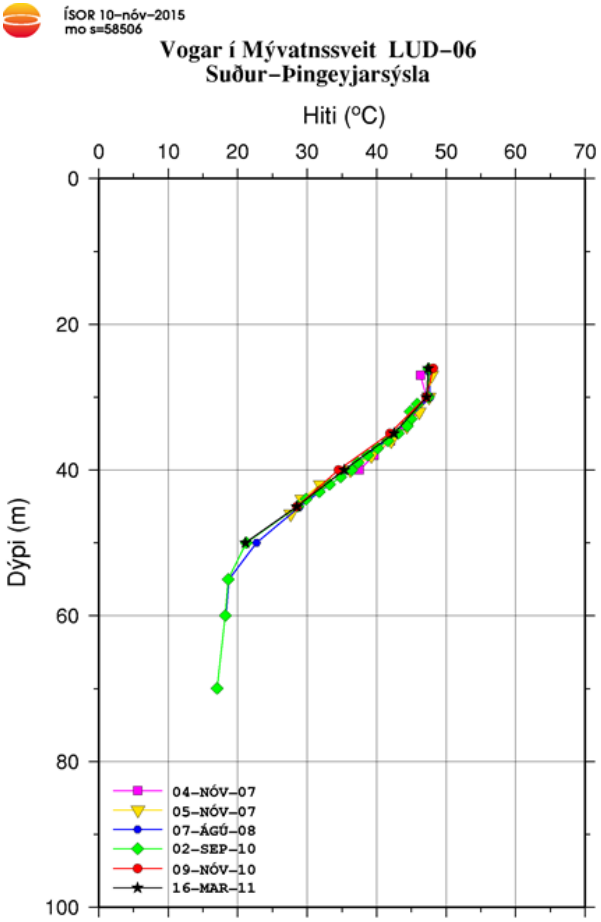


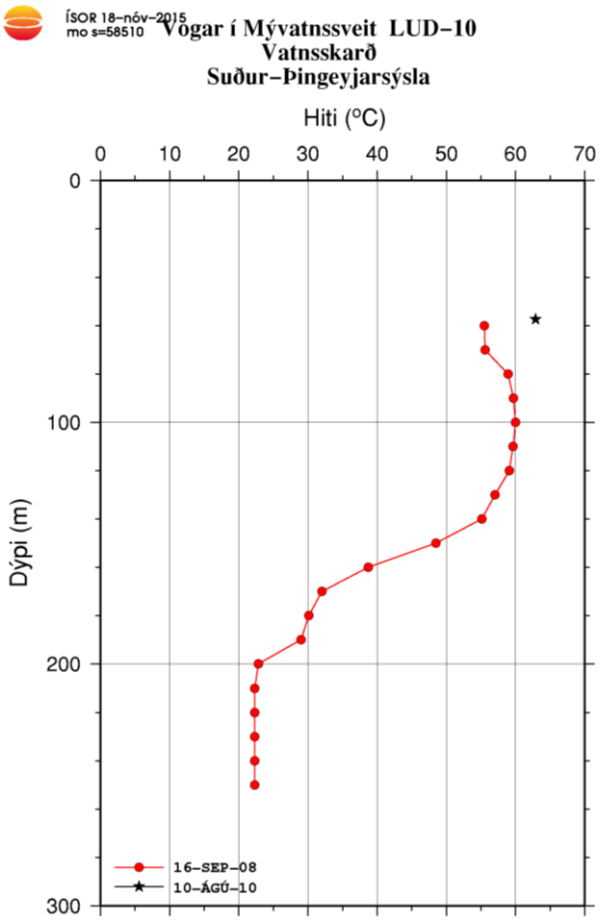


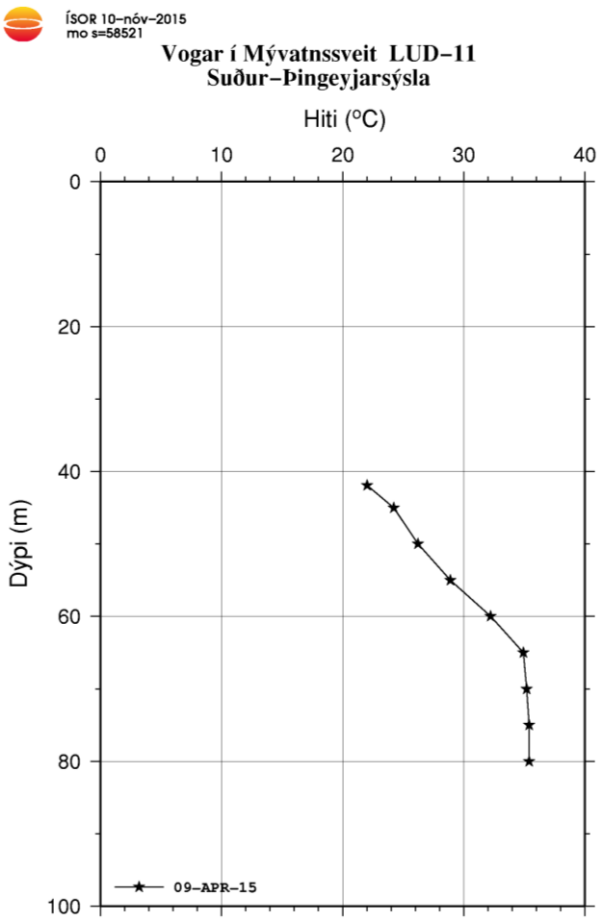

ÍSOR 10-nóv-2015
mo s=58503
Vogar í Mývatnssveit LUD-03
Heiðarsporður
Suður-Þingeyjarsýsla
Hiti (°C)
Dýpi (m)
20-NÓV-99
15-JÚN-06


ÍSOR 10-nóv-2015
mo s=58504
Vogar í Mývatnssveit LUD-04
Suður-Þingeyjarsýsla
Hiti (°C)
Dýpi (m)
15-JÚN-06

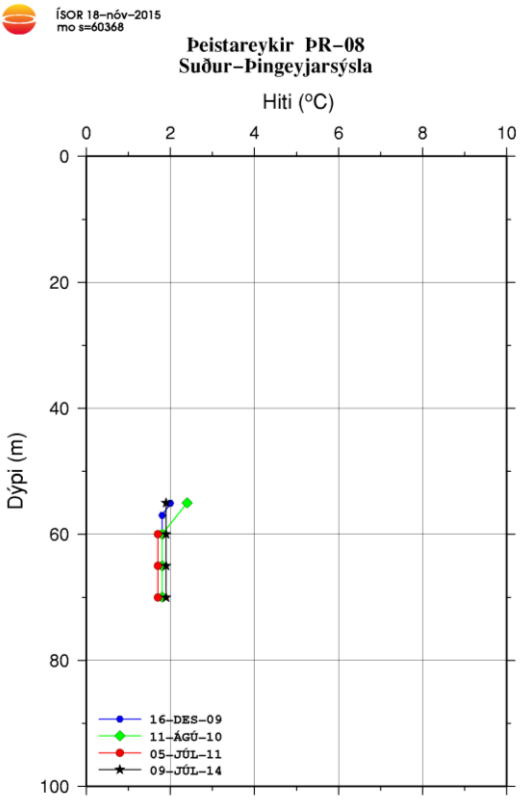

ÍSOR 10-nóv-2015
mo s=58505
Vogar í Mývatnssveit LUD-05
Suður-Þingeyjarsýsla
Hiti (°C)
Dýpi (m)
15-JÚN-06
10-ÁGÚ-10

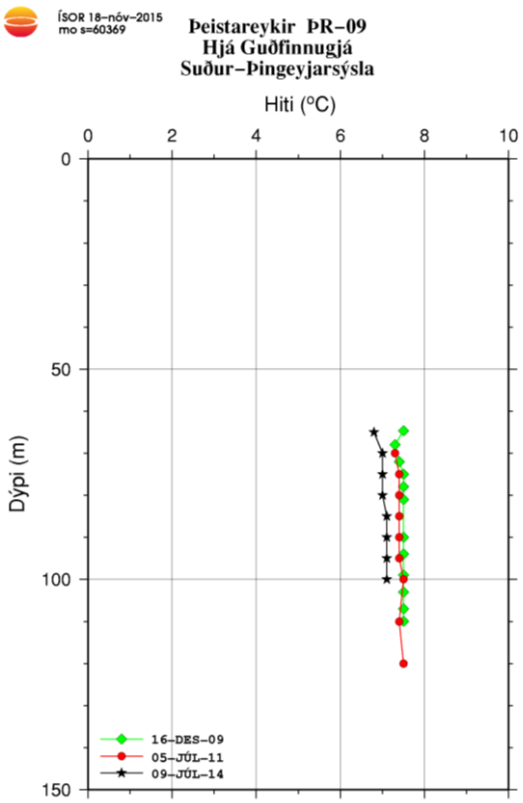

ÍSOR 10-nóv-2015
mo s=58506
Vogar í Mývatnssveit LUD-06
Suður-Þingeyjarsýsla
Hiti (°C)
Dýpi (m)
04-NÓV-07
05-NÓV-07
07-ÁGÚ-08
02-SEP-10
09-NÓV-10
16-MAR-11


ÍSOR 18-nóv-2015
mo s=58510
Vogar í Mývatnssveit LUD-10
Vatnsskarð
Suður-Þingeyjarsýsla
Hiti (°C)
Dýpi (m)
16-SEP-08
10-ÁGÚ-10


ÍSOR 10-nóv-2015
mo s=58521
Vogar í Mývatnssveit LUD-11
Suður-Þingeyjarsýsla
Hiti (°C)
Dýpi (m)
09-APR-15

Viðauki 6: Hitamælingar í eftirlitsholum á Þeistareykjum





Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavik
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00



Prentað efni