LV-2017-123

Landsvirkjun

Háhitasvæðin í Kröflu, Námafjalli og á Þeistareykjum

Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2017

LV-2017-123

Landsvirkjun

Háhitasvæðin í Kröflu, Námafjalli og á Þeistareykjum

Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2017

ÍSOR
ÍSLENSKAR ORKURANNSÓKNIR

ÍSOR-2017/086
Verknr.: 17-0142

Desember 2017

Landsvirkjun

Lykilsíða

Skýrsla LV nr.: LV-2017-123 **Dags:** Desember 2017

Fjöldi síðna: 178 **Upplag:** 5 **Dreifing:**

- [x] **Birt á vef LV**
- [x] **Opin**
- [ ] **Takmörkuð til**

Titill: Háhitasvæðin í Kröflu, Námafjalli og á Þeistareykjum.
Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2017.

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

Verkefnisstjóri: Ásgrímur Guðmundsson f.h. LV Magnús Ólafsson f.h. ÍSOR

Unnið fyrir: Unnið af Íslenskum orkurannsóknum fyrir Landsvirkjun

Samvinnuaðilar:

Útdráttur: Jarðhitavirkni í Kröflu, Námafjalli og á Þeistareykjum 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 2017 var áherslan lögð á Kröflusvæðið og voru gerðar ítarlegar rannsóknir á jarðhitavirkni í Kröflu, útbreiðsla jarðhitans var kortlögð og teknar myndir m.a. með hitamyndavél. Koldíoxíðflæði um jarðveg var mælt og tekin sýni úr sex gufuaugum. Í Námafjalli og á Þeistareykjum var yfirferðin lauslegri en þetta árið voru þar einnig teknar hitamyndir af yfirborðsjarðhitanum og sýni tekin úr gufuaugum á hvoru svæði og niðurstöður þessara athugana bornar saman við niðurstöður fyrri ára. Almennt voru breytingar litlar í jarðhitavirkni á öllum svæðunum þó að ný virkni hafi komið fram í Kröflu og á Þeistareykjum. Fremur litlar breytingar eru á efnasamsetningu gufunnar milli ára en hvert svæði heldur sínum sérkennum. Sýni var safnað úr nýsprottnu gufuauga framarlega í norðurbarmi Hveragils í Kröflu og svipar efnasamsetningu gufunnar til Tvíburavatna og Vítissvæðisins. Grunnvatn í Mývatnssveit er kannað árlega og var svo einnig gert 2017 í þeim tilgangi að meta áhrif frá affallsvatni frá Kröflu- og Bjarnarflagsvirkjunum. Í skýrslunni er einnig gerð grein fyrir athugunum á efnasamsetningu grunnvatns í Þeistareykjasprungusveimnum í Kelduhverfi til að hafa til viðmiðunar í framtíðinni þegar vinnsla verður hafin á Þeistareykjum. Vöktunin 2017 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 Krofluvirkjun hvað varðar styrk arsens og áls.

Lykilorð:

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

ISBN nr.:

Samþykki verkefnisstjóra Landsvirkjunar

Undirskrift verkefnisstjóra	Yfirfarið
Magnús Ólafsson	Benedikt Steingrímsson

Efnisyfirlit

1 Inngangur 13

2 Krafla 15

2.1 Yfirborðsvirkni í Kröflu 15
2.2 Leirbotnar 17
2.2.1 Leirhnjúkur 19
2.2.2 Vítismór 24
2.2.3 Vítissvæðið 24
2.2.4 Hveragil 25
2.2.5 Vesturhlíðar 27
2.2.6 Suðurhlíðar 32
2.2.7 Hrafntinnuhryggur 36
2.2.8 Hvíthólar 36
2.2.9 Sandabotnaskarð og Leirhóll 40
2.2.10 Niðurstöður 40
2.3 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum í Kröflu 41
2.3.1 Sýnatökustaðir í Kröflu 41
2.3.2 Niðurstöður gufuefnagreininga 47
2.3.3 Samantekt 51
2.4 Gasflæði um jarðveg í Kröflu 51
2.4.1 Niðurstöður gasflæðimælinga 2017 52
2.4.2 Samantekt 64

3 Námafjall 65

3.1 Yfirborðsvirkni í Námafjalli 65
3.1.1 Austurgrundir 66
3.1.2 Hverir 69
3.1.3 Námafjall 74
3.1.4 Bjarnaflag 79
3.1.5 Jarðbaðshólar 84
3.1.6 Niðurstöður 85
3.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum í Námafjalli 86
3.2.1 Sýnatökustaðir 86
3.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga 90
3.2.3 Samantekt 95

4 Þeistareykir 96

4.1 Yfirborðsvirkni á Þeistareykjum 96
4.1.1 Misgengi suðvestan Randa og jarðhitinn við Hitur 98
4.1.2 Randir 99
4.1.3 Tjarnarás 102
4.1.4 Bæjarfjall 104

4.1.5 Ketilfjall 110
4.1.6 Niðurstöður 112
4.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum á Þeistareykjum 113
4.2.1 Sýnatökustaðir á Þeistareykjum 113
4.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga 117
4.2.3 Samantekt 121
5 Vöktun grunnvatns í Mývatnssveit, á Þeistareykjum og í Kelduhverfi 122
5.1.1 Næringarefni í Mývatnssveit 132
5.1.2 Samsætur í sýnum árið 2016 úr Mývatnssveit 133
5.2.1 Samsætur í sýnum 2016 frá Þeistareykjum og Kelduhverfi 150
5.3 Vísar og sjálfbærni 157
6 Helstu niðurstöður 161
6.1 Krafla 161
6.2 Námafjall 162
6.3 Þeistareykir 163
6.4 Eftirlit með grunnvatni 164
6.4.1 Mývatnssveit 164
6.4.2 Þeistareykir og Kelduhverfi 164
7 Heimildaskrá 165
Viðauki 1: Eldri gufuefnagreiningar 170
Viðauki 2: Sýnameðhöndlun og efnagreiningaraðferðir 177

Töflur

Tafla 1. *Sýnatökustaðir í Kröflu sumarið 2017* 41
Tafla 2. *Efnasamsetning gufusýna úr Kröflu sumarið 2017* 47
Tafla 3. *Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áranna 2012 til 2017 af Kröflusvæðinu* 49
Tafla 4. *Sýnatökustaðir í Námafjalli sumarið 2017* 87
Tafla 5. *Efnasamsetning gufusýna frá Námafjallssvæðinu sumarið 2017.* 91
Tafla 6. *Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áranna 2012 til 2017 frá Námafjallssvæðinu* 92
Tafla 7. *Sýnatökustaðir á Þeistareykjum sumarið 201.* 113
Tafla 8. *Efnasamsetning gufusýna frá Þeistareykjum sumarið 2017* 117
Tafla 9. *Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áranna 2012 til 2017 frá Þeistareykjum* 119
Tafla 10. *Sýnatökustaðir í Mývatnssveit 2017.* 123
Tafla 11. *Yfirlit um dælt magn við sýnatöku 2017 úr vöktunarholum í Mývatnssveit.* 123
Tafla 12. *Umhverfismörk fyrir málma í yfirborðsvatni til verndar lífríkis* 124
Tafla 13. *Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum haustið 2017* 128
Tafla 14. *Niðurstöður efnagreininga á næringarefnum í sýnum úr Mývatnssveit.* 132
Tafla 15. *Niðurstöður mælinga á samsætum súrefnis og vetnis í sýnum úr Mývatnssveit 2016.* 133
Tafla 16. *Sýnatökustaðir á Þeistareykjum og í Kelduhverfi 2017.* 145
Tafla 17. *Yfirlit um dælt vatnsmagn við sýnatöku 2017 úr vöktunarholum á Þeistareykjum.* 145

Tafla 18. *Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum á Þeistareykjum 2017* 148
Tafla 19. *Niðurstöður mælinga á samsætum súrefnis og vetnis í sýnum frá Þeistareykjum og Kelduhverfi frá árinu 2016.* 150

Myndir

Mynd 1. *Yfirlitskort af þeim svæðum sem fjallað er um í skýrslunni.* 14
Mynd 2. *Jarðhitakort af Kröflu* 16
Mynd 3. *Gilskorningurinn milli holna K-11 og K-27* 17
Mynd 4. *Myndir teknar ofan af Rauðhól (myndatökustaður 6, mynd 2)* 18
Mynd 5. *Austurhlíð Leirhnjúks. Gufuvirkni var nokkur 2017 en dreifð.* 19
Mynd 6. *Hverasvæðið við Leirhnjúk. Gufuvirkni sumarið 2017 var svipuð og undanfarin ár.* 20
Mynd 7. *Jarðhitinn í brotinu sem liggur meðfram austurhlíðinni með NNA-lægri stefnu* 20
Mynd 8. *Frá toppi Leirhnjúks* 21
Mynd 9. *Gígar og hraun í norðanverðum Leirhnjúki* 21
Mynd 10. *Hitamyndir af jarðhitanum í Leirhnjúki frá borteig IDDP-1* 22
Mynd 11. *Stækkað kort af jarðhitanum við Leirhnjúk.* 23
Mynd 12. *Svæðið norðan við Víti (G-1).* 24
Mynd 13. *Við Tvíburavötn.* 25
Mynd 14. *Litla-Víti og gufuopið* 26
Mynd 15. *Heita leirflagið gegnt Litla-Víti* 26
Mynd 16. *Virknin við Jónshver* 27
Mynd 17. *Þörungadýið. Nokkurt gasuppstreymi var og hiti um 17,5°C.* 28
Mynd 18. *Litlihver (G-33) sunnan við slóðann upp á Kröflufjall* 28
Mynd 19. *G-28* 29
Mynd 20. *Hækjan er lengst til vinstri og Stórihver til hægri á myndinni* 29
Mynd 21. *Hitamyndir af Vesturhlíðum Kröflu* 31
Mynd 22. *Jarðhitaskellan neðan við borplan holu K-16* 32
Mynd 23. *Ljósa flagið ofan við holur K-20 og K-31 er gamli sýnatökustaður G-9.* 33
Mynd 24. *Ofan við veginn að holum K-19 og K-30. Heit skella, 95°C* 34
Mynd 25. *Nokkuð stór skella neðarlega í sama gili og sýnt er á mynd 24* 34
Mynd 26. *Hitamyndir af Suðurhlíðum frá myndatökustað 7 á mynd 2* 35
Mynd 27. *Skella við Hvíthóla, 10x3 m á stærð* 37
Mynd 28. *Ummyndunarskellan G-26.* 37
Mynd 29. *Gufuhverinn* 38
Mynd 30. *Hitamyndir frá Hvíthólum (myndatökustaður 13, mynd 2)* 39
Mynd 31. *Gufuaugu í Kröflu* 42
Mynd 32. *Undirbúningur sýnatöku úr gufuauganu K G-104 í austurhlíð Leirhnjúks.* 44
Mynd 33. *Gufusýnataka úr gufuauganu K G-105 við Tvíburavötn.* 44
Mynd 34. *Undirbúningur gufusýnatöku úr gufuauganu K G-106 í gili vestan við K-14.* 45
Mynd 35. *Undirbúningur sýnatöku úr gufuauganu K G-107 í gígskál norðan Vítis.* 45
Mynd 36. *Undirbúningur sýnatöku úr gufuauganu K G-108 í Vesturhlíðum.* 46

Mynd 37. *Gufuaugað K G-110 í Hveragili.* 46
Mynd 38. *Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum í Kröflu.* 48
Mynd 39. *Samsætuvik sýna áranna 2012–2017 úr gufuaugum á Kröflusvæðinu ásamt úrkomulínu Craigs (1961)* 50
Mynd 40. *Staðsetning mælinga á jarðvegshita og koldíoxíðgasflæði um jarðveg í og við Kröflu* 53
Mynd 41. *Gasflæðimælirinn sem notaður var til mælinga á Kröflusvæðinu.* 53
Mynd 42. *Niðurstöður gasflæðimælinga um jarðveg á Kröflu- og Leirhnjúkssv. sumarið 2017.* 54
Mynd 43. *Niðurstöður jarðvegshitastigsmælinga á 15 cm dýpi sem gerðar voru samhliða mælingum á koldíoxíðflæði sumarið 2017.* 55
Mynd 44. *Gasflæði um jarðveg og jarðvegshiti í Kröflu 2017.* 56
Mynd 45. *Línurit sem sýna samanburð á koldíoxíðflæði um jarðveg á öllum átta mælilínunum sem mældar voru sumarið 2017* 57
Mynd 46. *Línurit sem sýna samanburð á hita á 15 cm dýpi í jarðvegi á öllum 11 mælilínunum sem mældar voru sumarið 2017* 60
Mynd 47. *Niðurstöður gasflæðimæl. sem gerðar voru á mælineti á árunum 2004, 2005 og 2008* 63
Mynd 48. *Jarðhitakort af Námafjalli með athugunum frá 2016* 65
Mynd 49. *Yfirlitsmynd af Austurgrundum tekin ofan af Námafjalli* 66
Mynd 50. *Virk brennisteinsþúfa nyrst á Austurgrundum með 97°C hita* 67
Mynd 51. *Gufustreymi syðst á Austurgrundum kemur upp um op og sprungur í hrauninu* 67
Mynd 52. *Hitamynd af Austurgrundum frá Mið-Kollu, myndatökustað 8* 68
Mynd 53. *Yfirlitsmynd af Hverarönd* 69
Mynd 54. *Við hraunkantinn sunnarlega í Hverum* 70
Mynd 55. *Leirhverir nærri útsýnispallinum og gilskorningarnir sem skerast upp í Námafjall* 71
Mynd 56. *Svæðið neðan við holur 4 og 5 neðst í hlíðinni við Námafjall.* 71
Mynd 57. *Hitamyndir af Hverum séð ofan af Mið-Kollu. Myndatökustaður 8* 72
Mynd 58. *Hitamyndir af Hverum og austurhlíðum Námafjalls. Myndatökustaður 9* 73
Mynd 59. *Jarðhitinn á toppi Námafjalls við Mið-Kollu* 74
Mynd 60. *Leirhverirnir á toppi Námafjalls* 75
Mynd 61. *Toppur Námafjalls* 76
Mynd 62. *Frá Syðstu-Kollu til suðurs.* 76
Mynd 63. *Skarðið sem gengur upp Námafjall frá vesturhluta þess* 77
Mynd 64. *Syðsti virki jarðhitinn á vesturhluta fjallsins* 77
Mynd 65. *Hitamyndir af vesturhlíðum Námafjalls teknar frá myndatökustað 11* 78
Mynd 66. *Séð upp gilið við holu B-9. Virknin nær u.m.b. 800 m upp gilið.* 79
Mynd 67. *Séð niður gilið við holu B-9* 80
Mynd 68. *GB-4* 81
Mynd 69. *Virknin við holu B-4.* 81
Mynd 70. *GB-5. Virkni við Gamla bakaríið er svipuð og síðustu tvö ár.* 82
Mynd 71. *Svæðið ofan (norðan við) Gamla bakaríið* 82
Mynd 72. *Hitamyndir í Bjarnarflagi. Myndatökustaður (12) við gömlu Kísiliðjuna* 83
Mynd 73. *Gufuvirkni í vestanverðum Jarðbaðshólum.* 84
Mynd 74. *Gufustreymi um sprungu (gjótu) rétt vestan við veginn að Grjótagjá.* 85
Mynd 75. *Gufuaugu í Námafjalli og Bjarnarflagi* 87

Mynd 76. *Sýnataka úr gufuauga N G-105 í austurhlíðum gils til norðurs frá holu B-9.* 88
Mynd 77. *Sýnataka úr gufuauga N G-106 í flagi vestan holu H-9 á Hverum.* 89
Mynd 78. *Sýnataka úr gufuauga N G-109 á Námafjalli, vestan undir Syðstu-Kollu.* 89
Mynd 79. *Sýnataka úr gufuauga N G-110 á Námafjalli, í leirflagi ofan syðra gilsins.* 90
Mynd 80. *Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum á Námafjallssvæðinu.* ..93
Mynd 81. *Samsætuvik sýna úr gufuaugum á Námafjallssvæðinu ásamt úrkomulínu Craigs* 94
Mynd 82. *Jarðhitakort af Þeistareykjum, ummyndun frá 2007 með kortlagningu 2015* 97
Mynd 83. *Gufustreymi við Hitur. Bæjarfjall í baksýn* 98
Mynd 84. *Við sýnatökustað Þ G-105* 99
Mynd 85. *Hitamyndir teknar ofan af Bæjarfjalli vestanverðu (myndatökustaður 1)* 100
Mynd 86. *Framhald hitamynda (á mynd 85).* 101
Mynd 87. *Virknin á Tjarnarási teygir sig að Bæjarfjalli í suðri en þar er meginvirknin.* 102
Mynd 88. *Skellan sunnan við sýnatökustað Þ G-103* 103
Mynd 89. *Hitamyndir. Myndatökustaður 2 á mynd 82.* 103
Mynd 90. *Norðvesturhlíð Bæjarfjalls* 104
Mynd 91. *Jarðhitavirknin neðan við Sæluhús* 105
Mynd 92. *Jarðhitinn á sléttunni neðan við Bæjarfjall norðanvert* 106
Mynd 93. *Framhald til austurs af mynd 92. Neðri-Bóndhóll er hægra megin á myndinni.* 106
Mynd 94. *Jarðhitinn við norðanvert Bæjarfjall* 108
Mynd 95. *Hitamyndir af norðurhlíð Bæjarfjalls* 109
Mynd 96. *Jarðhitaskálin í miðjum hlíðum Ketilfjalls* 110
Mynd 97. *Jarðhitinn norðan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7* 111
Mynd 98. *Ný niðurföll norðan við borplanið, bullandi leirhverir, heit jörð og gufa.* 111
Mynd 99. *Svæðið sunnan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7* 112
Mynd 100. *Gufuaugu á Þeistareykjum* 114
Mynd 101. *Gufuaugað Þ G-101 sunnan við sæluhúsið á Þeistareykjagrundum.* 115
Mynd 102. *Undirbúningur sýnatöku úr gufuauganu Þ G-102 í skál í hlíðum Ketilfjalls.* 115
Mynd 103. *Undirbúningur sýnatöku úr gufuauganu Þ G-104 í flagi neðan Neðri-Bóndhóls.* 116
Mynd 104. *Sýnataka úr gufuauganu Þ G-107 í flagi sunnan undir Tjarnarási.* 116
Mynd 105. *Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum á Þeistareykjum.* 118
Mynd 106. *Samsætuvik sýna áranna 2012–2017 úr gufuaugum á Þeistareykjum ásamt úrkomulínu Craigs (1961)* 120
Mynd 107. *Sýnatökustaðir í Mývatnssveit. Borholur eru sýndar grænar með krossi.* 127
Mynd 108. *Styrkur arsens í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt umhverfismörkum I (0,0004 mg/L), II (0,005 mg/L), III (0,015 mg/L) og IV (0,075 mg/L) og mörkum fyrir neysluvatn (0,01 mg/L).* 134
Mynd 109. *Styrkur arsens í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk og LUD-4 ásamt umhverfismörkum I (0,0004 mg/L), II (0,005 mg/L), III (0,015 mg/L) og IV (0,075 mg/L) og mörkum fyrir neysluvatn (0,01 mg/L)* 134
Mynd 110. *Styrkur arsens í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I (0,0004 mg/L) og II (0,005 mg/L)* 135
Mynd 111. *Styrkur arsens í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I (0,0004 mg/L)* 135
Mynd 112. *Styrkur arsens í lindum við Mývatn ásamt umhverfismörkum I (0,0004 mg/L).* 136

Mynd 113. *Styrkur áls í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt viðmiðunarmörkum fyrir neysluvatn (0,2 mg/L).* 136
Mynd 114. *Styrkur áls í vatni úr borholum ásamt viðmiðunarmörkum fyrir neysluvatn* 137
Mynd 115. *Styrkur áls í vatni úr borholum ásamt viðmiðunarmörkum fyrir neysluvatn* 137
Mynd 116. *Styrkur áls í vatni í lindum við Mývatn.* 138
Mynd 117. *Styrkur kopars í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt umhverfismörkum I (0,0005 mg/L), II (0,003 mg/L) og III (0,009 mg/L).* 139
Mynd 118. *Styrkur sinks í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt umhverfismörkum I (0,005 mg/L) og II (0,02 mg/L).* 139
Mynd 119. *Styrkur kadmíums í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt umhverfismörkum I (0,00001 mg/L), II (0,0001 mg/L) og III (0,0003 mg/L).* 139
Mynd 120. *Styrkur blýs í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt umhverfismörkum I (0,0002 mg/L), II (0,001 mg/L) og III (0,003 mg/L).* 140
Mynd 121. *Styrkur króms í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt umhverfismörkum I (0,0003 mg/L) og II (0,005 mg/L).* 140
Mynd 122. *Styrkur nikkels í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt umhverfismörkum I (0,0007 mg/L).* 140
Mynd 123. *Styrkur kopars í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I (0,0005 mg/L), II (0,003 mg/L) og III (0,009 mg/L).* 141
Mynd 124. *Styrkur sinks í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I (0,005 mg/L) og II (0,02 mg/L) efst á myndinni.* 141
Mynd 125. *Styrkur kadmíums í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I (0,00001 mg/L), II (0,0001 mg/L) og III (0,0003 mg/L).* 141
Mynd 126. *Styrkur blýs í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I (0,0002 mg/L) og II (0,001 mg/L).* 142
Mynd 127. *Styrkur króms í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I (0,0003 mg/L) og II (0,005 mg/L) efst á myndinni.* 142
Mynd 128. *Styrkur nikkels í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I (0,0007 mg/L)* 142
Mynd 129. *Styrkur kopars í vatni úr lindum ásamt umhverfismörkum I (0,0005 mg/L), II (0,003 mg/L) og III (0,009 mg/L).* 143
Mynd 130. *Styrkur sinks í vatni úr lindum ásamt umhverfismörkum I (0,005 mg/L) og II (0,02 mg/L) efst á myndinni.* 143
Mynd 131. *Styrkur kadmíums í vatni úr lindum ásamt umhverfismörkum I (0,00001 mg/L), II (0,0001 mg/L) og III (0,0003 mg/L).* 143
Mynd 132. *Styrkur blýs í vatni úr lindum ásamt umhverfismörkum I (0,0002 mg/L) og II (0,001 mg/L).* 144
Mynd 133. *Styrkur króms í vatni úr lindum ásamt umhverfismörkum I (0,0003 mg/L) og II (0,005 mg/L) efst á myndinni.* 144
Mynd 134. *Styrkur nikkels í vatni úr lindum ásamt umhverfismörkum I (0,0007 mg/L).* 144
Mynd 135. *Sýnatökustaðir í Kelduhverfi og á Þeistareykjum 2017.* 147
Mynd 136. *Styrkur arsens í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I* 151
Mynd 137. *Styrkur áls í vatni úr lindum í Kelduhverfi* 151
Mynd 138. *Styrkur kopars í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I (0,0005 mg/L) og II (0,003 mg/L).* 152

Mynd 139. *Styrkur sinks í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I (0,005 mg/L) og II (0,02 mg/L) efst á myndinni.* 152
Mynd 140. *Styrkur kadmíums í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I (0,00001 mg/L) og II (0,0001 mg/L).* 152
Mynd 141. *Styrkur blýs í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I (0,0002 mg/L) og II (0,001 mg/L).* 153
Mynd 142. *Styrkur króms í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I (0,0003 mg/L) og II (0,005 mg/L) efst á myndinni.* 153
Mynd 143. *Styrkur nikkels í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I (0,0007 mg/L).* 153
Mynd 144. *Styrkur arsens í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I (0,0004 mg/L).* 154
Mynd 145. *Styrkur áls í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum* 154
Mynd 146. *Styrkur kopars í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I (0,0005 mg/L), II (0,003 mg/L) og III (0,009 mg/L).* 155
Mynd 147. *Styrkur sinks í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I (0,005 mg/L) og II (0,02 mg/L) efst á myndinni.* 155
Mynd 148. *Styrkur kadmíums í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I (0,00001 mg/L) og II (0,0001 mg/L).* 155
Mynd 149. *Styrkur blýs í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I (0,0002 mg/L) og II (0,001 mg/L).* 156
Mynd 150. *Styrkur króms í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I (0,0003 mg/L) og II (0,005 mg/L) efst á myndinni* 156
Mynd 151. *Styrkur nikkels í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I (0,0007 mg/L).* 156
Mynd 152. *Mælt hitastig við sýnatöku á völdum stöðum í Mývatnssveit.* 158
Mynd 153. *Mæld rafleiðni í sýnum á völdum stöðum í Mývatnssveit.* 158
Mynd 154. *Styrkur kísils (SiO_2) á völdum stöðum í Mývatnssveit.* 159
Mynd 155. *Mælt hitastig við sýnatöku á völdum stöðum í Kelduhverfi og á Þeistareykjum.* 159
Mynd 156. *Mæld rafleiðni í sýnum á völdum stöðum í Kelduhverfi og á Þeistareykjum.* 160
Mynd 157. *Styrkur kísils (SiO_2) á völdum stöðum í Kelduhverfi og á Þeistareykjum.* 160

1 Inngangur

Í þessari skýrslu er greint frá athugunum á yfirborðsvirkni jarðhitans á þremur jarðhitasvæðum á Norðausturlandi, þ.e. Kröflu, Námafjalli og Þeistareykjum, sem og vöktun grunnvatns í Mývatnssveit og Kelduhverfi á árinu 2017 (mynd 1). 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.

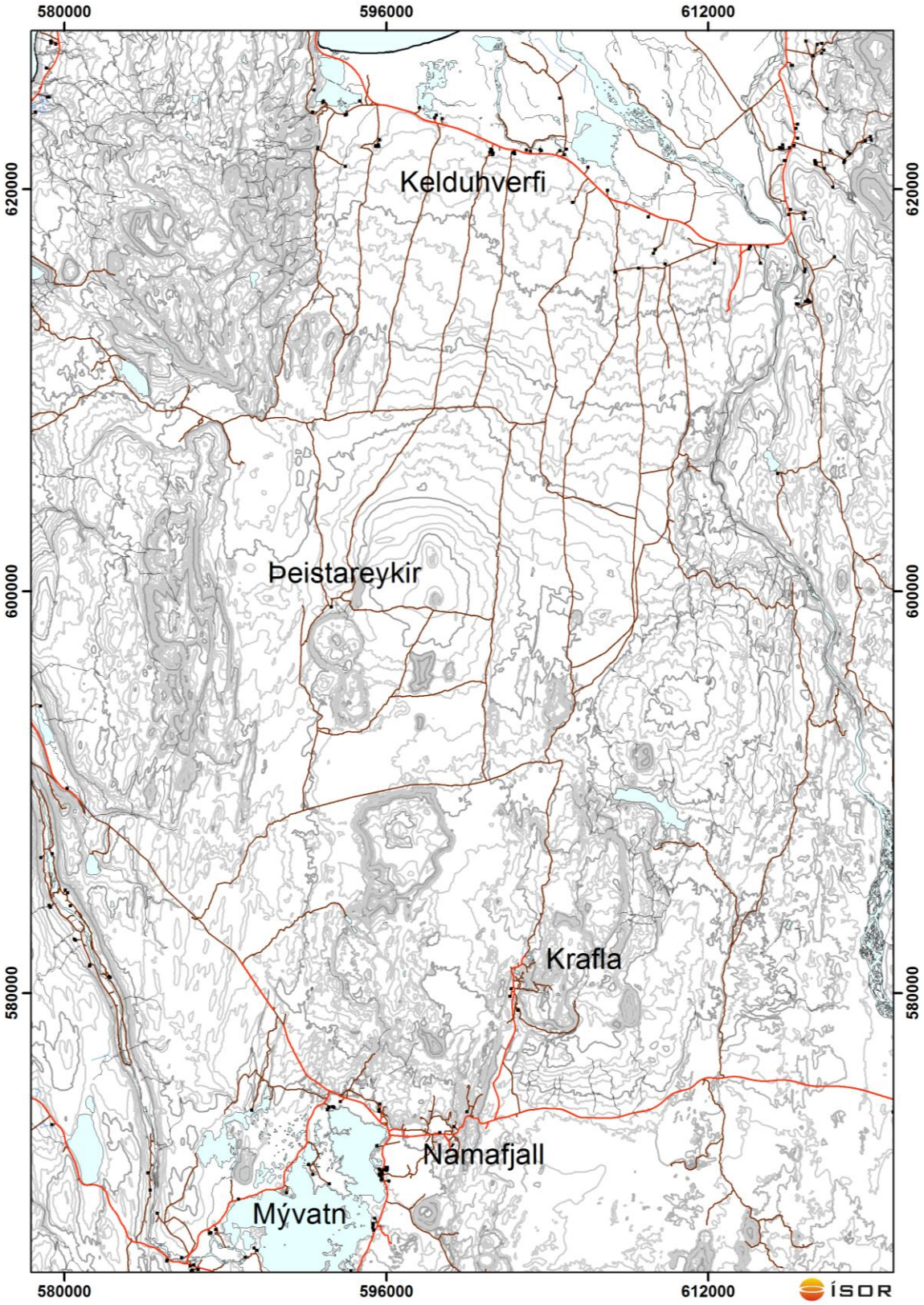
Athuganirnar hafa verið í föstum skorðum undanfarin ár. Hvert ár eru lögð áhersla á eitt af svæðunum þremur en minna gert á hinum tveimur. Þannig var áherslan á Kröflu árið 2014, Þeistareyki árið 2015 og á Námafjall 2016. Sumarið 2017 voru gerðar ítarlegar athuganir á jarðhitavirkni í Kröflu en yfirferðin um Námafjall og Þeistareyki var lauslegri. Jarðhitastaðir í Kröflu voru skoðaðir og þeim lýst, gerðar hitamælingar og teknar myndir með hitanæmri myndavél sem nemur innrauða geislun. Hitamyndir voru einnig teknar af jarðhitavirkni í Námafjalli og á Þeistareykjum og athuganir gerðar á helstu jarðhitastöðum. Í öllum tilfellum var leitast við bera virknina saman við eldri lýsingar (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2014, 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 í Kröflu sumarið 2017 en slíkar mælingar hafa áður verið gerðar í Kröflu (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2014; Þráinn Friðriksson, 2009) sem og við Námafjall (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013b, 2016) og á Þeistareykjum (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a; 2015). 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 Krafla

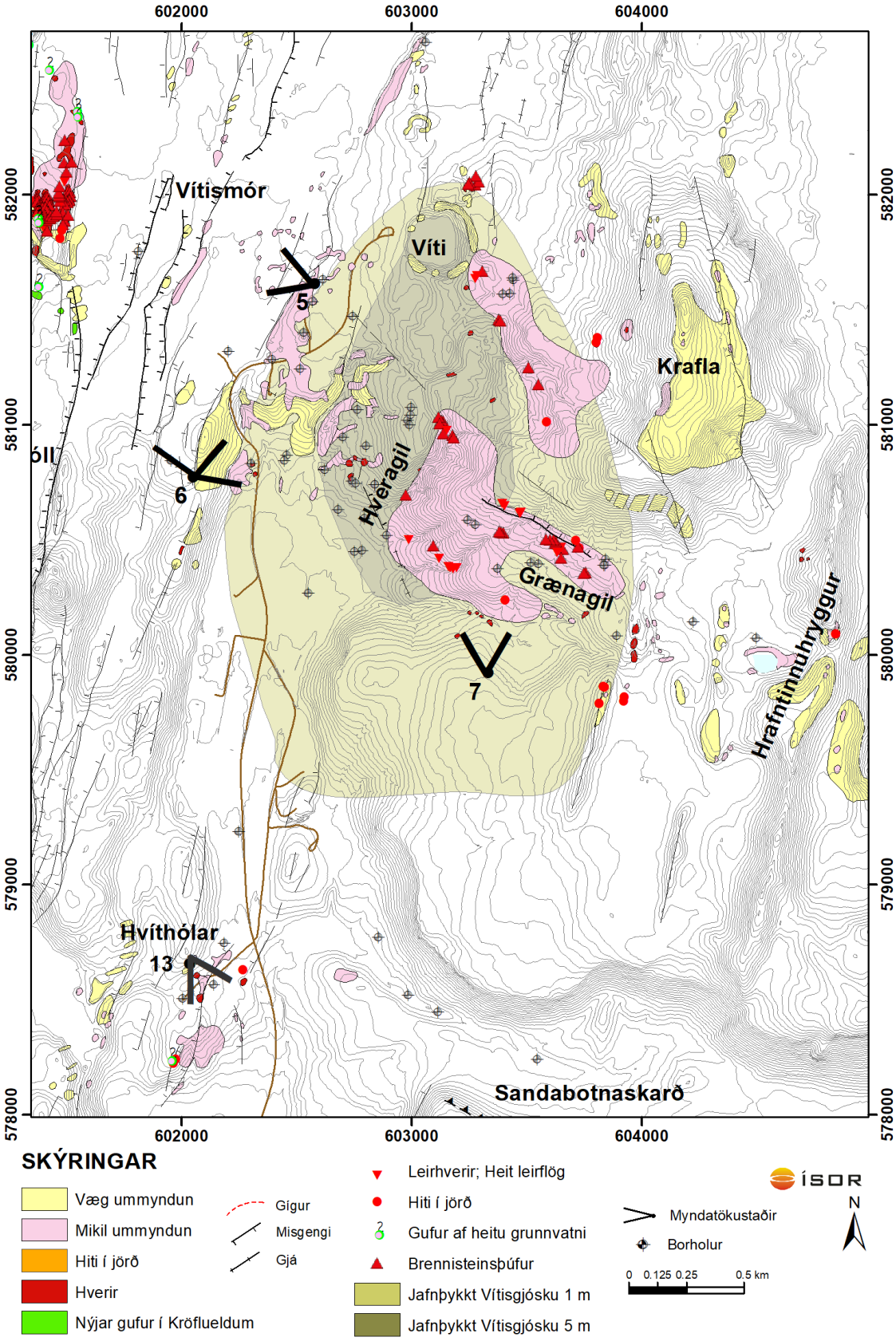
2.1 Yfirborðsvirkni í Kröflu

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, 2015, 2016). Að auki var farið til yfirlits á svæði í jaðri Krófluöskjunnar, þ.e. Hvíthóla, Hrafntinnuhrygg og Sandabotnahrygg. Enga virkni var þá að sjá á Sandabotnahrygg en virkni var við Hrafntinnuhrygg og í Hvíthólum.

Dagana 9.–14. ágúst 2017 var farið á öll svæðin í Kröflu og yfirborðsvirkni athuguð, ljósmynduð og hitamyndir teknar. Staðsetning og stefna hitamyndatökustaða er sýnd á jarðhitakorti (sjá mynd 2). Kortið byggist á jarðhitakorti Kristjáns Sæmundssonar (2008) að viðbættum gjóskugeira Vítis frá 1724 og nákvæmari afmörkun á ummyndun umhverfis Hveragil.

Bent skal á að hitamyndirnar á Kröflusvæðinu eru kvarðaðar á hitabilinu -5–25°C en ekki 0–30°C eins og hefur verið og er gert á hinum svæðunum. Hitamismunurinn er þó hinn sami og ætti því að sýna svipaða dreifingu jarðhitans. Ástæðan fyrir þessu er að við myndatökuna í ár kvörðuðust myndir í Kröflu á þennan hátt að ekki var hægt að draga skalann í 30°C svo til að hægt væri að bera myndirnar saman á milli ára varð því að halda sama hitamismun á kvarðanum sem hefur verið 30°C. Hitakvarðinn er afstæður, þ.e. ekki er um réttan hita að ræða enda er einungis verið að kanna hvort jarðhitinn sé að breytast á milli ára með því að nota sama hitamun í myndarammanum. Eini staðurinn í Kröflu þar sem þetta breyttist ekki var í Hvíthólum.

Í köflunum sem hér koma á eftir er farið yfir hvert svæði í Kröflu um sig og fjallað um niðurstöður athugana á yfirborðsvirkni 2017 og hvort einhverjar breytingar hafi orðið síðustu árin.



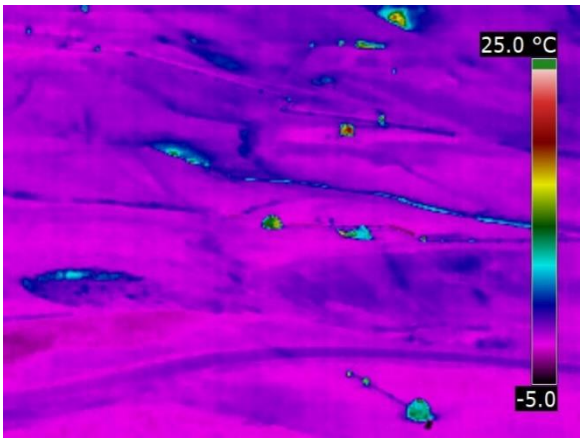
Mynd 2. *Jarðhitakort af Kröflu. Athuganir 2017 sýndu óverulegar breytingar frá undanförnum árum.*

2.2 Leirbotnar

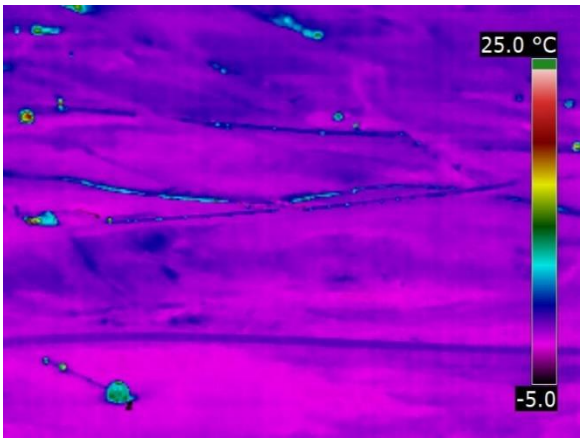
Í ár var litið yfir svæðið en ekkert gufustreymi var sjáanlegt frekar en undanfarin ár. Í skýrslu Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2011) er þess getið að árið 2010 hafi engin gufa verið sjáanleg í Leirbotnum. Beinar mælingar voru gerðar á nokkrum stöðum en annars var notast við hitamyndavél að kvöldlagi og myndað frá Rauðhól (myndatökustað 6 á mynd 2, sjá mynd 4).

Mynd 3. *Gilskorningurinn milli holna K-11 og K-27. Nokkrar heitar lindir og uppsprettur eru sýnilegar.*

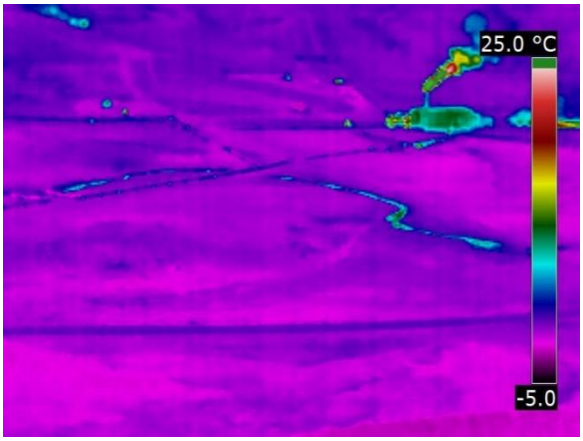
Velgjur og uppsprettur eru í gilskorningi sem gengur upp á milli borholna K-11 og K-27. Hiti er 50–61°C, sem er minna en var 2104 (65°C), og rennsli frá heitustu uppsprettum er um 1 L/s (mynd 3) en samtals nærri 5 L/s. Grænt og svart slý er meðfram uppsprettunum. Í brekkunni austan við borholu K-5 var 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 4) 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.



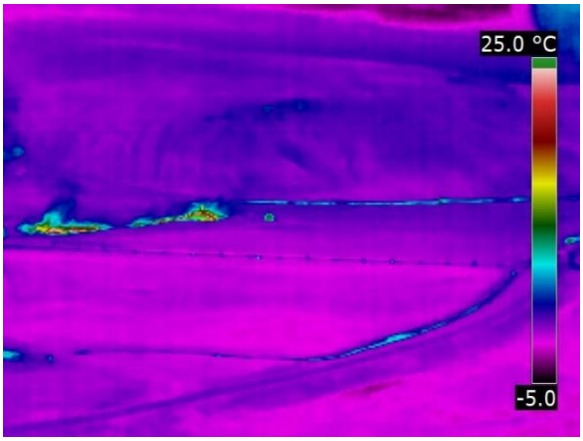
1. *Leirbotnar. Hola K-26 við veginn*



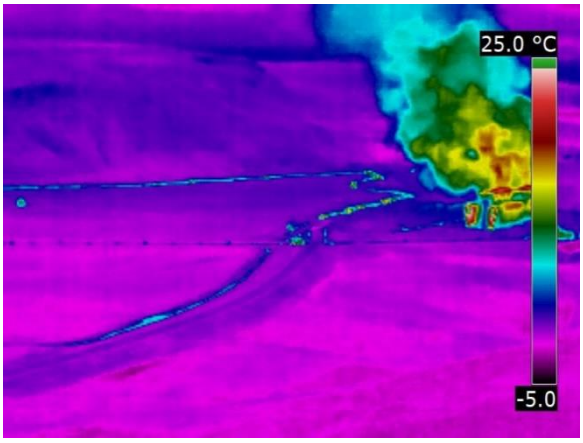
2. *Leirbotnar. Frh. til austurs*



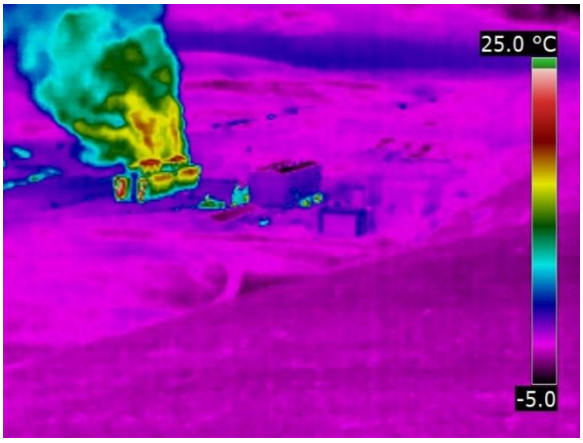
3. *Leirbotnar. Heitir affallslækir og skiljustöðin*



4. *Affall frá skiljustöðinni*



5. *Leirbotnar.*

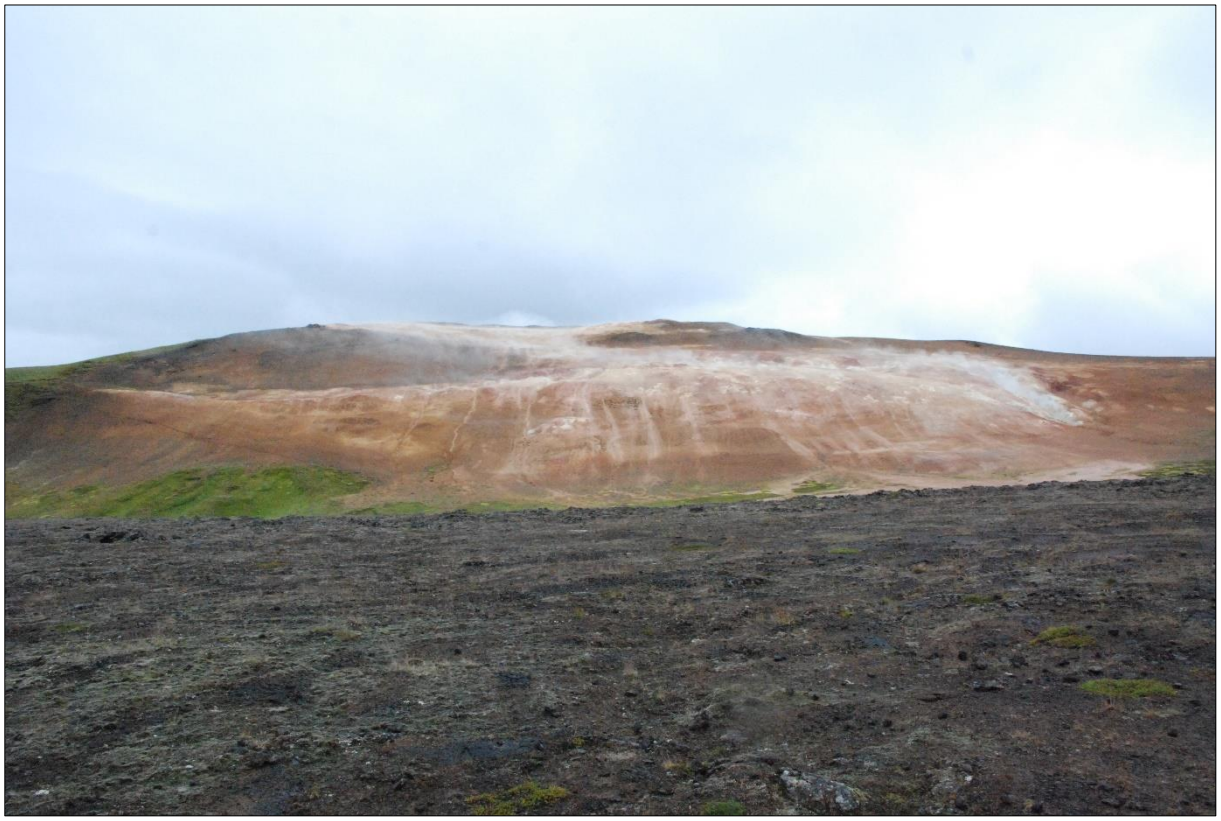


6. *Kröfluvirkjun*

Mynd 4. *Myndir teknar ofan af Rauðhól (myndatökustaður 6, mynd 2), 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.*

2.2.1 Leirhnjúkur

Jarðhiti á Leirhnjúkssvæðinu einkennist af leirhverum, gufuaugum og brennisteinsþúfum (mynd 2). Leirummyndun og brennisteinn eru víða áberandi en jarðhiti er einnig greinilega undir nýjum hraunum þótt vart sjáist ummyndun.



Mynd 5. *Austurhlíð Leirhnjúks. Gufuvirkni var nokkur 2017 en dreifð. Hlíðin ofan til er þó öll heit, brennisteinn og heitar leirskellur, eins og kemur vel í ljós á hitamyndum (mynd 10).*

Jarðhiti og ummyndun í Leirhnjúk sjálfum er mikil og eru margir leirhverir utan í hnjúknum eins og sést frá göngustígunum að honum (mynd 5) 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 6) 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 7). Í austurhlíðinni og eftir endilöngum toppi Leirhnjúks eru brennisteinsþúfur mest áberandi (mynd 8). Tengjast þær misgengjum sem liggja eftir honum með NNA-lægri stefnu. Þó nokkur gufuvirkni var á þessu svæði eins og undanfarin ár.

Mynd 6. *Hverasvæðið við Leirhnjúk. Gufuvirkni sumarið 2017 var svipuð og undanfarin ár.*

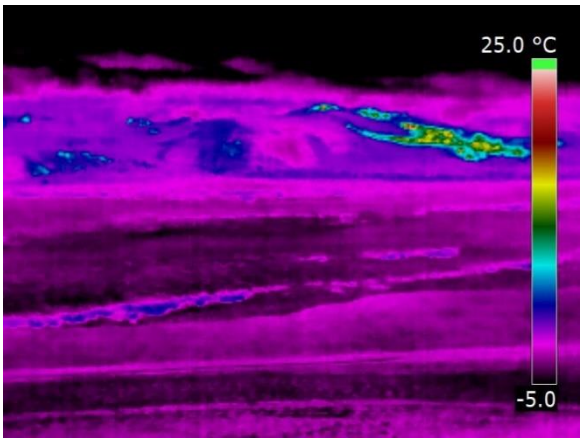
Mynd 7. *Jarðhitinn í brotinu sem liggur meðfram austurhlíðinni með NNA-lægri stefnu. Jarðhitinn hefur verið að aukast smám saman á þessu svæði og má sjá breytingar á hverju ári, meira sig innan brotsins. Heitar skellur með leirhverum og brennisteinsþúfum.*

Mynd 8. *Frá toppi Leirhnjúks. Virkar brennisteinsþúfur þekja stóran hluta austan við topp fjallsins, þ.e. austan við göngustíginn sem liggur eftir honum.*

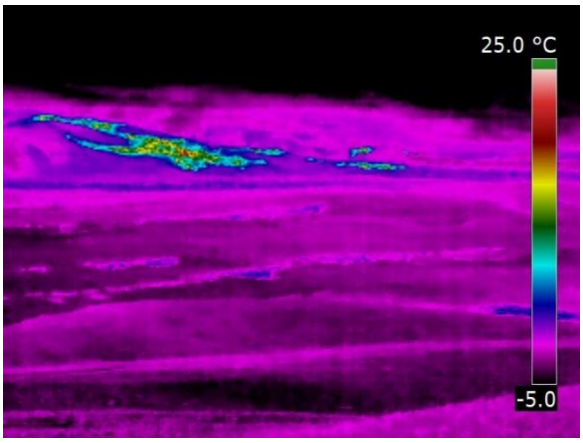
Mynd 9. *Gígar og hraun í norðanverðum Leirhnjúki. Gufa stígur víða upp, mest næst gígnum Nínu.*

Í stórum gíg frá Kröflueldum norðanvert í Leirhnjúk stíga gufur víða upp (mynd 9) og mældist hitinn í gufuaugunum 97–99°C, auk þess voru brennisteinsblettir áberandi. Í gígaröðinni suðvestan í Leirhnjúk var mikil gufuvirkni enda rakt úti þegar farið var yfir svæðið og hiti 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 mátti 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 hefur mælst undan farin ár.

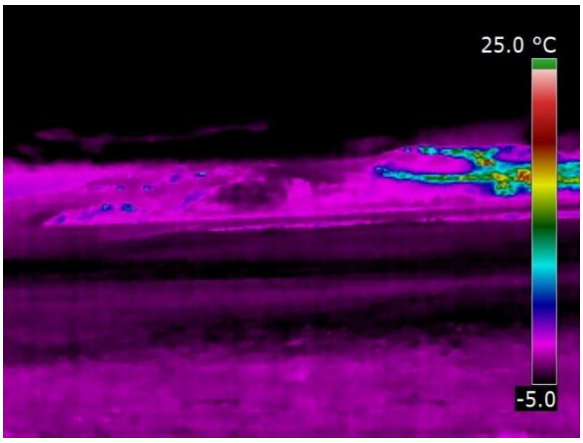
Austurhlíðar Leirhnjúks voru hitamyndaðar frá borteig holu IDDP-1 (myndatökustaður 5 á mynd 2). Samkvæmt hitamyndunum (mynd 10) tengist hæsti hitinn gufuvirkum svæðum um miðja austurhlíðina og upp á topp hnjúksins en teygir sig síðan norður eftir hlíðinni og út á sléttuna. Á þessari línu eru gufu- og leirhverir ríkjandi. Af hitamyndunum að dæma er dreifing jarðhitans við Leirhnjúk (séð frá IDDP-1 og Rauðhól) svipuð og í fyrra en þó kemur jarðhitinn í framhaldi af hnjúknum betur fram núna í ár (hitamynd 2, sjá mynd 10).



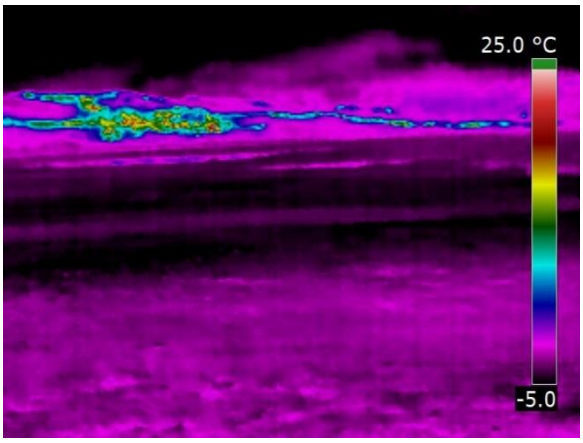
1. *Leirhnjúkur frá IDDP-1.*



2. *Leirhnjúkur frá IDDP-1.*

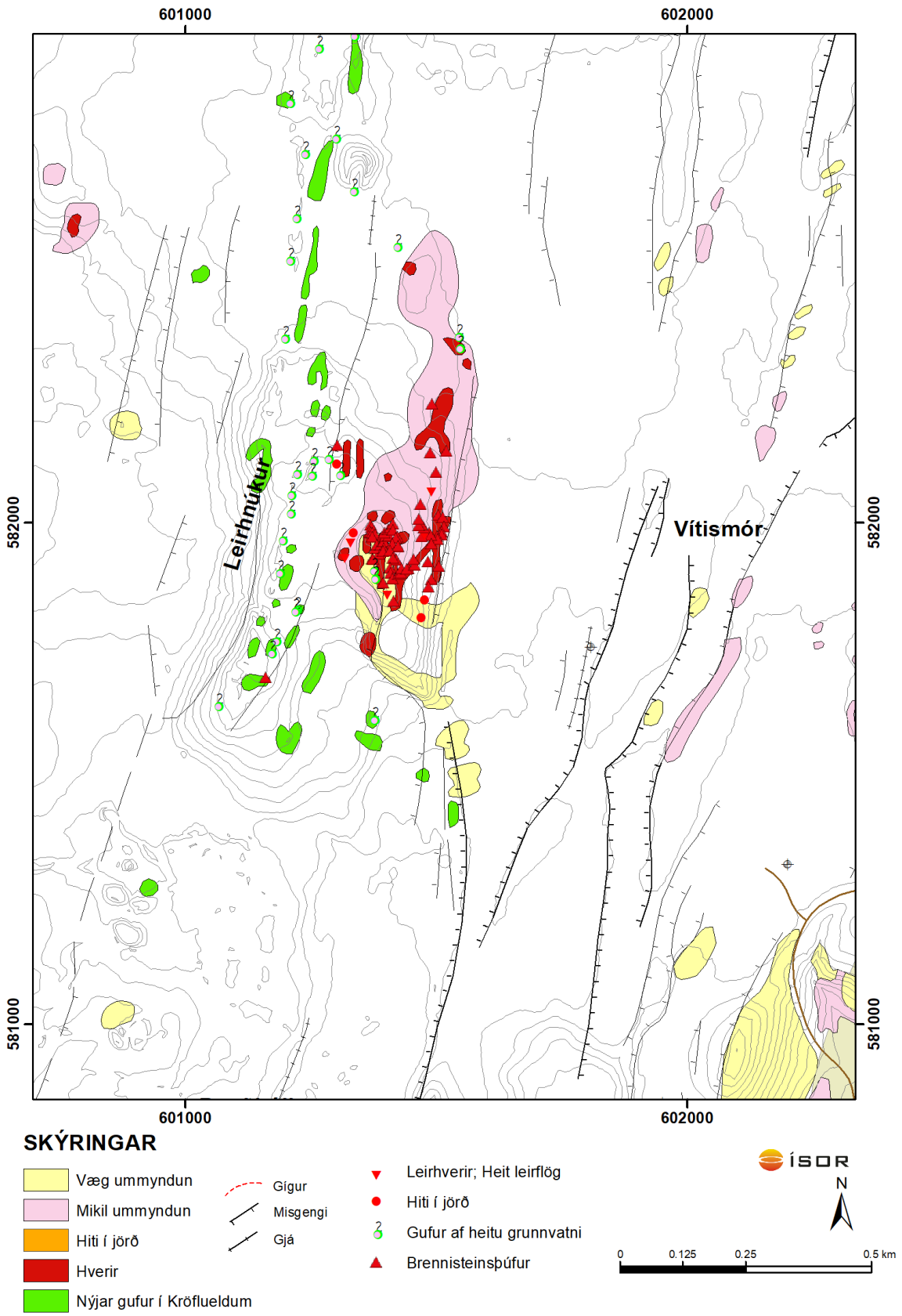


3. *Leirhnjúkur frá Rauðhól.*



4. *Leirhnjúkur frá Rauðhól.*

Mynd 10. *Myndir 1 og 2 sýna jarðhitann í Leirhnjúki frá borteig IDDP-1 (myndatökustaður 5, mynd 2) en myndir 3 og 4 sýna hann frá Rauðhól (myndatökustaður 6).*



Mynd 11. *Stækkað kort af jarðhitanum við Leirhnjúk.*

2.2.2 Vítismór

Ummyndunarblettur (leir) er um 500 m NNV við Víti í átt að Hreindýrahól. Engin önnur jarðhitavirkni er sjáanleg í norðurhluta Vítismó frá Víti til Leirhnjúks en í suðurhlutanum, þ.e. við og vestur af borteig IDDP-1, austur að Hveragili og fram á brúnir Hlíðardals er ljós leirummyndun ríkjandi. Engin gufa er sjáanleg og hitamyndir sýna engan jarðhitavott (sjá mynd 10).

2.2.3 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 12). Virknin á þessum stað hefur heldur aukist síðustu ár en var svipuð í ár eins og 2016. Heitur leir og brennisteinn ásamt hverasöltum er mest áberandi og hiti í gufuaugum er 97–98,5°C.

Mynd 12. *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 hafa ekki verið nægilega kraftmikil til sýnatöku undanfarin fjögur ár. Svæðið myndar ílanga ræmu þar sem virknin einkennist af heitum skellum með gufuvirkni og leirhverum (mynd 13). Hiti á þessum stað er 97°C í heitu skellunum en 95°C í leirpyttum.

Mynd 13. *Við Tvíburavötn. Mest allur jarðhitinn er bundinn við þennan stað. Ekki hefur verið hægt að taka sýni þar frá 2013 þar sem gufustreymið hefur verið of dræmt.*

2.2.4 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 (sjá myndir 14, 15 og 16). 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 bullaði ógurlega. Rétt neðan við Litla-Víti myndaðist hveraop árið 2009 (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2011). Meiri kraftur hefur verið í og við opið undanfarin þrjú ár og er heldur að bæta í virknina þar. Í ár var gufustreymið nokkuð stöðugt og þó nokkur kraftur í auganu en engar leirslettur eins og 2014 (mynd 14). 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 21, hitamynd 5 og 6) má sjá hvernig hitinn teygir sig upp hlíðina ofan við Litla-Víti. Á svæðinu gegnt Litla-Víti er lítils háttar gufustreymi úr leirflagi en flagið er allt mjög heitt, 70–98°C. Sunnan við virknina hefur smástykki skriðið fram svipað því sem gerðist 2013 gegnt Jónshver (mynd 15). Virknin í gilinu við Jónshver er svipuð og frá árinu 2012 (mynd 16). Þó hefur árfarvegurinn breyst sem hefur áhrif á yfirborðsvirknina í honum og hefur hún færst nær hlíðinni (við Jónshver). Enn bólar þó gas í lækjarbotninum og stakar brennisteinsþúfur eru norðan við og í jarðfallinu gegnt hvernum. 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 4 m^2 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 14. *Litla-Víti og gufuopið. Virkni er svipuð og hefur verið en þó er heldur meiri virkni neðan við gufuopið og heldur áfram að aukast.*

Mynd 15. *Heita leirflagið gegnt Litla-Víti. Hlíðin sunnan við jarðhitann hefur skriðið fram svipað því sem gerðist gegnt Jónshver árið 2013.*

Mynd 16. *Virknin við Jónshver. Mesta virknin hefur verið í lækjarfarveginum en nokkrar breytingar hafa orðið á farveginum sem hefur haft áhrif yfirborðsvirknina sem hefur fæst nær hlíðinni. Gufuvirkni í skellunni er lítil með hita á bilinu 90–99°C.*

2.2.5 Vesturhlíðar

Svæðunum í vesturhlíðum Kröflu er lýst frá norðri til suðurs. Þannig var farið yfir flestalla staði sem lýst er í skýrslu Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2011). Nokkur ný virkni kom fram í gilskorningnum neðan við G-38 sem ekki kom fram 2014 þegar Krafla var tekin fyrir.

Við Þörungadýið norðaustan Vítis var gasuppstreymi (mynd 17). Mældur hiti var um 17,5°C á 15 cm dýpi en í fyrra var hitinn um 16,8°C. Þessi staður var ekki skoðaður 2012 en hefur tekið breytingum frá lýsingum frá 2009 þar sem hiti var um 35–40°C (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2011).

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 undanfarin ár. 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 ekkert gufustreymi. Í flekkjunum eru leirop, hverasölt þar sem meginvirknin er, en í útjaðri þeirra er hiti tæpar 50°C (mynd 18).

Við G-38 var smá gufustreymi og hiti (95–96°C) í þremur litlum skellum (1–2^2 m) en töluverð virkni var hjá G-28. Suða var í lækjarfarveginum og gufustreymi báðum megin við lækinn og leirhveravirkni austan við hann (mynd 19). 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, 2015, 2016).

Mynd 17. *Þörungadýið. Nokkurt gasuppstreymi var og hiti um 17,5°C.*

Mynd 18. *Litlihver (G-33) sunnan við slóðann upp á Kröflufjall. Engin gufuvirkni sást 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.*

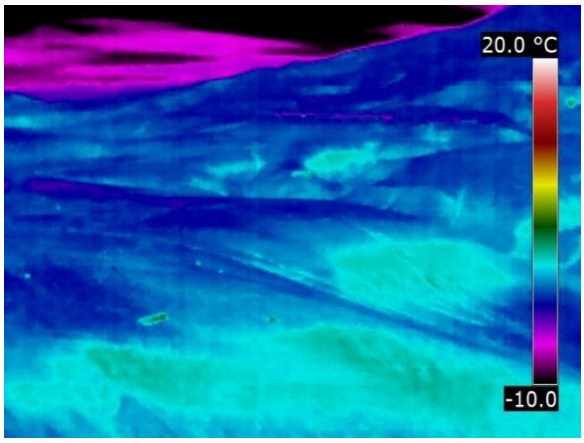
Mynd 19. *G-28. Gufuvirkni var mest í árfarveginum þar sem vatn rann yfir sjóðandi jörð en heit skella er beggja vegna farvegarins með gufustreymi og leir- og brennisteinshverum. G-38 er fjær.*

Mynd 20. *Hækjan er lengst til vinstri og Stórihver til hægri á myndinni. Allt með svipuðu sniði og undanfarin ár.*

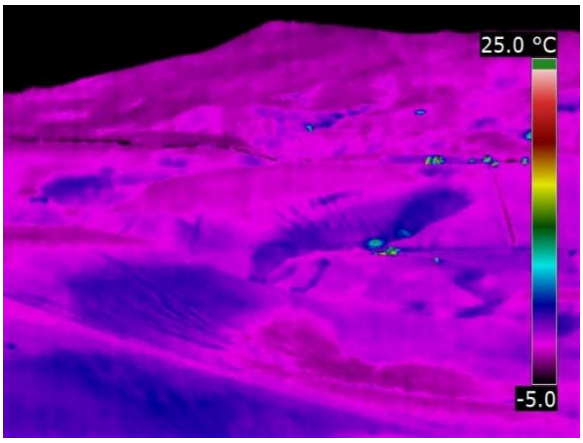
Handan við hrygginn til vesturs frá G-28, mitt á milli G-28 og G-30 (sem var kalt), er Hækjan, ílöng (8 x 1,5 m) brennisteinsþúfa í brattri hlíð. Við hana mátti greina kísil, gifs og brennisteins-útfellingar og gufaði upp úr henni á nokkrum stöðum (brennisteinslykt). Hiti í gufustreymi var 97°C og engar breytingar frá 2014.

Stórihver (G-29), sem myndaðist um eða upp úr 1980 og var mjög áberandi í Vesturhlíðum, hefur dalað smám saman. Töluverðar breytingar urðu á svæðinu árin eftir að hann kom fyrst upp. Hverinn eða öllu heldur hverirnir voru leirhverir með gufuaugum. Á svæðinu voru áður fyrr tekin sýni (G-17 og G-29) en undanfarin ár hefur virkni verið lítil sem engin. 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. 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 tæpur 0,5 L/s af 32°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 frekar en undanfarin ár.

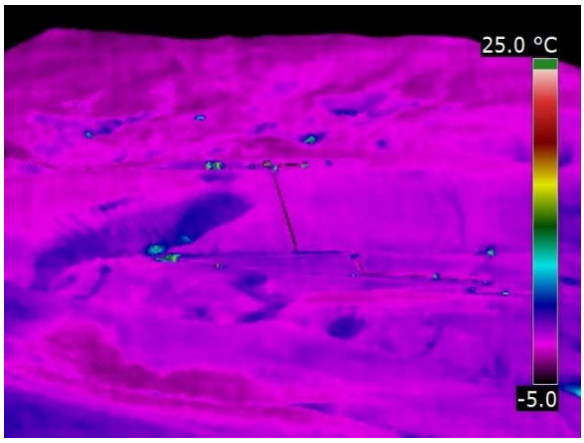
Á hitamyndum sem teknar eru frá Rauðhól sést ágætlega virknin á nokkrum stöðum en vesturbarmur Hveragils skyggir á neðsta hluta vesturhlíða Kröflu og virkni í öðrum gilskorn-ingum sést ekki. Á hitamyndunum (mynd 21; hitamyndir 1, 2, 3 og 4) má þó sjá staka bletti í fjallinu sem sýna svæðið nærri G-33 niður fyrir G-38 en virkni í gilinu sem gengur þar niður hefur verið að aukast og kemur það ágætlega fram. Einnig eru blettur ofan við holu K-15 sem er svæðið við Hækju og laugarnar fyrir neðan Stórahver (G-29). Sunnar með hlíðinni koma svo stöku blettir fram í hitamyndunum (mynd 21, hitamyndir 5 og 6) en það er virknin við mynni Hveragils og þar suður af. Sú virkni virðist vera að aukast sem kemur heim og saman við athuganir ÍSOR frá 2012 til dagsins í dag (2017).



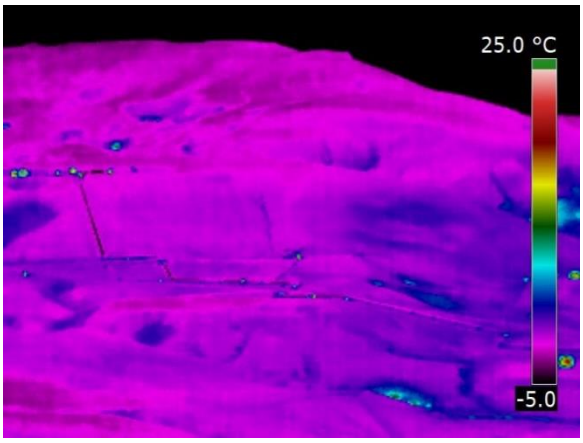
1. *Nyrsti hluti Vesturhlíða.*



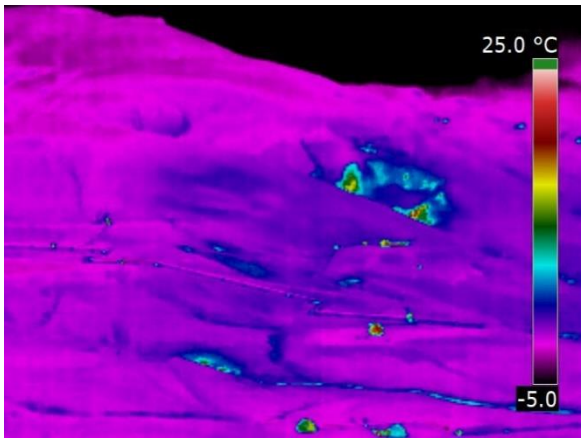
2. *Kröflufjall og holur K-15, K-32 og K-33.*



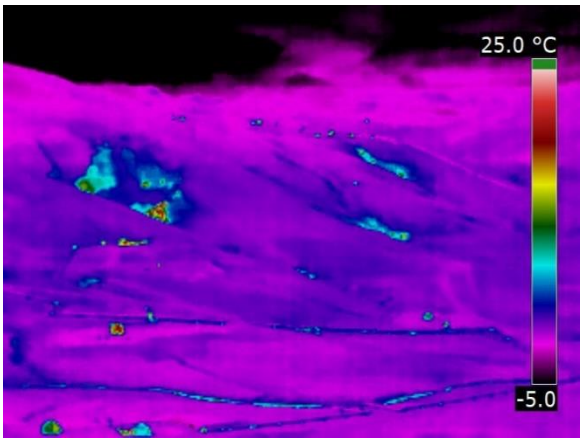
3. *Holur K-15, K-32 og K-33.*



4. *Vesturhlíðar.*



5. *Litla-Víti og gufuopið fyrir miðju*

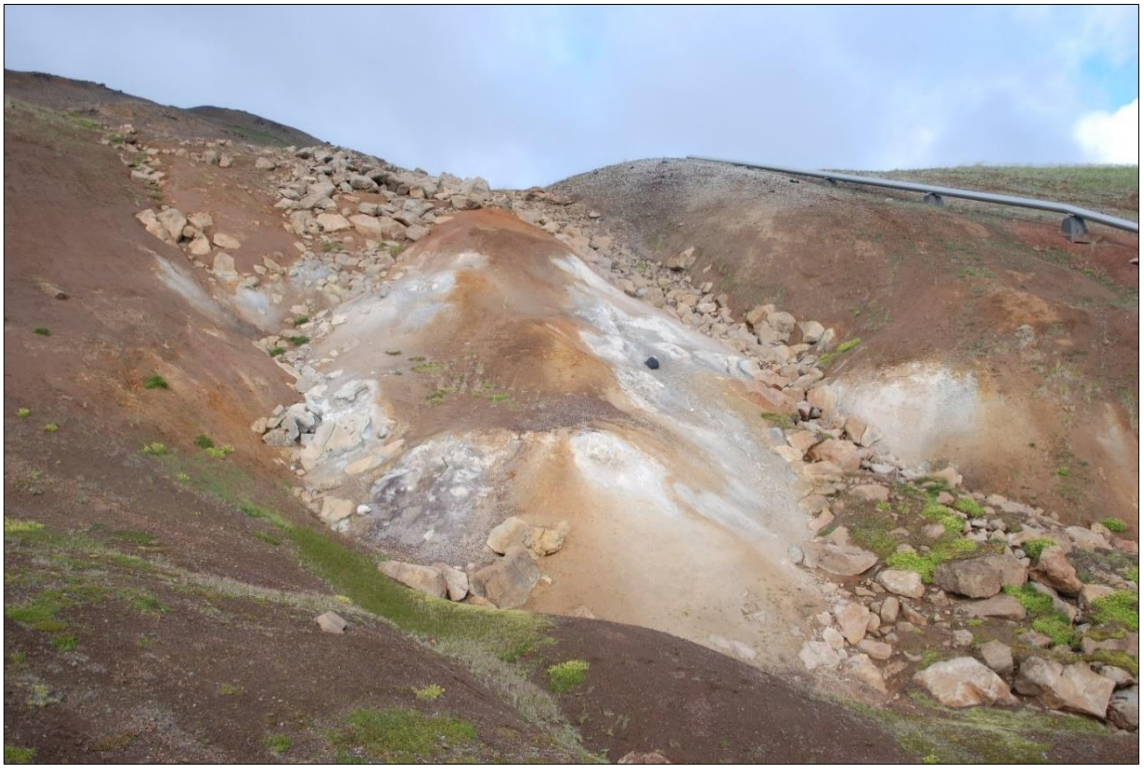


6. *Tvær heitar skellur sunnan Hveragils.*

Mynd 21. *Hitamyndir af Vesturhlíðum Kröflu. Myndirnar eru teknar til austurs frá Rauðhól (myndatökustaður 6, mynd 2). Nokkur velgja og heitir staðir eru í gilskorningum neðan til í Vesturhlíðum en vesturbarmur Hveragils byrgir sýn á neðsta hluta Vesturhlíða. Litla-Víti og gufuopið koma vel fram í Hveragilskjaftinum (mynd 5).*

2.2.6 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 22) gufaði lítið eitt og hiti um 95°C. Enginn annar hiti fannst í ummyndunarskellum sem koma fram t.d. í gilinu austan við K-16. 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. Litlar breytingar eru á virkninni á milli ára.



Mynd 22. *Jarðhitaskellan neðan við borplan holu K-16. Þarna er gamli sýnatökustaðurinn G-5.*

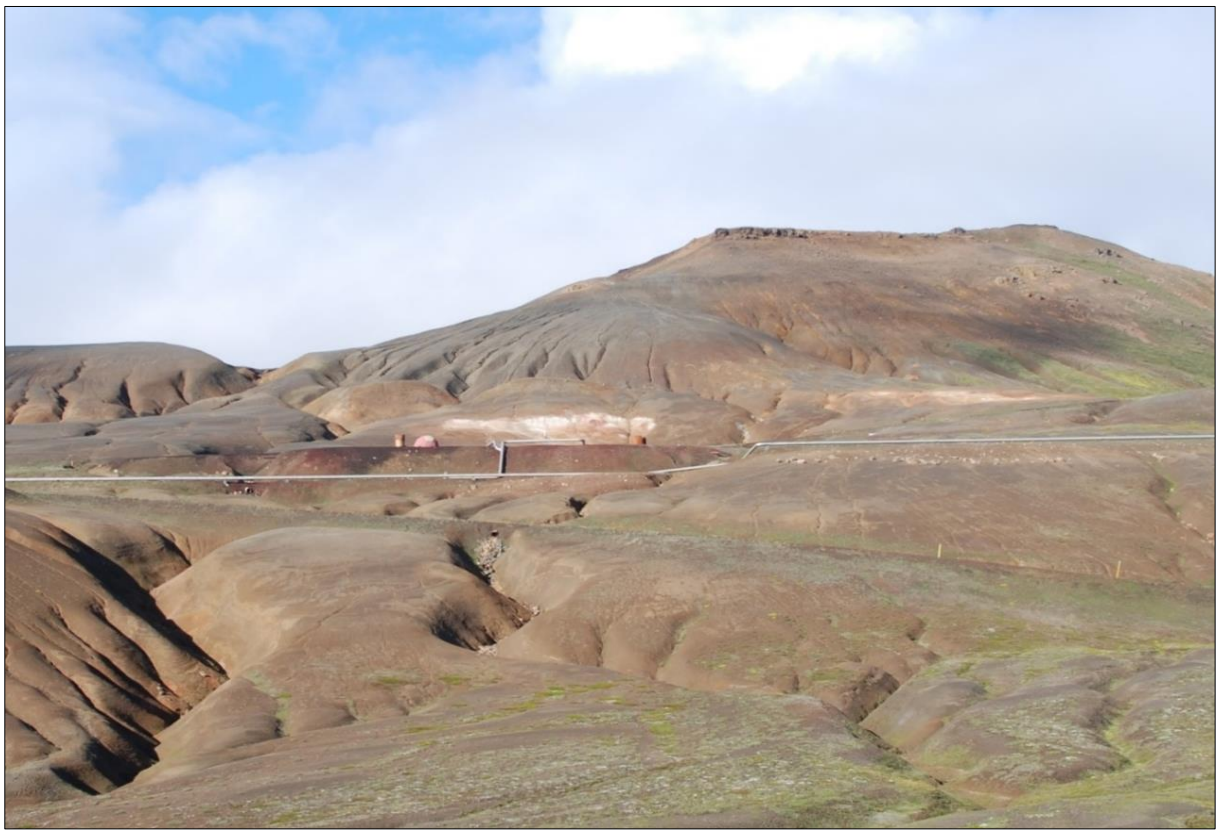
G-9 er gamall sýnatökustaður í ílöngu leirflagi með brennisteinsútfellingum og lítils háttar gufustreymi, hiti 92–98,5°C (mynd 23). Ekki var hægt að taka sýni þar en gufan kom of dreifð upp í gegnum útfellingaskán. Í framhaldi til vesturs, í hlíðinni ofan (austan) við K-19 og K-30, eru tvær heitar leirskellur 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 24) 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 25). Einnig

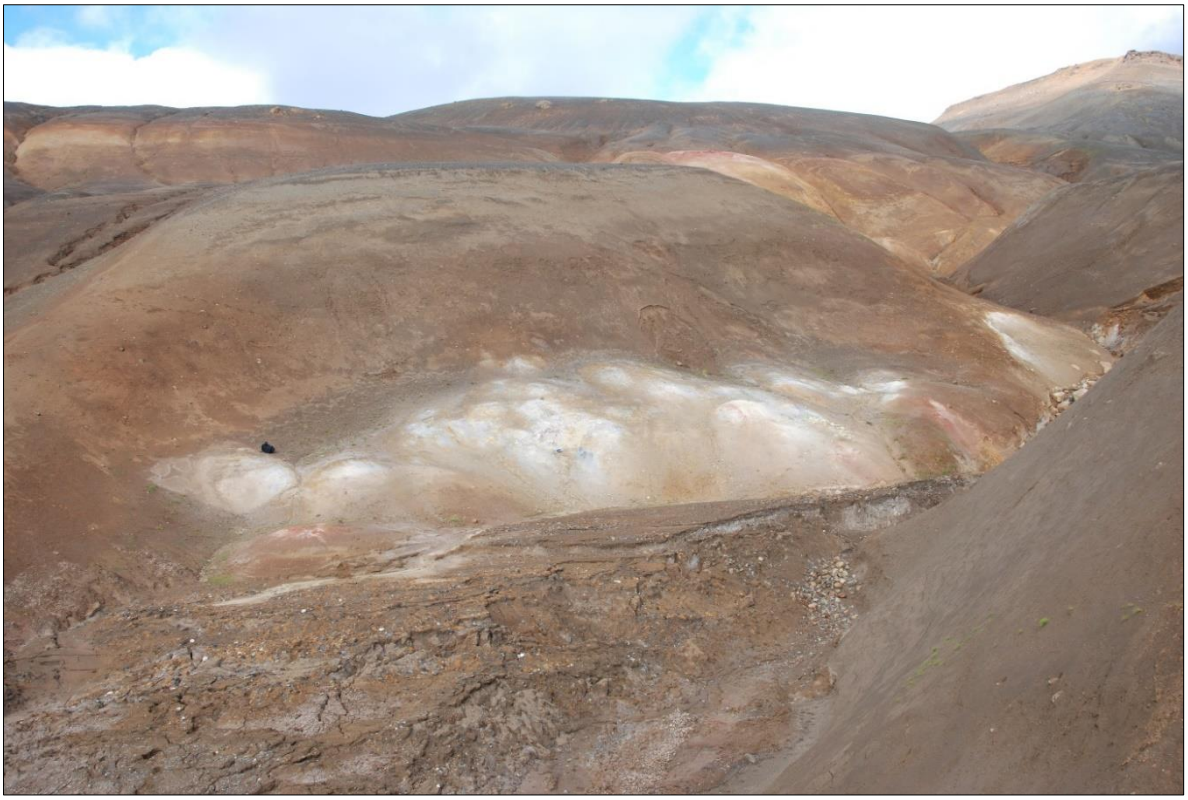
voru brennisteinsútfellingar tengdar gufustreymi enda lyktar gufan þarna af brennisteinsvetni. Sýni var tekið á þessum stað í ár líkt og undanfarin ár en um er að ræða gamlan sýnatökustað, G-7.

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 nú frá henni en hitinn mælist 98°C.

Á hitamyndum (mynd 26) sem teknar voru af Suðurhlíðum koma vel fram þær hitaskellur sem lýst hefur verið, nema þær sem eru ofan í giljum.

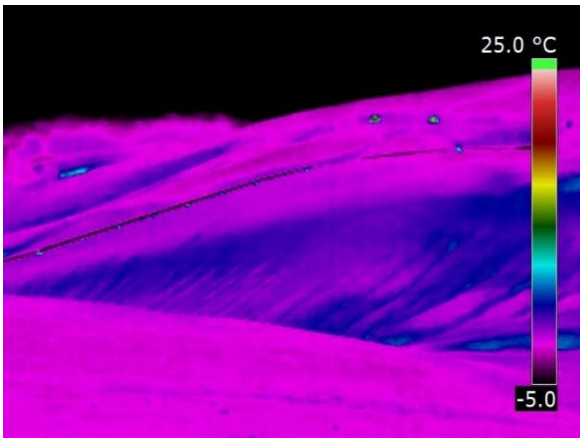


Mynd 23. *Ljósa flagið ofan við holur K-20 og K-31 er gamli sýnatökustaður G-9.*

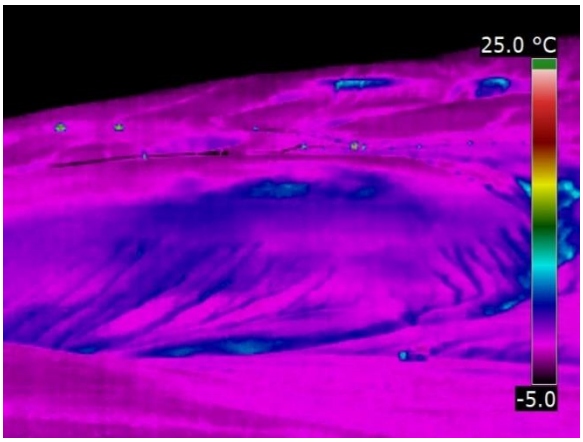


Mynd 24. *Ofan við veginn að holum K-19 og K-30. Heit skella, 95°C. Önnur minni skella er rétt ofar í gilinu. Þar er hiti >90°C en ekkert gufustreymi sást.*

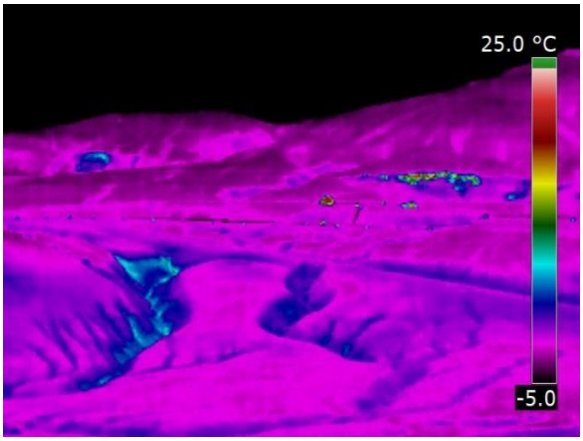
Mynd 25. *Nokkuð stór skella neðarlega í sama gili og sýnt er á mynd 24 (G-106, áður G-7). Mikill hiti og nokkurt gufustreymi. Önnur heit leirskella er hér fyrir neðan en þar er ekkert gufustreymi. Hér var tekið sýni í ár eins og undanfarin ár.*



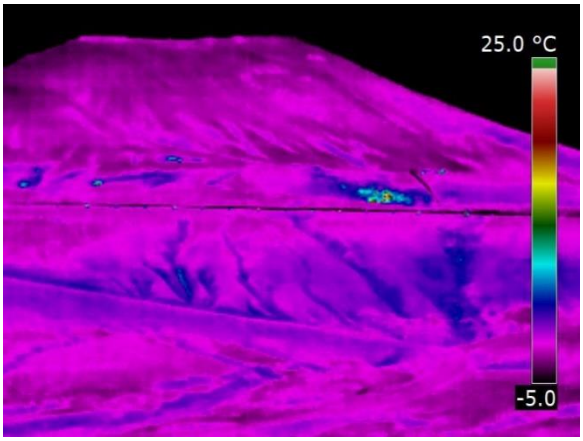
1. *Suðurhlíðar Kröflu. Holur K-19 og K-30.*



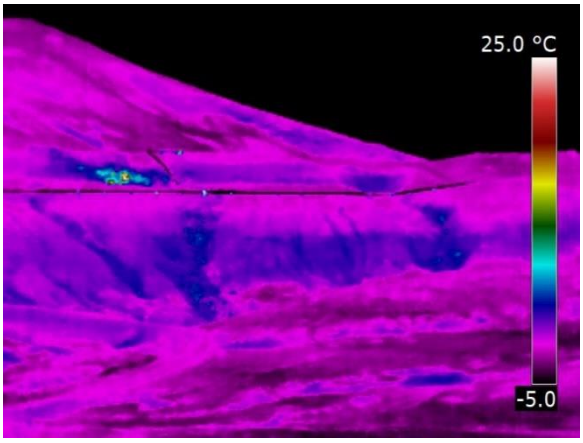
2. *Suðurhlíðar Kröflu.*



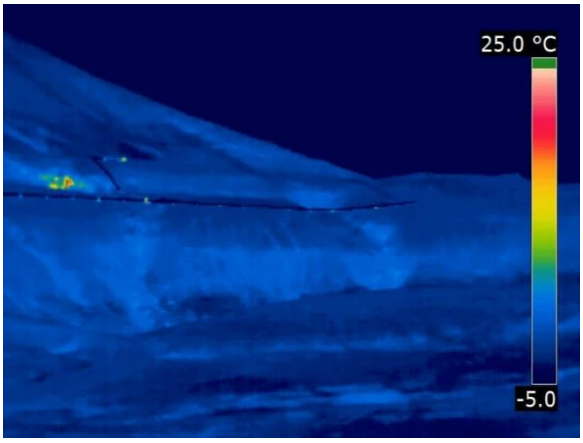
3. *Suðurhlíðar Kröflu. G-9 á miðri mynd.*



4. *Suðurhlíðar Kröflu.*



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



6. *Suðurhlíðar Kröflu.*

Mynd 26. *Hitamyndir af Suðurhlíðum frá myndatökustað 7 á mynd 2. Á hitamynd 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 en engin hiti mældist með beinum mælingum. Austar á mynd 5 og 6 sést skellan neðan við holu K-16 (sýnatökustaður G-5).*

2.2.7 Hrafntinnuhryggur

Á tveimur stöðum austan og vestan Hrafntinnuhryggjar norðan Grænutjarnar er virkur jarðhiti. Árið 2014 var hryggurinn skoðaður nokkuð vel en það hafði ekki verið gert árin á undan. Síðast hafði verið 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 ár var farið á þá bletti sem mældir voru 2014 og einnig farið að hryggnum austan megin, frá Sandabotnum. Hiti var svipaður og 2014 (85–96°C) en þó ekki eins dreifður, enga gufu var að sjá. Hitaskellurnar eru beggja vegna hryggjar, austan megin kemur hitinn fram rétt norðan við skarðið í hryggnum við Grænutjörn en mesti hiti þar var 85°C. Vestan í hryggnum kemur hitinn fram í í miðri hlíð í aflangri tungu. Tungurnar eru þrjár en hitinn er í tungunni fyrir miðju og er hann um 96°C.

2.2.8 Hvíthólar

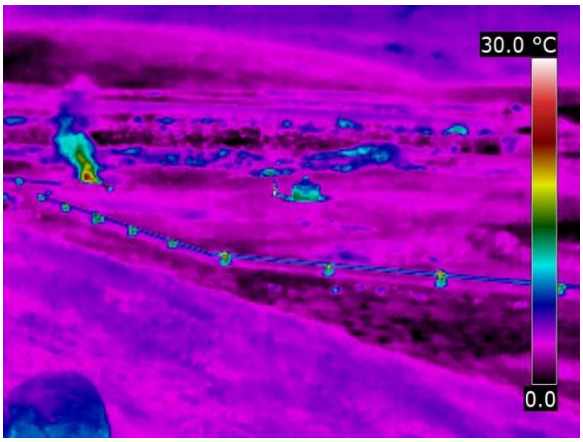
Farið var yfir Hvíthólasvæðið og hiti mældur í ummyndunarskellum. Einnig voru teknar hitamyndir ofan af hólnum norðan við svæðið á myndatökustað 13 (mynd 2).

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 eins og í fyrra (2016). Í skellunni eru hverasölt og kísil- og brennisteinsútfellingar (mynd 27). Virkni var svipuð nú og 2014 og 2015 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 2016 frekar en undanfarin ár (mynd 28). Gufuhverinn á milli holna K-22 og K-23 var undir vatni í fyrra en var á þurru í ár. Hann blés gufu upp um tvö op og var hiti á gufunni 97°C (mynd 29). 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 í fyrra en engin gufa var núna í ár. Hiti í opunum var 35–45°C nema í einu þar sem hitinn fór upp í 97,5°C. Gróður, þ.e. mosi, var áberandi öðruvísi í kringum hitann. Rauður leir var undir hraunkantinum.

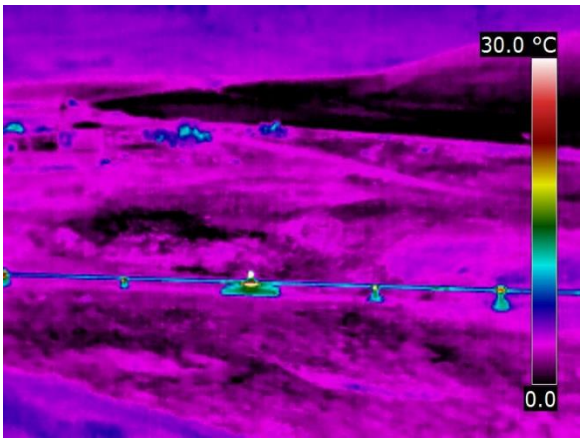
Mynd 27. *Skella við Hvíthóla, 10x3 m á stærð. Það gufar lítið eitt, svipað og í fyrra. Brennisteinn, hverasölt og myndlaus kísill. Mesti hiti er 99°C.*

Mynd 28. *Ummyndunarskellan G-26. Engin gufuvirkni en heitir blettir innan hennar.*

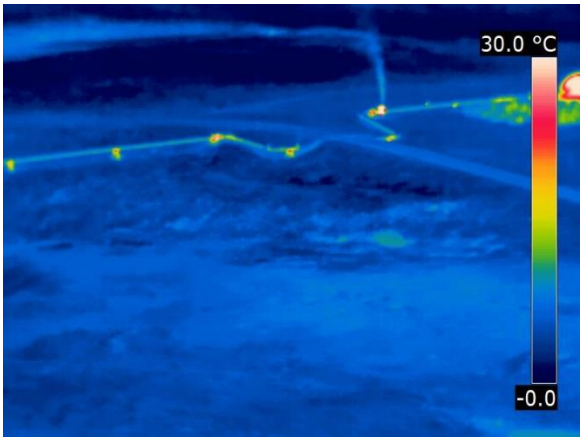
Mynd 29. *Gufuhverinn. Virknin hefur verið svipuð undanfarin ár, þ.e. þegar hverinn er ekki undir vatni.*



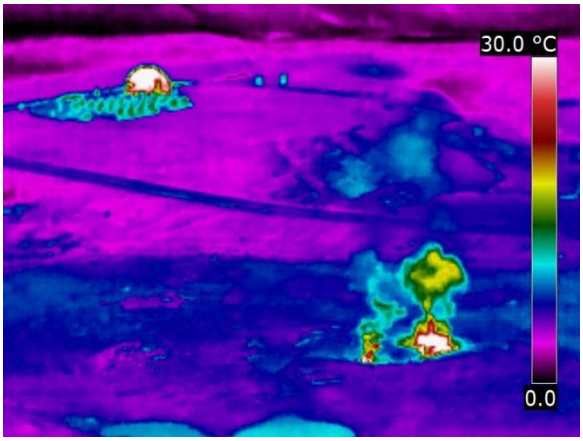
1. *Hola K-22 við Hvíthóla.*



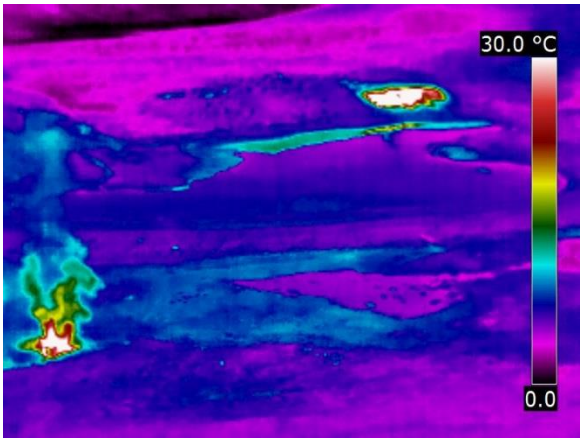
2. *Bletturinn ofarlega á mynd er G-26.*



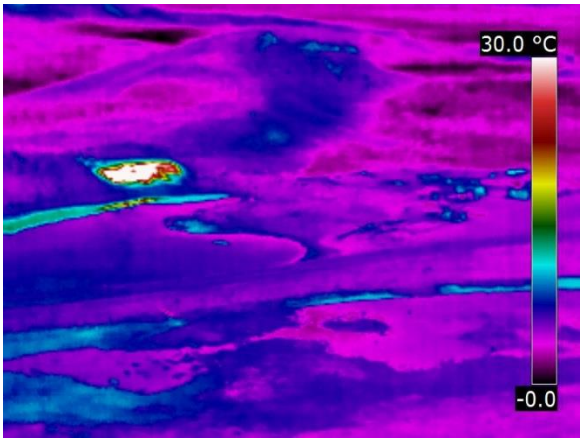
3. *Framhald til suðurs.*



4. *Hola K-21 og gufuhverinn.*



5. *Gufuhverinn og skellan vestan við K-21.*



6. *Skellan vestan við K-21.*

Mynd 30. *Hitamyndir frá Hvíthólum (myndatökustaður 13, mynd 2). Virki jarðhitinn kemur vel fram. Ekki verður vart við hita á fleiri stöðum á svæðinu á myndunum.*

2.2.9 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.

2.2.10 Niðurstöður

Sumarið 2017 var farið um Kröflusvæðið, jarðhitavirkni skoðuð og ljósmyndir og hitamyndir teknar. Farið var á alla þá staði sem eftirlit hefur verið haft með í gegnum árin sem og almennt yfir svæðið í heild sinni.

Virkni í vesturhlíðum Kröflu er frekar lítil en virkar skellur eru þó neðarlega í hlíðinni á svæðinu frá G-33 að Hækjunni. Í gili sem gengur til vesturs frá G-38 er virkni að aukast og var ekki skráð 2012 þegar gengið var þar upp með. Virkni var ekki heldur skráð 2014 en þar eru heitar skellur og smávægileg gufa með neðarlega í gilinu sem og í skál austan í gilinu. Annars virðist virknin vera svipuð og hún hefur verið undanfarin ár. Í Suðurhlíðum er nokkur virkni á stökum og afmörkuðum blettum og lítil breyting milli ára. Í Hveragili er virkni svipuð og undanfarin ár en þó eru smávægilegar breytingar; gufuopið neðan við Litla-Víti, sem opnaðist með miklum krafti 2009, er enn mjög virkt og einnig er aukin virkni neðar í gilinu. Gegnt Litla-Víti varð smá jarðfall til hliðar við heita leirskellu sem þar er. Virknin í skellunni er að aukast og náðist að taka sýni þar í ár. Leirskellan hefur frá 2012 verið útbólgin og heit en hafði í ár fallið lítils háttar saman og sáust útfellingar og ákveðið gufustreymi frá skellunni. Spurning er hvort þessar breytingar stafi af einhverju leyti af nýju holunni K-41 sem nær að hluta til inn undir Hveragil norðaustanvert en holan var boruð sumarið 2016. Við Leirhnjúk var virknin á hverasvæðinu með svipuðu móti og síðustu ár en gufuvirkni virtist vera að aukast í toppi hnjúksins og í austurhlíðinni. Virknin einkennist af gufu-, brennisteins- og leirhverum. Í Hvíthólum voru þrjár heitar skellur á meginsvæðinu við borholurnar en ekki gufaði upp um op sunnar á svæðinu sem lýst var 2014. Í Sandabotnaskarði var allt kalt. Við Hrafntinnuhrygg var allt með svipuðum hætti og 2014, hitablettir á afmörkuðu svæði.

Almennt gildir fyrir Kröflusvæðið að þar hafa engar verulegar breytingar orðið frá lýsingu Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2011) og athugunum ÍSOR undanfarin fimm ár (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a; 2013b, 2014, 2015, 2016).

2.3 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum í Kröflu

2.3.1 Sýnatökustaðir í Kröflu

Sex gufusýnum var safnað í Kröflu dagana 9. og 11. ágúst í fremur rysjóttu veðri. Yfirlit um sýnatökustaði er í töflu 1 og staðsetning þeirra sýnd á mynd 31 ásamt öðrum gufuaugum í Kröflu sem sýni hafa verið tekin úr (Gestur Gíslason o.fl., 1978; Halldór Ármannsson og Trausti Hauksson, 1980; Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2011; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a; 2013b, 2014, 2015, 2016).

Safna skyldi sýnum úr sex gufuaugum og var fjórum þeirra safnað úr sömu gufuaugum og árið 2016; G-104 í hlíðum Leirhnjúks, G-107 í gígskál norðan Vítis, G-106 í gili neðan K-14 og G-108 í Vesturhlíðum, neðan við slóðann á topp Kröflu. Við bættust sýni úr eldri sýnatökustað G-105 við Tvíburavötn og nýjum sýnatökustað framarlega í norðurhlíð Hveragils en sá fékk nafnið G-110.

Af öðrum sýnatökustöðum er það að segja að gufuaugun G-101 og G-109 í Leirhnjúk voru í fullu fjöri og tvímælalaust nógu spræk til að þar hefði mátt taka sýni. G-102 í Suðurhlíðum var sömuleiðis á sínum stað en ekki sérlega kraftmikið frekar en síðustu ár, en G-103 við Tvíburavötn virtist dautt úr öllum æðum, líkt og undanfarin ár. 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.

Sýnatökustöðunum sex sem safnað var úr 2017 er lýst nánar hér á eftir. Í gagnagrunni ÍSOR eru sýnatökuaugu áranna 2012 til 2017 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.

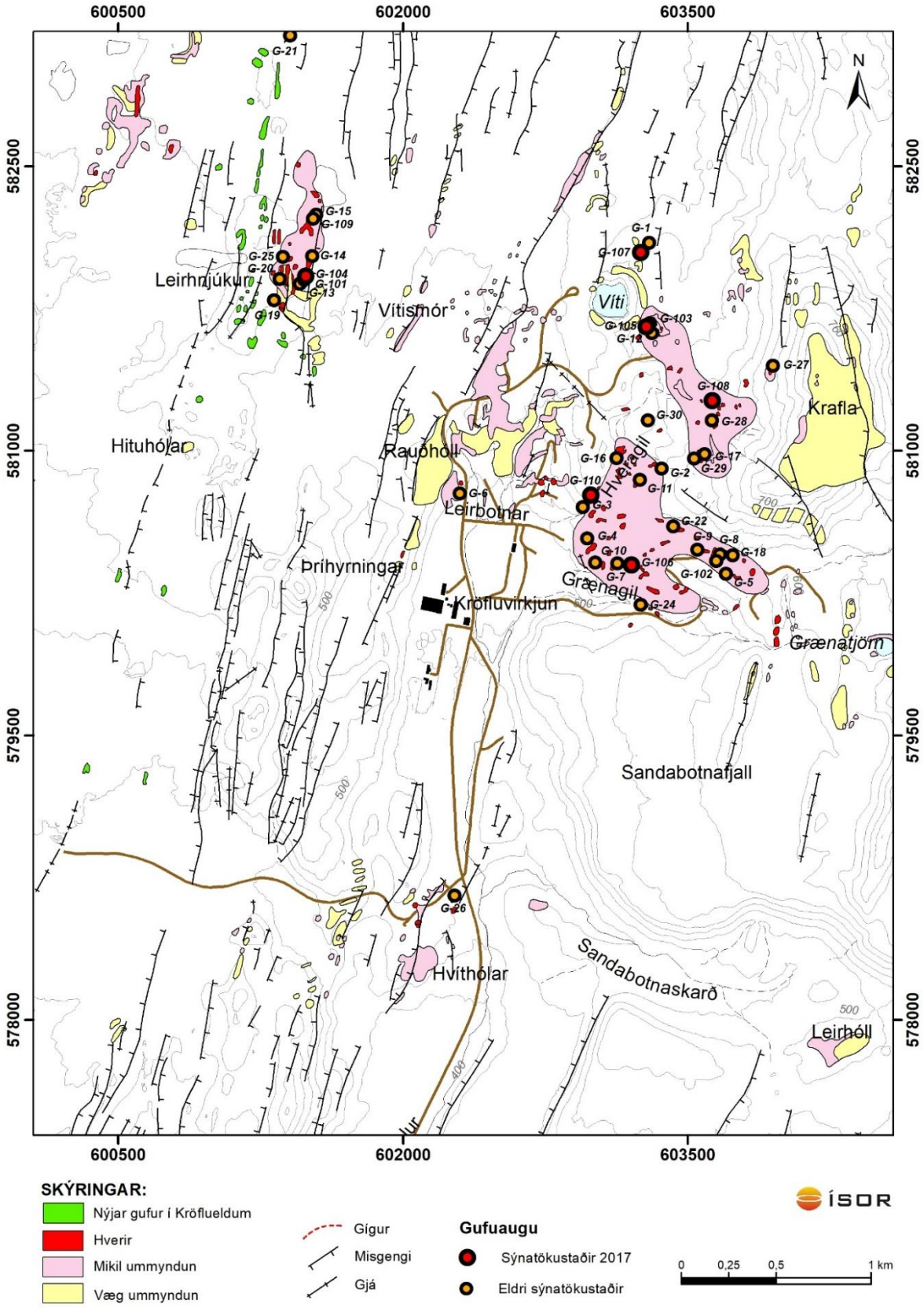
Sýnatöku- og efnagreiningaraðferðum er lýst í viðauka 2 hér að aftan.

Tafla 1. *Sýnatökustaðir í Kröflu sumarið 2017.*

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-105	H-10199	G-12/-103	603282	581654	587	Við Tvíburavötn
G-106	H 10200	G-7	603204	580399	541	Ofarlega í gili neðan við K-14
G-107	H 93514	G-1	603252	582046	589	Í gígskál norðan Vítis
G-108	H 93515	G-38	603628	581264	641	Neðan slóða á Kröflutopp
G-110	H 93584	G-3	602989	580767	541	Framarlega í Hveragili

* *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 Gests Gíslasonar o.fl. (1978), Halldórs Ármannssonar og Trausta Haukssonar (1980), Trausta Haukssonar og Jóns Benjamínssonar (2011) og Sigurðar G. Kristinssonar o.fl. (2013a; 2013b, 2014, 2015, 2016).*



Mynd 31. *Gufuaugu í Kröflu. Gufuaugu sem safnað var úr sumarið 2017 eru sýnd með rauðum táknum.*

K G-104: Öflugt gufuauga ofarlega í stóru leirflagi í austurhlíð Leirhnjúks (myndir 31 og 32). Þetta auga er hið neðsta þriggja álitlegra gufuaugna á hrygg utan í leirskellu þar sem virkni var umtalsverð. 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-105: Sæmilegt gufuauga rétt við göngustíg fyrir ferðamenn við Tvíburavötn austan Vítis (myndir 31 og 33). Hið gamla G-12 mun hafa verið á svipuðum slóðum. Sumarið 2012 var tekið sýni úr auganu G-103 sem lá um 20 m utar undir hlíðinni en það hefur ekki verið virkt undanfarin ár.

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 31 og 34). Fleiri álitleg augu voru í þessari skellu en aðgengi var þægilegast að þessu, neðst í skellunni. Einnig var nokkur virkni 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 31 og 35).

K G-108: Ekki sérlega kraftmikið en fókuserað auga í lítilli (1–2 m^2) leirskellu ofarlega í afgili Hveragils sem liggur upp í Vesturhlíðar (myndir 31 og 36). Aðkoma er auðveldust frá slóðanum sem liggur frá borteig K-34, K-36, K-38 og K-40 upp á Kröflutopp. Augað heitir G-38 hjá Jóni Benjamínssyni og Trausta Haukssyni (2011) sem tóku sýni úr því árið 2010.

K G-110: Allkröftugt gufuauga í norðurhlíð Hveragils, gegnt Litla-Víti (myndir 31 og 37), í sári eftir nýlegt jarðfall (sjá kafla 2.2.4). Aðkoma er auðveldust frá borteig holna K-15, K-32, K-33 og K-41. Á svipuðum slóðum en þó örlítið utar í gilinu var augað G-3 í skýrslum Gests Gíslasonar o.fl. (1978) og Halldórs Ármannssonar og Trausta Haukssonar (1980).

Mynd 32. *Undirbúningur sýnatöku úr gufuauganu K G-104 í austurhlíð Leirhnjúks.*

Mynd 33. *Gufusýnataka úr gufuauganu K G-105 við Tvíburavötn.*

Mynd 34. *Undirbúningur gufusýnatöku úr gufuauganu K G-106 í gili vestan við holu K-14.*

Mynd 35. *Undirbúningur sýnatöku úr gufuauganu K G-107 í gígskál norðan Vítis.*

Mynd 36. *Undirbúningur sýnatöku úr gufuauganu K G-108 í Vesturhlíðum.*

Mynd 37. *Gufuaugað K G-110 í Hveragili.*

2.3.2 Niðurstöður gufuefnagreininga

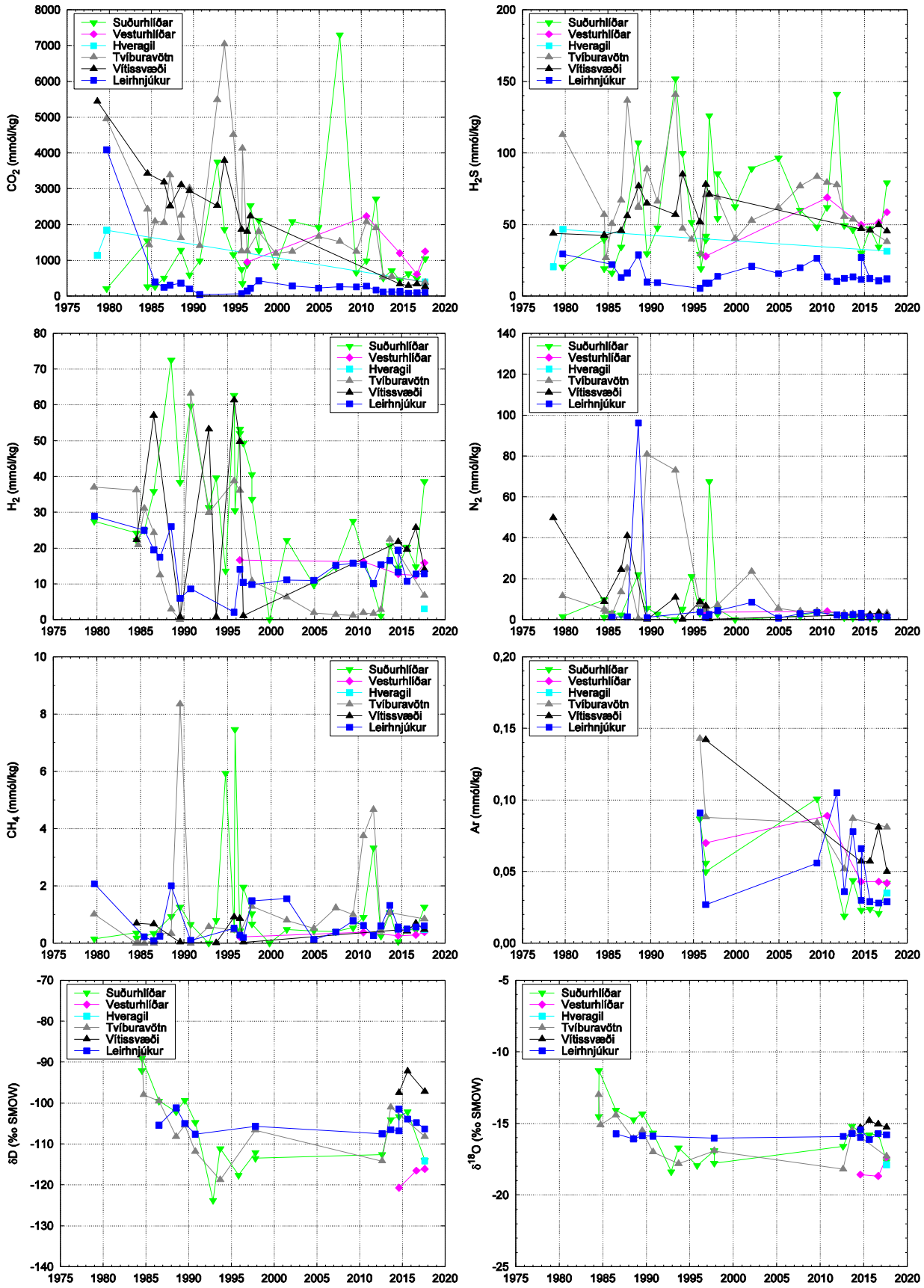
Niðurstöður efnagreininga sýnanna sem tekin voru á Kröflusvæðinu sumarið 2017 eru skráðar í töflu 2 og teiknaðar á mynd 38 ásamt efnasamsetningu eldri sýna úr öðrum gufuaugum á svipuðum slóðum. Auk sýnanna sem safnað var úr G-104, G-105, G-106, G-107, G-108 og G-110 í ágúst 2017 eru sýnd gögn frá öðrum 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 og G-103 við Tvíburavötn suðaustan Vítis, G-1 í gígskál norðan Vítis, G-38 í Vesturhlíðum og G-3 í Hveragili. Sýnum sem eru augljóslega menguð andrúmslofti er sleppt á myndum af N_2 og Ar. Samsætuvik í sýnunum er teiknað á mynd 39 ásamt úrkomulínu Craigs (1961).

Efnagreiningar eldri sýna eru fengnar úr skýrslum og gögnum Orkustofnunar, skýrslum Jóns Benjamínssonar (1985, 1999), Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (1988, 1989, 1990, 1993, 1994, 1995, 1996, 1998, 2000, 2001, 2004, 2008, 2010, 2011, 2012), Stefáns Arnórssonar o.fl. (1995; 1996) og Sigurðar G. Kristinssonar o.fl. (2013a; 2013b, 2014, 2015, 2016), og eru þær sýndar í töflum V-1 til V-7 í viðauka 1 ásamt vísunum í frumheimildir.

Tafla 2. *Efnasamsetning gufusýna úr Kröflu sumarið 2017.*

Sýni	20170165	20170166	20170167	20170168	20170171	20170172
Dagsetning	9.8.2017	9.8.2017	9.8.2017	9.8.2017	11.8.2017	11.8.2017
Staður	K G-106	K G-107	K G-105	K G-108	K G-104	K G-110
Hitastig (°C)	98,0	98,1	98,1	97,4	96,2	96,1
Gasstyrkur í gufu (mmól/kg)						
CO_2	1045	261	382	1250	96,6	394
H_2S	79,2	45,5	38,1	58,7	12,0	31,4
H_2	38,6	14,0	6,75	15,9	12,8	3,01
CH_4	1,26	0,471	0,844	0,388	0,611	0,477
N_2	1,57	2,12	3,18	2,04	1,28	1,36
O_2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ar	0,042	0,050	0,081	0,042	0,029	0,035
Steinefni í þéttivatni (mg/kg)						
Cl	0,05	0,06	0,02	0,05	0,02	0,07
B	0,04	0,04	0,03	0,04	0,07	0,07
Samsætur í þéttivatni (‰SMOW)						
$\delta^{18}O$	-17,64	-15,26	-17,30	-17,36	-15,79	-17,88
δD	-114,0	-97,2	-108,2	-116,1	-106,3	-114,1

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 Vítissvæði, Vesturhlíðar og Suðurhlíðar er notuð sú kvörðun CO_2-hitamælisins sem gerir ráð fyrir talsverðu CO_2-flæði frá kviku, þrátt fyrir að það hafi 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. Fyrir sýni úr Leirhnjúk er því hér notast við þá kvörðun gashitamælisins sem gerir ekki ráð fyrir miklu CO_2-flæði frá kviku.



Mynd 38. *Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum í Kröflu.*

Tafla 3. *Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áranna 2012 til 2017 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
20170171	G-104	297	(255)	305	303	276	289	294	12
20160248	G-104	293	(251)	305	294	274	289	291	11
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
20170167	G-105	315	294	281	323	280	255	292	25
20130249	G-105	333	306	330	346	(288)	(278)	329	16
20120190	G-103	332	308	(254)	342	303	(247)	321	19
20170165	G-106	368	321	357	(411)	320	304	334	27
20160240	G-106	328	291	311	(409)	316	299	309	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
20170166	G-107	298	300	309	324	299	280	302	15
20160242	G-107	309	304	336	313	288	282	305	20
20150258	G-107	(340)	302	325	(417)	321	302	313	12
20140254	G-107	309	302	329	327	296	286	308	17
20170168	G-108	(379)	310	315	(406)	311	286	305	13
20160241	G-108	(339)	305	304	(366)	307	280	299	12
20140255	G-108	(377)	304	305	(403)	306	281	299	12
20170172	G-110	317	287	256	365	298	256	297	41

K G-104: Styrkur CO_2 og H_2S hefur jafnan verið mun lægri í Leirhnjúk en í hlíðum Kröflu og svo er enn (heildargasstyrkur í nýjasta sýninu úr austurhlíð Leirhnjúks er 123 mmól/kg en 323–330 mmól/kg í augum á hinum svæðunum). 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 13 mmól/kg. Reiknaður meðalgashiti fyrir sýnið frá 2017 er 294°C sem stemmir ágætlega við gildi síðustu ára. H_2S-hitamælinum er sleppt þegar meðaltalið er reiknað þar eð hann gefur marktækt lægri gildi en hinir gashitamælarnir.

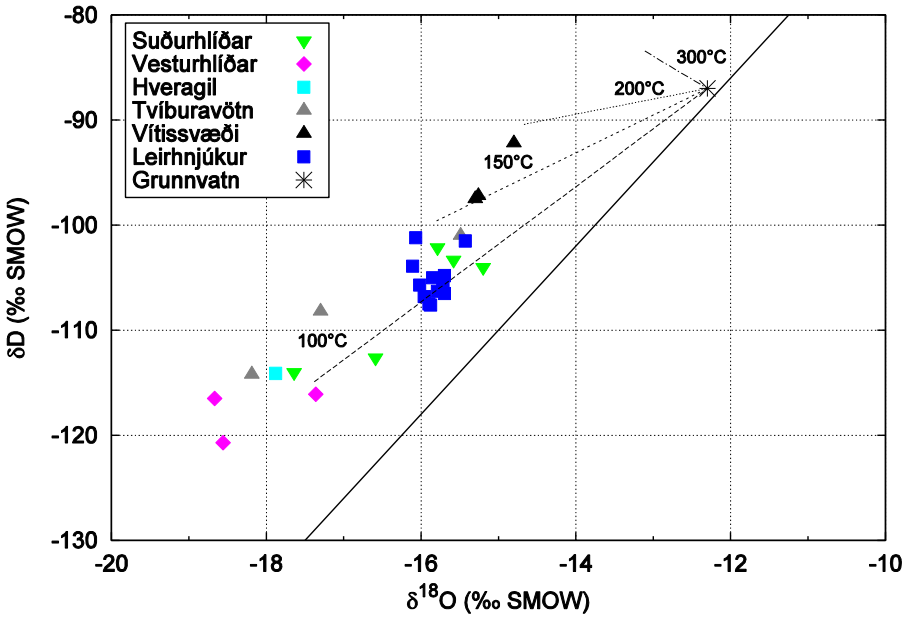
K G-105: Síðast var safnað sýni við Tvíburavötn sumarið 2013 og svo virðist sem gasstyrkur hafi lækkað talsvert síðan þá; úr um 530 mmól/kg í 430 mmól/kg. Það er í samræmi við þá þróun sem sést hefur frá aldamótum eða þar um bil; gasstyrkur hefur lækkað nokkuð jafnt og þétt bæði við Tvíburavötn og á Vítissvæðinu en var skrykkjóttari frá Kröflueldum og til aldamóta. Fyrir vikið reiknast meðalgashiti heldur lægri nú en árin 2012 og 2013, eða 292°C í stað ríflega 320°C.

K G-106: Gasstyrkur í auga G-106 mælist um 1170 mmól/kg sem er ríflega tvöfalt hærra en síðustu ár. Þetta bendir til þess að gufan hafi þést talsvert á leið sinni til yfirborðs. Óvenju lág samsætugildi styðja þá túlkun; tvívetni mælist -114‰ nú en hefur yfirleitt verið á bilinu -105 til -100‰. Fyrir vikið reiknast efnahiti mun hærri en undanfarin ár, eða 334°C, samanborið við 309°C árið 2016. H_2S/Ar- og H_2/Ar-hitamælarnir gefa svipuð gildi nú og 2016, enda hefur þétting gufu ekki áhrif á gashlutföllin.

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 hærri í Suður- og Vesturhlíðum. Heildargasstyrkur í sýni ársins mældist 323 mmól/kg, sem er heldur lægra en 2016. Þar af var CO_2 261 mmól/kg, H_2S 46 mmól/kg og H_2 14 mmól/kg. Gashitamælar gefa meðaltalið 302°C, sem er mjög svipað og árið áður.

K G-108: Líkt og undanfarin ár mældist hæsti gasstyrkur sumarið 2017 í Vesturhlíðum Kröflu í auga G-108; um 1330 mmól/kg. Þar munar mest um háan styrk CO_2 (1250 mmól/kg) en styrkur H_2S og H_2 er sambærilegur við önnur svæði í Kröflu; 59 og 16 mmól/kg. Vegna þess hve CO_2 hefur háan styrk er CO_2- og CO_2/N_2-hitamælunum sleppt úr meðaltalinu, sem þá reiknast 305°C. Það er svolítið hærra en 2014 og 2015 en um 10°C hærra en meðaltal fyrir efnagreiningar Stefáns Arnórssonar o.fl. (1996). Hvorki samsætugildi né samanburður á gasstyrk og gashlutföllum benda til þess að um verulega þéttingu gufu sé að ræða í sýninu.

K G-110: Sýnið sem safnað var utarlega í Hveragili líkist helst sýninu sem safnað var við Tvíburavötn (G-105); heildargasstyrkur er um 430 mmól/kg, þar af er CO_2 394 mmól/kg, H_2S 31 mmól/kg og H_2 3 mmól/kg. Í skýrslum Gests Gíslasonar o.fl. (1978) og Halldórs Ármannssonar og Trausta Haukssonar (1980) er að finna tvö sýni úr gufuauganu G-3, frá 1978 og 1979. Greinilegt er að áhrifa Kröfluelda gætir mjög í þeim sýnum þar eð styrkur CO_2 er 3–5 falt hærri þá en nú en styrkur H_2S er á svipuðu róli og nú. Meðalgashiti reiknast nú 297°C. Samsætugildi minna helst á sýnið úr Vesturhlíðum eða hið þétta sýni úr Suðurhlíðum.



Mynd 39. *Samsætuvik sýna áranna 2012–2017 úr gufuaugum á Kröflusvæðinu ásamt úrkomulínu Craigs (1961). Einnig eru sýndir ferlar fyrir suðu grunnvatns við mismunandi hitastig.*

2.3.3 Samantekt

Gufan sem stígur upp af hlíðum Kröflu og Vítissvæðinu er mun gasríkari en gufan í Leirhnjúk. Samanlagður gasstyrkur í sýnum ársins er um 123 mmól/kg í Leirhnjúk, 320–430 mmól/kg við Tvíburavötn, Víti og í Hveragili en 1170 mmól/kg í Suðurhlíðum (sennilega hefur gufa þést úr sýninu á leið til yfirborðs) og 1330 mmól/kg í Vesturhlíðum. Mólhlutfallið CO_2/H_2S reiknast 21 í Vesturhlíðum; 10–13 í Suðurhlíðum og Hveragili, og við Tvíburavötn en 6–8 við Leirhnjúk og Víti. Sögulega virðist gasstyrkur flökta meira í Suðurhlíðum en á hinum svæðunum. Styrkur Cl mælist nú alls staðar lægri en 0,1 mg/kg í þéttivatni en var iðulega hærri en 1 mg/kg á árunum um og eftir Kröfluelda (sjá t.d. samantekt Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar, 1998). Styrkur B í þéttivatni mælist sömuleiðis lægri en 0,1 mg/kg í öllum sýnum.

Undanfarin ár hefur meðalgashiti reiknast 300–315°C í hlíðum Kröflu en heldur lægri í Leirhnjúki, um 290–295°C. Svo er enn, nema hvað nýjasta sýnið frá Tvíburavötnum sýnir mun lægri gasstyrk en áður og reiknast því með gashita nærri 290°C. Almennt ber gashitamælunum vel saman en helstu frávik eru að H_2S-hitamælarnir gefa lægri gildi en hinir hitamælarnir fyrir Leirhnjúkssýnin, og að CO_2-hitamælarnir gefa mjög há gildi í Suður- og Vesturhlíðum.

Samsætugildi í gufuaugum við Leirhnjúk eru býsna stöðug, með δD á bilinu -108 til -101‰ í flestum sýnum. Flest sýnanna úr Suðurhlíðum hafa sömuleiðis verið á því bili, þó með tveimur undantekningum (2012 og 2017) þar sem sýnin mælast talsvert léttari, líklega vegna þéttingar gufu. Sýni úr Vesturhlíðum og Hveragili eru sömuleiðis snauð að tvívetni, með δD ≤ -114‰ (reyndar er líklegt að sýni úr Vesturhlíðum frá 2014 hafi einnig þést að einhverju marki), en sýnin sem safnað er norðan Vítis eru áberandi þyngst, með δD > -100‰. Sýnin frá Tvíburavötnum dreifast yfir vítt bil, með tvívetnisvik frá -114 til -101‰. Gufusýnin eru almennt talsvert tvívetnissnauðari en sem nemur áætluðum djúpvökva í kerfinu (sem hefur δD á bilinu -94 til -87‰; Pope o.fl., 2016), nema sýnin sem safnað var norðan Vítis.

Eins og sjá má á mynd 39 liggja öll sýnin vinstra megin við úrkomulínuna, með súrefnishliðrun sem nemur 1–2‰ til vinstri frá línunni. Þetta bendir til þess að gufan sé mynduð við suðu á grunnvatni eða lítt hvörfuðum jarðhitavökva, við mismunandi hitastig. Ferlar sem sýna samsætuhlutföll gufu sem myndast við suðu grunnvatns við mismunandi hitastig eru teiknaðir inn á mynd 39. Samsætugildi fyrir grunnvatnsstraum frá Hágöngum norðan Kröflufjalls (δD = -87,0‰; $\delta^{18}O$ = -12,3‰) eru fengin úr grein Pope o.fl. (2016) en suðuferlarnir (strika- og punktalínur) eru reiknaðir við 100°C, 150°C, 200°C og 300°C út frá jöfnum Horita og Wesolowski (1994). Grunnvatn úr Sandabotnalindum sunnan Kröflufjalls hefur svolítið meira af þyngri samsætum (δD = -84,0‰; $\delta^{18}O$ = -12,0‰) og því myndu suðuferlarnir hliðrast lítið eitt upp eftir úrkomulínunni ef vatn úr Sandabotnalindum væri notað sem upphafspunktur.

2.4 Gasflæði um jarðveg í Kröflu

Sumarið 2017 voru gerðar mælingar á flæði koldíoxíðs (CO_2) um jarðveg í Kröflu og jarðvegshitastig var einnig mælt. Sambærilegar mælingar voru áður gerðar í Kröflu sumarið 2014 en þar á undan höfðu verið gerðar mun umfangsmeiri gasflæðimælingar í Kröflu á síðasta áratug. Árið 2004 voru gerðar könnunarmælingar og á grundvelli þeirra var mælt á samfelldu mælineti sumurin 2005, 2006 og 2008 á svæði sem náði yfir stóran hluta Kröflusvæðisins. Niðurstöðum þessara mælinga hafa verið gerð skil í greinargerð ÍSOR (Þráinn Friðriksson, 2009) og þá var einnig lagt mat á heildargaslosun af svæðinu. Bætt var við mælingum árið 2010 og niðurstaða allra þessara mælinga gefur til kynna nokkur svæði þar sem koldíoxíðflæði er hátt.

Mest áberandi er aflangt svæði sem liggur frá norðvesturhlíðum Kröflufjalls í stefnu NNA-SSV til suðurs, suður fyrir veginn sem liggur upp í suðurhlíðar. Sennilegt er að gasflæðið komi upp um sprungu sem hefur þessa legu.

Á undanförnum árum hafa einnig verið gerðar gasflæðimælingar á Þeistareykjum, Námafjalli og í Kröflu sem hluti af umhverfiseftirliti svæðanna og þá hefur verið farin sú leið að mæla á nokkrum löngum mælilínum, fyrst og fremst vegna þess hvað svæðin eru víðfeðm. Markmið þessara mælinga var að kanna gasflæði á svæðinu miðað við núverandi vinnslu og bera saman við þær mælingar sem gerðar hafa verið til að fylgjast með breytingum í yfirborðsvirkni á svæðinu.

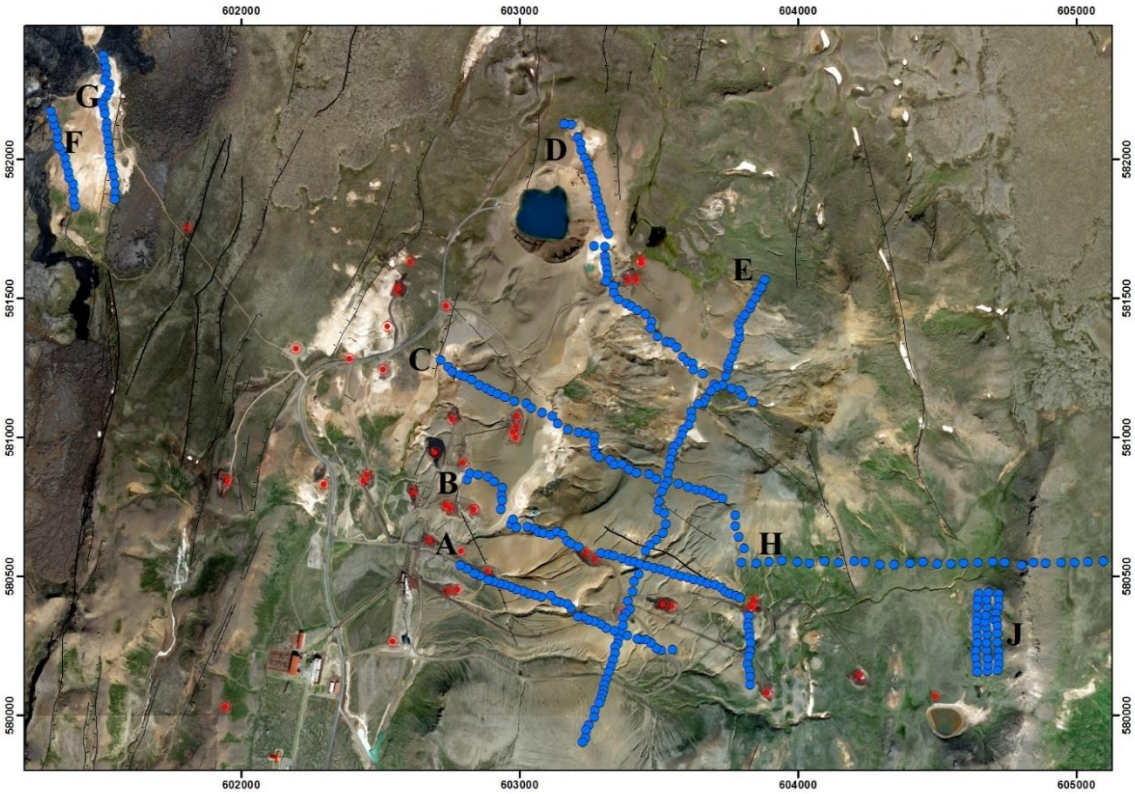
Mælingar af þessu tagi byggjast á því að í jarðhitakerfum er ávallt að finna nokkurt magn uppleystra gastegunda sem geta borist með gufu upp í gegnum jarðveg. Þegar gufan þéttist, t.d. vegna grunnvatns, getur hluti gassins sem gufunni fylgdi haldið áfram til yfirborðs. Þar sem gufan í jarðhitakerfi myndast við suðu eru breytingar á gasflæði um jarðveg ákjósanleg leið til að fylgjast með breytingum á suðuástandi jarðhitakerfis. Fyrir utan Kröflu hafa kerfisbundnar mælingar á gasflæði um jarðveg verið gerðar á Hengilssvæðinu, í Námafjalli, á Þeistareykjum og á Reykjanesi þar sem mælingar hafa verið gerðar frá árinu 2004. Þar hafa mælingar verið gerðar á mælineti sem nær yfir mestallt svæðið þar sem jarðhitavirkni gætir á yfirborði. Mælingarnar hafa reynst vel til að ákvarða umfang breytinga á yfirborðsvirkni vegna vinnslu á jarðhitasvæðinu á Reykjanesi á undanförnum áratug (Þráinn Friðriksson, o.fl., 2010, Auður Agla Óladóttir, 2012).

Hér verður gerð grein fyrir niðurstöðum mælinganna sem gerðar voru sumarið 2017 á Kröflusvæðinu og þær bornar saman við eldri mælingar frá þessu svæði. Að gefnu tilefni var einnig ákveðið að bera saman niðurstöður mælinganna sem gerðar voru á samfelldu mælineti við þær upplýsingar sem nú liggja fyrir um æðar í borholum á svæðinu.

2.4.1 Niðurstöður gasflæðimælinga 2017

Þegar mælilínur voru ákvarðaðar fyrir sumarið 2014 voru mælingarnar frá 2004, 2005, 2008 og 2010 hafðar til grundvallar. Leitast var við að leggja út mælilínur sem næðu yfir virkustu hluta svæðisins en jafnframt að þær dreifðust sem víðast um svæðið. Mælingarnar sumarið 2017 voru gerðar á sömu punktum og mælingarnar 2014.

Mælingarnar fóru fram í byrjun ágúst 2017 og voru gerðar á átta löngum mælilínum og þremur stuttum til viðbótar. Mældar voru fjórar langar mælilínur vestan og sunnan við Kröflufjall með stefnu nokkurn veginn SSA-NNV. Þær eru sýndar á mynd 40 og táknaðar með bókstöfunum A, B, C og D. Mæld var ein mælilína sem liggur þvert á þessar fjórar, í N-S stefnu og táknum sem mælilína E. Að auki voru tvær styttri mælilínur (F og G) mældar við Leirhnjúk. Á öllum þessum mælilínum voru mælingar gerðar með um 25 metra millibili. Þá var mælt á línu sem nær frá sunnanverðu Kröflufjalli, beint til austurs og yfir Hrafntinnuhrygg (mælilína H) og voru mælingarnar á henni gerðar með 50 metra millibili vegna þess að eldri mælingar á þeirri línu, frá sumrinu 2010, voru gerðar með þeim hætti. Að lokum var mælt á þremur stuttum mælilínum (J1, J2 og J3) sem voru lagðar út yfir virkan blett í vesturhlíðum Hrafntinnuhryggjar. Á mynd 40 má sjá staðsetningu allra mælipunkta á línunum þar sem gerðar voru mælingar á gasflæði um jarðveg og jarðvegshitastigi á 15 cm dýpi á Kröflusvæðinu sumarið 2017. Aðstæður til mælinga voru prýðilegar, veður þurrt og hægur vindur alla þá daga sem gasflæði var mælt.



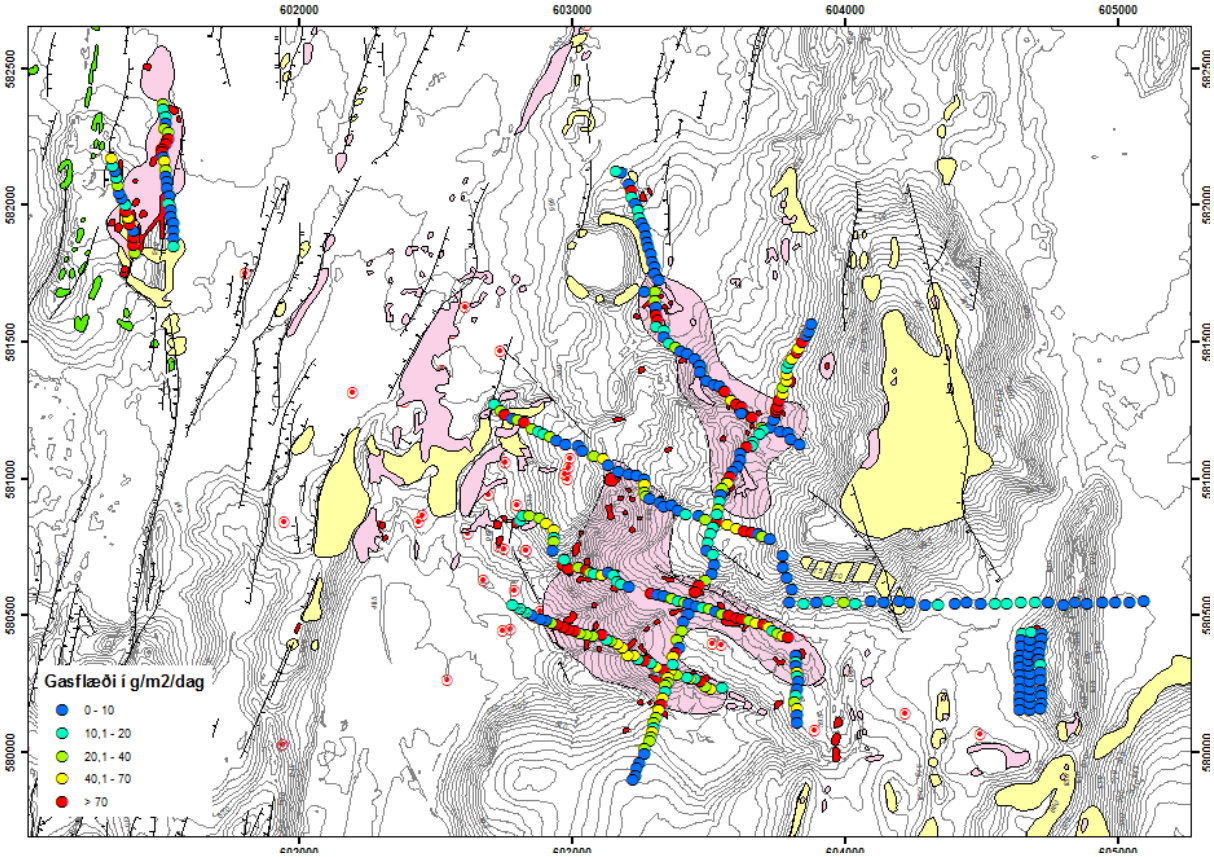
Mynd 40. *Staðsetning mælinga á jarðvegshita og koldíoxíðgasflæði um jarðveg í og við Kröflu. Mælilínurnar eru merktir svörtum bókstöfum frá A til H og J.*

Mælingarnar voru gerðar í samtals 360 mælipunktum og var koldíoxíðflæði um jarðveg og hitastig á 15 cm dýpi í jarðvegi mælt í hverjum punkti, yfirleitt með um 20–30 metra millibili (nema á mælilínu H, með 50 metra millibili). Notast var við stafrænan handhitamæli við jarðvegshitastigsmælingarnar en við gasflæðimælingarnar var notaður gasflæðimælir frá West Systems sem byggist á svokallaðri „closed-chamber" aðferð 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; Fridriksson o.fl., 2006; Favara o.fl., 2001). Gasflæðimælinn má sjá á mynd 41.

Mynd 41. *Gasflæðimælirinn sem notaður var til mælinga á Kröflusvæðinu.*

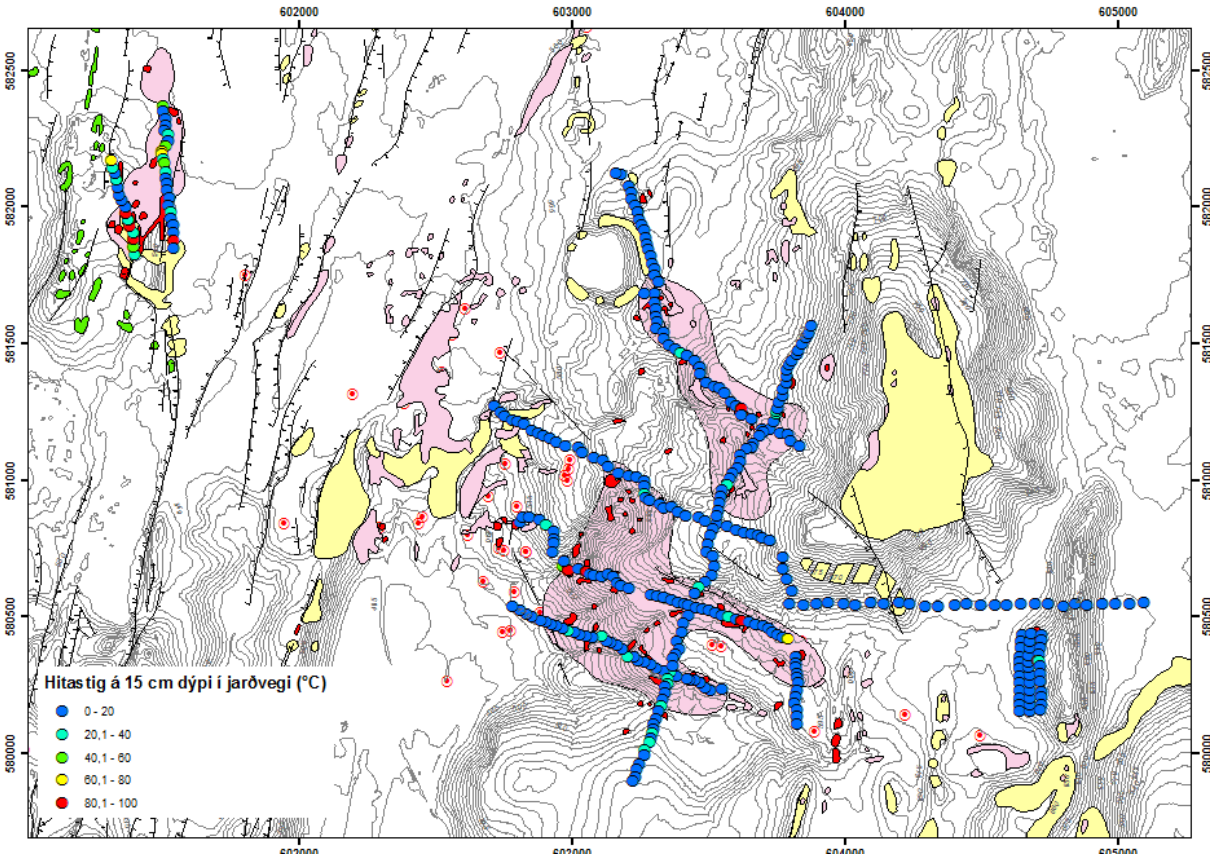
Þessi aðferð við gasflæðimælingar um jarðveg er notuð víða um heim, einkum á jarðhitasvæðum og við eldstöðvar, og má teljast áreiðanleg þar sem endurteknar mælingar gefa sambærilegar niðurstöður nema í kjölfar mikillar úrkomu sem getur dregið úr gasflæði í skamman tíma (Granieri o.fl., 2003). Sömu aðferðir og tækjabúnaður hefur verið notaður í öllum mælingum sem gerðar hafa verið í Kröflu, Námafjalli og á Þeistareykjum á síðustu 13 árum.

Niðurstöður mælinganna voru settar fram myndrænt á kortum, annars vegar kort fyrir koldíoxíðflæði og hins vegar kort fyrir jarðvegshita. Gasflæði í og við Kröflu mældist víða töluvert hátt 2017 og má sjá gildi mælipunktanna á mynd 42. Fyrri niðurstöður frá Kröflu (Ármannsson o.fl., 2007) hafa bent til þess að gasflæði um yfirborð, þar sem jarðhitaáhrifa gætir ekki, er á bilinu 1,6–6 (g/m^2)/dag og er þar um að ræða bakgrunnsgildi svæðisins (t.d. af völdum gróðurþekju eða lífvera). Í tæplega 70% tilvika voru mæligildi yfir bakgrunnsgildum og í sumum tilfellum mældist koldíoxíðflæði mjög hátt. Öflugt koldíoxíðflæði kom fram á öllum mælilínum nema línu H sem teygir sig austur yfir Hrafntinnuhrygg, þar sem gasflæðigildið fór aldrei yfir 20 (g/m^2)/dag. Í 35 mælipunktum á svæðinu, þ.e. í tæplega 10% tilvika, mældist koldíoxíðflæði mjög hátt, eða yfir 100 (g/m^2)/dag; hæsta gildið var 6680 (g/m^2)/dag og mældist sá punktur ofarlega á Leirhnjúki. Raunar mældust mörg há gasflæðigildi á Leirhnjúkssvæðinu og þar var einnig að finna hæstu jarðvegshitagildin.



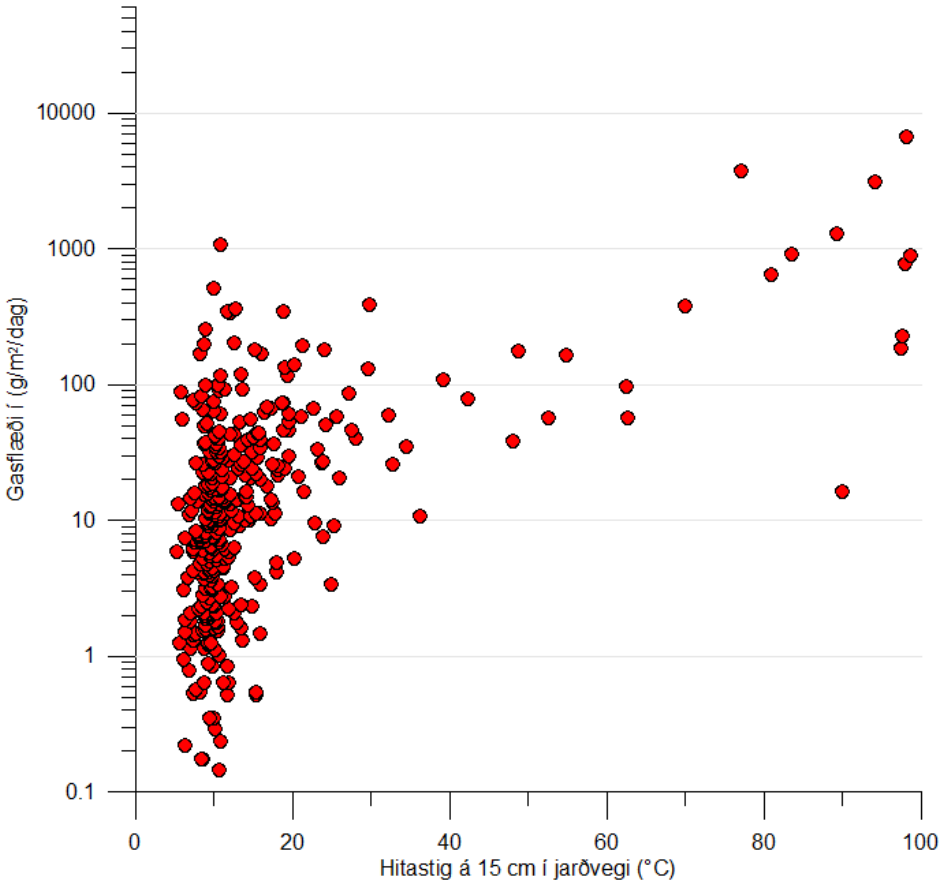
Mynd 42. *Niðurstöður gasflæðimælinga um jarðveg á Kröflu- og Leirhnjúkssvæðinu sumarið 2017.*

Á mynd 43 má sjá niðurstöður hitastigsmælinga sem gerðar voru á 15 cm dýpi í sömu mælipunktum og koldíoxíðmælingarnar. Hitastig var lágt í flestum mælipunktum, í um 87% tilvika var hitastigið undir 20°C sem er mjög svipað og í mælingunum árið 2014. Flesta heita punkta var að finna á mælilínum F og G á Leirhnjúkssvæðinu en einnig komu fram nokkrir heitir punktar á mælilínu B sem liggja í suðurhlíðum Kröflufjalls.



Mynd 43. *Niðurstöður jarðvegshitastigsmælinga á 15 cm dýpi sem gerðar voru samhliða mælingum á koldíoxíðflæði sumarið 2017.*

Þó að tengsl séu milli koldíoxíðflæðis og jarðvegshita getur komið fram munur á þessum tveimur þáttum. Athygli vekur hversu víða í Kröflu er að finna svæði þar sem koldíoxíðflæði er hátt án þess að því fylgi hækkaður jarðvegshiti eða áberandi jarðhitaummerki á yfirborði. Líklegt er að þetta stafi af frekar háum gasstyrk í gufunni á svæðinu (sbr. sýni úr gufuaugum í suður- og vesturhlíðum Kröflu) og því að hún þéttist frekar djúpt þannig að varminn skilar sér ekki til yfirborðs. Þetta kemur skýrt fram á mynd 44 þar sem sést að í langflestum mælipuntum er hitastig lágt en í slíkum punktum getur koldíoxíðflæðið orðið verulega hátt, eða yfir 100 (g/m^2)/dag þrátt fyrir að hitastig sé undir 20°C. Þessu er misjafnlega farið milli jarðhitasvæða og er þetta lága jarðvegshitastig en frekar mikla koldíoxíðflæði nokkuð einkennandi fyrir Kröflu.



Mynd 44. *Gasflæði um jarðveg og jarðvegshiti í Kröflu 2017.*

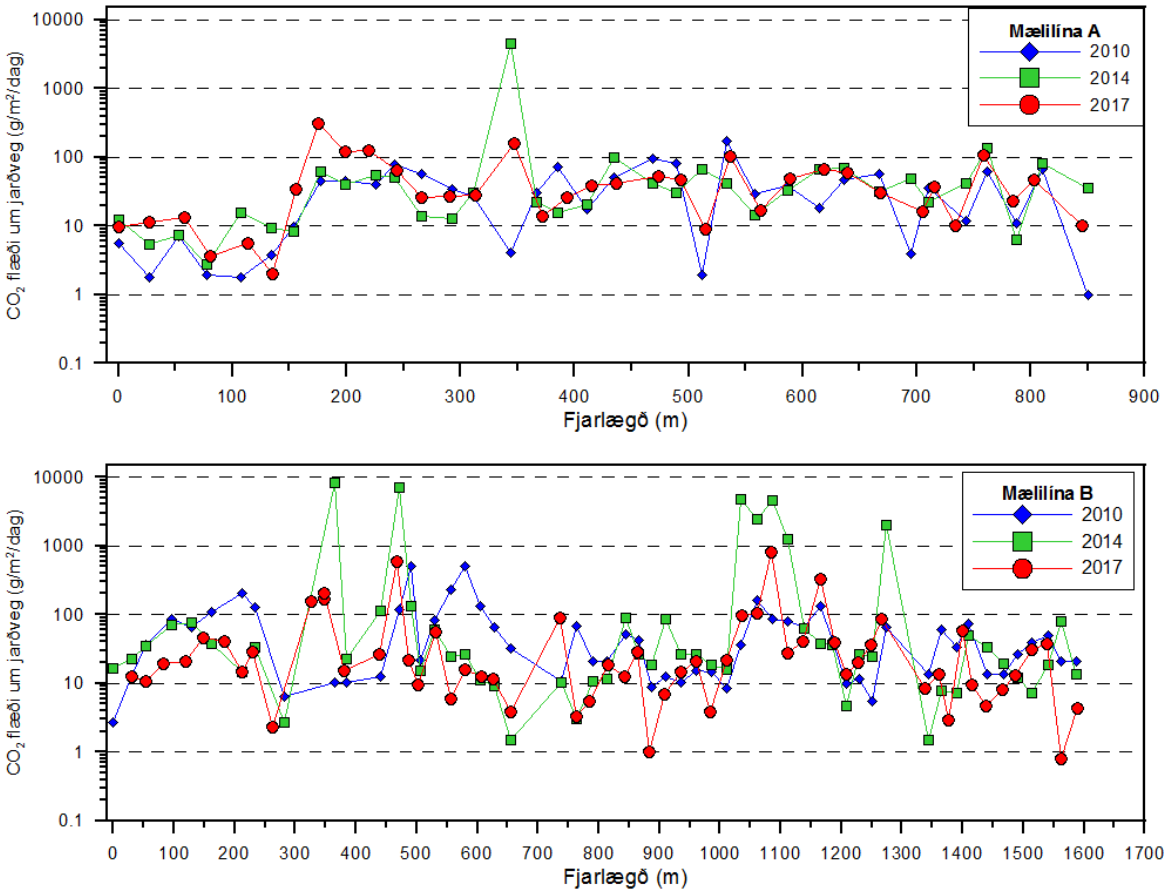
Niðurstöður frá 2017 voru bornar saman við fyrri niðurstöður frá árinu 2014 og við elstu niðurstöðurnar sem voru ýmist frá 2004, 2005 eða 2010 (sjá mynd 45). Mælt var í sömu mælipunktum á hverri mælilínu og áður, og sömu mælitæki og aðferðafræði notuð. Til að bera saman þessi gögn voru gerð línurit fyrir 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 (mælilínur A, B, C, D, H og J1, J2 og J3) og frá norðri til suðurs (mælilínur E, F og G). Gasflæðigildin (y-ás) eru sýnd á lograskala.

Samanburður á koldíoxíðflæði í eldri mælingum og mælingunum frá því sumarið 2017 sýna að í fæstum tilfellum er um miklar breytingar að ræða. Mjög víða er tiltölulega lítill munur á gildum frá fyrri árum og í þeim tilfellum þar sem mismunur á nýju mælingunum og þeim eldri er afgerandi eru gildin ýmist hærri eða lægri en áður. Þó ekki séu sjáanlegar miklar breytingar á svæðinu er meðalflæði í mældum punktum töluvert lægra árið 2017 (~89 (g/m^2)/dag) en árið 2014 (~300 (g/m^2)/dag) og munar þar mestu um örfá en verulega há mæligildi frá 2014 sem hækka meðaltalið snarlega en meðaltalsgildi frá 2017 er sambærilegt við meðalflæði elstu mælinganna (~76 (g/m^2)/dag).

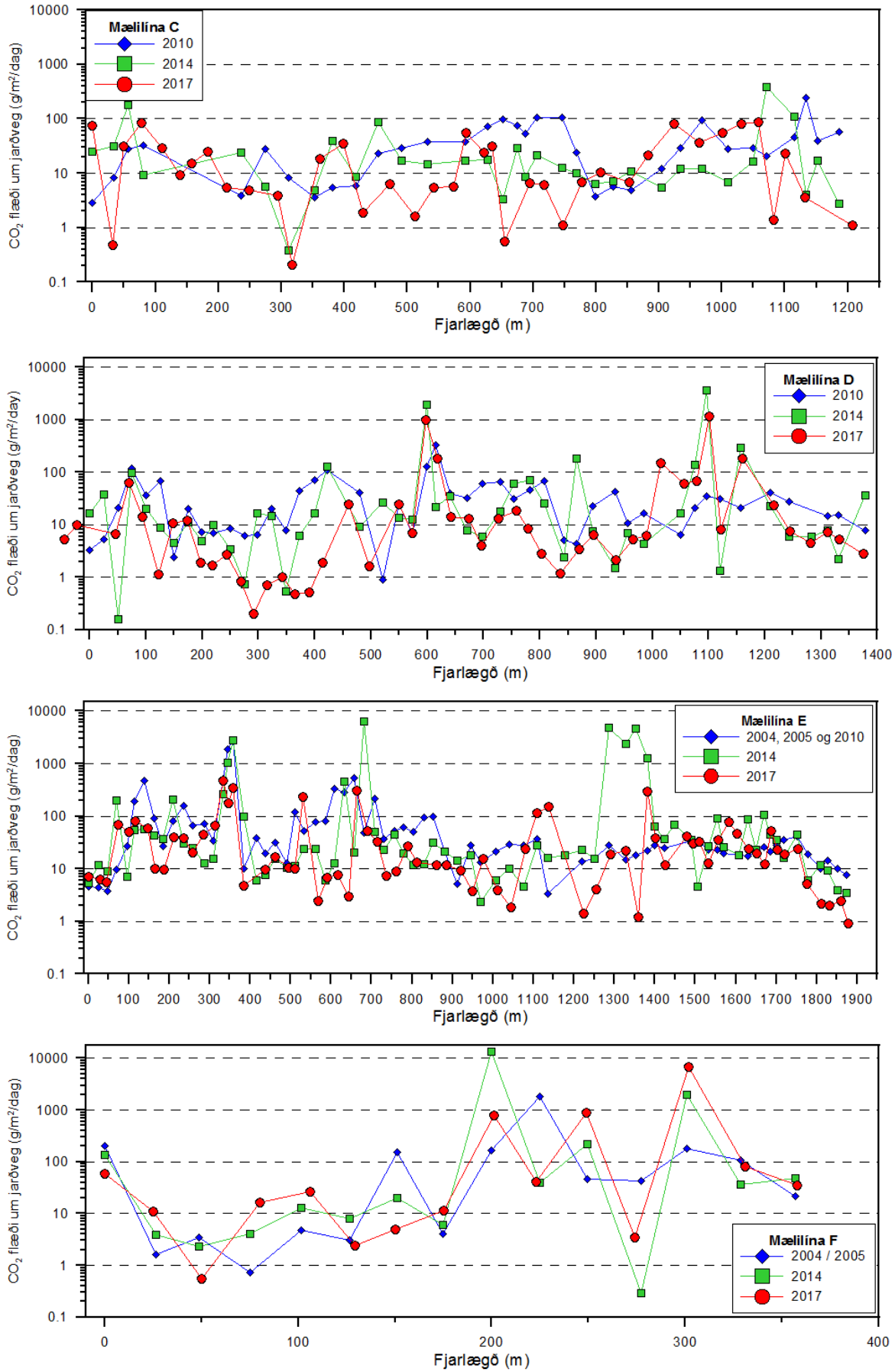
Stakir punktar vekja að öllu jöfnu ekki sérstaka athygli þar sem óvissa í GPS-mælingum veldur því að ekki er hægt að tryggja að mælt sé í nákvæmlega sömu punktum frá ári til árs. Hins vegar koma líka fram breytingar á nokkrum samliggjandi punktum sem vekur ívið meiri athygli. Dæmi um slíkt er að finna á mælilínu A, í um 200 m fjarlægð frá vestasta punkti. Punktarnir eru ekki sérlega áberandi á grafinu en hafa skal í huga að y-ásinn er lograskali og

breytingarnar eru því meiri en virðist í fyrstu. Hins vegar koma ekki fram neinar breytingar í hitastigi á þessu svæði.

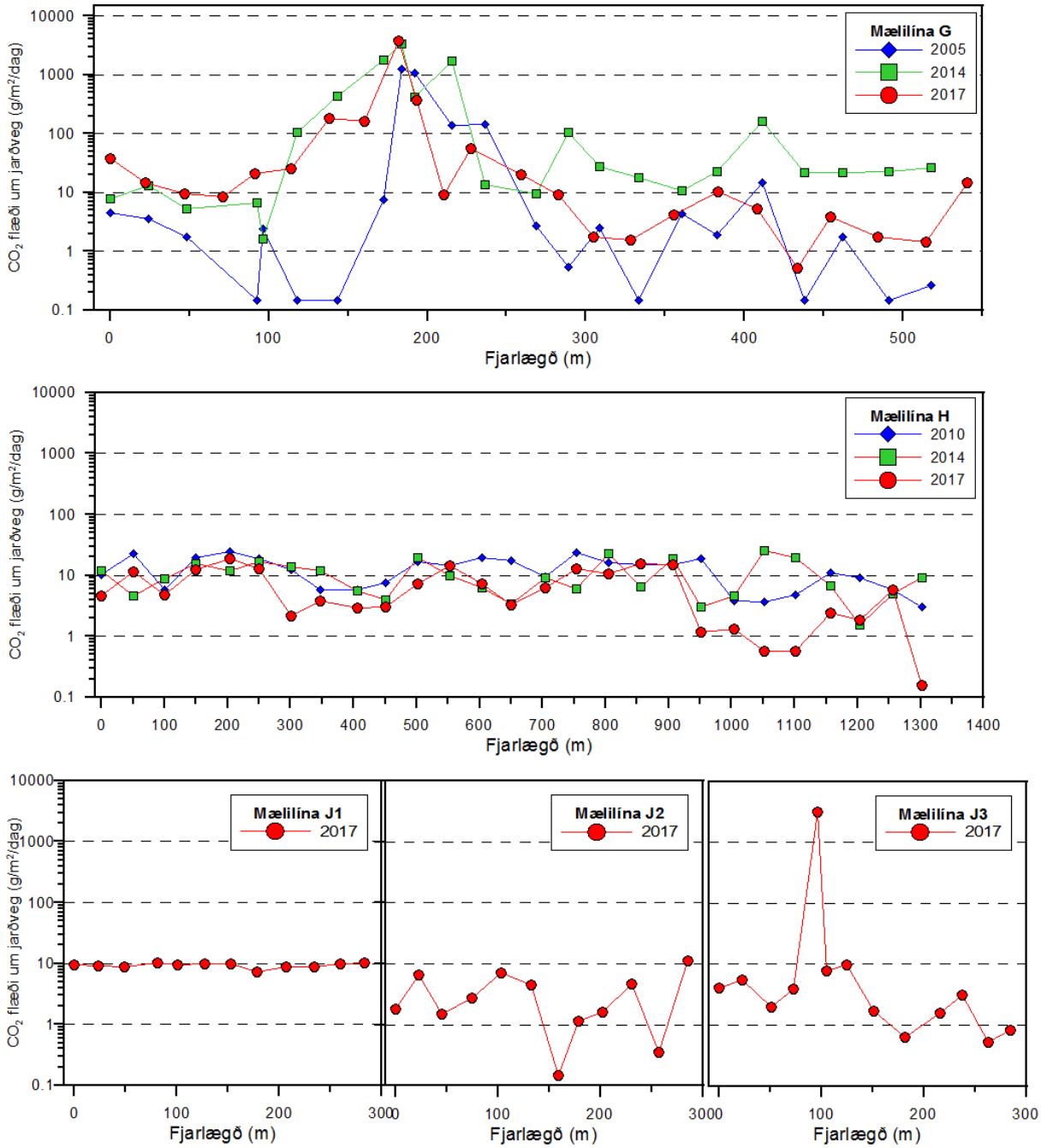
Hitastigsmælingarnar voru unnar á sama hátt og samanburður var einnig gerður á jarðvegshitastigsmælingum frá 2017 við eldri mælingar (niðurstöðurnar má sjá á mynd 46). Í heildina koma afskaplega litlar breytingar fram og næstum einungis um að ræða smávægilegar breytingar í stökum punktum. Syðst á mælilínu G, í Leirhnjúki, má benda á einn slíkan punkt þar sem hitastig mældist tæplega 90°C en ekkert hafði komið þar fram í fyrri mælingum. Í mælingunum frá 2014 komu fram áberandi breytingar á mælilínu B og E þar sem nokkrir samliggjandi mælipunktar í röð sýndu allir mikla aukningu á bæði koldíoxíðflæði og jarðvegshitastigi. Á því svæði hafði ekki orðið vart við breytingar í yfirborðsvirkni. Á mælilínu B kemur fram nokkuð svipuð niðurstaða sumarið 2017 og áður, koldíoxíðflæði hefur þó frekar minnkað en hitastigið er enn hátt í sömu punktum. Á mælilínu E sést ekki lengur tangur né tetur af þessari auknu virkni sem kom fram árið 2014, hvorki í gasflæðimælingum né hitastigsmælingum. Mælingar á J-línunum voru sérstaklega staðsettar yfir þekktan jarðhitastað í Hrafntinnuhrygg og þó að jarðhitavirknin sé ekki sérlega áberandi kemur fram gasflæði og hátt hitastig þar.



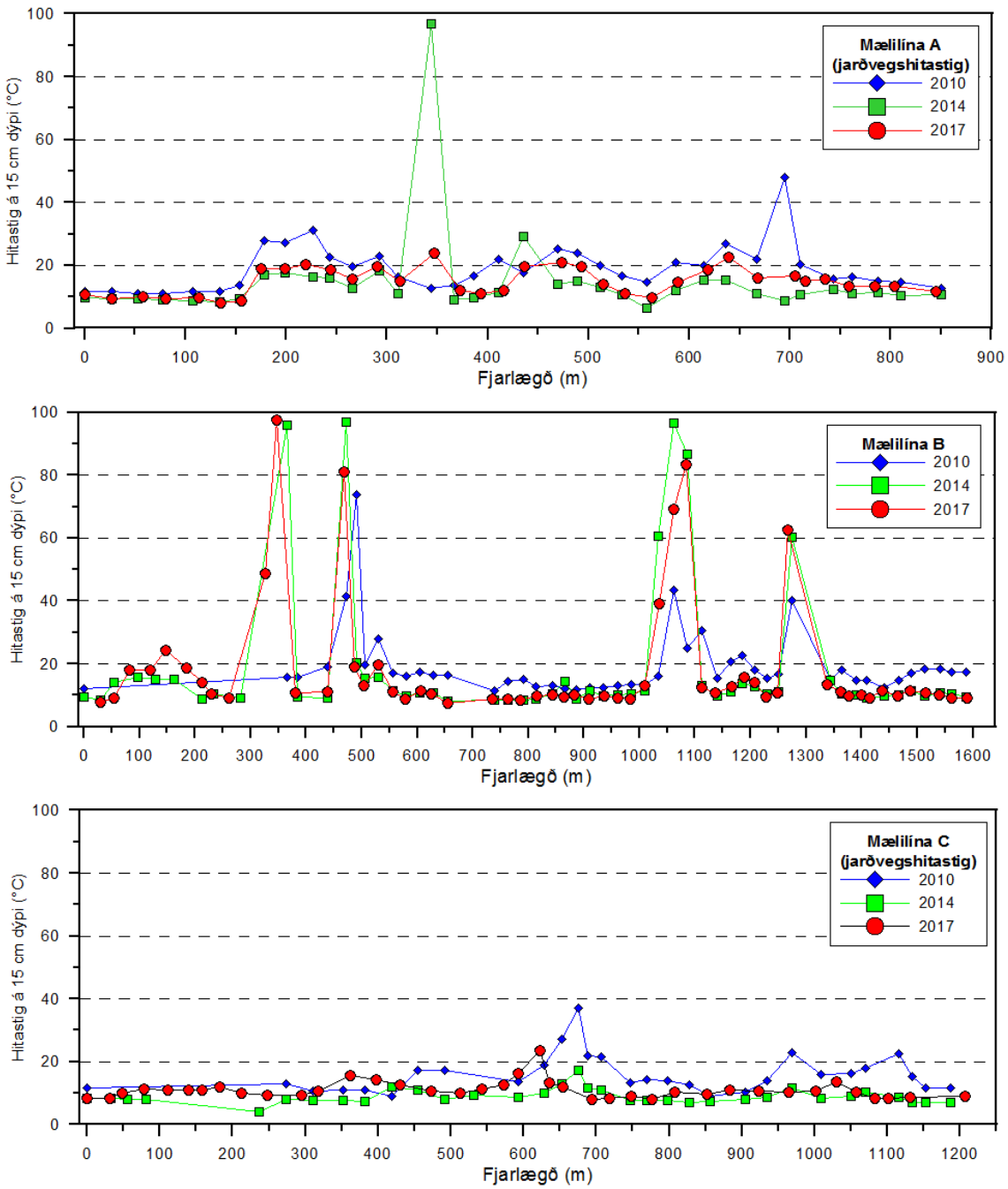
Mynd 45. *Línurit sem sýna samanburð á koldíoxíðflæði um jarðveg á öllum átta mælilínunum sem mældar voru sumarið 2017, samanborið við eldri mælingar frá 2004, 2005, 2010 og 2014.*


Mælilína C
2010
2014
2017
CO2 flæði um jarðveg (g/m²/dag)
Fjarlægð (m)
Mælilína D
2010
2014
2017
CO2 flæði um jarðveg (g/m²/day)
Fjarlægð (m)
Mælilína E
2004, 2005 og 2010
2014
2017
CO2 flæði um jarðveg (g/m²/dag)
Fjarlægð (m)
Mælilína F
2004 / 2005
2014
2017
CO2 flæði um jarðveg (g/m²/dag)
Fjarlægð (m)

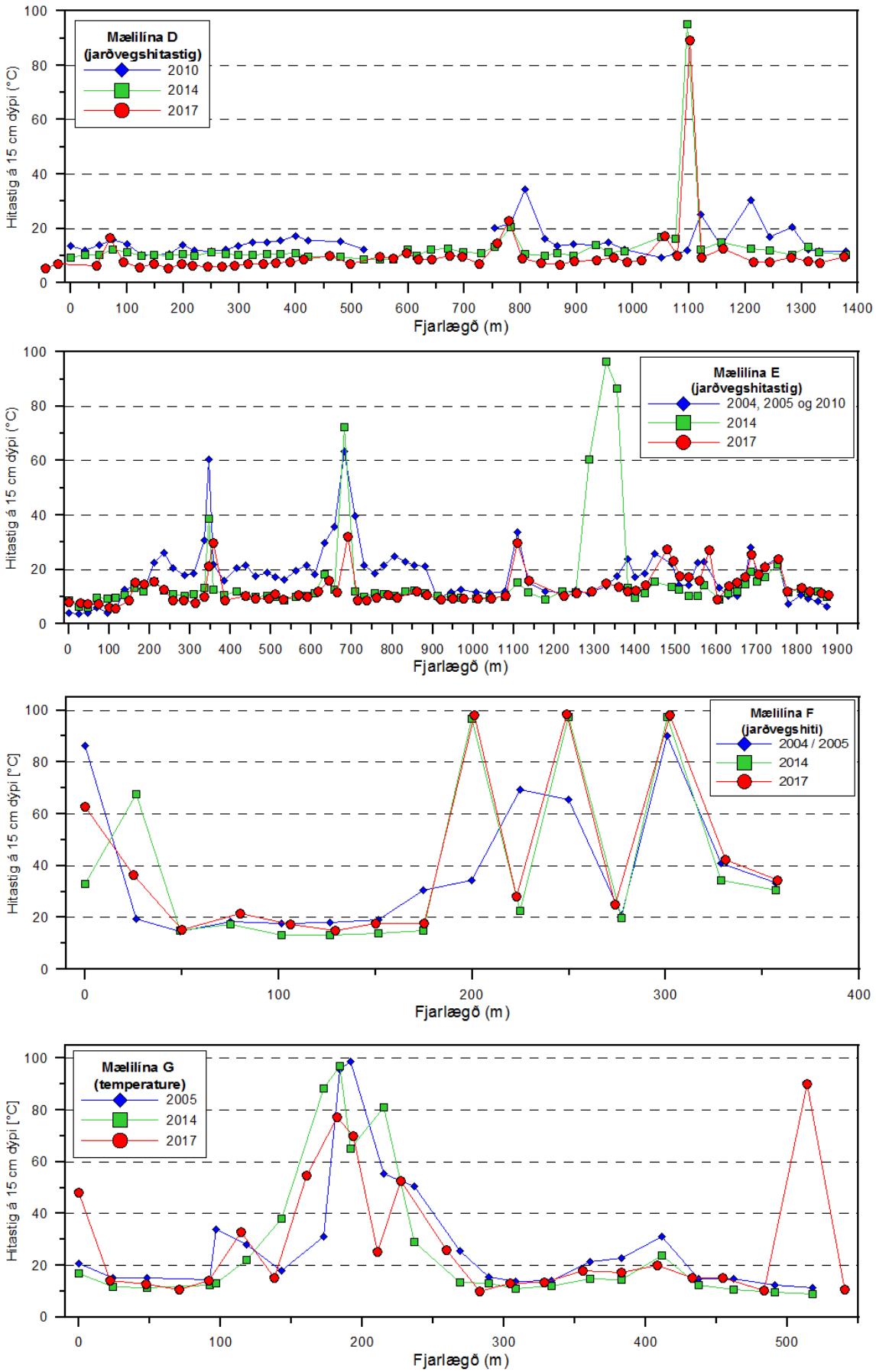
Mynd 45. *(Frh.)*


Mælilína G
2005
2014
2017
CO2 flæði um jarðveg (g/m2/dag)
Fjarlægð (m)
Mælilína H
2010
2014
2017
CO2 flæði um jarðveg (g/m2/dag)
Fjarlægð (m)
Mælilína J1
2017
Mælilína J2
2017
Mælilína J3
2017
CO2 flæði um jarðveg (g/m2/dag)
Fjarlægð (m)
Fjarlægð (m)
Fjarlægð (m)

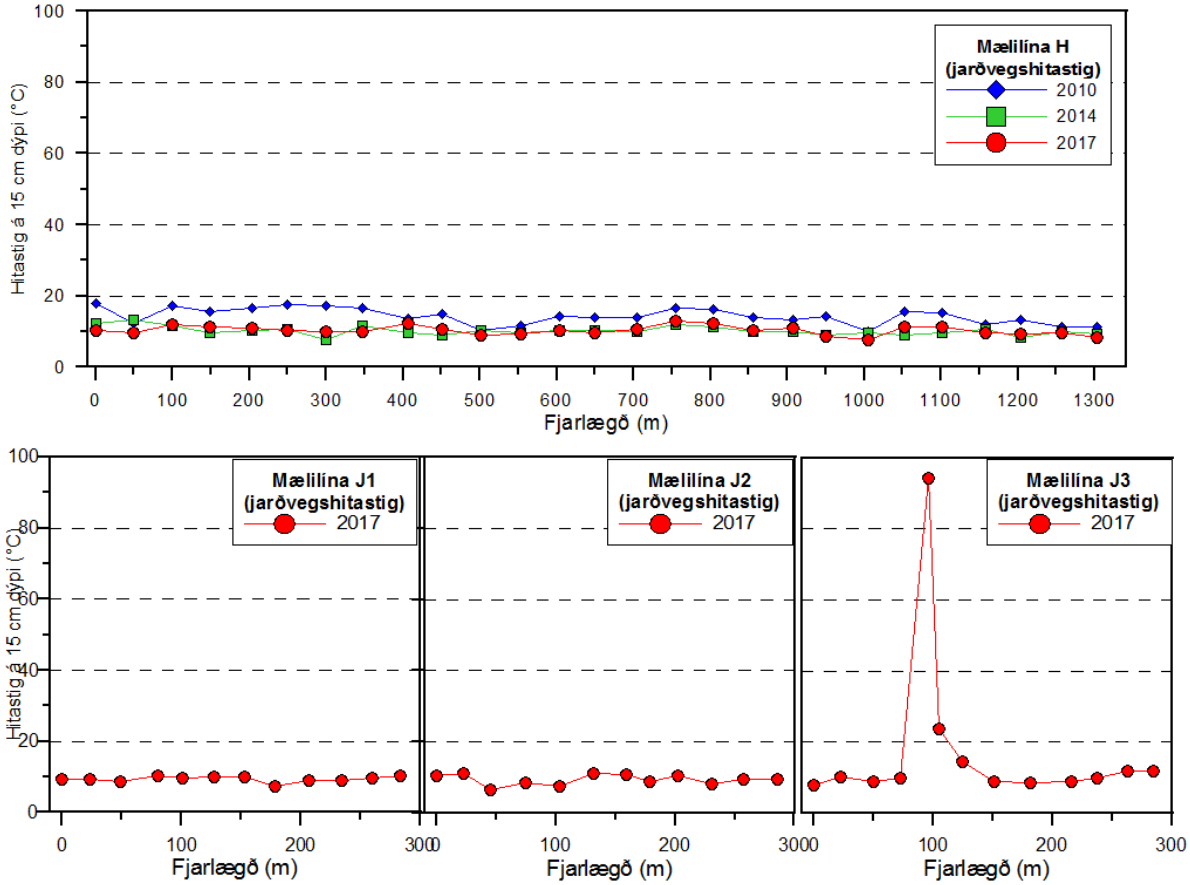
Mynd 45. *(Frh.)*



Mynd 46. *Línurit sem sýna samanburð á hita á 15 cm dýpi í jarðvegi á öllum 11 mælilínunum sem mældar voru sumarið 2017, samanborið við eldri mælingar frá 2004, 2005, 2008, 2010 og 2014.*

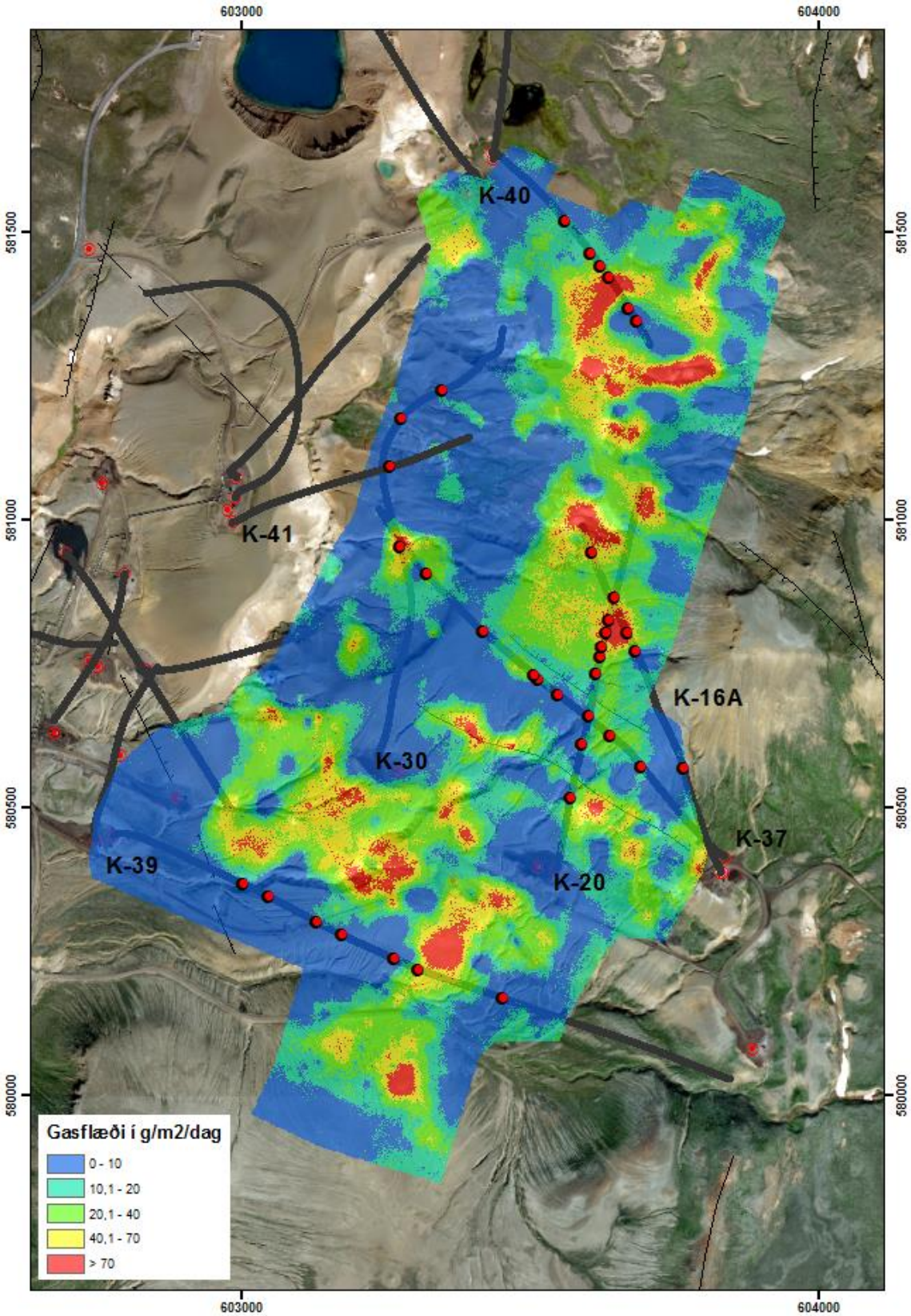

Mælilína D
(jarðvegshitastig)
2010
2014
2017
Hitastig á 15 cm dýpi (°C)
Fjarlægð (m)
Mælilína E
(jarðvegshitastig)
2004, 2005 og 2010
2014
2017
Hitastig á 15 cm dýpi (°C)
Fjarlægð (m)
Mælilína F
(jarðvegshiti)
2004 / 2005
2014
2017
Hitastig á 15 cm dýpi [°C]
Fjarlægð (m)
Mælilína G
(temperature)
2005
2014
2017
Hitastig á 15 cm dýpi [°C]
Fjarlægð (m)

Mynd 46. *(Frh.)*



Mynd 46. *(Frh.)*

Eins og áður kom fram er frekar einkennandi fyrir Kröflusvæðið hversu hitastig í jarðvegi er víða lágt en gasflæðið fremur hátt. Hugsanlegar ástæður fyrir þessu er þær að gasstyrkur (út frá niðurstöðum í gufuaugum) er frekar hár í Kröflu, sérstaklega í suður- og vesturhlíðum Kröflufjalls. Einnig er varmarýmd lausa jarðvegarins væntanlega lítil og jarðvegurinn leiðir því hitann treglega til yfirborðs. Mælingarnar frá 2004, 2005 og 2008 voru gerðar á samfelldu mælineti sem nær yfir suður- og vesturhlíðarnar og voru þessi gögn nú, að gefnu tilefni, athuguð nánar og borin saman við gögn úr borholum. Skoðaðar voru vatnsæðar sem ákvarðaðar voru við borun holnanna og staðsetning þeirra borin saman við heildargasflæðimyndina. Þetta var svo sett fram á mynd 47 og þar má sjá að æðarnar virðast oft koma fram á þeim svæðum þar sem gasflæði á yfirborði mældist hátt sem bendir til þess að gasflæðið sé að berast upp um sprungur sem ekki eru mjög áberandi á yfirborði. Sérstaklega er áberandi stórt gasflæðisvæði sem teygir sig frá vesturhlíðum Kröflufjalls upp af Víti og suður fyrir veginn í Grænagili í stefnuna NNA-SSV. Í skýrslu um jarðhitakerfið í Kröflu þar sem teknar voru saman rannsóknir á jarðhitakerfinu og hugmyndalíkanið endurskoðað er þessi sprunga nefnd Kröflusprungan á nokkrum myndum en að öðru leyti er hún ekki nefnd. Á heildargasflæðimyndinni má jafnframt sjá hvernig gasflæðið á yfirborði fylgir ASA-VNV misgengjunum í Suðurhlíðunum en sú stefna sést einnig í sprungum á yfirborði og þar hefur einnig komið fram lekt í holum. Því miður eru ekki til mælingar þar sem mælt er á mælineti sem nær yfir vestari hluta svæðisins, t.d. vestan við Víti og Hveragil.



Mynd 47. *Niðurstöður gasflæðimælinga sem gerðar voru á mælineti á árunum 2004, 2005 og 2008. Rauðir punktar sýna æðar í holunum eins og þær voru kortlagðar við borun.*

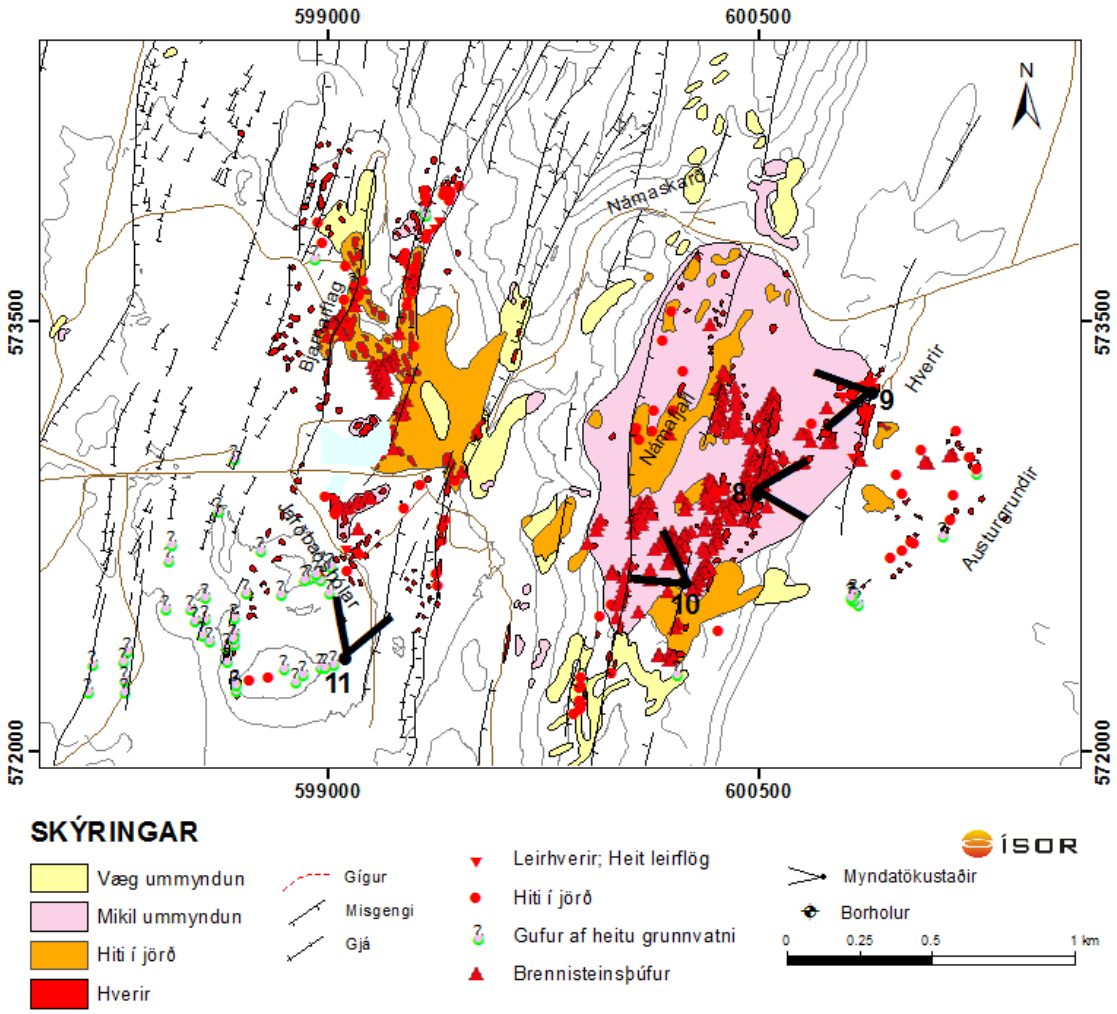
2.4.2 Samantekt

Mælingar frá árinu 2017 sýna að koldíoxíðflæði gegnum jarðveg í Kröflu er víða nokkuð líflegt og í um 70% mælipunkta komu fram koldíoxíðgildi yfir bakgrunnsgildi svæðisins. Áberandi hátt koldíoxíðflæði kom fram víða á þeim mælilínum sem mældir voru á Leirhnjúkssvæðinu (F og G) og einkennandi er hve víða er að finna hátt koldíoxíðflæði í suður- og vesturhlíðum Kröflufjalls án þess að því fylgi hækkað hitastig og stundum voru ekki heldur áberandi jarðhitaummerki á yfirborði. Þetta er einkennandi fyrir gasflæðið í Kröflu og mjög ólíkt t.d. gasflæðinu í Námafjalli og á Reykjanesi. Þegar niðurstöðurnar voru bornar saman við eldri gildi komu víðast hvar fram litlar breytingar.

3 Námafjall

3.1 Yfirborðsvirkni í Námafjalli

Námafjallssvæðið er notað sem yfirheiti um jarðhitasvæðið sem síðan 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 48). Hér á eftir er lýsing af hverju einu þeirra eins og staðan á yfirborðsvirkninni var sumarið 2016, samanborið við athuganir ÍSOR 2013 og undanfarinna ára. Farið var yfir svæðin á tímabilinu 10.–23. ágúst 2017 og jarðhitanum lýst og hann flokkaður eftir jarðhitafyrirbærum. Flokkunin er 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, 2015, 2016) en þá var farið yfir sömu svæði.



Mynd 48. *Jarðhitakort af Námafjalli með athugunum frá 2016. Farið var almennt yfir svæðið sumarið 2017 og ákveðnir staðir skoðaðir.*

3.1.1 Austurgrundir

Austurgrundir er hraunsléttan austan Námafjalls (mynd 49) en hún einkennist af fjölmörgum brennisteinsþúfum sem eru yfirleitt ekki miklu stærri en 3 m² 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 50). Syðst á svæðinu er smávægilegt og nánast lyktarlaust gufustreymi um op í hrauninu en hiti þar er 65–80°C (mynd 51).

Mynd 49. *Yfirlitsmynd af Austurgrundum tekin ofan af Námafjalli. Ljósu skellurnar sýna vel dreifingu ummyndunarskellna sem eru aðallega óvirkar brennisteinsþúfur.*

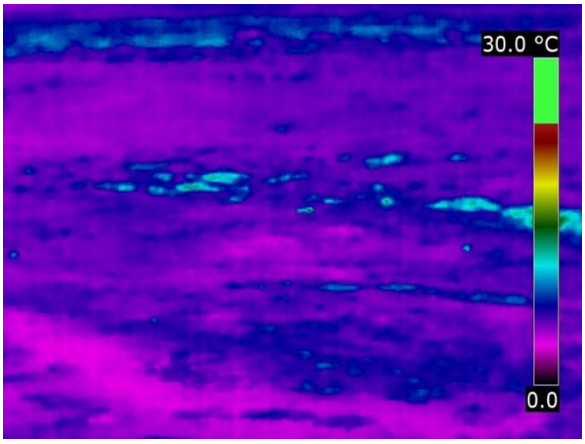
Fáar virkar brennisteinsþúfur eru á svæðinu en mun fleiri eru kaldar eða volgar. Hitamyndir staðfesta þetta vel (mynd 52). Hiti á svæðinu er hæstur nyrst og austast en lítið sem ekkert er að gerast frá virka hlutanum að Hverum. Hitamyndir staðfesta þó að nokkur velgja er í svæðinu og kom það einnig berlega í ljós í snjóafbræðslumælingum 2013 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013b).

Á Austurgrundum eru tveir staðir sem skoðaðir voru sérstaklega 2017. 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 hefur verið og óbreytt frá því í fyrra þegar farið var yfir svæðið (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2016)

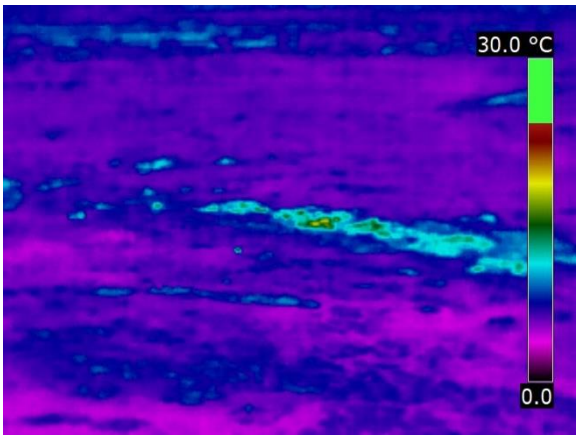
(mynd 50). Seinni staðurinn (mynd 51) er sunnarlega á svæðinu og er í raun nokkur gufuop í hrauninu á afmörkuðu svæði. Hitinn í gufuopunum er 50–80°C og gufan nokkuð stöðug. Gufan flokkast sem lyktarlaus, upphitað grunnvatn.

Mynd 50. *Virk brennisteinsþúfa nyrst á Austurgrundum með 97°C hita. Gufustreymi með brennisteinslykt kemur dreift upp um þúfuna sem einkennist af brennisteinsútfellingum.*

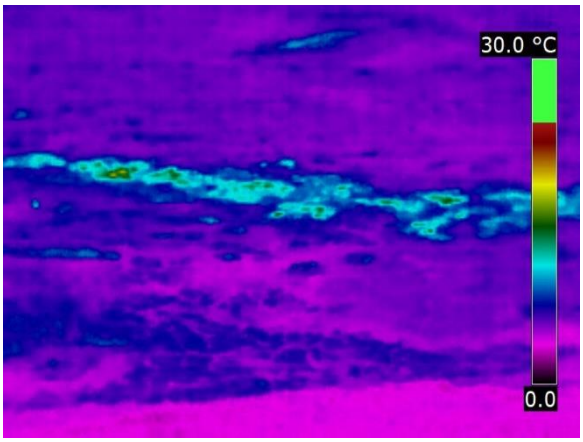
Mynd 51. *Gufustreymi syðst á Austurgrundum kemur upp um op og sprungur í hrauninu. Hiti er 50–80°C en gufan er lyktarlaus.*



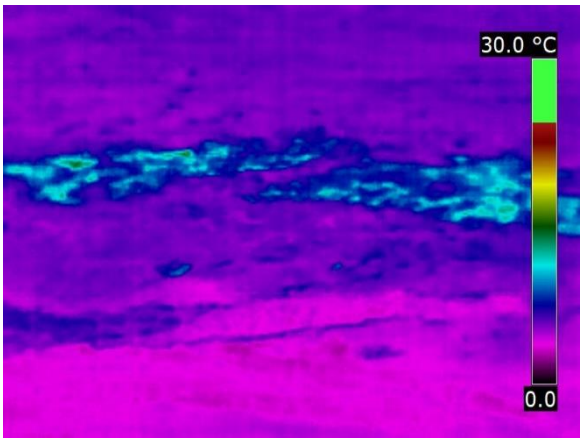
1. *Jarðhitinn á Austurgrundum frá Mið-Kollu.*



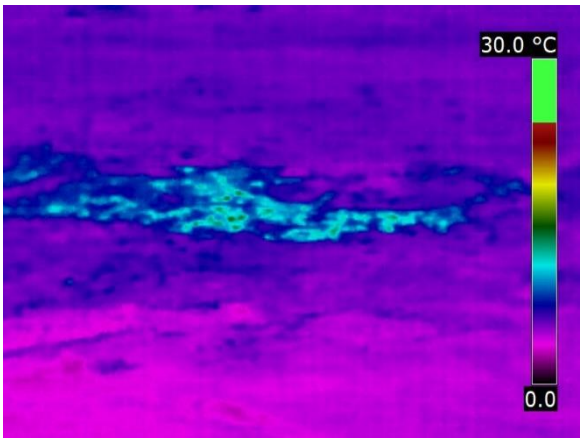
2. *Jarðhitinn á Austurgrundum frá Mið-Kollu.*



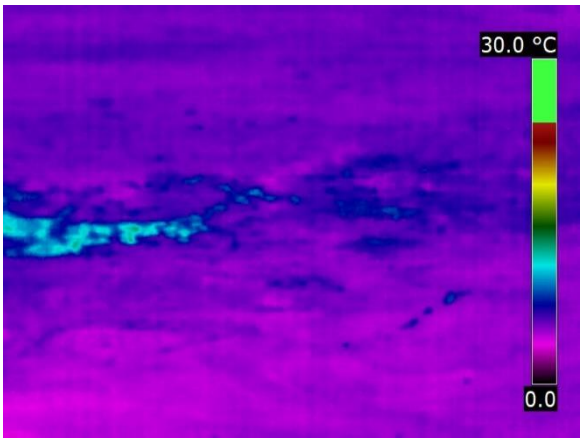
3. *Jarðhitinn á Austurgrundum frá Mið-Kollu.*



4. *Jarðhitinn á Austurgrundum frá Mið-Kollu.*



5. *Jarðhitinn á Austurgrundum frá Mið-Kollu.*



6. *Jarðhitinn á Austurgrundum frá Mið-Kollu.*

Mynd 52. *Hitamynd af Austurgrundum frá Mið-Kollu, myndatökustað 8 (sjá mynd 48). Myndirnar eru teknar frá norðaustri (hitamynd 1) og til suðausturs (hitamynd 6).*

3.1.2 Hverir

Hverir eru austan við Námafjall og næst fjallinu (mynd 53). Á svæðinu 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 að austurhlíðum Námafjalls. 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 53. *Yfirlitsmynd af Hverarönd. Gufustreymi er mest við hraunkantinn og frá gömlu borholunum uppi á kantinum*

Uppi á hraunkantinum (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 og virðist gufustreymið frá þeim vera nokkuð stöðugt. Litlar sem engar breytingar hafa verið á þeim frá fyrstu athugunum ÍSOR 2012. Engin gufuvirkni né sjáanlegur jarðhiti er á milli Hverarandar og Austurgrunda og kemur það vel fram á hitamyndunum (mynd 52).

Neðan við hraunkantinn eru leirhverir mest áberandi sem liggja flestir á svæðinu nærri hraunbrúninni. Hverirnir eru allt frá litlum opum og upp í 5 m í þvermál. Virkni í stóru hverunum einkennist af dökkgráum, bullandi leir í flestum tilfellum. Virkni þeirra er þó mismikil en mest er hún við útsýnispallinn og í næsta flagi þar suður af. Lengra til suðurs taka við brennisteinsþúfur og gufuhverir og lyktar gufan af brennisteini (mynd 54). Gufuvirknin er svipuð því sem hún var í fyrra. Nær Námafjalli koma aftur heitar skellur og brennisteinsútfellingar en þetta svæði er 100 m² 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 í flaginu neðan við hana.

Mynd 54. *Við hraunkantinn sunnarlega í Hverum. Gufuvirkni er áberandi við kantinn, brennisteinshverir syðst og fyrir miðju svæðisins en leirhverir nyrst.*

Jarðhitinn teygir sig síðan upp í tvo gilskorninga sem ganga niður úr toppi fjallsins (mynd 55). 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.

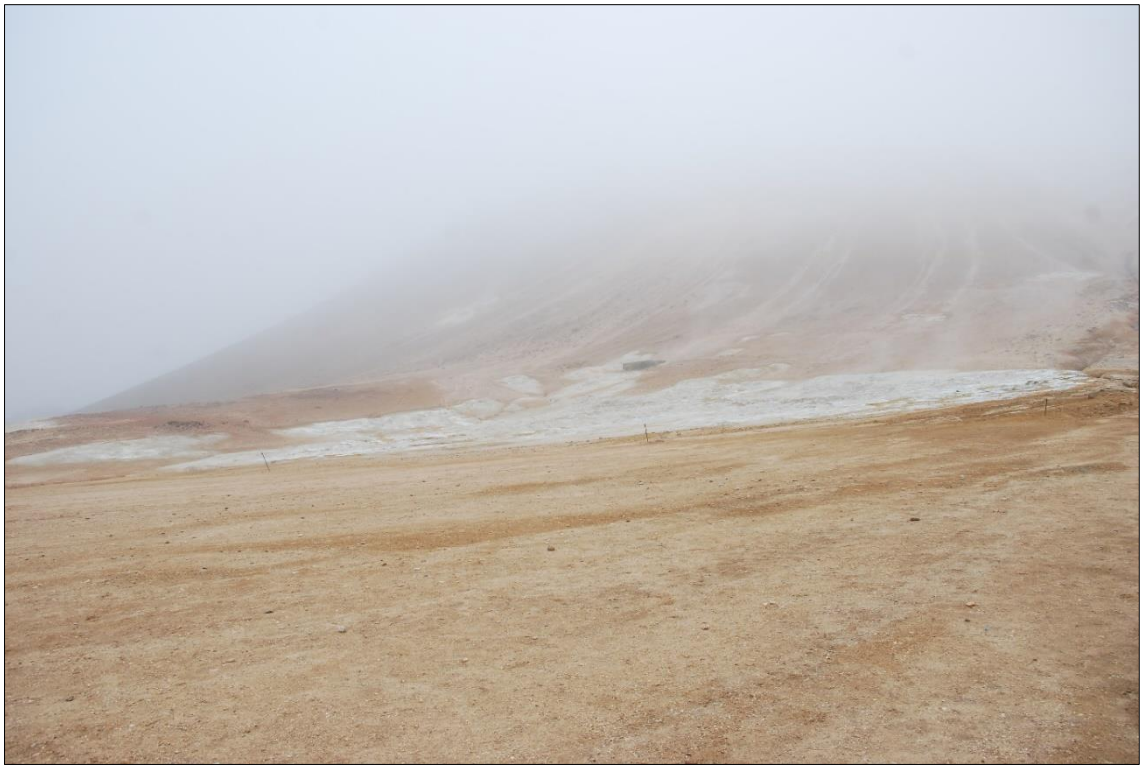
Virki jarðhitinn kemur skýrt fram á hitamyndum (mynd 57) sem teknar voru ofan af Mið-Kollu og sýna jarðhitann á sléttunni, sem og á hitamyndunum (mynd 58) sem teknar voru á útsýnispallinum við Hveri og sýna jarðhitann í austurhlíð fjallsins. Samanburður við hitamyndirnar frá fyrra ári bendir ekki til 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 í 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 en þar hefur virkni verið að aukast síðastliðin tvö ár.

Út frá yfirferðinni sumarið 2017 og samanburði við hitamyndir frá 2012, 2013, 2014, 2015 og 2016 er ljóst að ekki hafa orðið miklar breytingar á milli ára. Helst má þó nefna gufustreymi ofarlega í hlíðum fjallsins nærri Mið-Kollu en nánar er fjallað um það í kafla 3.1.3. Þó má benda á að hitinn í austurhlíð Námafjalls kemur ekki eins afgerandi fram nú í ár eins og í fyrra þó að dreifingin sé svipuð. Aftur á móti virðist virknin niðri á Hverum vera meira áberandi í ár en í fyrra (2016).

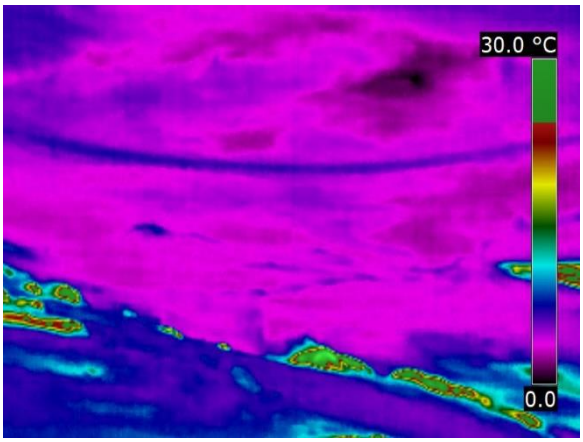
Staðir sem fylgjast ætti með eru virka svæðið við borholurnar (holur 4 og 5) í hlíðinni (mynd 56) sem og virknin í hraunstallinum meðfram göngustígnum, þ.e. leirhverirnir og gufu-

og brennisteinshverirnir. Neðarlega í hlíð fjallsins er brennisteinsþúfa (ílöng í framhaldi af virkninni í giljunum) með norðlæga stefnu sem gufar nokkuð úr.

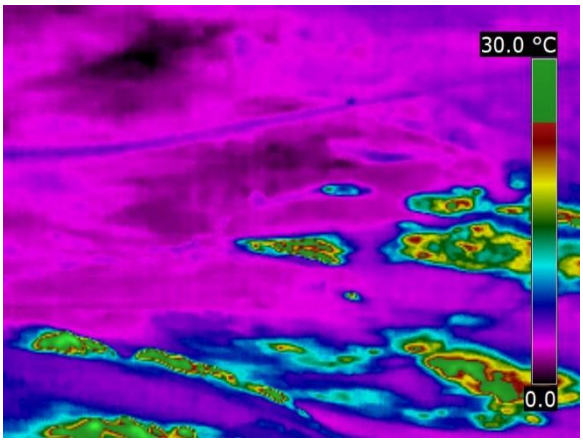
Mynd 55. *Leirhverir nærri útsýnispallinum og gilskorningarnir sem skerast upp í Námafjall á miðri mynd.*



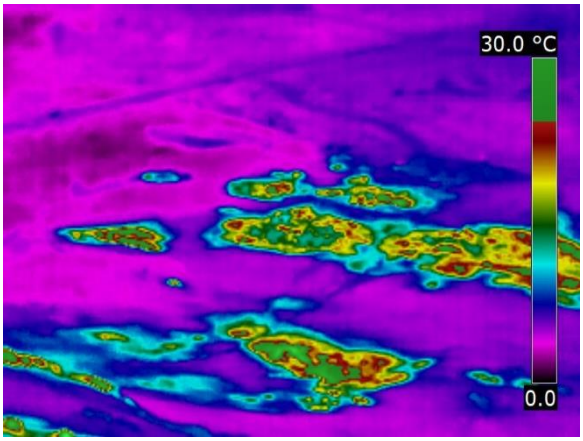
Mynd 56. *Svæðið neðan við holur 4 og 5 neðst í hlíðinni við Námafjall.*



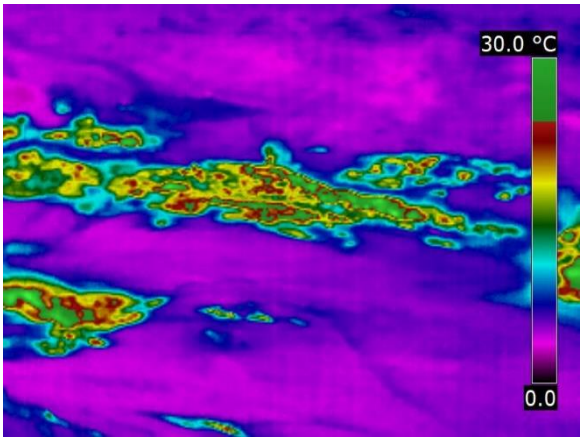
1. *Jarðhitinn á Hverum frá Mið-Kollu.*



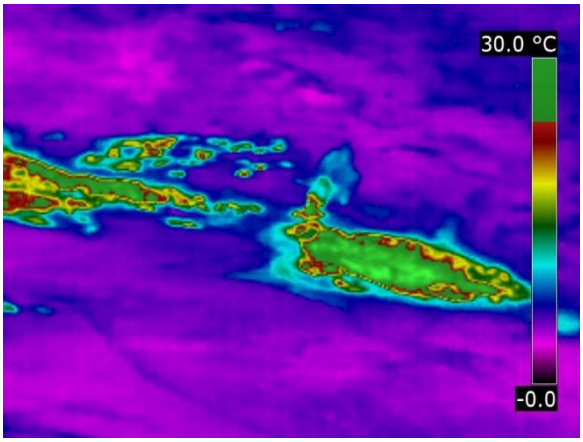
2. *Jarðhitinn á Hverum frá Mið-Kollu.*



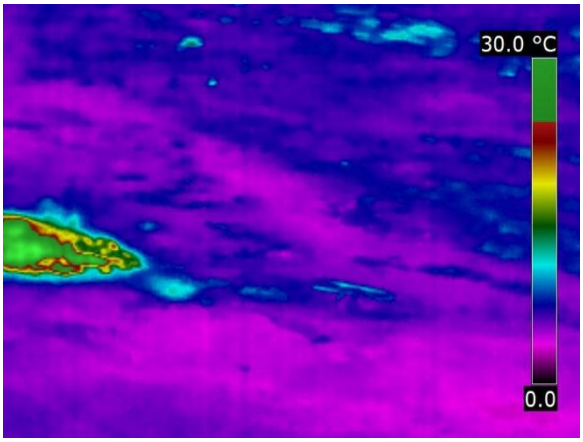
3. *Jarðhitinn á Hverum frá Mið-Kollu.*



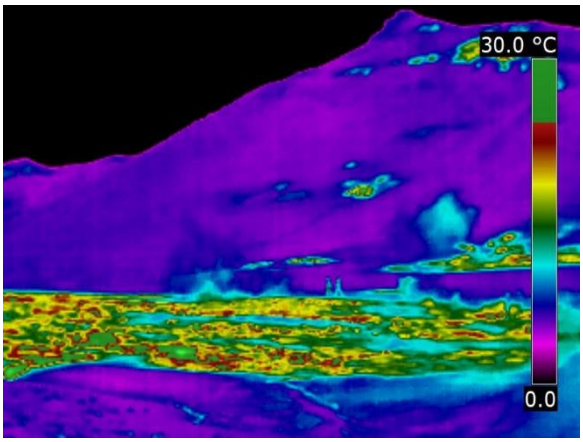
4. *Jarðhitinn á Hverum frá Mið-Kollu.*



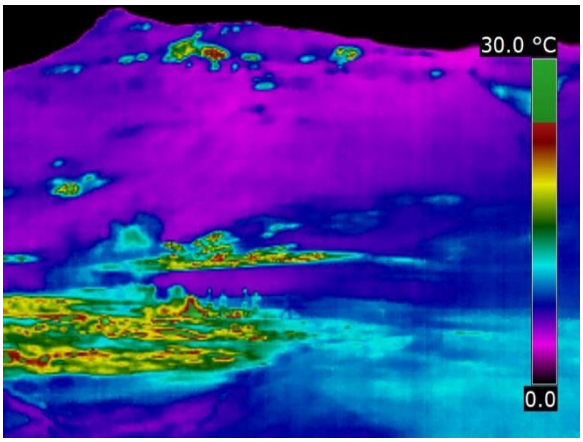
5. *Jarðhitinn á Hverum frá Mið-Kollu.*



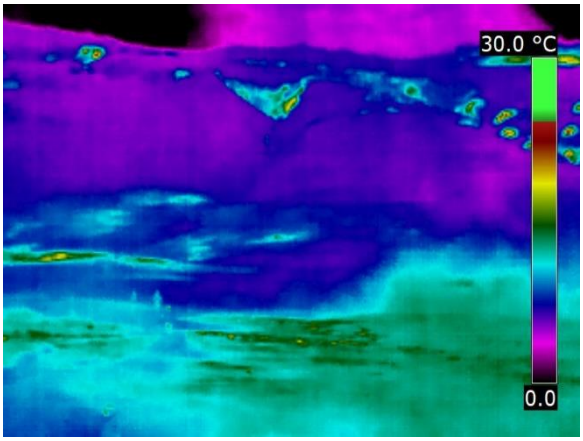
Mynd 57. *Hitamyndir af Hverum séð ofan af Mið-Kollu. Myndatökustaður 8 (sjá mynd 48), mynd 1 tekin til norðausturs en mynd 5 beint til austurs.*



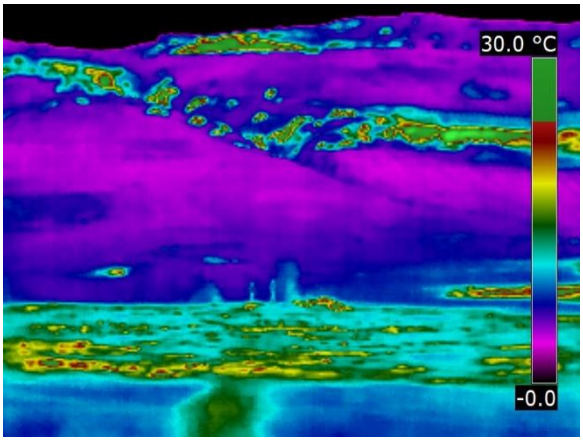
1. *Hverir og austurhlíðar Námafjalls.*



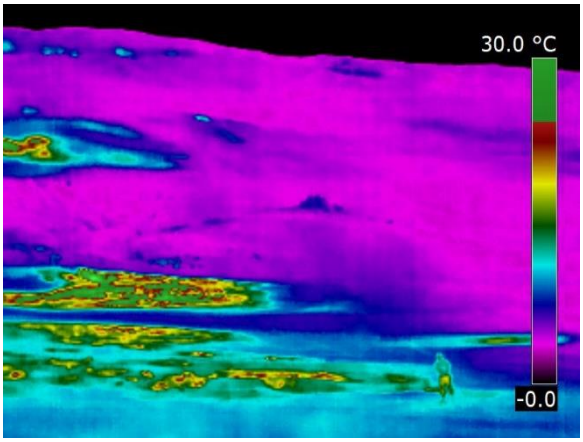
2. *Hverir og austurhlíðar Námafjalls.*



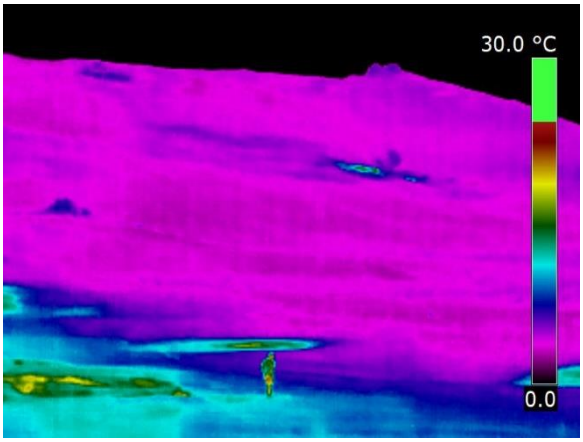
3. *Hverir og austurhlíðar Námafjalls.*



4. *Hverir og austurhlíðar Námafjalls.*



5. *Hverir og austurhlíðar Námafjalls.*



6. *Hverir og austurhlíðar Námafjalls.*

Mynd 58. *Hitamyndir af Hverum og austurhlíðum Námafjalls. Myndatökustaður 9 (sjá mynd 48). Töluverður hiti er í efri hlíðum fjallsins við misgengi en einnig er sléttan öll volg eða heit.*

3.1.3 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 við Mið-Kollu hefur verið að aukast undanfarin þrjú ár, mesta virknin er norðan við hana en einnig hefur virknin verið að aukast vestan og suðvestan við hana. Virknin við hverina sem komu upp 2008 er enn töluverð og hefur gufuvirknin aukist frá því 2012 þegar farið var yfir svæðið og enn meira en þegar myndir voru teknar sumarið 2009. Leirhverum fer fjölgandi og er svæðið allt bullandi. Svæðið virðist þó vera svipað að stærð (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2009; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a; 2013b, 2014, 2015).

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 (mynd 59). Gilin tvö sem ganga niður úr hlíðinni austanverðri eru með mest áberandi jarðhitavirkni, mest efst í fjallinu (myndir 55 og 59). Þessi virkni teygir sig síðan til suðurs og tengist að hluta virkninni efst á miðju fjallinu sem kom upp árið 2008 (mynd 60).

Mynd 59. *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 hann er breiðastur. Jarðhitavirknin á vestustu

línunni er nánast eina virknin í vestanverðu fjallinu (myndir 63 og 64) sem og nokkrar skellur sem sjást í vesturhlíðinni (mynd 65). Austan megin teygir virknin sig niður á jafnsléttu, þ.e. niður á svæðið sem kennt er við Hveri og í austurhlíð fjallsins (mynd 58).

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.

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. Svæðið verður skýrara með hverju árinu og auðir blettir sem voru á milli að hverfa. Hiti á svæðinu er >95°C (mynd 60). Svæðið norðan við Syðstu-Kollu hefur verið að auka við sig, þ.e. virkni brennisteinsþúfna hefur aukist til muna undanfarin ár (mynd 61). Lítil breyting var þó á milli ára núna.

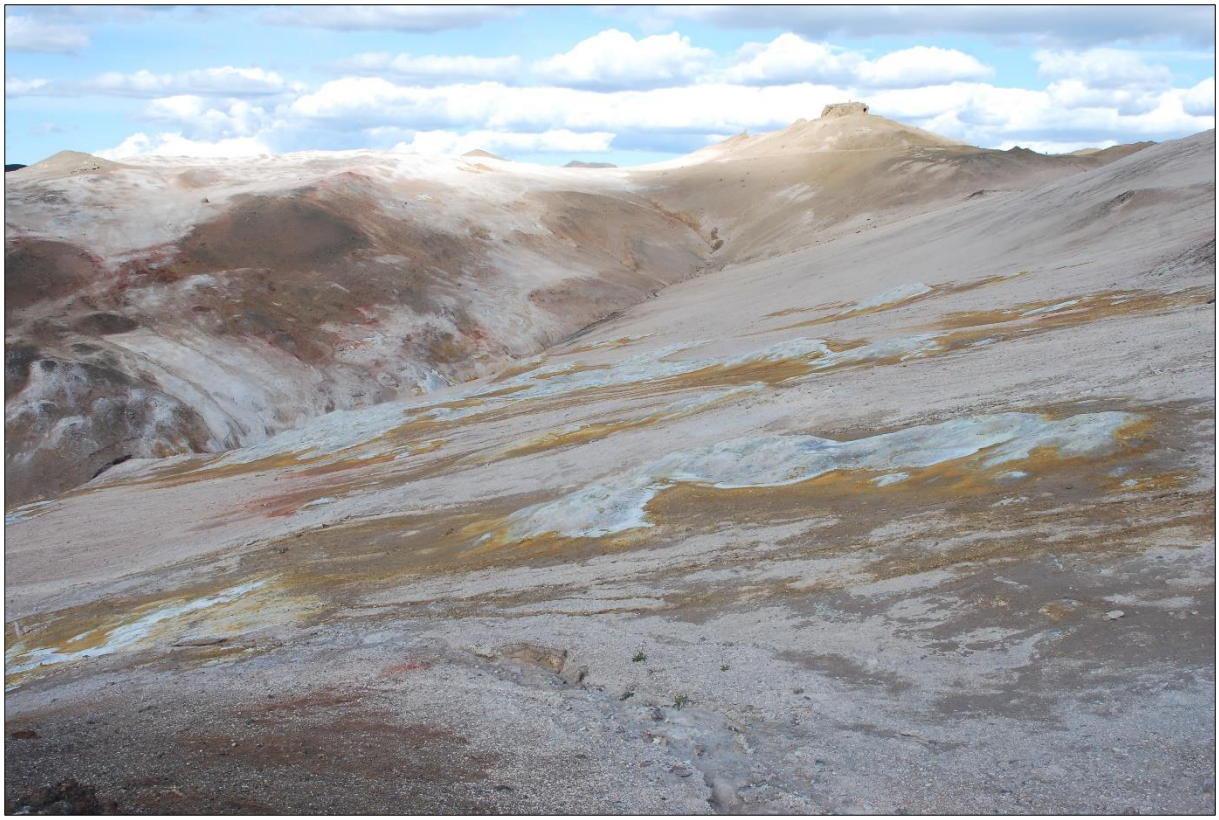
Mynd 60. *Leirhverirnir á toppi Námafjalls sem Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2009) lýstu fyrst 2008. Virknin á þessum stað hefur aukist síðan 2008 sem og á öllu fjallinu frá Mið-Kollu suður að Syðstu-Kollu (hægra megin á myndinni).*

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 62), sem og virknin í gilskorningunum sem ganga niður af Mið-Kollu nærri sýnatökustað N G-102.

Hitamyndir ofan af Syðstu-Kollu (myndatökustaður 10, mynd 48) eru ekki sýndar hér þó að staðurinn sé notaður, vegna erfiðs samanburðar (þ.e. kennileita). 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.

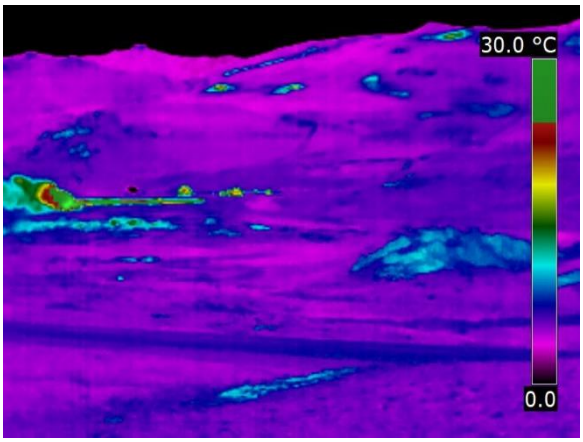
Mynd 61. *Toppur Námafjalls. Toppurinn er meira og minna sundursoðinn, leir og brennisteinsþúfur. Myndin er tekin til norðurs frá Syðstu-Kollu.*

Mynd 62. *Frá Syðstu-Kollu til suðurs. Töluvert dregur úr jarðhitavirkninni til suðurs og ummyndun verður vægari.*

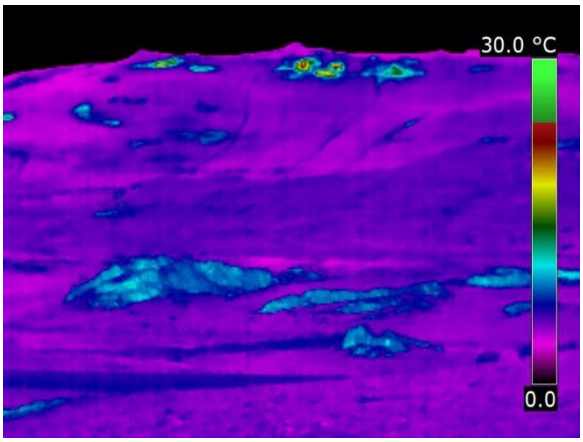


Mynd 63. *Skarðið sem gengur upp Námafjall frá vesturhluta þess. Jarðhitinn neðarlega í gilinu mögulega tengdur skilum tveggja misgengja, þ.e. NNA- og NA-broti.*

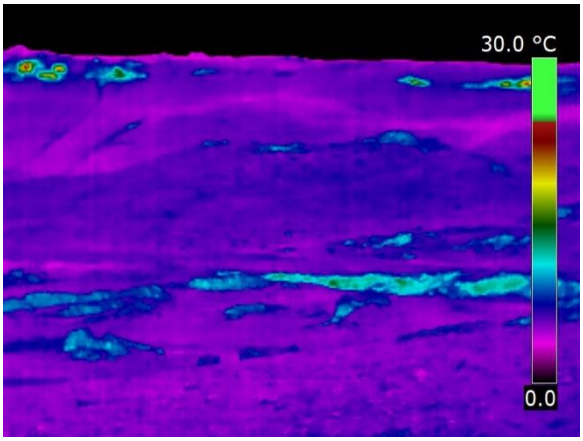
Mynd 64. *Syðsti virki jarðhitinn á vesturhluta fjallsins. Lítil sem engin gufuvirkni er á svæðinu horft til suðurs.*



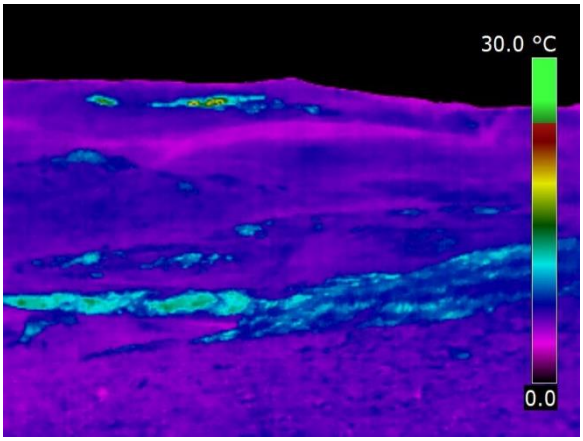
1. *Vesturhlíðar Námafjalls. Hola B-12 vinstra megin á mynd.*



2. *Vesturhlíðar Námafjalls.*



3. *Vesturhlíðar Námafjalls.*



4. *Vesturhlíðar Námafjalls.*

Mynd 65. *Hitamyndir af vesturhlíðum Námafjalls teknar frá myndatökustað 11 á mynd 48. Hitamynd 1 er tekin til ANA en myndirnar hliðrast svo til suðausturs.*

3.1.4 Bjarnaflag

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 (myndir 66 og 67). 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 68). Framhald vestara brotsins kemur fram með stórri brennisteinsskellu sunnan við veginn að skiljustöðinni (mynd 69) en hún heldur slitrótt áfram til suðurs niður að lóninu.

Virknin er einnig töluverð sunnan við holu B-9 og að holu B-4 og hefur lítið breyst frá 2013. Virknin frá Gamla bakaríinu og til norðurs er svipuð en þó hefur gufuvirkni sem og virknin í heitum leirfláka með brennisteinsskellum ofan við bakaríið verið að aukast (myndir 70 og 71). Umfang sölnaðs gróðurs ofan við Gamla bakaríið hefur ekki aukist að neinu ráði 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 66).

Mynd 66. *Séð upp gilið við holu B-9. Virknin nær u.m.b. 800 m upp gilið. Heitar skellur með brennisteini og hverasöltum einkennir jarðhitann.*

Mynd 67. *Séð niður gilið við holu B-9 (sjá mynd 66). Virknin er mest austan í því en vestan í því er jarðhitavirknin slitrótt.*

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 70) og framhald jarðhitans þar norður af. Gufuvirkni, brennisteinn og hverasölt í heitum skellum í gilinu við sýnatökustað G-103 (mynd 66). Gufusprengigígurinn (GB-5) 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 68).

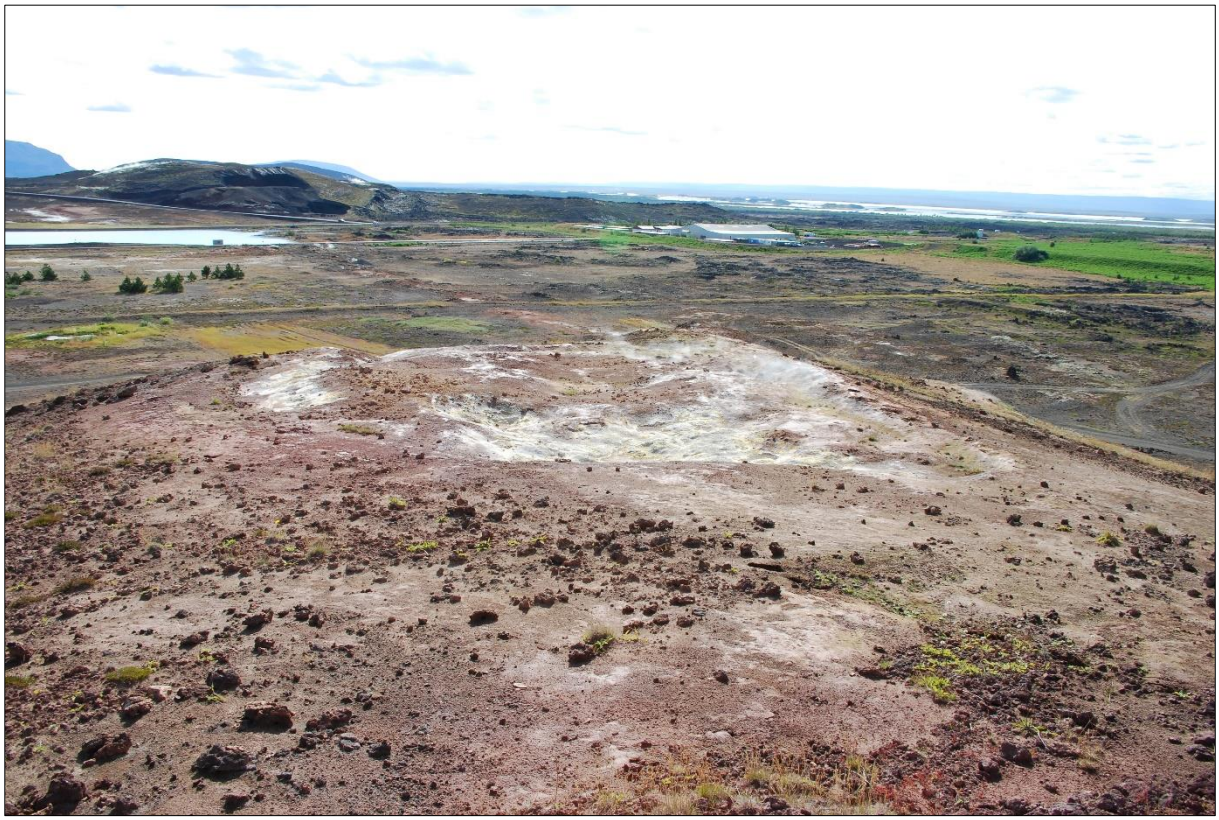
Hitamyndir af Bjarnarflagi (mynd 72) voru teknar ofan af mön við vinnubúðir Landsvirkjunar (gömlu Kísiliðjuna) vestan Bjarnarflags. Myndirnar eru teknar frá norðri til austurs og sýna ágætlega jarðhitann á svæðinu en ekki þó jarðhitann sem er inni í giljum (t.d. í gilinu inn af holu B-9). Norðan við Gamla bakaríið eru heitir blettir (mynd 72, 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 ÍSOR 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, 2015).

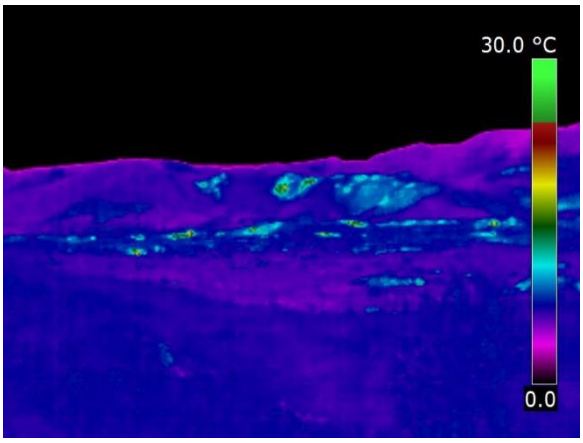
Mynd 68. *GB-4. Í framhaldi af gilinu austan við B-9. Þó nokkur gufuvirkni, brennisteinn, hverasölt og myndlaus kísill.*

Mynd 69. *Virknin við holu B-4. Brennisteinn og myndlaus kísill. Svipuð virkni og hefur verið undanfarin ár.*

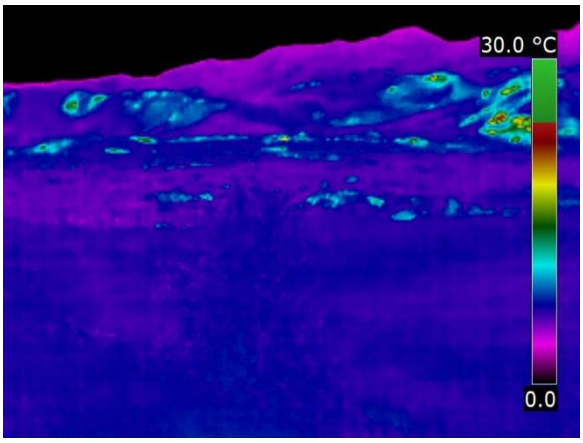
Mynd 70. *GB-5. Virkni við Gamla bakaríið er svipuð og síðustu tvö ár.*



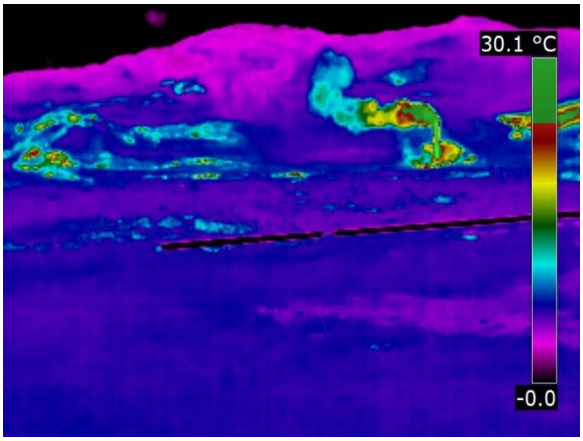
Mynd 71. *Svæðið ofan (norðan við) Gamla bakaríið. Heitur leir með brennisteinsskellum. Hefur heldur sigið frá því í fyrra.*



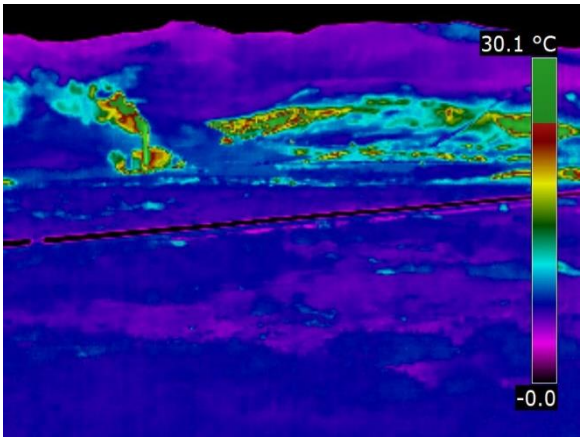
1. *Bjarnarflag til norðurs.*



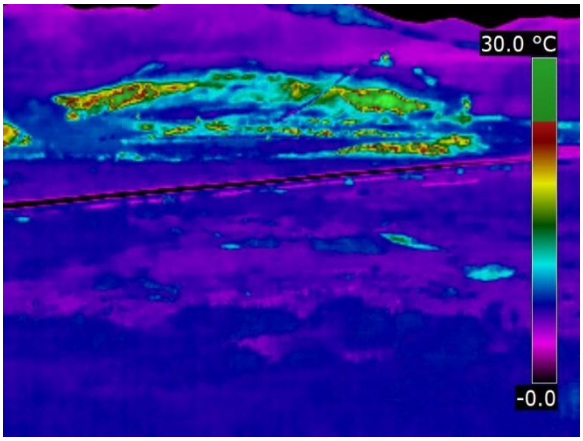
2. *Bjarnarflag til norðurs.*



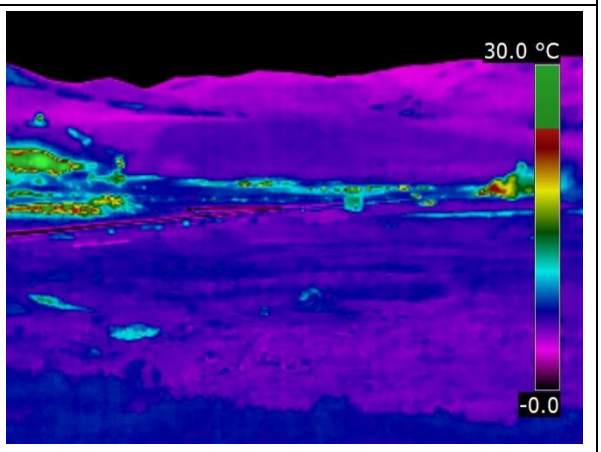
3. *Gamla bakaríið til vinstri en gufuaflstöðin til hægri.*



4. *Gufuaflstöðin.*



5. *Bjarnarflag.*



6. *Bjarnarflag. Hitaveitulögnin lengst til vinstri.*

Mynd 72. *Hitamyndir í Bjarnarflagi. Myndatökustaður (12) við gömlu Kísiliðjuna (sjá mynd 48). Myndirnar eru 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).*

3.1.5 Jarðbaðshólar

Gufur má sjá víðast hvar í hrauninu frá Jarðbaðshólum að Reykjahlíð. Mest af gufunni kemur upp um sprungur og misgengi (myndir 73 og 74) á svæðinu við veginn að Grjótagjá. Virknin er ívið meiri gígmegin við Grjótagjárveginn (austan megin). Á svæðinu frá Námafjalli að gígunum er virknin 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 38°C, eins og undanfarin ár, og gufan lyktarlaus.

Í Grjótagjá mældist hitinn í Karlagjánni um 45,6°C árið 2017 en rúmlega gráðu minni í Kvennagjánni (44,2°C). Til suðurs með misgengjum er gufustreymi sjáanlegt töluvert suður eftir. Allt að 1–1,5 km í átt að Hverfjalli 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 en mældist allt að 50°C rúmum kílómetra sunnar með misgengisbrotinu.

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 73. *Gufuvirkni í vestanverðum Jarðbaðshólum. Gufan leitar upp um sprungur og misgengi.*

Mynd 74. *Gufustreymi um sprungu (gjótu) rétt vestan við veginn að Grjótagjá. Hiti er 60°C nærri ristarhliði við veginn.*

3.1.6 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 norðvestan, vestan og suðvestan við Mið-Kollu sem og nærri Syðstu-Kollu. Á þessu svæði eru brennisteinsþúfur, gufu- og leirhverir mest áberandi, og hefur virknin verið að aukast undanfarin ár. 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 GB-4. Mest áberandi eru brennisteinsþúfur en einnig eru þar gufu- og leirhverir. Aðeins á tveimur svæðum má finna lyktarlausa gufu (upphitað grunnvatn) en það er á stóru svæði út frá Jarðbaðshólum 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. Í stórum dráttum virðist jarðhitinn vera tengdur meginbrotum svæðisins, þ.e. rekbeltisins, NNA-stefnu. Hinsvegar má sjá út frá dreifingu jarðhitans og ummyndunar sem og línu í landslagi að NA- og NV-stefna er einnig á svæðinu.

Jarðhitastaðirnir virðast ekki hafa breyst mikið frá jarðhitakorti Kristjáns Sæmundssonar (2010) og athugunum Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2010) og Sigurðar G. Kristinssonar o.fl. (2013a; 2013b, 2014, 2015, 2016) að undanskilinni aukinni virkni norðan við Mið–Kollu og nærri Syðstu-Kollu

3.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum í Námafjalli

3.2.1 Sýnatökustaðir

Fjórum gufusýnum var safnað á Námafjallssvæðinu dagana 10. og 11. ágúst í fremur rysjóttu veðri. Til stóð að safna sýnum úr fjórum af gufuaugunum sex sem safnað var úr árið 2016 og því hófst verkið á því að skoða aðstæður við sýnatökustaðina.

Í gilinu við holu B-9 sat auga G-105 á svipuðum stað og sumarið 2016, sæmilega kraftmikið. Minni virkni sást í skellunum innar í gilinu, þar sem auga G-103 var, og ekki var fleiri vænlega sýnatökustaði að finna á svæðinu við skiljustöðina og Gamla bakaríið. Á hrygg Námafjalls virtist gufa meira upp úr G-101 og brennisteinsskellunni þar í kring en undanfarin ár en ekkert auga þar virtist vænlegt til sýnatöku. Virknin ofarlega í gilinu í austurhlíð fjallsins, á slóðum G-102, var allmikil eins og undanfarin ár en nokkuð breytt. Hið upphaflega G-102 er enn sjóðandi leirhver sem gusar svo af sér að varla er fært upp gilið lengur. Sýnatökustaðir síðustu ára reyndust útdauðir eða óaðgengilegir vegna bleytu og ótrausts undirlags, og var því ákveðið að reyna ekki að ná sýni af þessu svæði. Augað G-108, á hverasvæðinu frá 2008, sem safnað var úr sumurin 2015 og 2016, var horfið í nærliggjandi leirhveri svo það kom ekki til greina. Hins vegar var gufuflæðið úr auganu G-109, í stórri brennisteinsþúfu í nýju virkninni norðvestan við Syðstu-Kollu, nógu öflugt til sýnatöku og G-110 var sömuleiðis í fullu fjöri í sinni leirskellu, nokkurn veginn mitt á milli staða G og H hjá Stefáni Arnórssyni og Herði Svavarssyni (1985). Fáir fleiri sýnatökustaðir þóttu álitlegir uppi á Námafjalli, enda einkennist virknin þar af brennisteinsþúfum sem henta almennt ekki vel til gufusýnatöku.

Síðasta sýninu var safnað á Hverum en svæðið var fremur þurrt og því voru þar nokkrir vænlegir sýnatökustaðir. Sýni var safnað úr mjög öflugu gufuopi nokkurn veginn miðsvæðis í leirflaginu vestan syðstu holunnar. Þótt gufuopið sé örlítið vestar en augað G-106, sem safnað hefur verið úr undanfarin sumur, var nafnið látið halda sér.

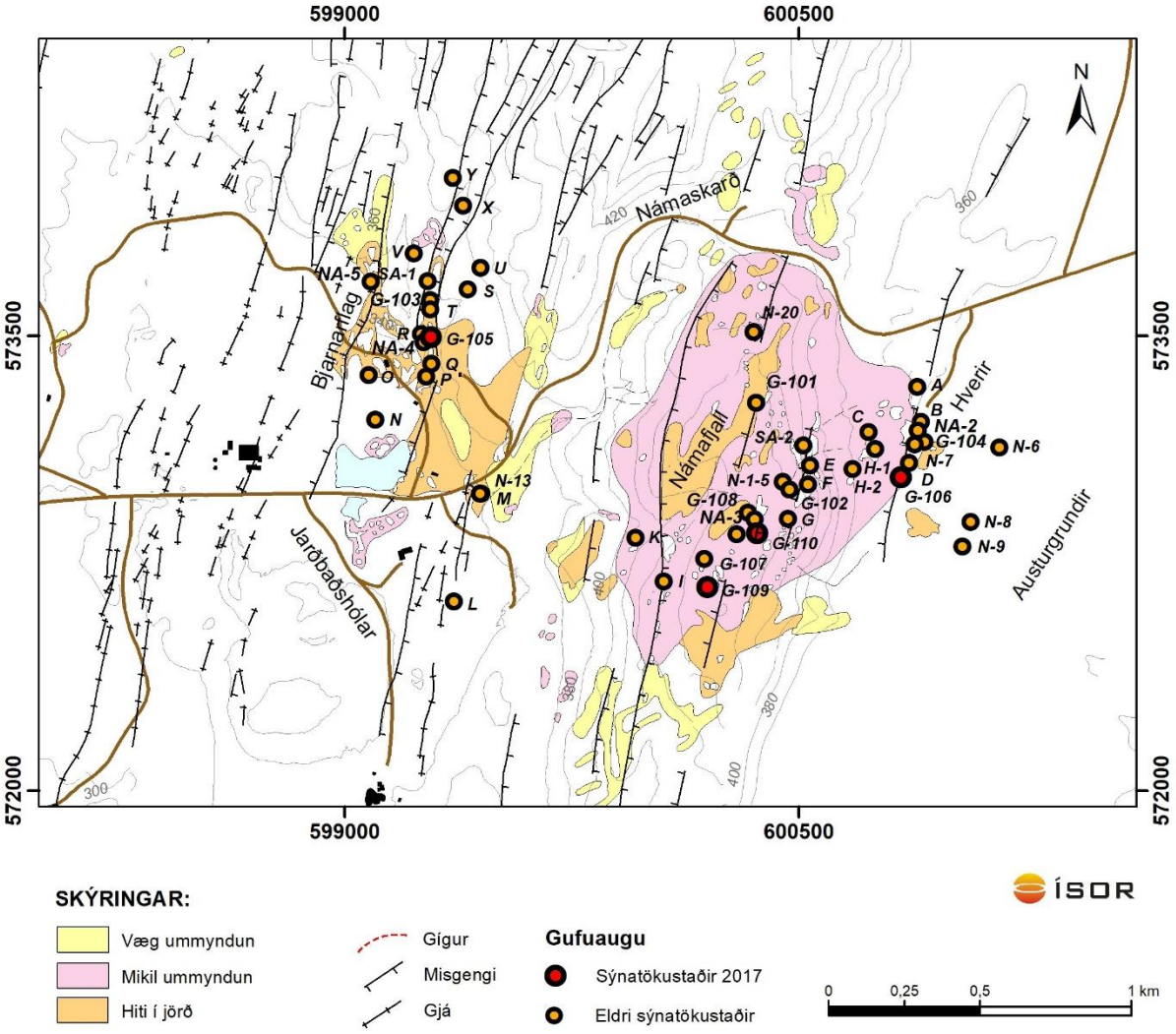
Yfirlit um sýnatökustaði er í töflu 4 og staðsetning þeirra er sýnd á mynd 75 ásamt öðrum gufuaugum sem sýni hafa verið tekin úr í Námafjalli og Bjarnarflagi. Á mynd 75 eru eldri gufusýnatökustaðir á svæðinu auðkenndir með þrennum hætti; staðir merktir N-1 til N-20 og H-1 og H-2 eru sýnatökustaðir skilgreindir 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 o.fl. (1995; 1996) tóku reyndar sýni á mun fleiri stöðum en þeir höfðu flestir verið skilgreindir í eldri rannsóknum.

Sýnatökustöðum ársins 2017 í Námafjalli er lýst frekar hér á eftir. Í gagnagrunni ÍSOR eru sýnatökuaugu áranna 2012 til 2017 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 hér að aftan.

Tafla 4. *Sýnatökustaðir í Námafjalli sumarið 2017.*

Nafn auga*	Staðarnúmer	x-hnit	y-hnit	Hæð (m y.s.)	Lýsing
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-109	H 93570	600199	572672	482	Á hverasvæði vestan Syðstu-Kollu
G-110	H 93571	600362	572850	477	Ofan gilsins austur úr fjallinu

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



Mynd 75. *Gufuaugu í Námafjalli og Bjarnarflagi. Gufuaugu sem safnað var úr sumarið 2017 eru sýnd með rauðum táknum.*

N G-105: Ágætlega kraftmikið gufuauga með fókuseruðu streymi framarlega í grunnu gili sem liggur norður frá holu B-9 í Bjarnarflagi (myndir 75 og 76). Talsverð virkni teygir sig upp eftir allri austurhlíð gilsins en þetta auga er í fremstu ummyndunarskellunni.

N G-106: Mjög kröftugt gufuop í leirflagi vestan við syðstu borholuna á Hverum (H-9), rétt neðan við göngustíg fyrir ferðamenn. Sumurin 2014 og 2015 var sýnum safnað úr auga í miðju flaginu en opið sem nú var safnað úr er svolítið vestar í flaginu (sjá myndir 75 og 77).

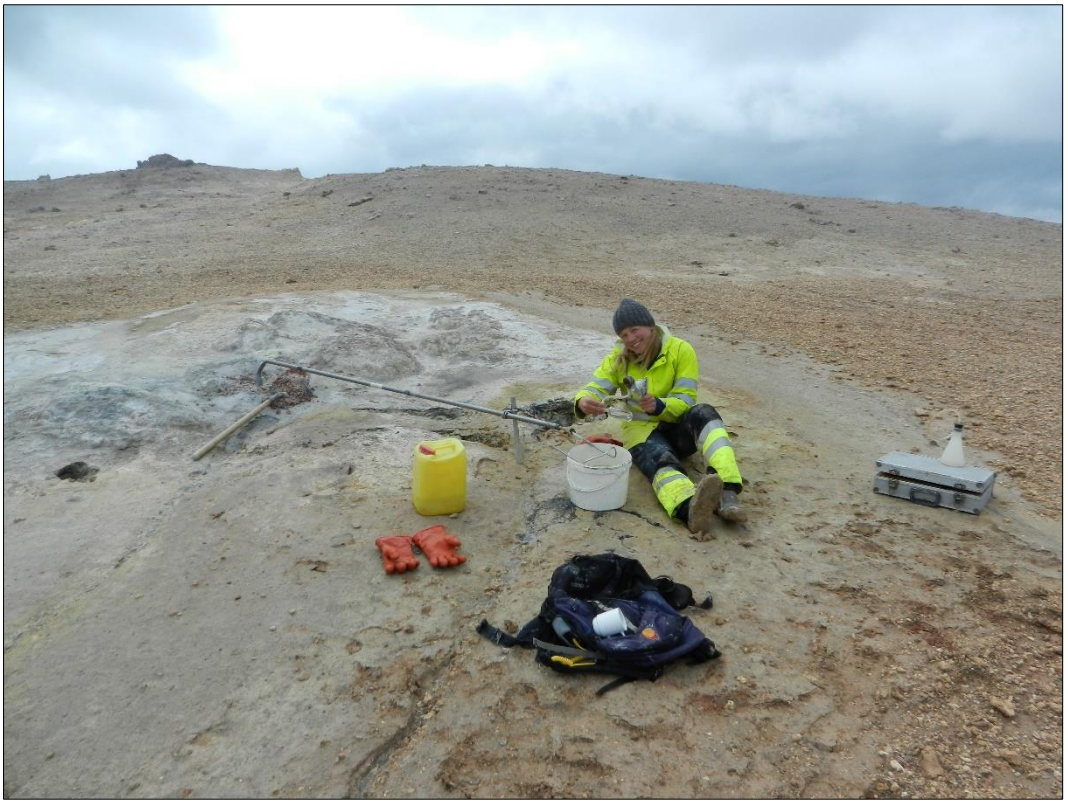
N G-109: Frekar öflugt gufustreymi úr hinni stærstu fjölmargra brennisteinsþúfna á hverasvæðinu vestan Syðstu-Kollu sem Trausti Hauksson og Jón Benjamínsson lýstu fyrst sumarið 2008 (sjá myndir 75 og 78).

N G-110: Mjög kraftmikið gufuauga með fókuseruðu streymi í fremur lítilli leirskellu nokkru ofan við syðri gilskorninginn sem gengur austur úr Námafjalli (sjá myndir 75 og 79).

Mynd 76. *Sýnataka úr gufuauga N G-105 í austurhlíðum gils sem gengur til norðurs frá holu B-9.*

Mynd 77. *Sýnataka úr gufuauga N G-106 í flagi vestan holu H-9 á Hverum.*

Mynd 78. *Sýnataka úr gufuauga N G-109 á Námafjalli, vestan undir Syðstu-Kollu.*



Mynd 79. *Sýnataka úr gufuauga N G-110 á Námafjalli, í leirflagi ofan syðra gilsins.*

3.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga

Niðurstöður efnagreininga sýna sem tekin voru við Námafjall sumarið 2017 eru skráðar í töflu 5. Mynd 80 sýnir styrk CO_2, H_2S, H_2, N_2, CH_4 og Ar í gufuaugum á Námafjalli, Hverum og í Bjarnarflagi í tímans rás. Nýjustu sýnin voru tekin í ágúst 2017 en einnig eru sýnd gögn úr öðrum augum af sömu slóðum og nýju augun þar sem þeim er til 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, 2015, 2016) og eru allar þessar eldri efnagreiningar birtar í töflum V-8 til V-12 í viðauka 1 ásamt vísunum í frumheimildir. 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. Samsætuvik í sýnunum er teiknað á mynd 81 ásamt úrkomulínu Craigs (1961).

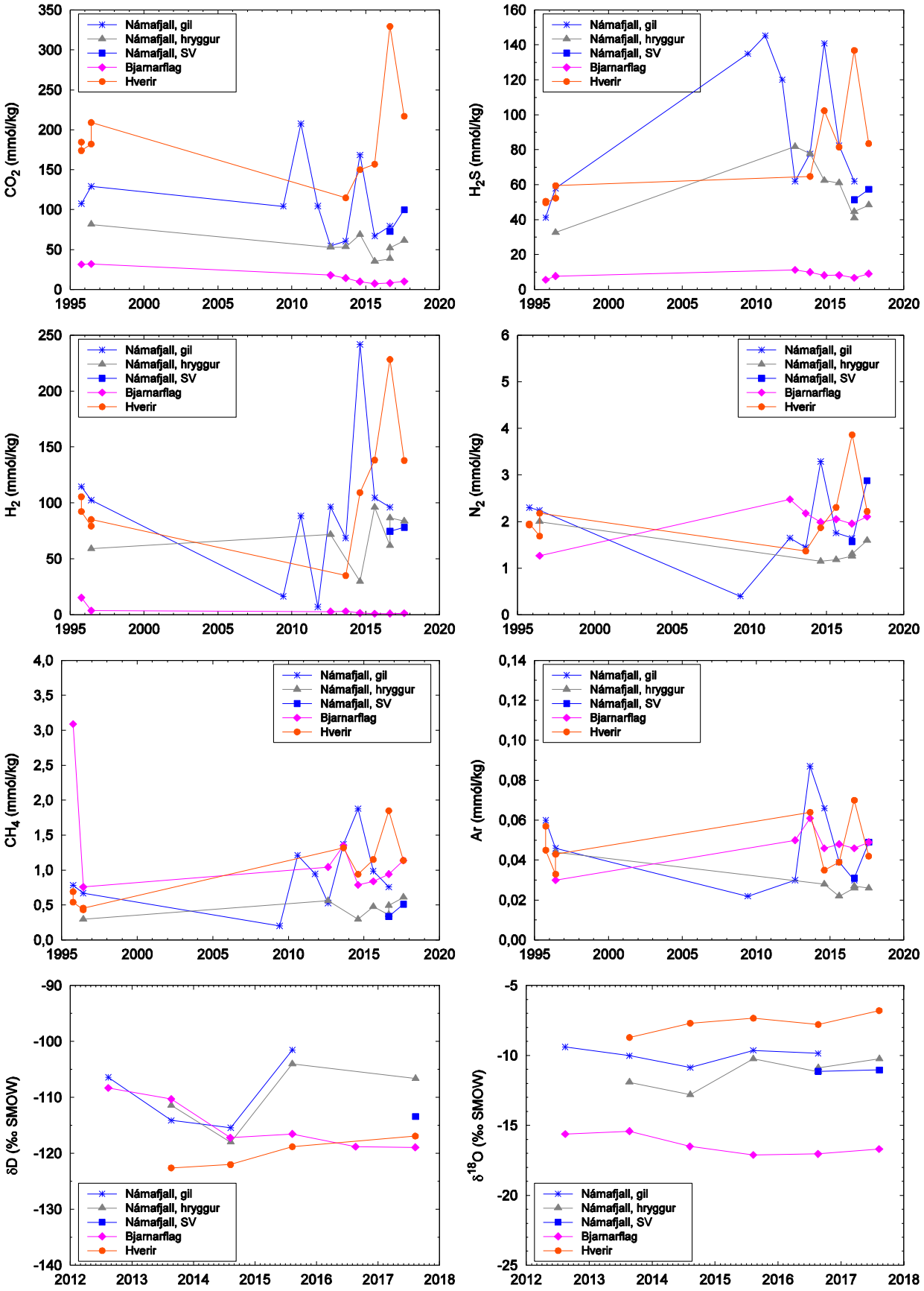
Í töflu 6 er sýndur reiknaður djúphiti út frá mældum styrk hinna ýmsu gastegunda. Notast er við kvarðanir Stefáns Arnórssonar o.fl. (1998) sem reiknaðar eru út frá ætluðu jafnvægi við steindafylkin klínózóisít-kalsít-kvars-prehnít (CO_2) og pýrít-pyrrhótít-prehnít-epidót (H_2S og H_2). Fyrir Námafjall er notuð sú kvörðun CO_2-hitamælisins sem gerir ekki ráð fyrir miklu CO_2-flæði frá kviku.

Tafla 5. *Efnasamsetning gufusýna frá Námafjallssvæðinu sumarið 2017.*

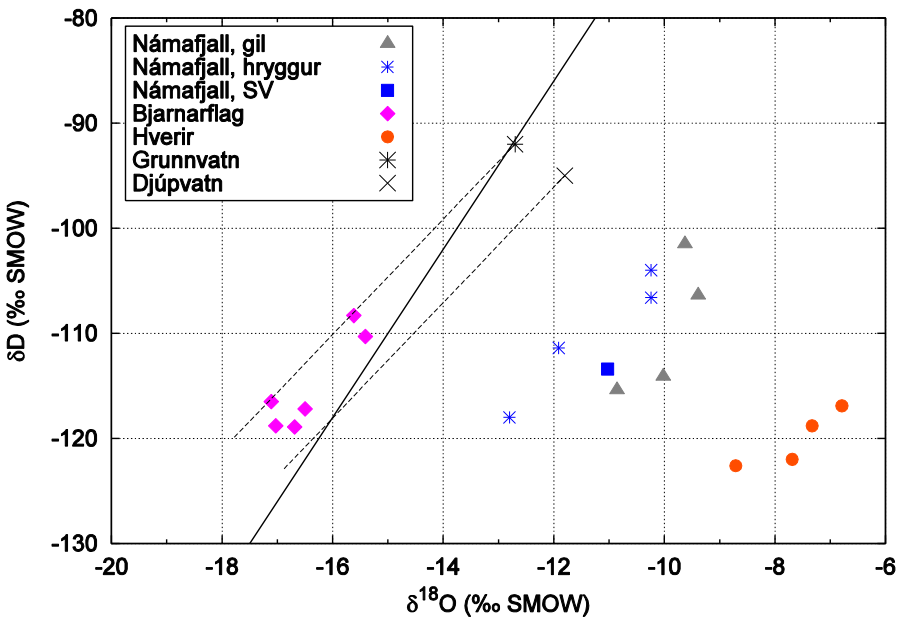
Sýni	20170169	20170170	20170173	20170174
Dagsetning	10.8.2017	10.8.2017	11.8.2017	11.8.2017
Staður	N G-105	N G-106	N G-110	N G-109
Hitastig (°C)	99,1	98,8	97,2	96,9
Gasstyrkur í gufu (mmól/kg)				
CO_2	10,2	217	61,3	100
H_2S	9,1	83,6	48,4	57,4
H_2	1,30	138	83,7	78,2
CH_4	1,14	1,14	0,610	0,514
N_2	2,11	2,22	1,60	2,88
O_2	<0,01	<0,01	<0,02	<0,01
Ar	0,049	0,042	0,026	0,049
Steinefni í þéttivatni (mg/kg)				
Cl	0,02	0,04	0,12	0,07
B	0,07	0,16	0,06	0,05
Samsætur í þéttivatni (‰SMOW)				
$\delta^{18}O$	-16,69	-6,79	-10,24	-11,03
δD	-118,9	-116,9	-106,6	-113,4

Tafla 6. *Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áranna 2012 til 2017 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
20170173	G-110	275	303	(404)	276	320	330	301	25
20160239	G-110	267	300	(406)	278	317	330	298	26
20160236	G-108	254	297	(385)	268	315	324	292	30
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
20160238	G-102	287	312	(413)	285	323	330	307	21
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
20170169	G-105	206	245	234	211	255	233	231	19
20160235	G-105	199	236	232	207	248	233	226	19
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
20170170	G-106	345	323	(439)	314	322	330	327	12
20160243	G-106	(374)	(341)	(479)	308	321	330	320	11
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
20170174	G-109	299	309	(399)	273	306	315	300	16
20160237	G-109	283	305	(396)	283	317	324	302	19



Mynd 80. *Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum á Námafjallssvæðinu.*



Mynd 81. *Samsætuvik sýna úr gufuaugum á Námafjallssvæðinu ásamt úrkomulínu Craigs (1961). Einnig eru sýndir ferlar fyrir suðu grunnvatns og djúpvatns við 100°C.*

N G-105: Styrkur CO_2 í gilinu ofan B-9 er mjög lágur; hann var á bilinu 59 til 67 mmól/kg árin 1995 og 1996 en lækkaði síðan nokkuð samfellt frá 2012 en mælist nú svipaður og undanfarin tvö ár; 10,2 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 9,1 mmól/kg og styrkur H_2 aðeins 1,3 mmól/kg, sem er svolítið hærra en 2016. Styrkur annarra gastegunda breytist minna. Efnahitamælum ber ágætlega saman, bæði innbyrðis og milli ára, og reiknast efnahiti að meðaltali 231°C í sýni ársins 2017. Gufan úr G-105 er mjög létt (δD ≈ -119‰) og litlar breytingar er að sjá á samsætuhlutföllum undanfarin ár. Hins vegar höfðu sýni sem safnað var úr G-103 árin 2012 og 2013 heldur meira af þyngri samsætum en sýnin úr G-105.

N G-106: Árið 2016 mældist styrkur allra gastegunda hærri en undanfarin ár í flaginu vestan undir holu H-9 á Hverum, sem benti til þess að gufan hefði þést að hluta fyrir söfnun. Í sýni ársins 2017 er þetta stökk gengið til baka og styrkur flestra gastegunda á svipuðu róli og 2015. Gufan úr G-106 er engu að síður miklu gasríkari en gufa úr öðrum sýnatökustöðum í Námafjalli; heildargasmagn er um 442 mmól/kg, þar af 138 mmól/kg af H_2, sem er hundraðfalt meira en í G-105. Þessi hái vetnisstyrkur bendir til þess að umtalsverð djúpgufa sé til staðar í kerfinu. CO_2 og H_2S hafa einnig háan styrk; 217 og 84 mmól/kg. Fyrir vikið reiknast meðalgashiti nokkuð hár, eða 327°C, þótt þar sé sleppt gríðarháu gildi úr vetnishitamælinum. Tvívetnishlutfall gufunnar á Hverum er afar lágt (δD ≈ -120‰) og gufan sýnir mikla súrefnishliðrun (um 9‰; sjá mynd 81) sem bendir til mikilla efnaskipta djúpvökvans við berg.

N G-109: Árið 2016 var sýnum í fyrsta sinn safnað úr svæðinu vestan Syðstu-Kollu þar sem gufuvirkni hófst 2008. Sýnið frá 2017 er svolítið gasríkara en sýnið frá 2016 (heildargasstyrkur um 240 mmól/kg, samanborið við 200 mmól/kg) en efnasamsetning beggja sýna er mjög áþekk öðrum sýnum af hrygg Námafjalls; þ.e. úr gufuaugum G-101, G-108 og G-110. Líkt og við á um hin gufuaugun á og austan Námafjalls er vetnisstyrkur talsvert hærri en sem nemur ætluðu jafnvægi við steindir. Sé honum sleppt reiknast efnahiti sýnisins 300°C. Samsætuhlutföll í gufunni eru einnig svipuð og í öðrum sýnum af Námafjalli (sjá mynd 81).

N G-110: Gasstyrkur í gufuauga G-110 á hrygg Námafjalls er mjög sambærilegur því sem mælist í eldri sýnum úr gufuaugum G-107 og G-108, enda er stutt á milli sýnatökustaðanna. Heildargasstyrkur mælist um 200 mmól/kg, sem er svolítið hærra en 2016. Styrkur CO_2, H_2S og H_2 mælist 61 mmól/kg, 48 mmól/kg og 84 mmól/kg – í sömu röð. Líkt og gildir um önnur sýni á hrygg Námafjalls sýna CO_2-hitamælarnir kerfisbundið lægri gildi en aðrir hitamælar (tafla 6) sem gæti bent til þess að styrkur CO_2 stjórnist ekki af jafnvægi við berg heldur framboði gass frá hitagjafanum, eða að mögulega falli hluti koldíoxíðsins út sem kalsít á leið sinni til yfirborðs. Meðalgashiti (að H_2-hitamælinum slepptum) reiknast 301°C. Samsætuhlutföll í gufunni eru svipuð og í öðrum sýnum ofan af Námafjalli (sjá myndir 80 og 81).

3.2.3 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, nærri 230°C, en hækkar eftir því sem austar dregur, er um 300°C á Námafjalli sjálfu og um 320°C á Hverum, og helst þar í hendur við heildargasmagn í gufunni. Þessi hitastigsdreifing er svo til óbreytt frá þeirri sem birt var hjá Halldóri Ármannssyni (1993). Hár vetnisstyrkur gefur til kynna að nokkur djúpgufa sé til staðar undir Námafjalli og Hverum 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 á Hverum jafnvægi milli djúpvökva og bergs en koldíoxíðstyrkur á Námafjalli sjálfu er lægri en hann ætti að vera væri kerfið í slíku jafnvægi. Þetta kann að benda til þess að magn koldíoxíðs sem berst upp gegnum fjallið sé minna en sem nemur því sem þarf til að viðhalda þessu jafnvægi, eða að hluti koldíoxíðsins falli út á leiðinni upp gegnum fjallið, til dæmis sem kalsít. Þetta er í samræmi við lágt gasflæði um jarðveg á Námafjalli, sem sást í mælingum árin 2010, 2013 og 2016 (Auður Agla Óladóttir, 2010; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013b, 2016). Mólhlutfallið CO_2/H_2S er á bilinu 1,1 til 1,7 nema í Hverum þar sem það er 2,6. Styrkur Cl og B í þéttivatni er alls staðar mjög lágur en bórstyrkur mælist þó hæstur á Hverum; 0,16 mg/kg. Hugsanlegt er að það sé til marks um hærri aðskilnaðarþrýsting vatns og gufu og/eða djúpgufu.

Afgerandi munur undirsvæðanna þriggja sést einnig í samsætugildunum (sjá mynd 81). Léttasta gufan ($\delta D \approx -120‰$) er austast í kerfinu, í Hverum, og þar er súrefnishliðrun einnig mest (8 til 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 til 5‰ sem bendir til þess að efnaskipti 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 grunnvatni eða blöndu djúpvatns og grunnvatns.

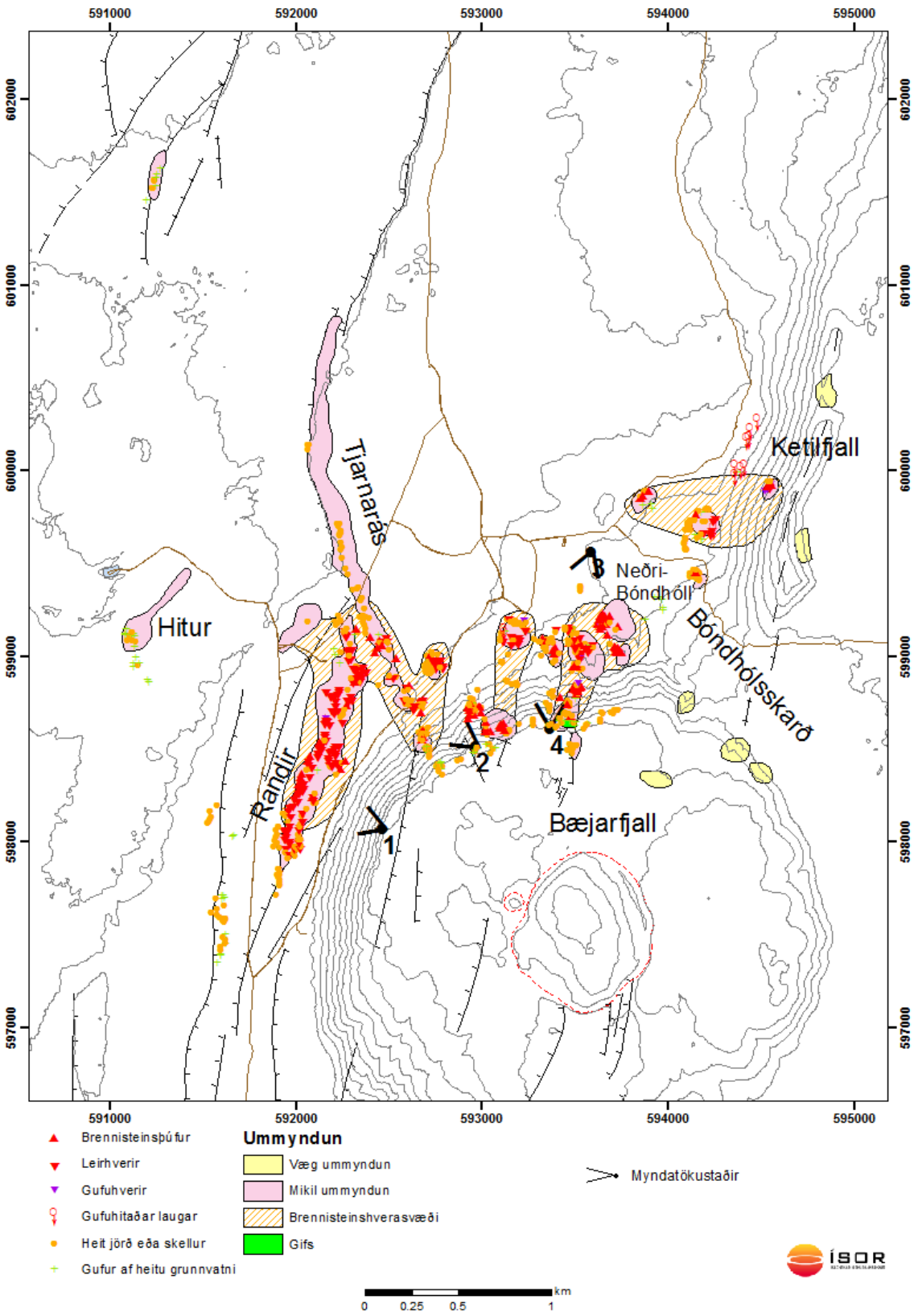
Tvívetnisgildi Bjarnarflagsgufunnar eru á bilinu -118 til -108‰ og lægri gildi virðast mælast í G-105 en G-103. Í reiknuðum djúpvökva nálægra háhitaholna í Bjarnarflagi (holna B-4, B-9 og B-15) er $\delta D \approx -95‰$ og $\delta^{18}O \approx -11{,}8‰$ en í kalda grunnvatninu í Mývatnssveit eru dæmigerð samsætugildi $\delta D \approx -92‰$ og $\delta^{18}O \approx -12{,}7‰$ (meðaltal fyrir Vogaflóa; K-558). Ferlar sem sýna samsætuhlutföll gufu sem myndast við suðu slíks djúpvatns og grunnvatns við 100°C eru teiknaðir inn á mynd 81, reiknaðir út frá jöfnum Horita og Wesolowski (1994). Þeir renna stoðum undir þá tilgátu að gufan gæti hafa myndast við suðu á grunnvatni eða blöndu grunnvatns og djúpvatns.

4 Þeistareykir

4.1 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 og 2015 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; 2015). Síðastliðin 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, 2015, 2016).

Á Þeistareykjum var farið yfir allt svæðið dagana 15. og 22. ágúst 2017 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 (mynd 82).



Mynd 82. *Jarðhitakort af Þeistareykjum, ummyndun frá 2007 með kortlagningu 2015 (tákn). Óverulegar breytingar hafa orðið á yfirborðsjarðhitanum frá fyrri athugunum.*

4.1.1 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 82). 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 78°C í ár og var sá sami í fyrra (2016) en var á sama stað 80°C árið 2015 og 82°C árið 2014 (mynd 83). Þess má geta að árið 2013 var hitinn á þessum sama stað 75°C. Gufustreymi var svipað í ár og síðust tvö árin en heldur meira en 2012 og 2013. 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.

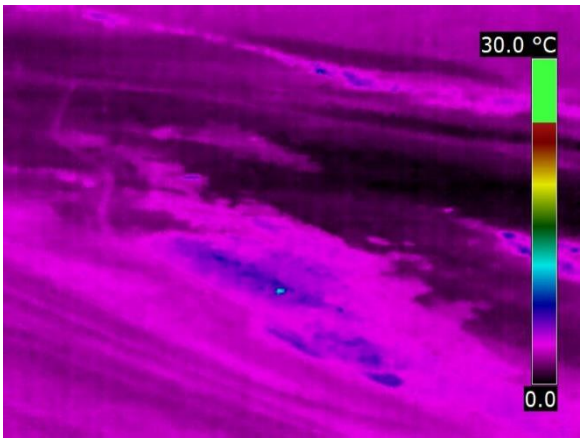
Mynd 83. *Gufustreymi við Hitur. Bæjarfjall í baksýn. Hiti mældist 78°C sem er 4°C lægri hiti en mældist 2014.*

4.1.2 Randir

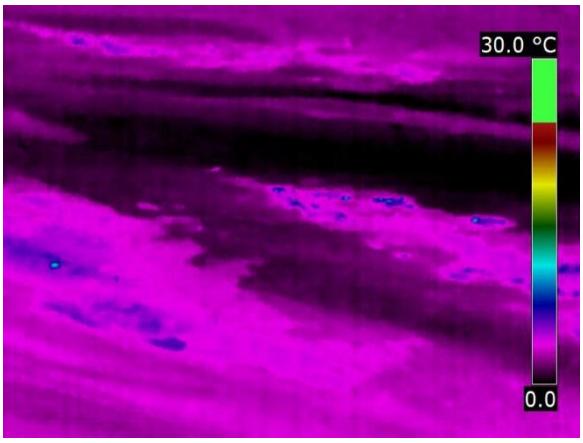
Jarðhitavirknin á Röndum virðist tengjast misgengi með NNA-lægri stefnu og falli til vesturs. Jarðhitinn og gufueimurinn sem kemur upp suðvestan og vestan við Randir, og lýst er í kafla 2.1.1, er á misgengi með falli til austurs og myndast smá sigdæld þarna á milli misgengjanna sem þrengist til suðurs (mynd 82). 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 84 og 85). Hitinn í virkum leir- og brennisteinshverum er yfir 95°C í flestum tilfellum. Gufuaugu voru ekki aflmikil 2017 frekar en undanfarin tvö sumur. Frá gufunni er brennisteinslykt en í leirhverunum bullar mismikið. Þeir sem eru í blautari kantinum eru yfirleitt bullandi eða sletta leir. Smávægilegar breytingar hafa orðið við sýnatökustað Þ G-105, þar var kröftugt gufuauga ofan við leirhver en núna í ár var bullandi leirhver þar sem gufuaugað var (sjá mynd 84).

Hitamyndir af jarðhitanum á Röndum eru sýndar á myndum 85 og 86. Þær eru teknar ofan af Bæjarfjalli (mynd 82, myndatökustaður 1). Jarðhitastaðirnir 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 skýrar fram 2017 en 2016.

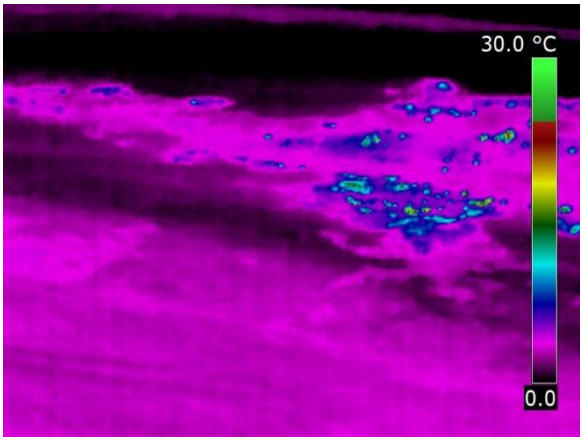
Mynd 84. *Við sýnatökustað Þ G-105. Brennisteinn og gufa í kantinum á misgenginu en leirhverir á sléttunni. Sýnatökustaðurinn hefur breyst í bullandi leirhver með gufuopi í kantinum. Ekki var mögulegt að taka sýni núna í ár eins og í fyrra.*



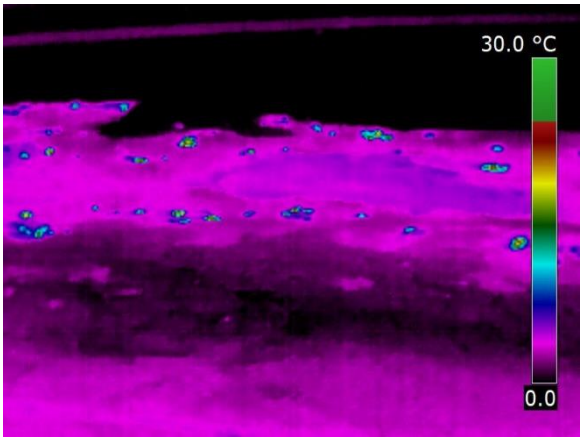
1. *Syðst á Röndum.*



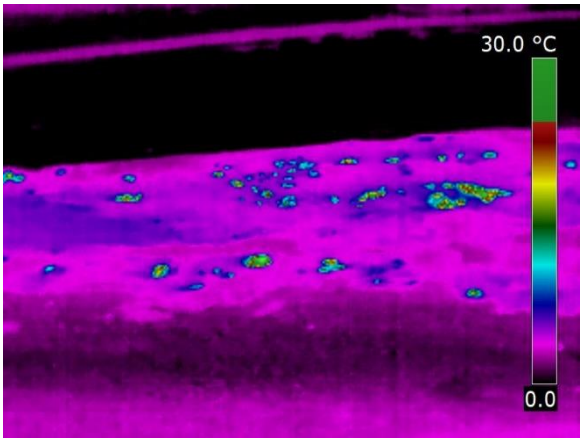
2. *Randir. Framhald til norðurs.*



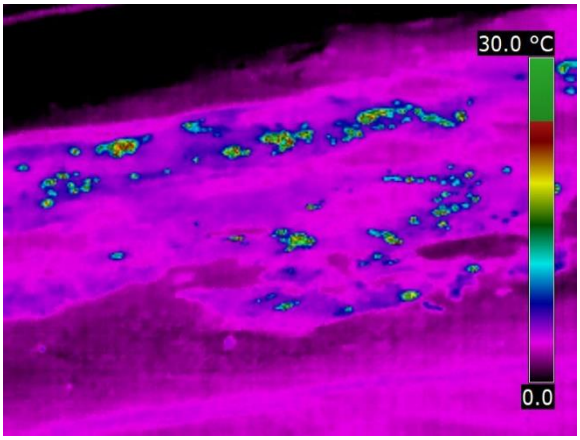
3. *Randir. Framhald til norðurs.*



4. *Randir. Framhald til norðurs .*



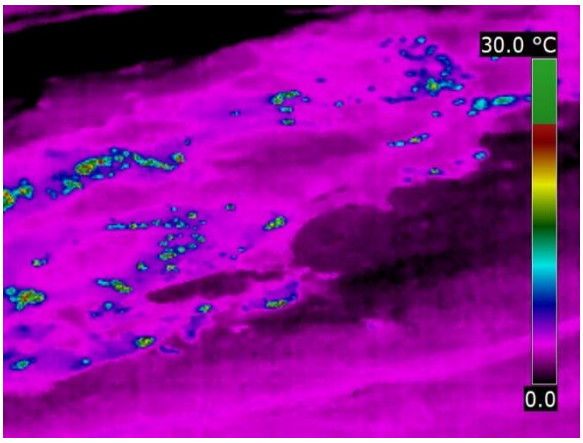
5. *Randir. Framhald til norðurs.*



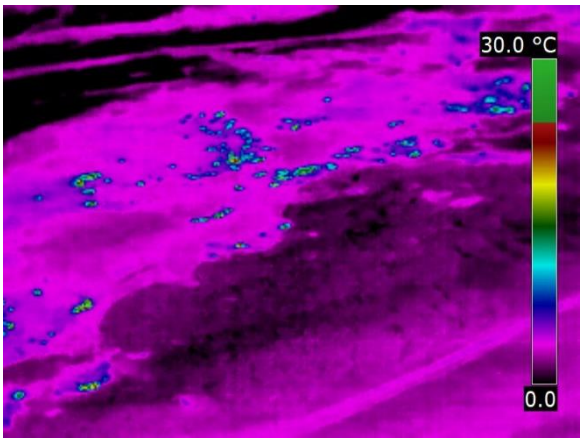
6. *Randir. Framhald til norðurs .*

Mynd 85. *Hitamyndir teknar ofan af Bæjarfjalli vestanverðu (myndatökustaður 1 á mynd 82). Jarðhitastaðirnir og volg jörð koma vel fram á myndunum. Breytingar samt litlar sem engar frá fyrra ári.*

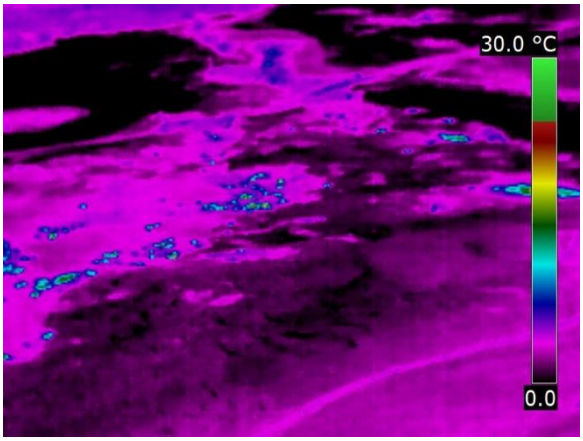
.



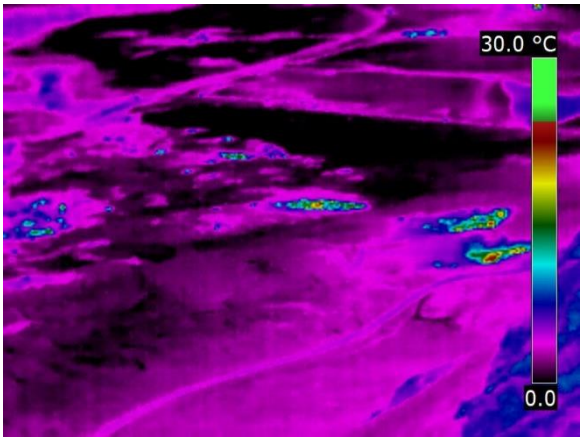
1. *Norðarlega á Röndum.*



2. *Randir. Framhald til norðurs.*



3. *Randir. Framhald til norðurs.*



4. *Tjarnarás sker Randir með aðra stefnu .*

Mynd 86. *Framhald hitamynda (á mynd 85). 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).*

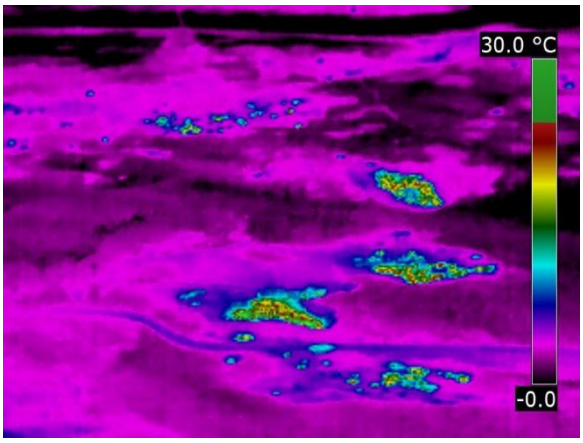
4.1.3 Tjarnarás

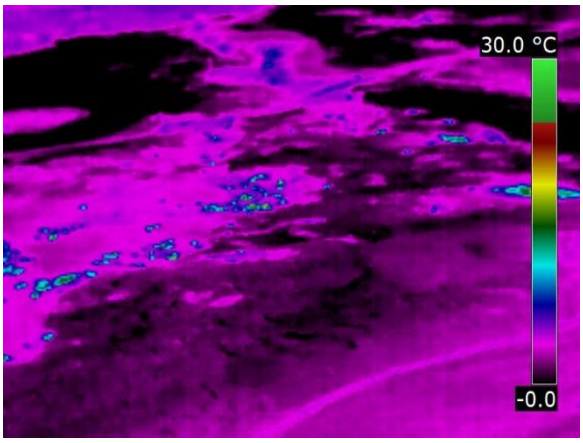
Jarðhitinn í Tjarnarási kemur í beinu framhaldi norður af Röndum en þó með annarri stefnu syðst. Tjarnarás liggur í sveigðu misgengi þar sem suðurendinn stefnir frá Bæjarfjalli til NNV en sveigir síðan til norðurs og loks til norðnorðausturs. Fall misgengisins er til vesturs. Jarðhitinn á þessu misgengi 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 87) af Tjarnarási er tekin ofan af Bæjarfjalli en hitamyndir af Tjarnarási eru sýndar á mynd 89.

Mynd 87. *Virknin á Tjarnarási teygir sig að Bæjarfjalli í suðri en þar er meginvirknin.*

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 m² stórri skellu (2012). Undanfarið hefur engin gufuvirkni verið á þessum stað og mesti mældi hiti um 30°C. Þar fyrir norðan byrjar misgengið að sveigja til NNA.

Mynd 88. *Skellan sunnan við sýnatökustað Þ G-103. Þaðan teygir virkni Tjarnaráss sig upp í miðjar hlíðar Bæjarfjalls.*





1. *Tjarnarás næst Bæjarfjalli*	**2.** *Tjarnarás og nyrsti hluti Randa*

Mynd 89. *Hitamyndir. Myndatökustaður 2 á mynd 82. Myndirnar sýna hvar misgengið á Röndum gengur inn í Tjarnarásmisgengið. Virkni á Tjarnarási er mest næst Bæjarfjalli.*

4.1.4 Bæjarfjall

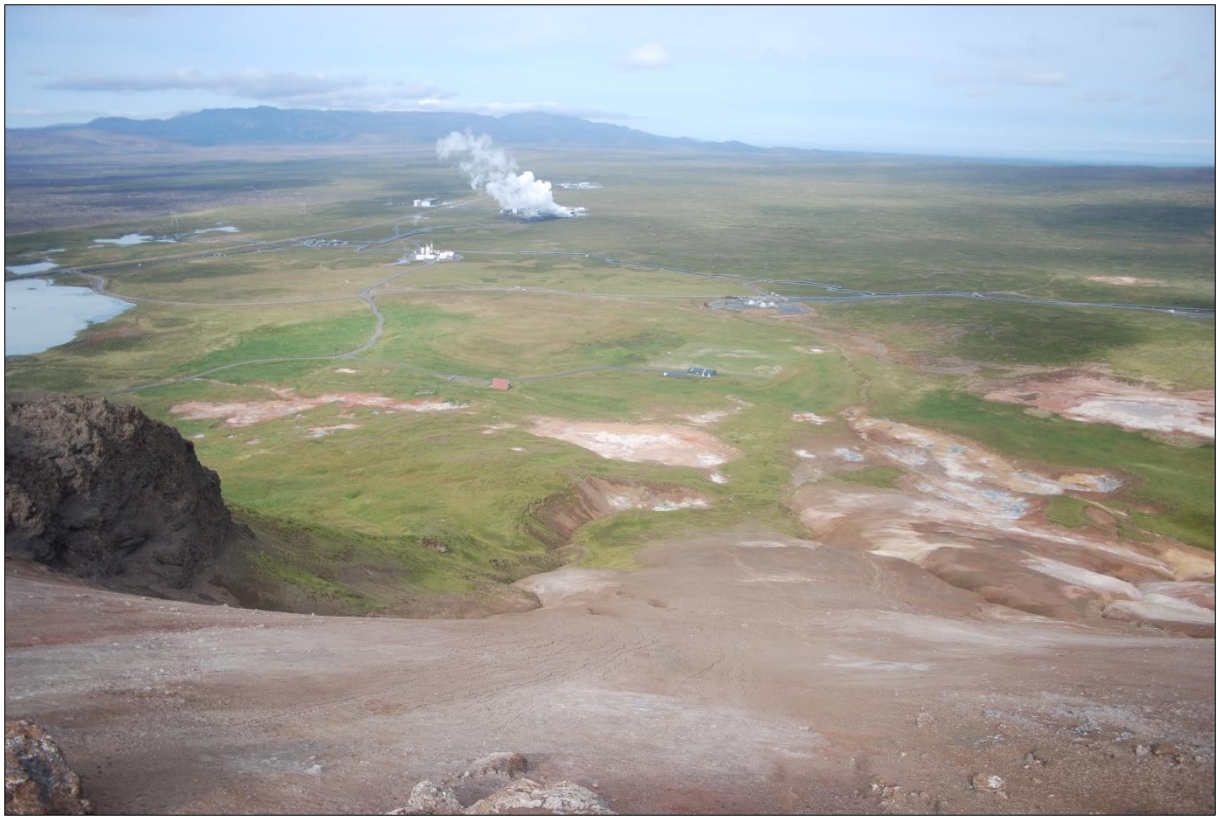
Jarðhitanum í og við Bæjarfjall má skipta upp í nokkur afmörkuð svæði en mest allur jarðhitinn liggur þó á milli tveggja misgengja með N-S læga stefnu sem mynda sigdal í toppi fjallsins (mynd 90). Misgengin eru þó fleiri innan sigdældarinnar. Jarðhitinn kemur aðallega fram á tveimur línum sem liggja eins og misgengin en þó má sjá NA-læga og VNV-læga legu jarðhitans á þessu svæði. Það fellur ágætlega að jarðhniksgreiningu Maryam Khodayar o.fl. (2015).

Mynd 90. *Norðvesturhlíð Bæjarfjalls. Jarðhitinn er að mestu bundinn við ljósu skellurnar á myndinni. Neðri-Bóndhóll er vinstra megin á myndinni sem tekin er frá Tjarnarási.*

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 og brennisteinshverir sem eru hlutfallslega fleiri í hlíðinni. Virkni hvera er meiri neðarlega í hlíðinni. Hinn staðurinn er í gilskorningnum hjá Sæluhúsinu og þar um kring. Þar eru aðallega hvissandi gufuaugu og bullandi leirhverir. Brennisteinslykt er af gufunni. Á milli þessara svæða er töluverður hiti í jörðu í stöku skellum (<95°C). Virkni sumarið 2017 var mjög svipuð því sem var 2012, 2013, 2014, 2015 og 2016.

Mynd 91. *Jarðhitavirknin neðan við Sæluhús. Þarna er þó nokkurt gufustreymi og heitar leirskellur, og eru leirhverir ráðandi á þessu svæði. Sýnatökustaður Þ G-101.*

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 92 og 93). 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. Uppi á brún Bæjarfjalls syðst á þessu svæði er smá gufuvirkni á 50 m línu með misgenginu og hiti allt að 90°C. Neðan við þetta er svo allstórt svæði sem nær upp í hlíðar fjallsins en einnig út á sléttuna. Þetta er stór leirskella með mikið af gufu- og leirhverum. Virkni næst fjallinu var þó nokkur 2017 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.



Mynd 92. *Jarðhitinn á sléttunni neðan við Bæjarfjall norðanvert. Fyrir miðju er mesta jarðhitavirknin niður hlíðina og út á sléttuna.*

Mynd 93. *Framhald til austurs af mynd 92. Neðri-Bóndhóll er hægra megin á myndinni.*

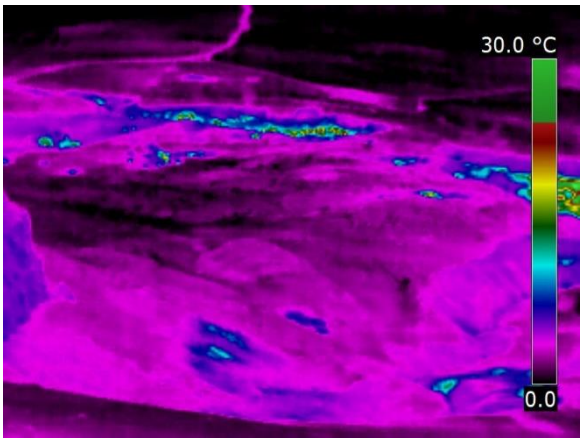
Rétt norðar á sléttunni eru tveir staðir sem mætti líta á sem eitt svæði en þar sem ekki er samfella og virkni er mismunandi er þessu skipt hér í tvö svæði. Annars vegar er lítill hóll (Neðri-Bóndhóll). Á toppi hans er mikil brennisteinshveravirkni sem nær eilítið niður í hlíðar hólsins, aðallega norðan megin (>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 93). Gufur og leirslettur úr hverum voru töluverðar 2017 en ekki var hægt að ganga um allt svæðið vegna heits leirs (mjúkur og ótryggur til göngu).

Á milli vestari og eystri jarðhitalínanna í Bæjarfjalli er svæði (100x60 m) niðri á sléttunni sem tengir þessi svæði saman í nánast einn samfelldan gufu- og leirhveraflekk með A-V læga stefnu (myndir 82, 92 og 93). 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.

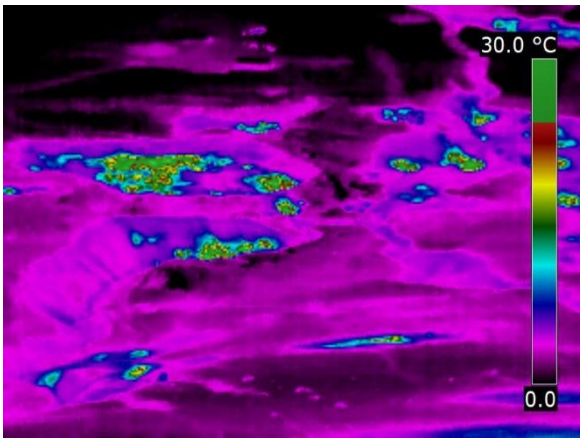
Hin mikla virkni norðan við Bæjarfjall (þ.e. í hlíðarfætinum) og suðurenda Tjarnaráss gæti bent til þess að jarðhitavirknin þarna tengdist hliðrun (sniðgengi) með VNV-ASA stefnu (Maryam Khodayar o.fl., 2015). Þessi hliðrun tengist aðalsiginu á sprungusveimnum sem myndar belti með stefnu frá Þeistareykjum yfir Stórahver að ummyndunarskellum 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.

Á milli Bæjarfjalls og Ketilfjalls er jarðhiti neðst í brekkunni neðan við Bóndhólsskarð. 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 mynd 94 (hitamynd 6, ljósari blettur hægra megin og ofan við Neðri-Bóndhól). Nær borteig C hefur jarðhitavirkni aukist mikið frá því í fyrra (2016) og kemur það glögglega fram á hitamyndinni en fjallað verður um það í kaflanum um Ketilfjall.

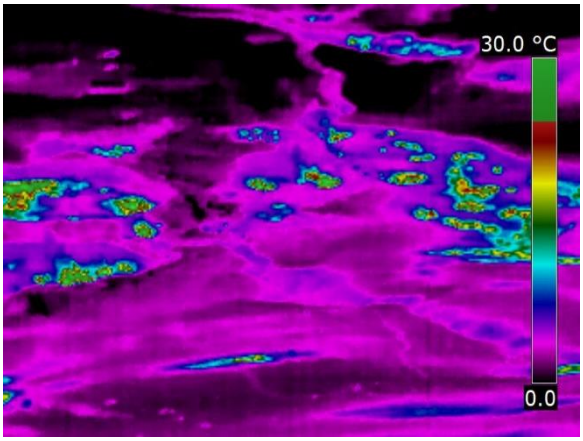
Hitamyndir teknar ofan af Bæjarfjalli (myndatökustaður 4 á mynd 82) og frá borholu ÞG-9 (myndatökustaður 3 á mynd 82) sýna dreifingu jarðhitans vel. Á mynd 94 sést undirlendi Bæjarfjalls og hvernig jarðhitastaðirnir raða sér upp. Sama er á mynd 95 en þar má sjá dreifingu jarðhitans í norðurhlíð Bæjarfjalls sem og hluta af jarðhitavirkninni á sléttunni neðan við fjallið. Allmennt eru litlar breytingar síðasta árið á dreifingu jarðhitans á svæðinu fyrir utan aukna virkni milli Bæjarfjalls og Ketilfjalls. Með samanburði á hitamyndum milli 2016 og 2017 á norðurhlíð fjallsins má þó greina minni virkni í hlíðum fjallsins.



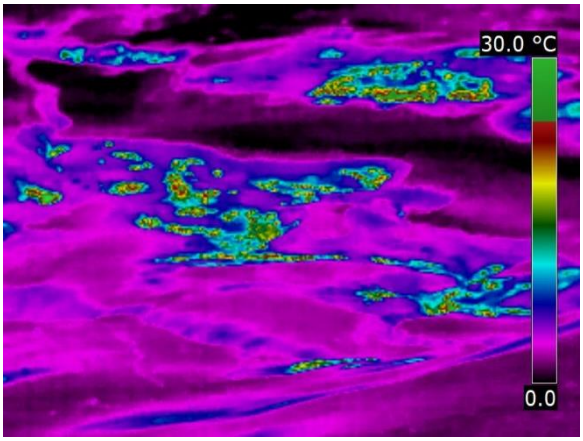
1. *Undirlendi Bæjarfjalls austan við Sæluhúsið.*



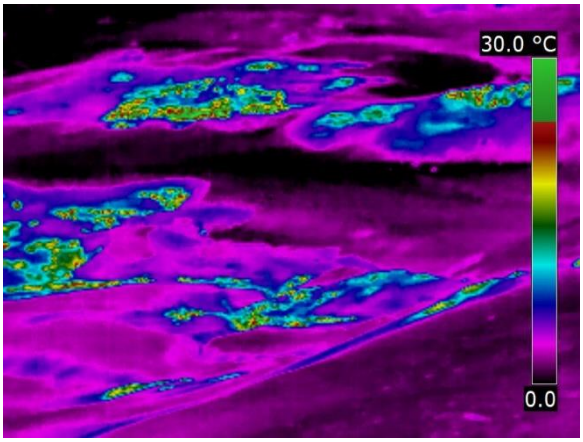
2. *Undirlendi Bæjarfjalls.*



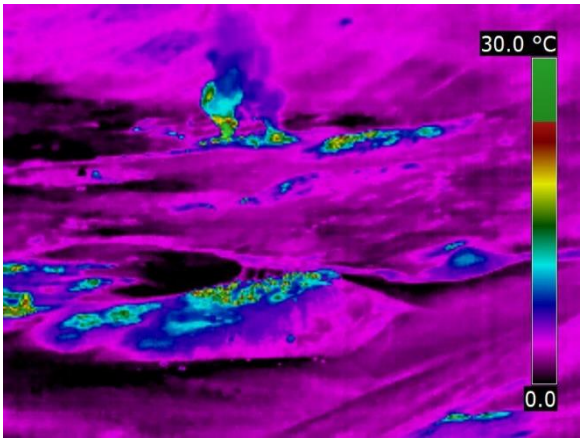
3. *Undirlendi Bæjarfjalls.*



4. *Undirlendi Bæjarfjalls.*

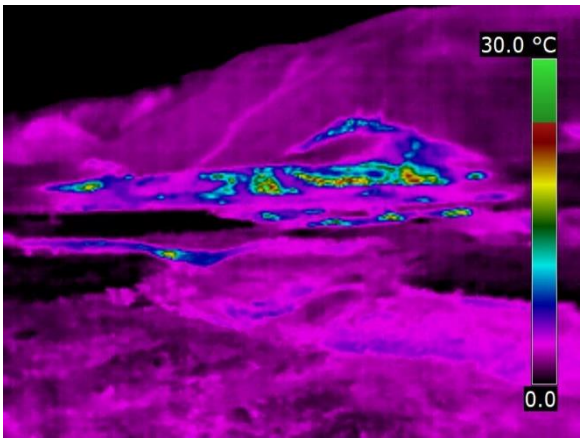


5. *Undirlendi Bæjarfjalls. Neðri-Bóndhóll og virknin neðan við hann er efst á myndinni.*

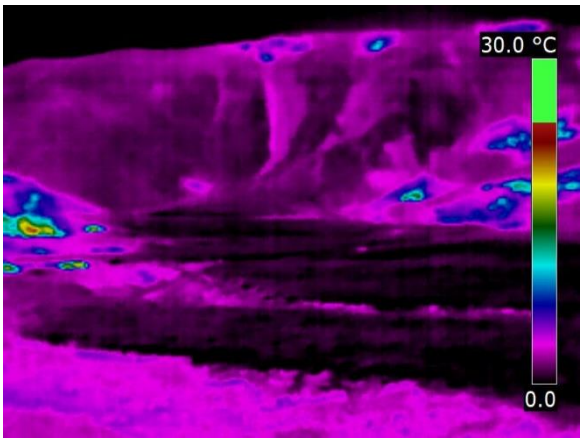


6. *Undirlendi Bæjarfjalls. Neðri-Bóndhóll á miðri mynd. Ofan við hann á myndinni er þó nokkur aukning á virkni.*

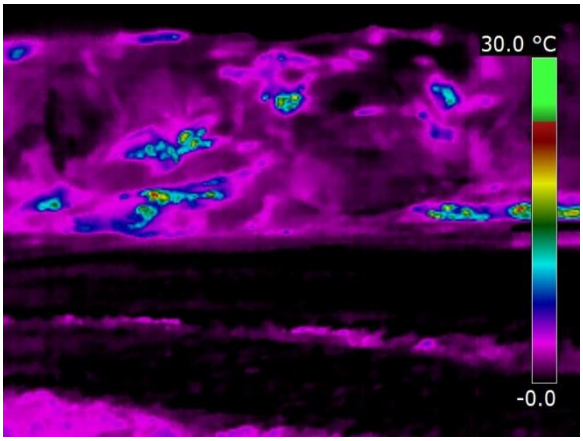
Mynd 94. *Jarðhitinn við norðanvert Bæjarfjall. Hitamyndir teknar ofan af fjallinu á myndatökustað 4 (sjá mynd 82).*



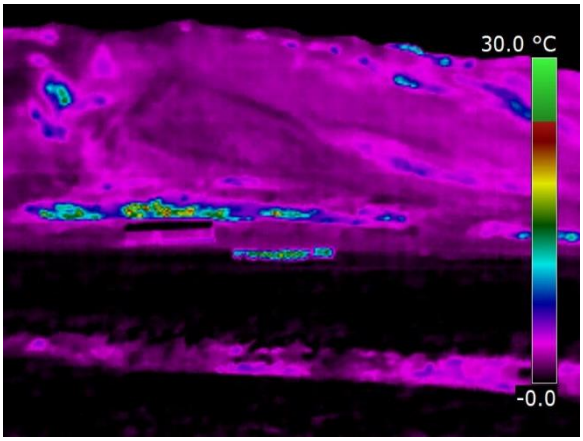
1. *Norðurhlíð Bæjarfjalls. Neðri-Bóndhóll á miðri mynd.*



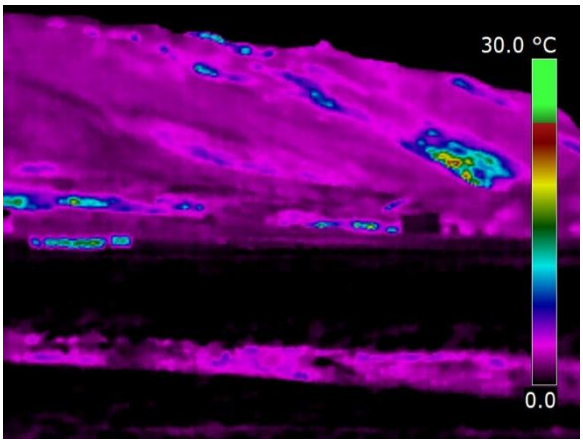
2. *Norðurhlíð Bæjarfjalls.*



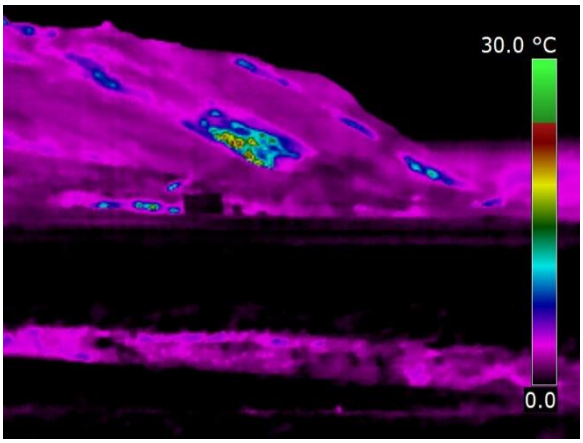
3. *Norðurhlíð Bæjarfjalls.*



4. *Norðurhlíð Bæjarfjalls.*



5. *Norðurhlíð Bæjarfjalls. Hross eru fremst á mynd fyrir framan Sæluhúsið.*



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

Mynd 95. *Hitamyndir af norðurhlíð Bæjarfjalls. Myndatökustaður 3 á mynd 82. 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.*

4.1.5 Ketilfjall

Við rætur Ketilfjalls eru volgar laugar sem eru afrennsli upphitaðs grunnvatns frá hitagjafa undir fjallinu (mynd 82). Laugarnar koma fram á um 500 m langri línu með NNA-læga stefnu. Hitinn í laugunum var frá 14–34°C, lítið eitt lægri en 2014 þegar hitinn fór mest í 37°C en svipaður og síðustu tvö ár. 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 96).

Mynd 96. *Jarðhitaskálin í miðjum hlíðum Ketilfjalls. Dreifing svipuð og síðustu ár. Kröftugasta gufustreymið er norðarlega í skálinni neðan við gula brennisteinsskellu (sýnatökustaður Þ G-102). Gufustreymið var heldur meira 2017 en áður og var krafturinn í gufuaugunum mikill.*

Jarðhiti er norðan og sunnan við borteig holna ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7. Nyrðra svæðið er stærra með brennisteinsþúfum og gufu- og leirhverum með þó nokkru vatni. 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 enn bæst við nýjar, heitar skellur og niðurföll frá kortlagningunni 2015 og 2016 (myndir 97–99).

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 (2007).

Mynd 97. *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. Ný virkni hefur verið að koma fram síðastliðin ár (þ.e. 2015, 2016 og 2017).*

Mynd 98. *Ný niðurföll norðan við borplanið, bullandi leirhverir, heit jörð og gufa.*

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 hefur gufustreymi aukist mikið og nær nú töluvert upp í hlíðina meðfram vegslóðanum upp skarðið. Hiti er frá 70–90°C. Það vottar fyrir brennisteinslykt af gufunni. Virknin í þessum flekk er að aukast og mest núna á milli áranna 2016 og 2017 og víða má sjá sölnaðan gróður (mynd 99).

Mynd 99. *Svæðið sunnan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7. Aukið gufustreymi, mest sunnan við ummyndaða flekkinn. Hiti er frá 70–90°C. Það vottar fyrir brennisteinslykt af gufunni. Hiti í miðju flekks er 95–97°C. Þessum háa hita fylgja útfellingar (hverasölt).*

4.1.6 Niðurstöður

Dreifing jarðhitans sem kortlagður var á Þeistareykjum sumarið 2012 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a) var áþekk því sem áður hafði verið lýst (Gestur Gíslason o.fl., 1984; Kristján Sæmundsson, 2007). Þetta á að hluta til við um athuganir sumarsins 2017. Þeir staðir þar sem mesta breytingin í jarðhita hefur orðið frá 2012 eru norðan og sunnan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7. Virkni hefur aukist og nýleg virkni hefur fundist rétt norðan og norðvestan við holurnar sem og hin nýja virkni sunnan við ummyndunarblettinn suður af borteignum. Einnig hefur virkni aukist í norðvesturhlíðinni (niður við rætur Ketilfjalls og í fjallshlíðinni), mun meiri gufuvirkni og aukin virkni í gömlum skellum sem voru lítt áberandi áður. Jarðhitavirkni í norðurhluta Tjarnaráss fer minnkandi og er nánast engin. Virkni við Sæluhús og að Bæjarfjalli, þar sem Tjarnarás gengur upp að fjallinu, hefur einnig aukist.

4.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum á Þeistareykjum

4.2.1 Sýnatökustaðir á Þeistareykjum

Fjórum sýnum af gufu og þéttivatni var safnað á Þeistareykjum þriðjudaginn 15. ágúst 2017, í björtu og fögru veðri.

Hugmyndin var að safna úr sömu gufuaugum og safnað var úr sumarið 2016. Greiðlega gekk að safna á fyrstu þremur stöðunum; G-102 í Ketilfjalli, G-101 við Sæluhúsið og G-107 í sunnanverðum Tjarnarási, en gufuaugað G-106 sunnan í Röndum var orðið að sjóðandi leirhver og því ekki hægt að ná sýni úr því. Í stað þess var sýni safnað úr G-104 í brennisteinsflagi neðan Neðri-Bóndhóls þar sem síðast var tekið sýni sumarið 2015.

Yfirlit um sýnatökustaði er sýnt í töflu 7 og staðsetning þeirra er sýnd á mynd 100 ásamt öðrum gufuaugum sem sýni hafa verið tekin úr á Þeistareykjum (Gestur Gíslason o.fl., 1984; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a; 2013b, 2014, 2015, 2016). 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.

Sýnatöku- og efnagreiningaraðferðum er lýst í viðauka 2 hér að aftan.

Tafla 7. *Sýnatökustaðir á Þeistareykjum sumarið 2017.*

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 Sæluhúsið
G-102	H 10183	G-3	594555	599915	465	Í skál í Ketilfjalli
G-104	H 10185	G-12	593646	599170	385	Í brennisteinsflagi neðan Bóndhóls
G-107	H 93554	G-6, G-103	592585	598832	342	Í leirflagi syðst í Tjarnarási

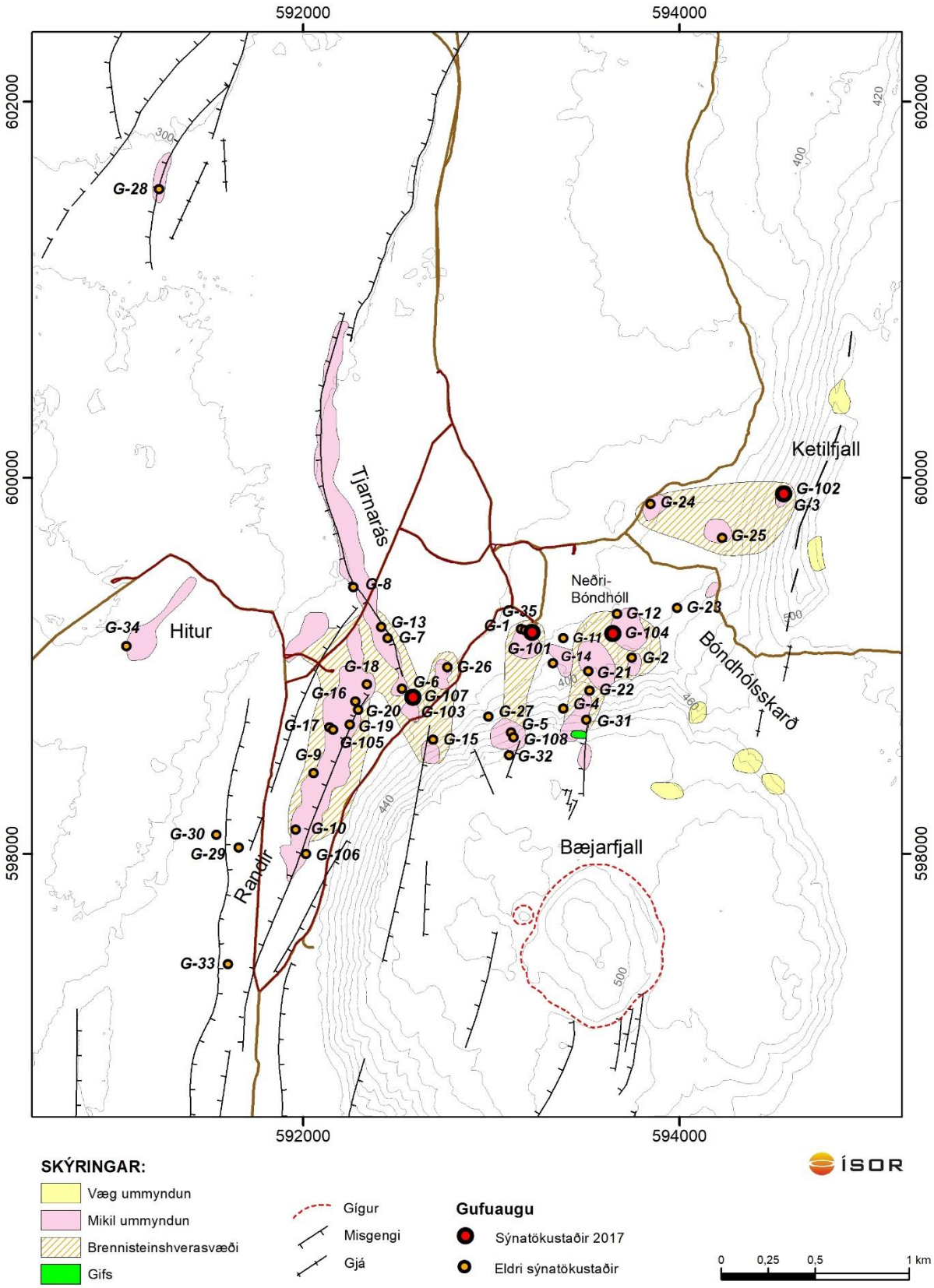
* *Nöfn gufuaugna eru stytt. Fullt nafn í gagnagrunni ÍSOR er „Þ G-101“ o.s.frv.*
** *Hér er vísað til gufuaugna sem lýst er í skýrslu Gests Gíslasonar o.fl. (1984).*

Þ G-101: Sæmilega öflugt gufuauga í grunnu gili sunnan við Sæluhúsið á slóðum gamla G-1. G-101 er staðsett aðeins austar en G-1, í leirhólum í lækjarfarveginum (sjá myndir 100 og 101). Líkt og sumarið 2016 var svæðið allt fremur þurrt, þar með talinn efri hluti lækjarfarvegarins. Leirpyttir voru þó sjóðandi í jöðrum hans.

Þ G-102: Mjög öflugt auga í skál í Ketilfjalli á slóðum gamla G-3. G-102 er þó norðan til í skálinni en G-3 var í henni sunnanverðri (sjá myndir 100 og 102).

Þ G-104: Sæmilegt auga í allstóru brennisteinsflagi neðan Neðri-Bóndhóls. Svæðið er að mestu þakið brennisteinshverum og nokkrir þeirra eru nógu öflugir til sýnatöku. Augað sem safnað var úr er vestarlega í flaginu, á sömu slóðum og gamla G-12 (sjá myndir 100 og 103).

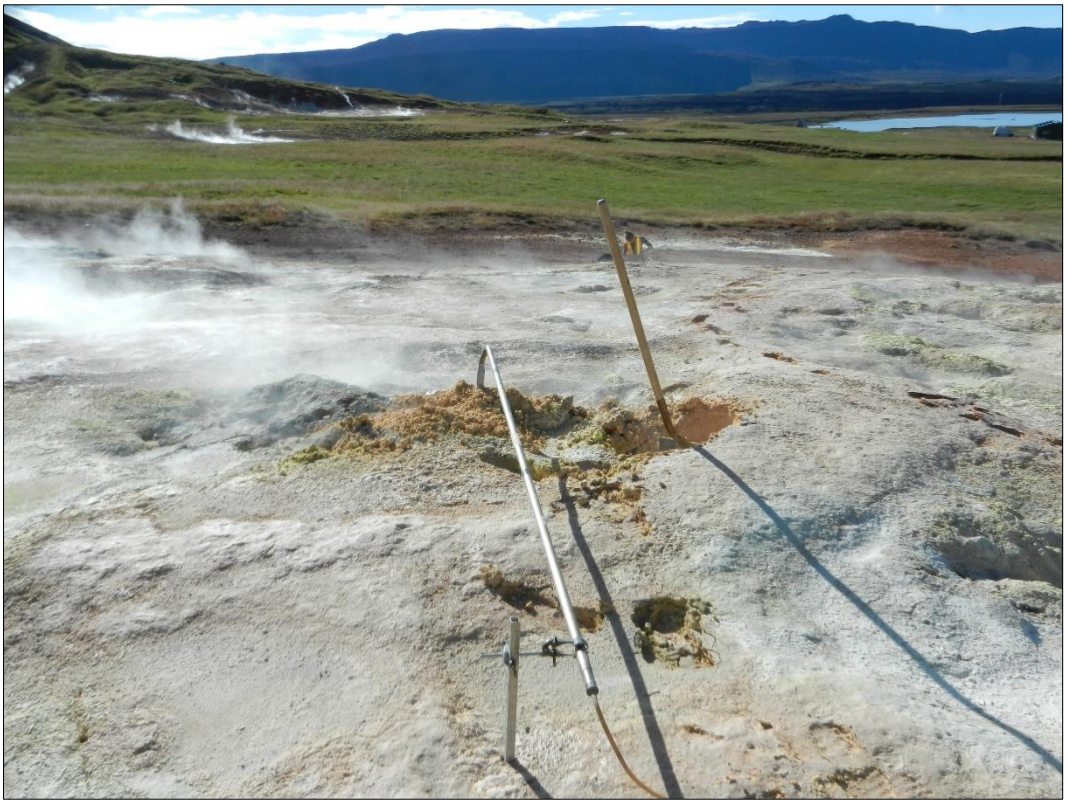
Þ G-107: Frekar kraftlítið en skýrt afmarkað og fókuserað auga norðan til í leirflagi syðst á Tjarnarási og rétt norðan vegarins undir Bæjarfjalli. Augað G-103 var í sama flagi, svo og G-6 til forna (sjá myndir 100 og 104). Hið sama átti við hér og við Sæluhúsið, að svæðið var heldur þurrt miðað við það sem oft hefur verið.



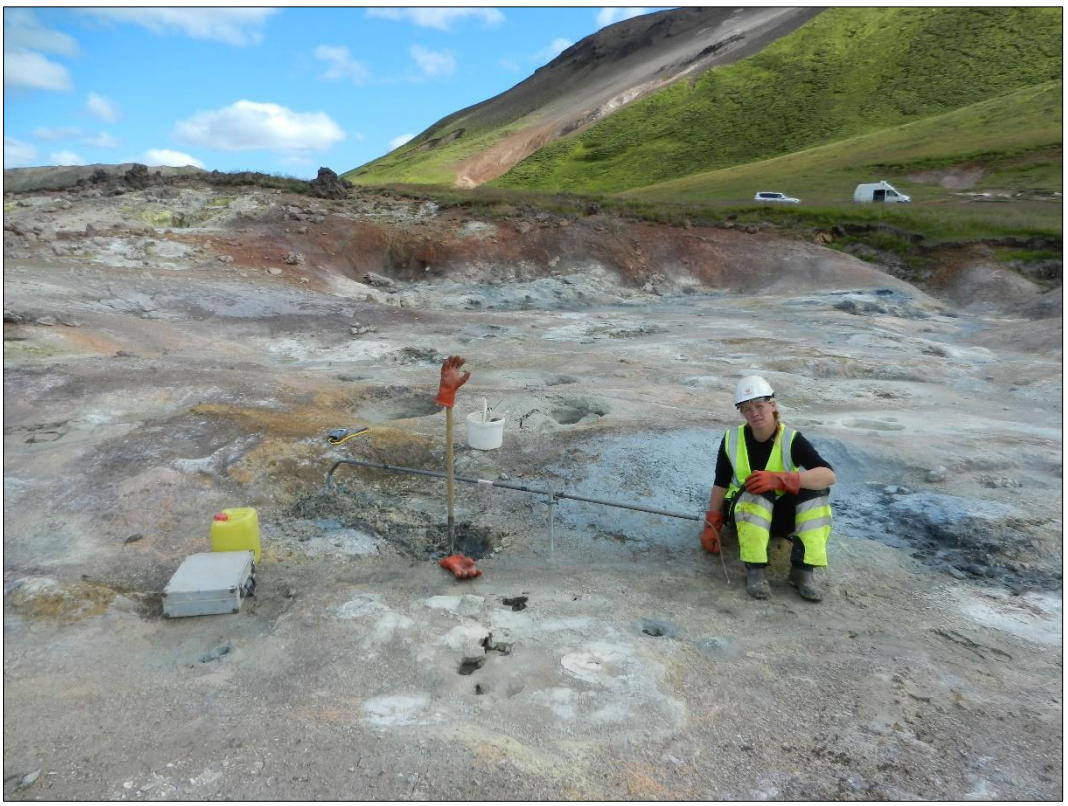
Mynd 100. *Gufuaugu á Þeistareykjum. Gufuaugu sem safnað var úr sumarið 2017 eru sýnd með rauðum táknum.*

Mynd 101. *Gufuaugað Þ G-101 sunnan við sæluhúsið á Þeistareykjagrundum.*

Mynd 102. *Undirbúningur sýnatöku úr gufuauganu Þ G-102 í skál í hlíðum Ketilfjalls.*



Mynd 103. *Undirbúningur sýnatöku úr gufuauganu Þ G-104 í flagi neðan Neðri-Bóndhóls.*



Mynd 104. *Sýnataka úr gufuauganu Þ G-107 í flagi sunnan undir Tjarnarási.*

4.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga

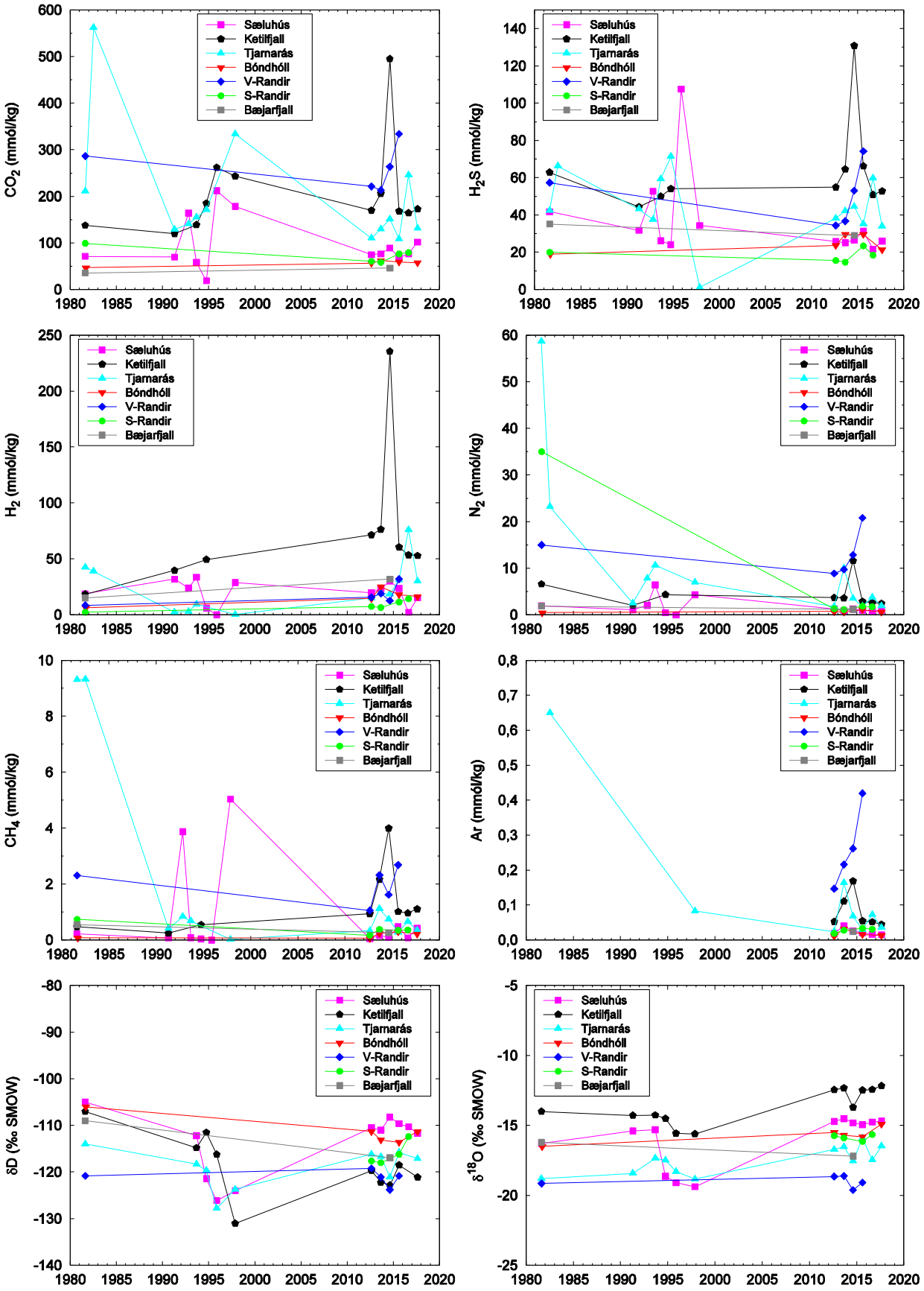
Niðurstöður efnagreininga sýna sem tekin voru á Þeistareykjum sumarið 2017 eru skráðar í töflu 8 og á mynd 105 er sýndur styrkur gastegunda og hlutföll stöðugra samsætna vetnis og súrefnis í gufu frá Þeistareykjum með tíma. Samsætuvik í sýnunum er teiknað á mynd 106 ásamt úrkomulínu Craigs (1961) og suðuferlum fyrir grunnvatn og djúpvökva.

Tafla 8. *Efnasamsetning gufusýna frá Þeistareykjum sumarið 2017.*

Sýni	20170175	20170176	20170177	20170178
Dagsetning	15.8.2017	15.8.2017	15.8.2017	15.8.2017
Staður	Þ G-102	Þ G-101	Þ G-107	Þ G-104
Hitastig (°C)	98,5	98,5	98,6	98,4
Gasstyrkur í gufu (mmól/kg)				
CO_2	173	102	132	57,9
H_2S	52,8	26,0	33,9	21,4
H_2	52,9	15,3	30,3	16,4
CH_4	1,11	0,423	0,352	0,213
N_2	2,44	0,99	1,95	0,60
O_2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ar	0,045	0,015	0,036	0,014
Steinefni í þéttivatni (mg/kg)				
Cl	0,03	0,05	0,03	0,02
B	0,03	0,07	0,07	0,05
Samsætur í þéttivatni (‰SMOW)				
$\delta^{18}O$	-12,16	-14,68	-16,48	-14,91
δD	-121,1	-111,7	-117,1	-111,3

Efnagreiningar eldri sýna á mynd 105 eru fengnar úr gagnagrunni ÍSOR og eru þær skráðar í töflur V-13 til V-19 í viðauka 1. Nokkuð misjafnt er hversu margar efnagreiningar eru til úr hverju auga. Einnig er misjafnt hversu ítarlegar greiningarnar eru, til dæmis heyra greiningar á argoni og tvívetni til undantekninga í eldri sýnum.

Í töflu 9 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 105. *Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum á Þeistareykjum.*

Tafla 9. *Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áranna 2012 til 2017 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).*

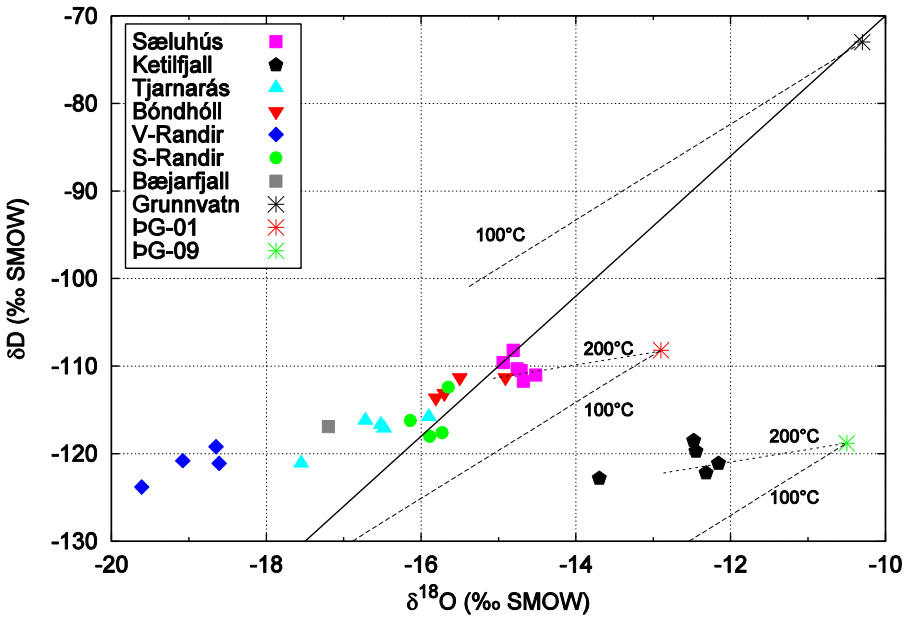
Sýni	Auga	T_{CO2}	T_{H2S}	T_{H2}	$T_{CO2/N2}$	$T_{H2S/Ar}$	$T_{H2/Ar}$	$\bar{x}$	σ
20170176	G-101	300	281	313	316	318	306	306	14
20160245	G-101	285	275	(248)	310	311	306	289	20
20150247	G-101	280	287	(332)	301	313	308	298	14
20140266	G-101	293	282	(344)	300	302	308	297	10
20130253	G-101	285	280	(332)	310	287	294	291	12
20120182	G-101	284	280	(325)	293	309	306	294	13
20170175	G-102	330	306	(375)	300	306	309	310	11
20160244	G-102	327	305	(376)	296	301	306	307	12
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
20170177	G-107	314	290	(345)	299	300	302	301	9
20160246	G-107	(353)	(310)	(398)	297	296	306	300	6
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
20170178	G-104	272	274	316	313	314	309	300	20
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
20160247	G-106	287	269	(310)	283	286	290	283	8
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 til 1997. Síðan 2012 hefur styrkur flestra gastegunda þó verið á svipuðu róli og þegar fyrstu sýnum var safnað 1981. Sýnið frá 2017 virðist vera svolítið gasríkara en sýni áranna á undan. Nú mælist CO_2-styrkur 102 mmól/kg og H_2S 26 mmól/kg. Meðalgashiti reiknast 306°C sem er heldur hærra en mælst hefur frá 2012. Ágætt samræmi er milli allra gashitamælanna. Samsætugildin breytast lítið milli ára en svolítil lækkun í δD gæti ásamt hækkuðum gasstyrk bent til lítils háttar þéttingar sýnisins fyrir söfnun.

Þ G-102: Sýni sem safnað hefur verið úr G-102 frá 2012 hafa verið mjög svipuð, að undanskildu sýni ársins 2014, en það hafði þést að nokkru leyti á leið sinni til yfirborðs og sá þess greinileg merki í gas- og samsætuniðurstöðunum. Sýni ársins 2017 er hins vegar á svipuðu róli og hin sýnin; styrkur CO_2 er 173 mmól/kg en H_2S og H_2 eru nærri 50 mmól/kg. Styrkur H_2 er hærri en jafnvægi við steindir gefur til kynna og því fæst óeðlilega hár H_2-gashiti. Meðalgashiti að H_2-mælinum slepptum reiknast 310°C sem er svipað og verið hefur. Litlar breytingar er að sjá á samsætuhlutföllum í þéttivatninu en gufan úr G-102 sker sig úr hvað varðar súrefnishliðrun, sem nemur um 4‰ þar en er óveruleg eða neikvæð í öðrum gufuaugum. Þetta bendir til þess að vökvinn sem gufan sýður upp af hafi haft umtalsverð efnaskipti við berg.

Þ G-104: Aðeins fimm sýni eru til úr G-104 í flaginu neðan 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. Meðalgashiti reiknast 300°C, líkt og fyrir önnur sýni sem safnað hefur verið frá 2012. Samsætuhlutföllin eru einnig svipuð og í G-101; tvívetnisvikið er -111‰ og súrefnissamsætur gefa óverulega hliðrun frá úrkomulínunni.

Þ G-107: Árið 2016 mældist gasstyrkur í G-107 tvöfalt hærri en sumarið áður og jafnframt hærri en gasstyrkur í forvera þess, G-103. Líklegasta ástæða þess var sú að gufan hefði þést að hluta á leið sinni til yfirborðs. Sýni ársins 2017 ber hins vegar ágætlega saman við sýni frá 2015 og fyrri árum. Gasstyrkur í Tjarnarási er svolítið hærri en á Þeistareykjagrundum (augu G-101 og G-104). Styrkur CO_2 mælist nú 132 mmól/kg en H_2S og H_2 nærri 30 mmól/kg. Þessi styrkur H_2 gefur allhátt gashitagildi en að því slepptu reiknast meðalgashiti 300°C, sem ber prýðilega saman við síðustu ár (að teknu tilliti til þéttingar sýnisins frá 2016). Samsætuhlutföllin breytast lítið milli ára; δD er nærri -117‰ og sýnir svolitla neikvæða hliðrun frá úrkomulínunni.



Mynd 106. *Samsætuvik sýna áranna 2012–2017 úr gufuaugum á Þeistareykjum ásamt úrkomulínu Craigs (1961). Einnig eru sýndir ferlar fyrir suðu grunnvatns og djúpvatns úr ÞG-1 og ÞG-9.*

4.2.3 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 nú að mestu í svipuðu ástandi og þá. Helsti munurinn liggur í því að gasstyrkur hefur hækkað talsvert í Ketilfjalli, einkum styrkur vetnis. Síðan 2012 hefur hins vegar ekki verið að sjá verulegar breytingar milli ára, þótt stöku sýni skeri sig úr, vegna þéttingar gufu eða loftmengunar.

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 en er 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). Mólhlutfallið CO_2/H_2S reiknast á bilinu 2,7 til 3,9 í sýnum ársins 2017. 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 og B í þéttivatni er alls staðar lægri en 0,1 mg/kg sem bendir til þess að lítil kvikuáhrif eða meðburður vatns sé til staðar.

Tvívetnisgildi gufunnar í sýnum áranna 2012–2017 spanna bilið -108 til -124‰ en allra lægstu gildin eru fyrir sýni sem greinilega hafa þést á leið til yfirborðs (úr G-105, G-102 og G-103, sýni sem jafnframt hafa óvenju lág $\delta^{18}O$). Gildin eru hæst á Þeistareykjagrundum (G-101 og G-104) en lægst í Ketilfjalli (G-102). 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 106). Það töldu Darling og Ármannsson (1989) til marks um að gufan í Ketilfjalli væri hér um bil ótrufluð djúpgufa en að gufan vestan Tjarnaráss hefði þést verulega (niður í 15–25% af upphaflegu rúmmáli) við hitastig nærri eða undir 200°C. Þetta kemur ágætlega heim og saman við niðurstöður borana og sýnatöku úr holum ÞG-2 og ÞG-5, sem gefa til kynna mikla lekt og um 200°C heitt vatnskerfi vestan Tjarnaráss.

Varðandi uppruna vatnsins þá bendir tvívetni ótvírætt til þess að hans sé ekki að leita í köldu eða volgu grunnvatni nærri yfirborði, þar eð það hefur mun hærra tvívetnishlutfall en jarðhitavökvinn. Þannig eru samsætuhlutföll vatnsins úr vatnsbóli gamla Þeistareykjabæjarins $\delta D \approx -72{,}3‰$ og $\delta^{18}O \approx -10{,}3‰$ (sjá töflu 18 í kafla 5.2.1) en samsætuhlutföll djúpvatns í holu ÞG-1 eru $\delta D \approx -108‰$ og $\delta^{18}O \approx -12{,}7‰$ en djúpvatn í holu ÞG-9 hefur $\delta D \approx -119‰$ og $\delta^{18}O \approx -10{,}5‰$ (Finnbogi Óskarsson, 2011, 2012). Á mynd 106 eru sýnd samsætuhlutföll gufu sem myndast við suðu vatnsins úr vatnsbólinu við 100°C, reiknuð út frá jöfnum Horita og Wesolowski (1994).

Hins vegar má hugsa sér að tvívetnisgildi vatnsins sem fæðir jarðhitakerfið sé á bilinu -108 til -100‰ og gufan sem stígur upp af Þeistareykjagrundum, Tjarnarási og Röndum sé mynduð við suðu slíks vökva, og það gæti verið sami vökvi og finnst í holu ÞG-1. Gufan í Ketilfjalli virðist hins vegar vera sömu ættar og vökvinn í holu ÞG-9 og gæti verið mynduð við suðu á honum. Á mynd 106 eru sýnd samsætuhlutföll gufu sem myndast við suðu djúpvatns úr holum ÞG-1 og ÞG-9 við 100°C og 200°C, reiknuð út frá jöfnum Horita og Wesolowski (1994).

5 Vöktun grunnvatns í Mývatnssveit, á Þeistareykjum og í Kelduhverfi

Í þessum kafla verður greint frá niðurstöðum efnagreininga sem gerðar voru á vatni í tengslum við vöktun grunnvatns í Mývatnssveit, á Þeistareykjum og í Kelduhverfi árið 2017. 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 Isotech Laboratories í Illinois í Bandaríkjunum. Í skýrslunni eru birtar niðurstöður mælinga á samsætum vetnis og súrefnis í sýnum sem voru tekin 2016 en niðurstöður lágu ekki fyrir við útgáfu skýrslu um umhverfisvöktun 2016. Sýnatöku- og efnagreiningaraðferðum er lýst í viðauka 2. Brennisteinsvetni var greint við sýnatöku en aðrir reikulir efnaþættir (sýrustig, karbónat og leiðni) voru mældir 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.

5.1 Mývatnssveit

Aðdraganda umhverfisvöktunar með affallsvatni frá Kröflu- og Bjarnarflagsvirkjunum er lýst í 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 í stað þess að nota til þess sérstök ferilefni. Á grundvelli samkomulags við Umhverfisstofnun var grunnvatn í Mývatnssveit vaktað að jafnaði á tíu eftirlitsstöðum tvisvar á ári frá árinu 2004, og niðurstöður hafa 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, 2015, 2016). Á árinu 2013 varð sú breyting á vöktuninni að vöktunarstöðum var fjölgað úr 10 í 20 og sýnataka fer nú fram einu sinni á ári (Umhverfisstofnun, 2014). Starfsmenn ÍSOR annast sýnatöku, efnagreiningar og úrvinnslu gagna. Á hverjum sýnatökustað eru tekin sk. heilsýni af vatni til greininga á aðalefnum og öllum helstu snefilefnum. Nánari lýsingu á sýnameðhöndlun og efnagreiningaaðferðum er að finna í viðauka 2.

Á árinu 2017 fór sýnataka fram í september og alls voru tekin sýni á 20 stöðum og önnuðust Heimir Ingimarsson og Vaiva Čypaité, starfsfólk ÍSOR, sýnatökuna samkvæmt verklagi ÍSOR (Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson, 2006b). Hitastig vatnsins og styrkur brennisteinsvetnis var mældur við sýnatöku, einnig sýrustig (pH) svo og rennsli úr þeim holum sem dælt var úr (tafla 11). Sýrustig var einnig mælt á rannsóknarstofu skömmu innan tveggja sólarhringa frá sýnatöku. Niðurstöðum bar nokkuð vel saman og eru niðurstöður sýrustigsmælinga á rannsóknarstofu sýndar í töflu hér aftar.

Yfirlit um sýnatökustaðina er sýnt í töflu 10 og á mynd 107.

Tafla 10. *Sýnatökustaðir í Mývatnssveit 2017.*

Staður	Staðarnr.	Sýni nr.	Dagsetning	Hitastig (°C)	X	Y
Krafla-skiljustöð	M-20008	20170238	6.9.2017	94,2	602585	580452
AE-10	B-57890	20170241	7.9.2017	39,7	602263	577758
Hlíðardalslækur v/AB-2	V-2356	20170240	7.9.2017	14,5	602549	572138
AB-2	B-57842	20170239	7.9.2017	4,0	602504	572234
LUD-4	B-58504	20170223	4.9.2017	6,0	601182	571414
LUD-3	B-58503	20170224	4.9.2017	5,4	600780	570018
LUD-2	B-58502	20170237	6.9.2017	6,1	600210	567326
LUD-5	B-58505	20170220	4.9.2017	4,9	602746	570365
LUD-6	B-58506	20170236	6.9.2017	32,6	598927	570225
LUD-11	B-58521	20170234	6.9.2017	33,1	598375	574067
Bjarnarflagslón	M-20004	20170242	7.9.2017	22,2	598920	573066
Bjarg	H-10080	20170221	4.9.2017	19,7	595981	572967
Helgavogur	H-10082	20170222	4.9.2017	23,7	595660	572213
Stóragjá	H-10083	20170225	4.9.2017	28,0	596231	572759
Grjótagjá	H-10085	20170233	7.9.2017	45,8	597515	571469
Vogagjá	H-10087	20170235	6.9.2017	40,6	597236	570623
Langivogur	H-10088	20170232	7.9.2017	22,8	595991	570334
Hverfjallsgjá	K-559	20170219	3.9.2017	7,4	597107	569164
Vogaflói	K-558	20170218	3.9.2017	6,4	595856	569697
Garðslind	K-556	20170217	3.9.2017	6,2	593816	563105

Djúpdælur eru í átta vöktunarholum á Mývatnssvæðinu og í töflu 11 er sýnt yfirlit um þær og hve miklu var dælt úr hverri holu við sýnatöku haustið 2017. Dæla í holu LUD-10 í Bjarnarflagi var biluð og ekki tekið sýni þar að þessu sinni.

Tafla 11. *Yfirlit um dælt magn við sýnatöku 2017 úr vöktunarholum í Mývatnssveit.*

Hola	Staðarnr.	Sýni nr.	Dagsetning	Hitastig (°C)	Magn (L)
AB-2	B-57842	20170239	7.9.2017	4,0	2660
LUD-2	B-58502	20170237	6.9.2017	6,1	1440
LUD-3	B-58503	20170224	4.9.2017	5,4	1965
LUD-4	B-58504	20170223	4.9.2017	6,0	2840
LUD-5	B-58505	20170220	4.9.2017	4,9	5085
LUD-6	B-58506	20170236	6.9.2017	32,6	8000
LUD-10[1)]	B-58510	-	-	-	-
LUD-11	B-58521	20170234	6.9.2017	33,3	1200

[1)] *Engin dæling í holu LUD-10.*

Til að einfalda framsetningu á myndunum hafa vöktunarstaðir verið flokkaðir í þrennt:

- Sýni af affallsvatni frá skiljustöð í Kröflu og úr Bjarnarflagslóni, auk sýna úr Hlíðardalslæk á móts við holu AB-2 og holu LUD-4 sem sýnir hærri styrk arsens og áls en aðrir staðir.
- Sýni úr öðrum borholum; AE-10, AB-2 og LUD-2, LUD-3, LUD-4, LUD-5, LUD-6, LUD-10 og LUD-11.
- Sýni úr heitum, volgum og köldum lindum.

Niðurstöður efnagreininga eru sýndar í töflu 13 og til glöggvunar eru niðurstöður mælinga á arseni bornar saman við fyrri niðurstöður á myndum 108–112 og fyrir ál á myndum 113–116 líkt og gert hefur verið í fyrri skýrslum um vöktun grunnvatns.

Auk gagna sem sýna niðurstöður fyrir mælingar á arseni og áli hafa að þessu sinni verið teknar saman niðurstöður mælinga þeirra málma sem tilgreindir eru í reglugerð um varnir gegn mengun vatns frá árinu 1999 (tafla 12) (reglugerð um varnir gegn mengun vatns nr. 796/1999). Þessir málmar eru: kopar, sink, kadmíum, blý, króm og nikkel, auk arsens. Á myndum 8–25 eru sýndar niðurstöður mælinga fyrir þessa sex málma og eru vöktunarstaðir flokkaðir á sama hátt og lýst er hér ofar. Á öllum myndum eru sýnd viðeigandi umhverfismörk eins og þau eru sett fram í reglugerðinni (tafla 12). Viðmiðunarmörk fyrir ál hafa í skýrslum undanfarinna ára verið sett annars vegar við 0,02 mg/L og hins vegar við 0,08 mg/L til samræmis við tillögur að umhverfismörkum fyrir ál í Noregi (Löfgren og Lydersen, 2002). Ekki finnast upplýsingar um að þessar tillögur hafi verið innleiddar í Noregi og engin slík mörk eru í íslenskum reglugerðum og eru þessi viðmiðunarmörk því ekki sýnd á myndum hér fyrir styrk áls í vatni. Í íslenska staðlinum fyrir neysluvatn eru mörkin 0,2 mg/L og eru þau sýnd á þeim myndum sem það á við (reglugerð um neysluvatn, nr. 536/2001). Leitað var álits sérfræðings í fiskeldi varðandi eituráhrif áls í fiskeldi og er algengt viðmið að eiturmörk áls sé um 0,3 mg/L gagnvart laxfiskum sem og öðrum fiskum (Bernhard Laxdal, pers. uppl., 2017; Branson, 1993).

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

Umhverfismörk	***I***	***II***	***III***	***IV***	***V***
Kopar Cu)	≤0,0005	0,0005-0,003	0,003-0,009	0,009-0,045	>0,045
Sink (Zn)	≤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	0,0003-0,0015	>0,0015
Blý (Pb)	≤0,0002	0,0002-0,001	0,001-0,003	0,003-0,015	>0,015
Króm (Cr)	≤0,0003	0,0003-0,005	0,005-0,015	0,015-0,075	>0,075
Nikkel (Ni)	≤0,0007	0,0007-0,015	0,015-0,045	0,045-0,225	>0,225
Arsen As)	≤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 108–112 eru sýndar niðurstöður fyrir styrk arsens á vöktunarstöðum í Mývatnssveit og er stöðum skipt upp eins og áður hefur verið lýst. Til nánari greiningar á niðurstöðum eru niðurstöður fyrir skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk og LUD-4 sýndar á mynd 109, án mælinga í Bjarnarflagslóni. Eins og áður er styrkur arsens hæstur í sýnum sem tekin eru í „svelgnum“ þar sem vatn í Bjarnarflagslóni hverfur ofan í gjá í vesturjaðri lónsins. Styrkurinn er vel yfir umhverfismörkum IV (0,075 mg/L). Vatnið úr skiljustöðinni í Kröflu er að jafnaði milli umhverfismarka III og IV hvað varðar styrk arsens en Hlíðardalslækur er nú orðið milli umhverfismarka II og III (mynd 109) og nærri viðmiðunarmörkum fyrir neysluvatn (0,01 mg/L). Styrkur arsens er hæstur í vatni úr holu LUD-4 af vöktunarholunum en þó lægri en viðmiðunargildi fyrir neysluvatn og núorðið nærri umhverfismörkum II eins og sést á mynd 110. Til nánari greiningar á mæligildum fyrir arsen í eftirlitsholum eru niðurstöður sýndar á mynd 111, án mælinga í LUD-4. Þar sést að styrkur arsens hefur lækkað í AB-2 á undanförnum árum, líkt og gerst hefur í sýnum úr Hlíðardalslæk. Þetta má ugglaust rekja til minnkandi magns af affallsvatni sem fer frá skiljustöðinni til förgunar í Hlíðardalslæk vegna aukinnar niðurdælingar í borholur í Kröflu. Styrkur arsens í sýnum úr heitum, volgum og köldum lindum er alls staðar neðan við umhverfismörk I eins og sýnt er á mynd 112, að frátöldum tveimur eldri mælingum úr Grjótagjá. Rétt er að benda á að hækkaður styrkur arsens sem fram kom í sýnum frá 2016 á nánast öllum þessum vöktunarstöðum mælist mjög áþekkur í ár að undanskildu sýni úr Helgavogi þar sem styrkur arsens greindist innan greiningarmarka (0,00005 mg/L). Í öllum tilvikum mælist styrkur arsens þó vel neðan við umhverfismörk I.

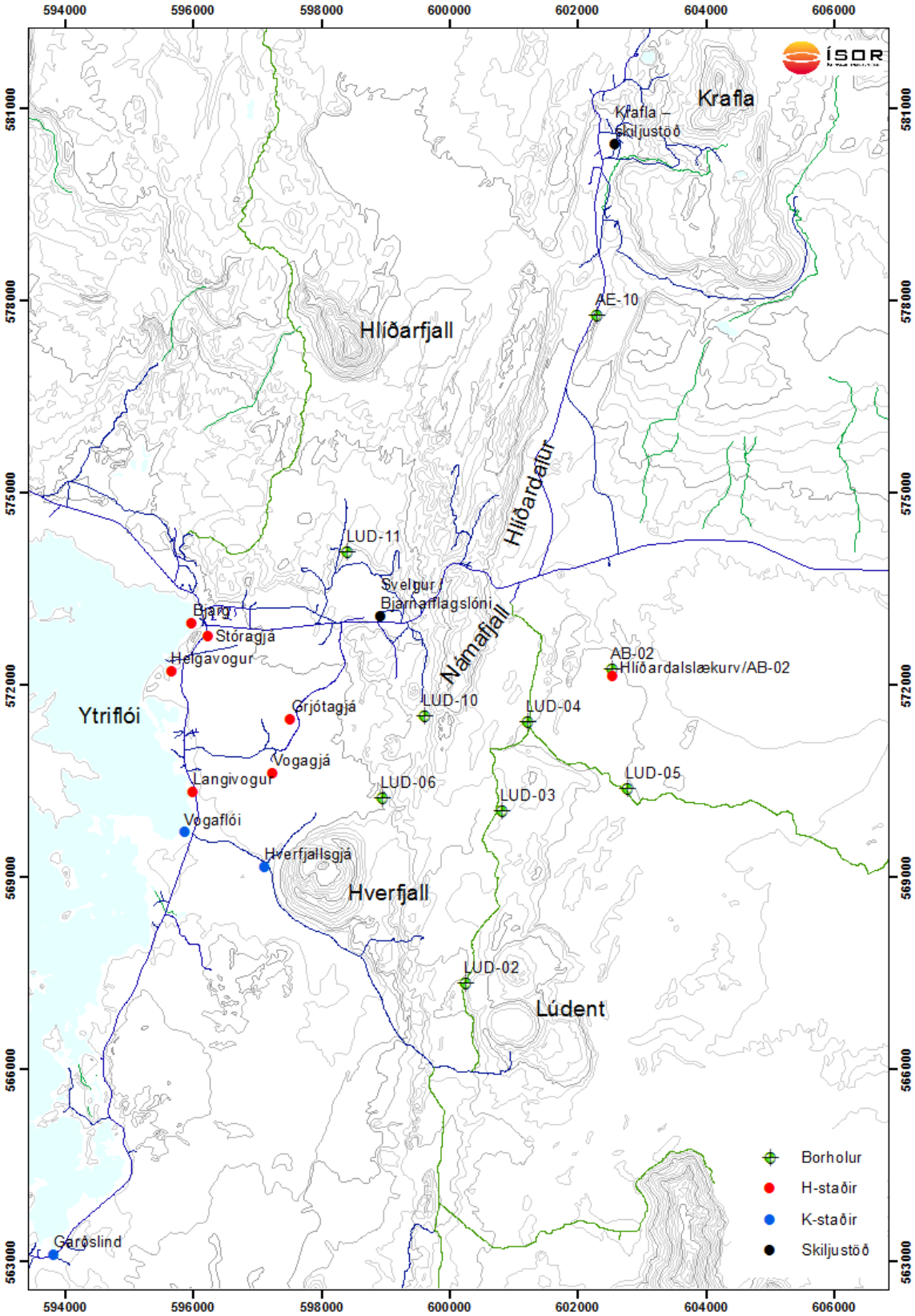
Á myndum 113–116 er sýndur styrkur áls á vöktunarstöðum og litlar markverðar breytingar koma þar fram. Styrkur áls er sem fyrr hæstur í Bjarnarflagslóni og nokkuð lægri í vatni frá skiljustöð í Kröflu. Á báðum stöðum mælist styrkur áls nú vel yfir viðmiðunarmörkum fyrir neysluvatn (0,2 mg/L) sem fyrr en í Hlíðardalslæk og LUD-4 mælist styrkur þess rétt við viðmiðunarmörkin. Í sýnum úr heitum, volgum og köldum lindum kemur fram lítils háttar hækkun í styrk áls líkt og sást árið 2016. Mesta breyting kemur fram í Stórugjá og enn meiri í Grjótagjá. Svipuð aukning sést einnig í styrk arsens (mynd 112).

Myndir 117–122 sýna styrk kopars, sinks, kadmíums, blýs, króms og nikkels í affallsvatni frá skiljustöð í Kröflu, Bjarnarflagslóni, Hlíðardalslæk og holu LUD-4 ásamt viðeigandi umhverfismörkum úr reglugerð 796/1999. Nokkrir óreglulegir toppar sjást á myndunum og þá verður að hafa í huga að hér er verið að mæla efni í mjög lágum styrk og óvissumörk eru því nokkuð víð samanborið við mæligildið. Í heildina eru niðurstöður 2017 sambærilegar við niðurstöður mælinga frá 2016. Styrkur kopars (mynd 117) er að jafnaði lægri en umhverfismörk II (0,003 mg/L), oft nærri umhverfismörkum I (0,0005 mg/L). Styrkur sinks (mynd 118) er um eða innan við umhverfismörk I (0,005 mg/L). Á síðastliðnum árum hefur styrkur kadmíums (mynd 119) mælst um eða nærri umhverfismörkum I (0,00001 mg/L) en á árum áður mátti sjá hærri gildi þar sem styrkur þess greindist jafnvel hærri en umhverfismörk III (0,0003 mg/L) í einstökum sýnum. Ekki er ólíklegt að það stafi af minni næmni við greiningar á árum áður. Mynd 120 sýnir styrk blýs og kemur þar fram að styrkur þess er að jafnaði um og innan við umhverfismörk I (0,0002 mg/L), fyrir utan allnokkur sýni úr Bjarnarflagslóni frá því fyrir 2011 þar sem styrkur þess hefur mælst umtalsvert hærri, stundum við umhverfismörk II (0,001 mg/L) og í tveimur tilvikum yfir umhverfismörkum III (0,003 mg/L). Styrkur króms (mynd 121) hefur verið allbreytilegur, sérstaklega í Bjarnarflagslóni og Hlíðardalslæk, en mældist nærri umhverfismörkum I (0,0003 mg/L) á þessum stöðum haustið 2016 og einnig

nú í ár. Styrkur nikkels (mynd 122) mælist að jafnaði hæstur í Hlíðardalslæk, rétt yfir umhverfismörkum I (0,0007 mg/L), fyrir utan nokkur há gildi í Bjarnarflagslóni frá fyrri tíð.

Myndir 123–128 sýna styrk sömu málma og sýndir eru á myndum 117–122 en í sýnum úr vöktunarholum í Mývatnssveit. Mynd 123 sýnir að styrkur kopars hefur á undanförnum árum verið undir umhverfismörkum II (0,003 mg/L) og í flestum holum nærri umhverfismörkum I (0,0005 mg/L) fyrir utan tvö hærri gildi úr holum LUD-2 annars vegar og LUD-4 hins vegar. Styrkur sinks (mynd 124) hefur verið við eða lægri en umhverfismörk I (0,005 mg/L) fyrir utan nokkur hærri gildi í eldri sýnum. Styrkur kadmíums (mynd 125) hefur á undanförnum árum mælst lágur, undir eða við greiningarmörk, og falla mæligildin nærri umhverfismörkum I (0,00001 mg/L). Styrkur blýs (mynd 126) mælist um og innan við umhverfismörk I (0,0002 mg/L) í flestum tilvikum. Á undanförnum árum hefur styrkur mælst hæstur í holu AE-10 en hefur lækkað og á árum áður má sjá einstaka óútskýrð hærri gildi. Á mynd 127 er sýndur styrkur króms í vöktunarholunum. Í flestum tilvikum er hann um og lítið eitt hærri en umhverfismörk I (0,0003 mg/L) en mældist einkennilega hár í öllum holum árið 2009. Er talið líklegt að þar geti verið um lítils háttar mengun við sýnatöku eða meðhöndlun sýna að ræða. Á árinu 2014 mældist styrkur einnig einkennilega hár í holu AE-10 en við eða nærri greiningarmörkum (0,00001 mg/L) árin 2013, 2015 og 2016. Niðurstöður 2017 sýna lítið eitt hækkaðan styrk króms í flestum eftirlitsholum en allar mælingar eru vel innan við umhverfismörk II (0,005 mg/L). Mynd 128 sýnir styrk nikkels í vöktunarholunum og mælist hann gegnumsneitt um og innan við umhverfismörk I (0,0007 mg/L) ef frá er skilið sýni úr holu AE-10 frá 2014 og nokkur gildi rétt yfir umhverfismörkum I í eldri sýnum. Styrkur nikkels hefur hækkað lítillega milli 2016 og 2017 en mælist þó innan umhverfismarka I.

Myndir 129–134 sýna styrk kopars, sinks, kadmíums, blýs, króms og nikkels í sýnum úr heitum, volgum og köldum lindum í Mývatnssveit. Í heild sýna þær að styrkur þessara efna er lágur, nærri greiningarmörkum þessara málma og um eða innan við umhverfismörk I. Í sýni úr Vogagjá haustið 2016 mældist óeðlilega hár styrkur króms og nikkels, og reyndar fleiri snefilefna (Sigurður Kristinsson o.fl., 2016). Niðurstöður greininga í sýni úr Vogagjá frá síðastliðnu hausti sýna lítið eitt hærri styrk en 2015 og árin þar á undan. Því verður að teljast líklegt að frávikið í sýninu frá 2016 stafi af mengun við sýnatöku, sýnameðhöndlun eða greiningu og hefur því greiningu á króm og nikkel verið sleppt á myndum 133 og 134.



Mynd 107. *Sýnatökustaðir í Mývatnssveit. Borholur eru sýndar grænar með krossi. Volgar lindir eru rauðar, kaldar lindir bláar og manngerðir staðir eru svartir.*

Tafla 13. *Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum haustið 2017. Styrkur efna er í mg/L.*

Staðarnafn	Skiljustöð	AE-10	Hlíðardalslækur	AB-2	LUD-4
Staður	M-20008	B-57890	V-2356	B-57842	B-58504
Dagsetning	2017-09-06	2017-09-07	2017-09-07	2017-09-07	2017-09-04
Sýnanúmer	20170238	20170241	20170240	20170239	20170223
Hitastig (°C)	94,2	39,7	14,5	4,0	6,0
Sýrustig (pH/°C)	9,72 / 21,8	7,86 / 21,8	6,86 / 22,0	7,86 / 21,0	7,84 / 23,5
Leiðni við 25°C (µS/cm)	1230	345	537	148	364
Karbónat (CO_2)	45,8	79,1	59,4	51,8	59,7
Brennisteinsvetni (H_2S)	21,4	<0,03	0,04	<0,03	<0,03
Bór (B)	1,01	0,07	0,20	0,05	0,14
Kísill (SiO_2)	573	50,5	109	26,5	49,0
Natríum (Na)	256	41,0	55,6	8,66	43,0
Kalíum (K)	32,5	1,50	7,24	1,47	2,29
Magnesíum (Mg)	0,005	1,02	9,35	5,32	8,92
Kalsíum (Ca)	2,59	29,0	30,2	10,7	13,6
Flúoríð (F)	1,59	0,11	0,24	0,19	0,22
Klóríð (Cl)	49,7	3,80	9,81	3,86	11,0
Brómíð (Br)	0,07	<0,01	0,02	<0,01	0,02
Súlfat (SO_4)	302	67,9	159	10,5	82,8
Ál (Al)	1,43	0,00946	0,167	0,00341	0,262
Arsen (As)	0,0133	<0,0002	0,00671	0,000505	0,00420
Baríum (Ba)	0,00230	0,000992	0,00156	0,000241	0,000571
Kadmíum (Cd)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	0,000007	0,000024	0,000167	0,000009	0,000007
Króm (Cr)	0,000959	0,00274	0,00123	0,000946	0,000304
Kopar (Cu)	0,000191	0,000133	0,000328	0,000446	0,00158
Járn (Fe)	0,0120	0,0643	0,129	0,00361	0,0307
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Mangan (Mn)	0,00177	0,00995	0,0629	0,000478	0,00167
Mólybden (Mo)	0,000604	0,000869	0,000842	0,000305	0,00184
Nikkel (Ni)	0,000474	0,00118	0,00116	0,000352	0,000079
Blý (Pb)	0,000014	0,000015	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Strontíum (Sr)	0,0191	0,0504	0,0342	0,0113	0,0166
Vanadíum (V)	0,00173	0,000061	0,00990	0,0225	0,0155
Sink (Zn)	0,000712	0,00118	0,00128	0,00178	0,00082
Uppleyst steinefni (UE)	1110	234	415	83,0	252
Jónavægi (%)	-11,5	2,5	6,4	-6,8	0,1
δD (‰ SMOW)	-84,0	-89,8	-70,4	-91,1	-81,3
$\delta^{18}O$ (‰ SMOW)	-9,79	-12,48	-8,26	-12,34	-10,65

Tafla 13. *(Frh.) Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum haustið 2017. Styrkur efna er í mg/L.*

Staðarnafn	LUD-3	LUD-2	LUD-5	LUD-6	LUD-11
Staður	B-58503	B-58502	B-58505	B-58506	B-58521
Dagsetning	2017-09-04	2017-09-06	2017-09-04	2017-09-06	2017-09-06
Sýnanúmer	20170224	20170237	20170220	20170236	20170234
Hitastig (°C)	5,4	6,1	4,9	32,6	33,3
Sýrustig (pH/°C)	8,21 / 23,9	8,36 / 21,7	8,34 / 21,5	8,25 / 21,2	7,55 / 20,1
Leiðni við 25°C (µS/cm)	195	217	183	390	529
Karbónat (CO_2)	60,4	78,4	68,2	112	165
Brennisteinsvetni (H_2S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,06	0,10	0,05	0,12	0,08
Kísill (SiO_2)	22,2	23,2	21,2	61,5	68,2
Natríum (Na)	15,3	18,4	14,1	49,0	61,8
Kalíum (K)	1,87	2,04	1,88	5,52	6,17
Magnesíum (Mg)	7,11	7,70	6,94	7,84	10,1
Kalsíum (Ca)	11,4	12,7	10,7	18,7	34,9
Flúoríð (F)	0,16	0,15	0,17	0,23	0,18
Klóríð (Cl)	5,05	5,58	4,78	5,16	5,19
Brómíð (Br)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02
Súlfat (SO_4)	14,1	16,4	12,0	57,7	85,2
Ál (Al)	0,00719	0,0113	0,00502	0,00620	0,00319
Arsen (As)	0,000194	0,000254	0,000121	<0,00005	0,000161
Baríum (Ba)	0,000284	0,000302	0,000226	0,00321	0,00741
Kadmíum (Cd)	<0,000002	<0,000002	0,000006	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	0,000007	0,000013	0,000009	0,000008	0,000013
Króm (Cr)	0,000952	0,00210	0,000862	0,00110	0,00108
Kopar (Cu)	0,000565	0,00122	0,000518	0,000160	0,000460
Járn (Fe)	0,00621	0,0120	0,00216	0,0124	0,0254
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Mangan (Mn)	0,000562	0,000154	0,000111	0,000809	0,0130
Mólybden (Mo)	0,000582	0,000732	0,000543	0,000816	0,00142
Nikkel (Ni)	0,000063	0,000543	0,000076	0,000463	0,000678
Blý (Pb)	<0,00001	<0,00001	<0,00001	0,000014	0,000012
Strontíum (Sr)	0,0127	0,0139	0,0119	0,0468	0,0559
Vanadíum (V)	0,0328	0,0305	0,0327	0,00938	0,0217
Sink (Zn)	0,000294	0,000968	0,000394	0,000565	0,00107
Uppleyst steinefni (UE)	127	110	119	237	358
Jónavægi (%)	2,7	-8,1	-10,0	-1,5	-0,2
δD (‰ SMOW)	-91,5	-92,4	-91,0	-93,4	-87,7
$\delta^{18}O$ (‰ SMOW)	-12,61	-12,58	-12,72	-12,34	-12,07

Tafla 13. *(Frh.) Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum haustið 2017. Styrkur efna er í mg/L.*

Staðarnafn	Bjarnarflagslón	Bjarg	Helgavogur	Stóragjá	Grjótagjá
Staður	M-20004	H-10080	H-10082	H-10083	H-10085
Dagsetning	2017-09-07	2017-09-04	2017-09-04	2017-09-04	2017-09-07
Sýnanúmer	20170242	20170221	20170222	20170225	20170233
Hitastig (°C)	22,2	19,7	23,7	28,0	45,8
Sýrustig (pH/°C)	5,10 / 21,8	7,70 / 21,8	8,22 / 23,0	8,30 / 21,8	8,37 / 21,2
Leiðni við 25°C (µS/cm)	736	328	404	451	476
Karbónat (CO_2)	3,8	82,2	103	105	93,2
Brennisteinsvetni (H_2S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	0,24
Bór (B)	1,28	0,09	0,10	0,14	0,32
Kísill (SiO_2)	556	59,4	72,6	87,9	151
Natríum (Na)	117	43,0	51,4	61,2	79,0
Kalíum (K)	19,4	3,85	4,64	5,52	7,40
Magnesíum (Mg)	1,14	4,00	5,31	5,17	2,74
Kalsíum (Ca)	2,42	16,2	23,9	24,6	13,7
Flúoríð (F)	0,75	0,23	0,24	0,26	0,36
Klóríð (Cl)	42,9	9,49	7,67	9,31	16,9
Brómíð (Br)	0,10	0,02	0,02	0,02	0,04
Súlfat (SO_4)	198	48,7	66,9	82,5	90,5
Ál (Al)	1,90	0,00793	0,0141	0,0216	0,0370
Arsen (As)	0,150	0,000253	0,000186	0,000154	<0,00005
Baríum (Ba)	0,000899	0,000808	0,00152	0,00168	0,00296
Kadmíum (Cd)	<0,000002	0,000004	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	0,000049	0,000028	0,000006	0,000005	0,000008
Króm (Cr)	0,000412	0,000506	0,000633	0,000550	0,000414
Kopar (Cu)	0,00243	0,00163	0,000673	0,000504	0,000186
Járn (Fe)	0,301	0,000740	0,000540	0,000870	0,00312
Kvikasilfur (Hg)	0,000004	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Mangan (Mn)	0,00743	0,00159	0,000064	0,000059	0,0443
Mólybden (Mo)	0,00215	0,00109	0,000930	0,00139	0,000236
Nikkel (Ni)	0,000401	0,000190	<0,00005	0,000054	0,000255
Blý (Pb)	0,000014	0,000012	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Strontíum (Sr)	0,0122	0,0231	0,0313	0,0332	0,0188
Vanadíum (V)	0,00298	0,0260	0,0303	0,0266	0,000292
Sink (Zn)	0,00338	0,00289	0,000512	0,000624	0,00034
Uppleyst steinefni (UE)	1053	208	305	338	401
Jónavægi (%)	11,5	0,2	0,5	1,1	-0,9
δD (‰ SMOW)	-79,7	-92,1	-88,3	-88,1	-91,6
$\delta^{18}O$ (‰ SMOW)	-6,98	-12,43	-12,21	-12,07	-11,59

Tafla 13. *(Frh.) Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum haustið 2017. Styrkur efna er í mg/L.*

Staðarnafn	Vogagjá	Langivogur	Hverfjallsgjá	Vogaflói	Garðslind
Staður	H-10087	H-10088	K-559	K-558	K-556
Dagsetning	2017-09-06	2017-09-07	2017-09-03	2017-09-03	2017-09-03
Sýnanúmer	20170235	20170232	20170219	20170218	20170217
Hitastig (°C)	40,6	22,8	7,4	6,4	6,2
Sýrustig (pH/°C)	8,41 / 22,0	8,48 / 22,4	8,26 / 22,5	8,53 / 21,6	8,48 / 20,7
Leiðni við 25°C (µS/cm)	513	463	226	213	155
Karbónat (CO_2)	76,0	78,7	64,0	61,7	60,7
Brennisteinsvetni (H_2S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,32	0,28	0,07	0,07	0,04
Kísill (SiO_2)	148	121	23,9	22,2	19,0
Natríum (Na)	84,5	73,9	21,0	21,0	17,1
Kalíum (K)	7,01	6,27	1,92	1,77	1,35
Magnesíum (Mg)	2,27	3,45	7,07	6,26	4,57
Kalsíum (Ca)	14,9	14,8	12,3	11,1	7,02
Flúoríð (F)	0,34	0,31	0,18	0,20	0,17
Klóríð (Cl)	15,8	13,7	5,06	4,53	1,90
Brómíð (Br)	0,03	0,03	0,01	0,01	<0,01
Súlfat (SO_4)	121	102	24,0	21,9	7,74
Ál (Al)	0,0112	0,00563	0,00784	0,00630	0,0123
Arsen (As)	<0,00005	0,000060	0,000238	0,000210	0,000158
Baríum (Ba)	0,00176	0,00170	0,000501	0,000386	0,000202
Kadmíum (Cd)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	0,000010	0,000007	0,000008	0,000006	<0,000005
Króm (Cr)	0,00109	0,000779	0,00120	0,00133	0,000958
Kopar (Cu)	0,000362	0,000281	0,00133	0,000919	0,000254
Járn (Fe)	0,00457	0,00457	0,000800	0,00146	<0,0004
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Mangan (Mn)	0,000088	0,000203	0,000090	0,000041	<0,00003
Mólybden (Mo)	0,000336	0,000379	0,000880	0,000876	0,000864
Nikkel (Ni)	0,000454	0,000199	0,000106	0,000075	<0,00005
Blý (Pb)	0,000034	<0,00001	0,000020	0,000020	<0,00001
Strontíum (Sr)	0,0181	0,0192	0,0147	0,0129	0,00798
Vanadíum (V)	0,00594	0,0125	0,0360	0,0427	0,0381
Sink (Zn)	0,000774	0,000496	0,00339	0,00215	0,000552
Uppleyst steinefni (UE)	429	384	126	127	110
Jónavægi (%)	-0,3	-0,3	2,3	0,1	-7,5
δD (‰ SMOW)	-91,5	-92,1	-91,6	-92,2	-93,2
$\delta^{18}O$ (‰ SMOW)	-11,63	-11,62	-12,64	-12,67	-12,77

5.1.1 Næringarefni í Mývatnssveit

Að beiðni Landsvirkjunar var sérstökum sýnum safnað haustið 2017 á öllum sýnatökustöðum í Mývatnssveit til greininga á næringarefnum (köfnunarefni og fosfór). Niðurstöður hafa verið afhentar Eydísi Salóme Eiríksdóttur hjá Hafrannsóknastofnun að beiðni LV. Niðurstöður eru sýndar í töflu 14 en ekki er frekar fjallað um þær hér. Þó má benda á að hæstu gildi fyrir næringarefni koma fram í lindinni við Bjarg.

Tafla 14. *Niðurstöður efnagreininga á næringarefnum í sýnum úr Mývatnssveit.*

Sýni	Staður	Nítrat-N	Nítrít-N	Ammóníak-N	Heildar-N	Heildar-P[1)]	Fosfat-P[2)]	Fosfat
		NO_3-N	NO_2-N	NH_3-N	N-tot	P-tot	PO_4-P	PO_4
20170217	Garðslind	0,020	<0,0005	<0,003	0,058	0,054	0,060	0,166
20170218	Vogaflói	0,011	0,0006	<0,003	0,035	0,059	0,062	0,181
20170219	Hverfellsgjá	0,016	<0,0005	<0,003	0,063	0,053	0,056	0,163
20170220	LUD-5	0,021	<0,0005	<0,003	0,068	0,060	0,062	0,184
20170221	Bjarg	0,970	0,0006	0,003	1,00	0,120	0,130	0,368
20170222	Helgavogur	0,059	<0,0005	<0,003	0,170	0,034	0,036	0,104
20170223	LUD-4	0,024	0,0013	<0,003	0,084	0,046	0,047	0,141
20170224	LUD-3	0,019	0,0005	<0,003	0,066	0,056	0,060	0,172
20170225	Stóragjá	0,052	<0,0005	<0,003	0,180	0,032	0,034	0,098
20170232	Langivogur	0,031	<0,0005	<0,003	0,068	0,031	0,031	0,095
20170233	Grjótagjá	<0,0010	<0,0005	0,042	0,057	0,021	0,022	0,064
20170234	LUD-11	0,0063	0,0008	<0,003	0,026	0,016	0,025	0,049
20170235	Vogagjá	0,017	<0,0005	<0,003	0,053	0,022	0,022	0,067
20170236	LUD-6	0,0011	<0,0005	<0,003	0,017	0,032	0,033	0,098
20170237	LUD-2	0,014	<0,0005	<0,003	0,097	0,054	0,054	0,166
20170238	Krafla	<0,0010	<0,0005	0,003	0,022	0,026	0,011	0,080
20170239	AB-2	0,034	0,0012	<0,003	0,120	0,065	0,066	0,199
20170240	Hlíðardalslækur	<0,0010	<0,0005	<0,003	0,028	0,023	0,024	0,071
20170241	AE-10	<0,0010	<0,0005	0,019	0,033	0,004	0,007	0,012
20170242	Bjarnarflagslón	<0,0010	<0,0005	<0,003	0,032	0,017	0,015	0,052

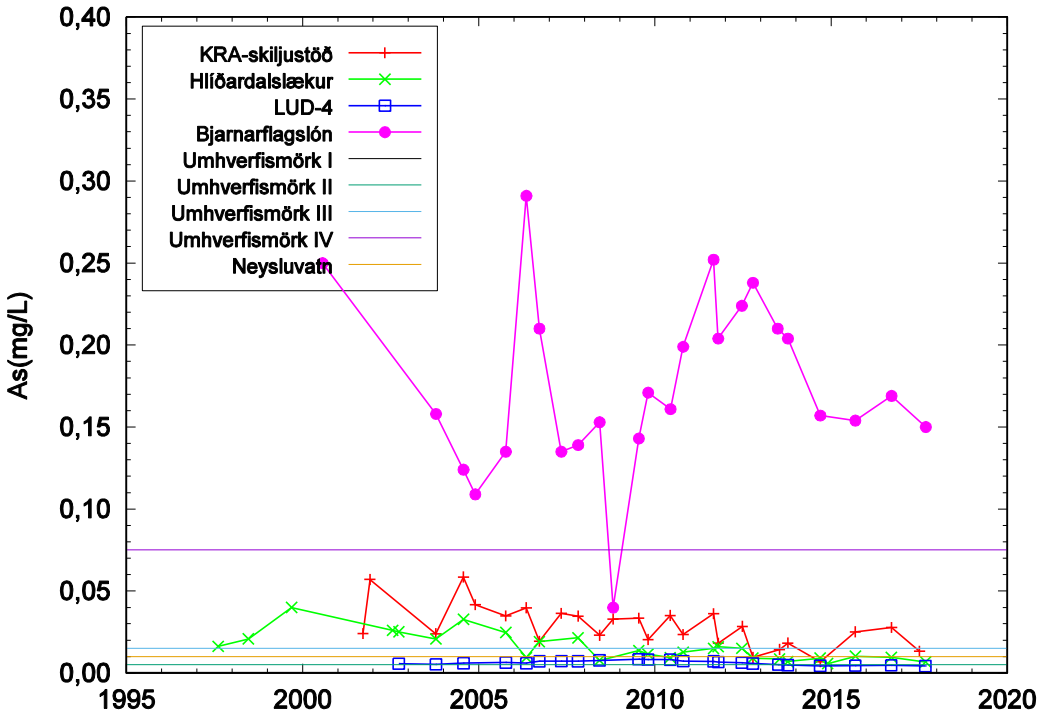
[1)]: Greint með ICP tæki [2)]: Greint með autoanalyser

5.1.2 Samsætur í sýnum árið 2016 úr Mývatnssveit

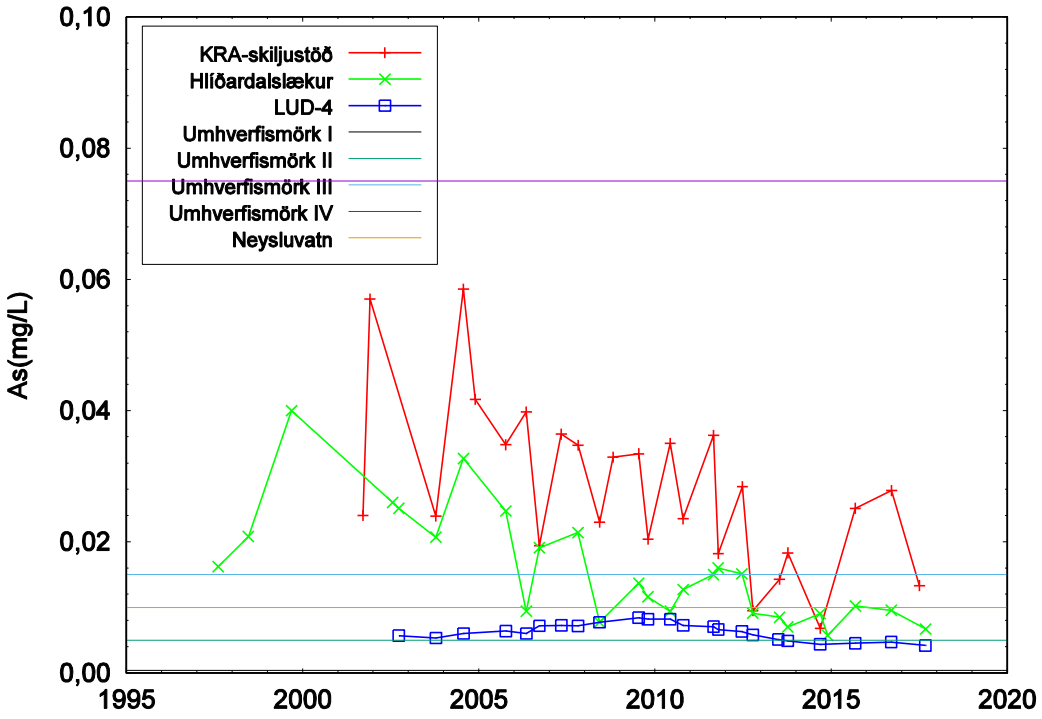
Við útgáfu skýrslunnar um umhverfisvöktun 2016 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2016) höfðu ekki borist niðurstöður mælinga á samsætum vetnis og súrefnis frá Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands. Niðurstöðurnar liggja nú fyrir og eru sýndar í töflu 15.

Tafla 15. *Niðurstöður mælinga á samsætum súrefnis og vetnis í sýnum úr Mývatnssveit 2016.*

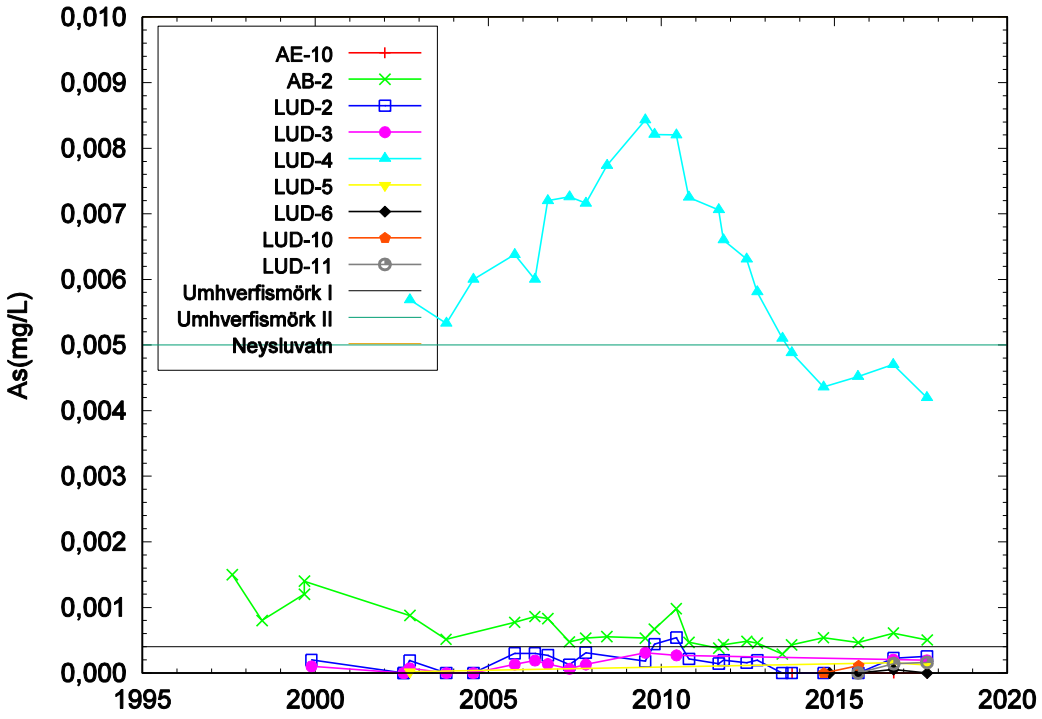
Staður	***Staðarnr.***	***Sýni nr.***	***$\delta^{18}O$*** *(‰ SMOW)*	***δD (****(‰ SMOW)*
Krafla-skiljustöð	M-20008	20160292	-9,86	-78,5
AE-10	B-57890	20160291	-12,70	-87,2
Hlíðardalslækur v/AB-2	V-2356	20160274	-9,41	-73,7
AB-2	B-57842	20160275	-12,59	-87,7
LUD-4	B-58504	20160267	-10,89	-80,0
LUD-3	B-58503	20160268	-12,72	-89,0
LUD-2	B-58502	20160278	-12,75	-89,6
LUD-5	B-58505	20160277	-12,82	-89,0
LUD-6	B-58506	20160279	-12,55	-90,0
LUD-11	B-58521	20160289	-12,37	-84,5
Bjarnarflagslón	M-20004	20160285	-7,88	-82,2
Bjarg	H-10080	20160276	-12,58	-89,9
Helgavogur	H-10082	20160290	-12,45	-87,7
Stóragjá	H-10083	20160288	-12,25	-87,2
Grjótagjá	H-10085	20160287	-11,74	-89,4
Vogagjá	H-10087	20160286	-11,73	-89,9
Langivogur	H-10088	20160265	-11,83	-89,8
Hverfjallsgjá	K-559	20160266	-12,68	-90,3
Vogaflói	K-558	20160264	-12,83	-91,5
Garðslind	K-556	20160263	-13,13	-93,9



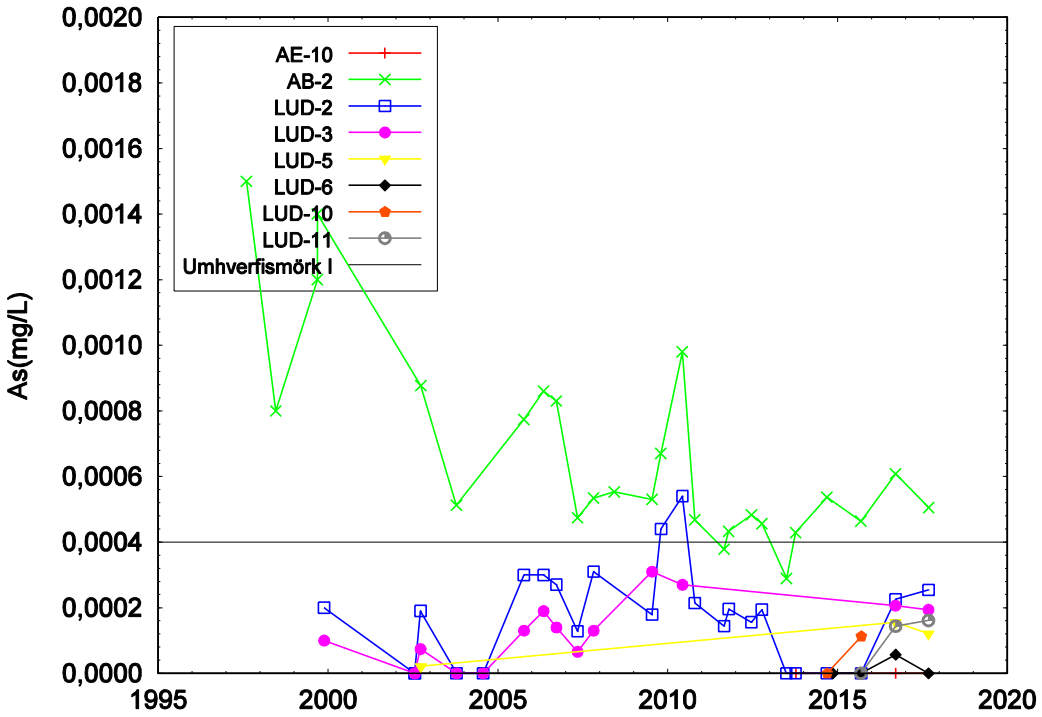
Mynd 108. *Styrkur arsens í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt umhverfismörkum I (0,0004 mg/L), II (0,005 mg/L), III (0,015 mg/L) og IV (0,075 mg/L) og mörkum fyrir neysluvatn (0,01 mg/L).*



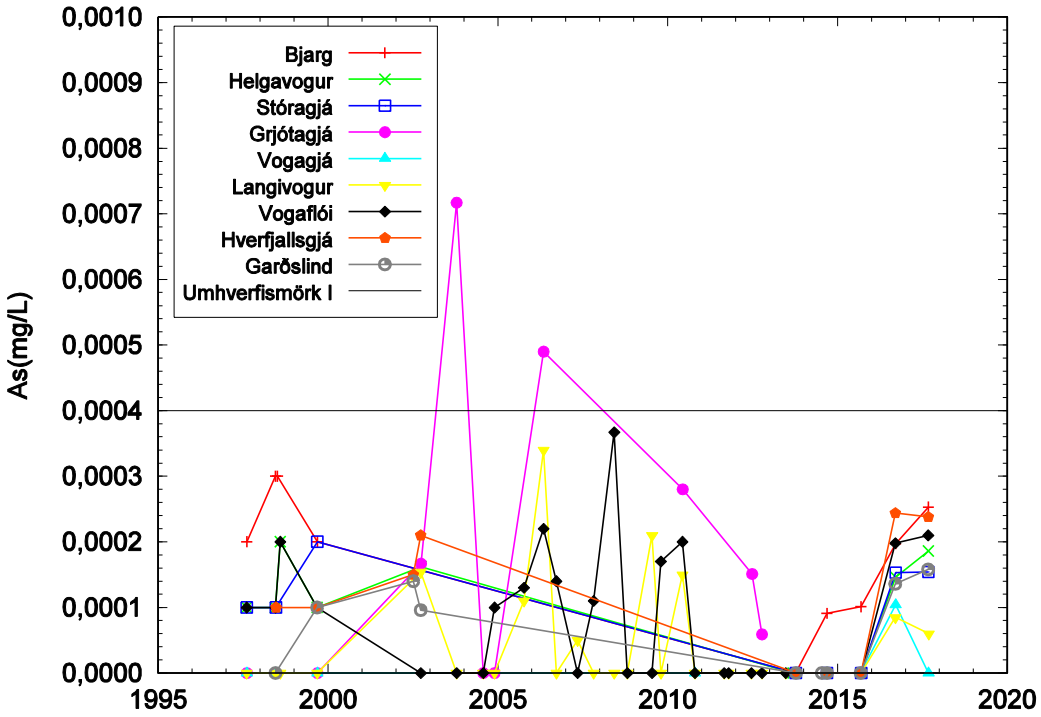
Mynd 109. *Styrkur arsens í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk og LUD-4 ásamt umhverfismörkum I (0,0004 mg/L), II (0,005 mg/L), III (0,015 mg/L) og IV (0,075 mg/L) og mörkum fyrir neysluvatn (0,01 mg/L). Sömu gögn og á mynd 108 en niðurstöðum fyrir Bjarnarflagslón sleppt til að greina betur niðurstöður fyrir staðina þrjá.*



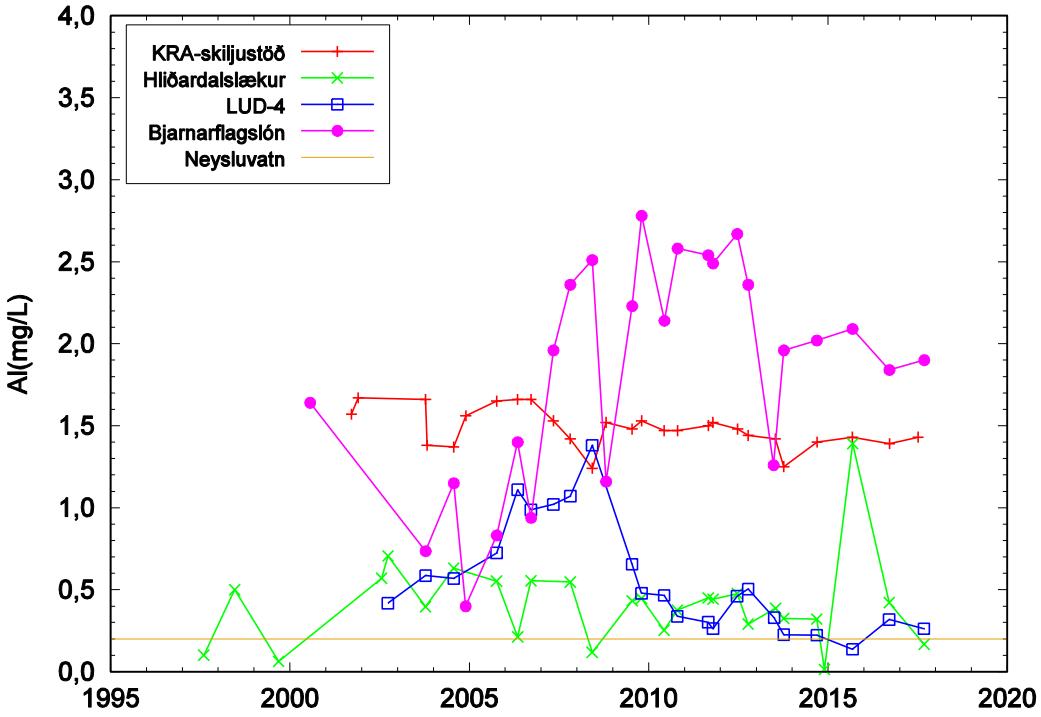
Mynd 110. *Styrkur arsens í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I (0,0004 mg/L) og II (0,005 mg/L). Viðmiðunarmörk fyrir styrk arsens í neysluvatni (0,01 mg/L) eru efst á myndinni.*



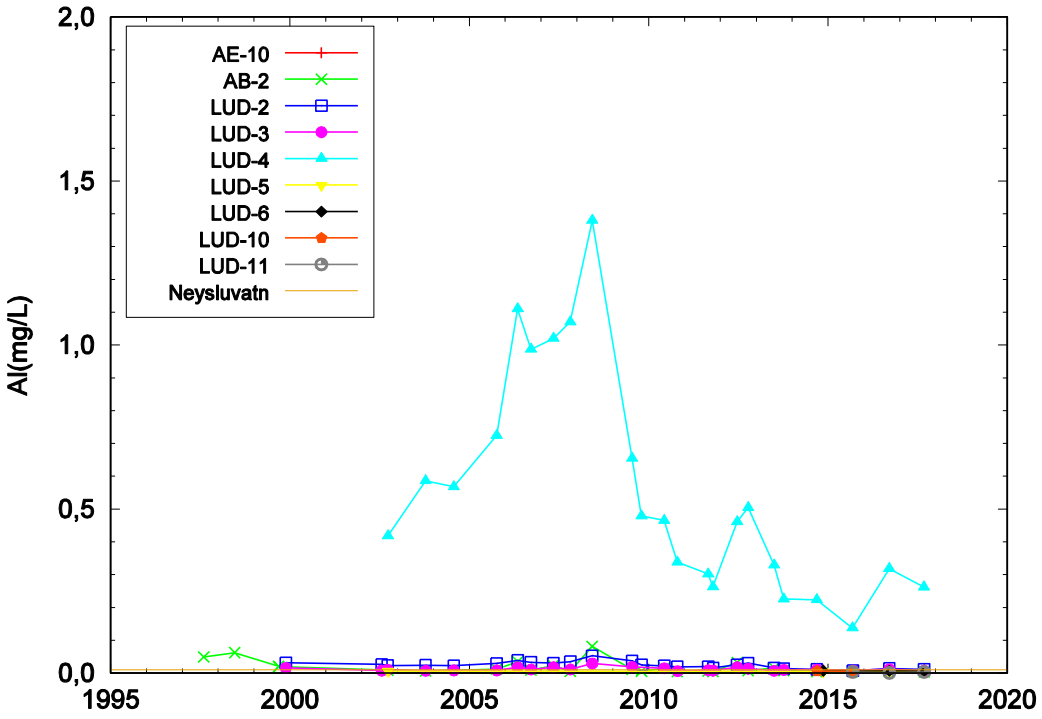
Mynd 111. *Styrkur arsens í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I (0,0004 mg/L). Niðurstöðum fyrir LUD-4 hefur verið sleppt til að greina betur niðurstöður fyrir aðrar holur.*



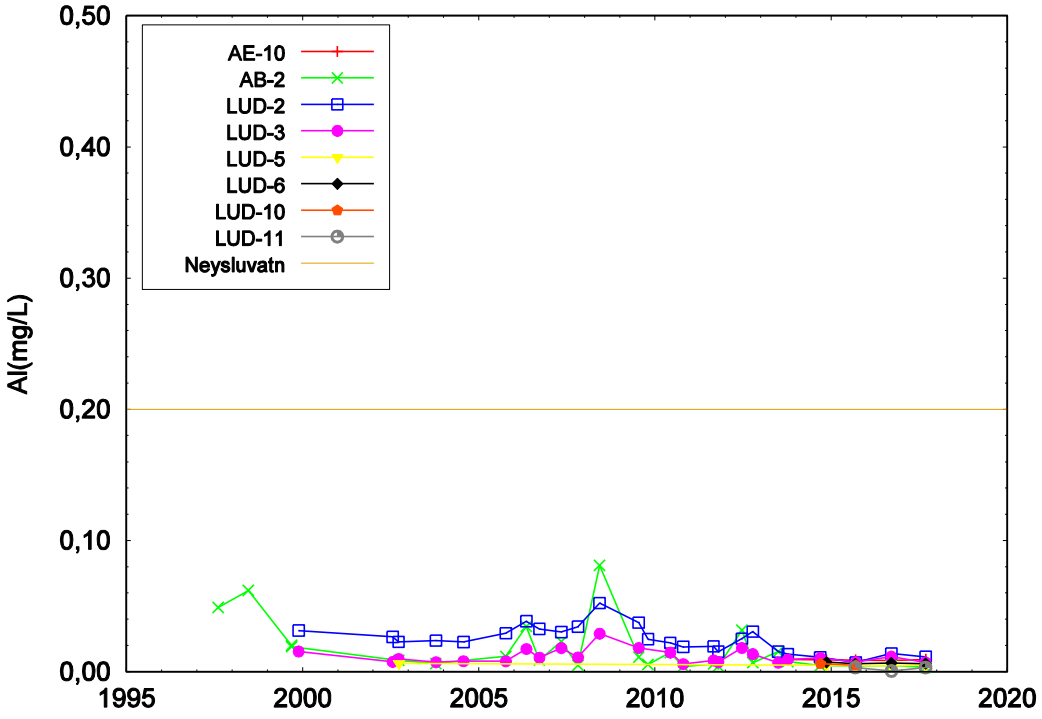
Mynd 112. *Styrkur arsens í lindum við Mývatn ásamt umhverfismörkum I (0,0004 mg/L).*



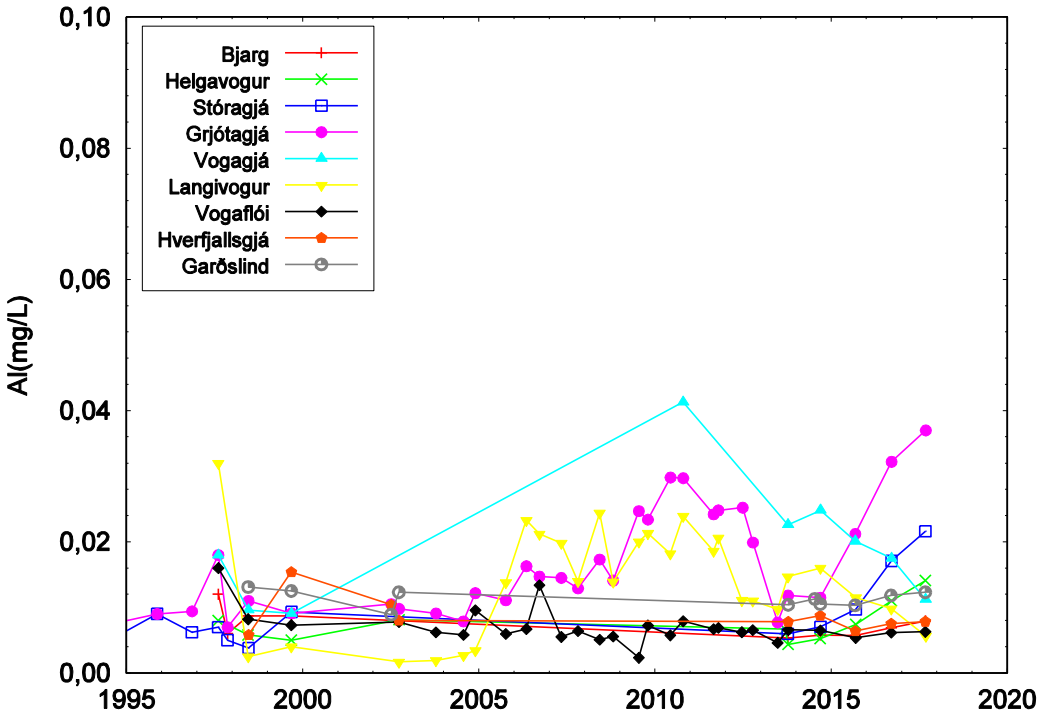
Mynd 113. *Styrkur áls í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt viðmiðunarmörkum fyrir neysluvatn (0,2 mg/L).*



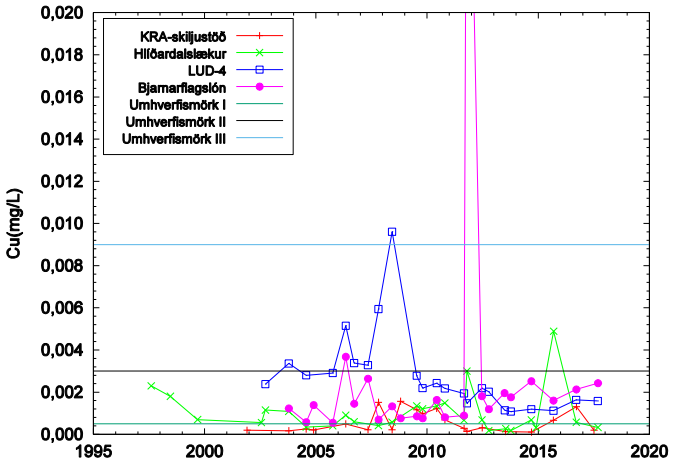
Mynd 114. *Styrkur áls í vatni úr borholum ásamt viðmiðunarmörkum fyrir neysluvatn (0,2 mg/L).*



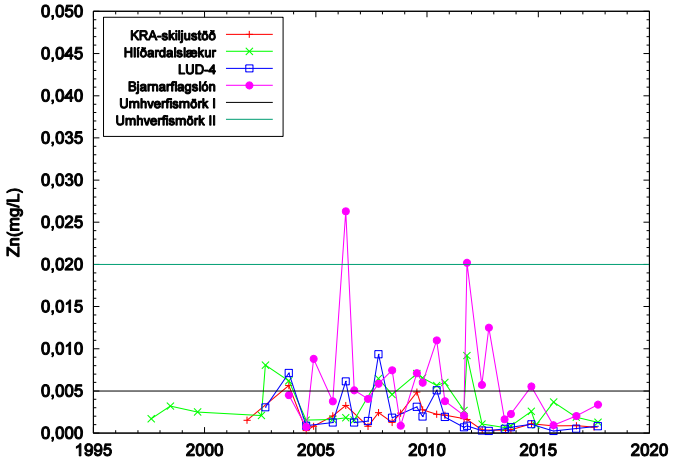
Mynd 115. *Styrkur áls í vatni úr borholum ásamt viðmiðunarmörkum fyrir neysluvatn (0,2 mg/L). Niðurstöðum fyrir LUD-4 hefur verið sleppt til að greina betur niðurstöður fyrir aðrar holur.*



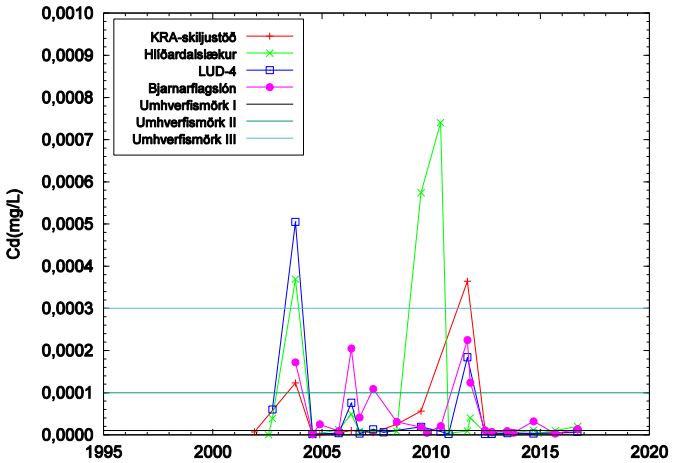
Mynd 116. *Styrkur áls í vatni í lindum við Mývatn.*



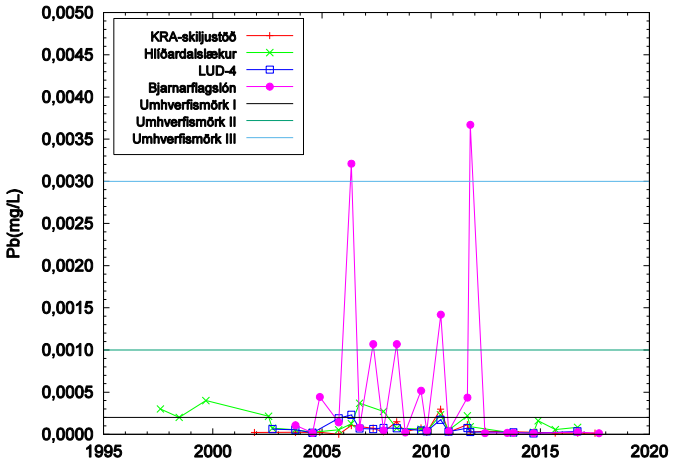
Mynd 117. *Styrkur kopars í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt umhverfismörkum I (0,0005 mg/L), II (0,003 mg/L) og III (0,009 mg/L).*



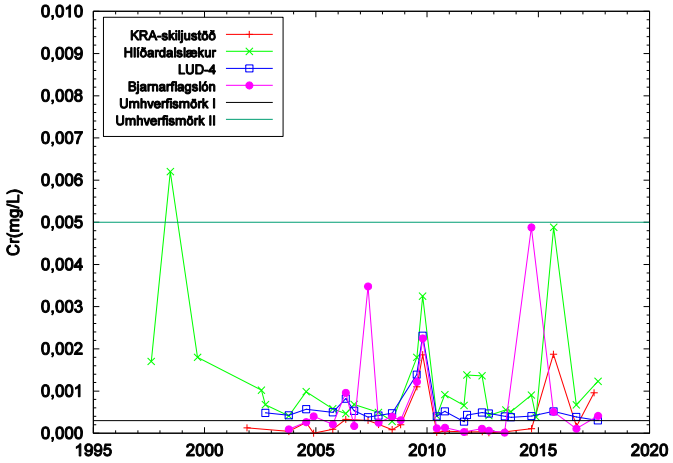
Mynd 118. *Styrkur sinks í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt umhverfismörkum I (0,005 mg/L) og II (0,02 mg/L).*



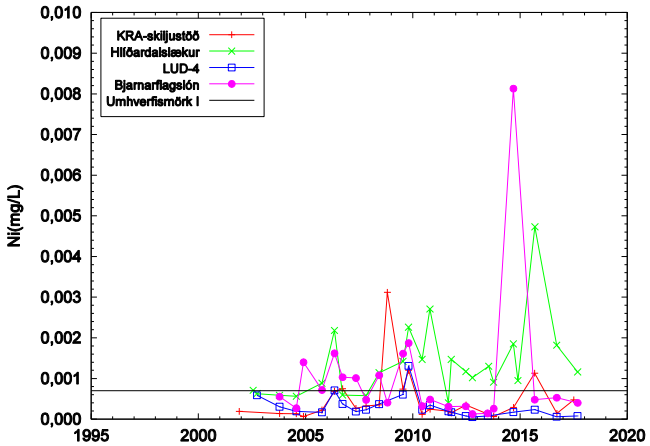
Mynd 119. *Styrkur kadmíums í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt umhverfismörkum I (0,00001 mg/L), II (0,0001 mg/L) og III (0,0003 mg/L).*



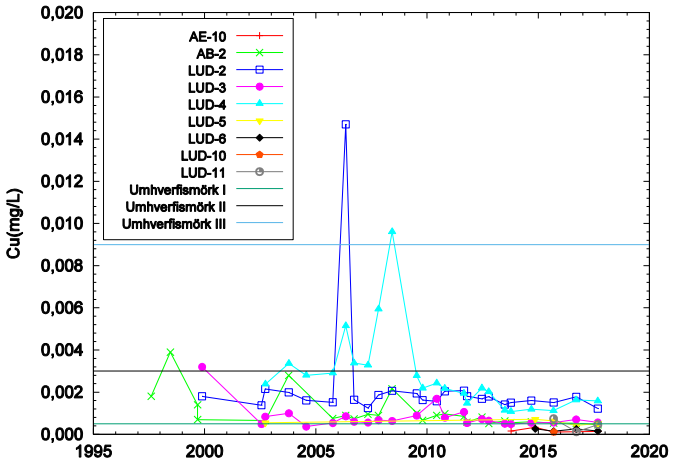
Mynd 120. *Styrkur blýs í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt umhverfismörkum I (0,0002 mg/L), II (0,001 mg/L) og III (0,003 mg/L).*



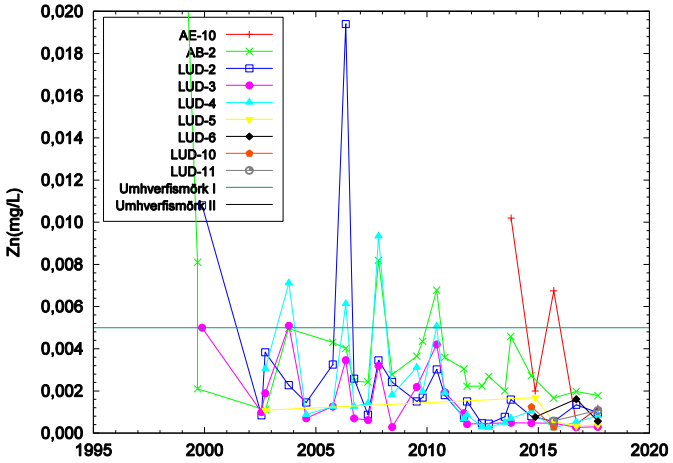
Mynd 121. *Styrkur króms í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt umhverfismörkum I (0,0003 mg/L) og II (0,005 mg/L).*



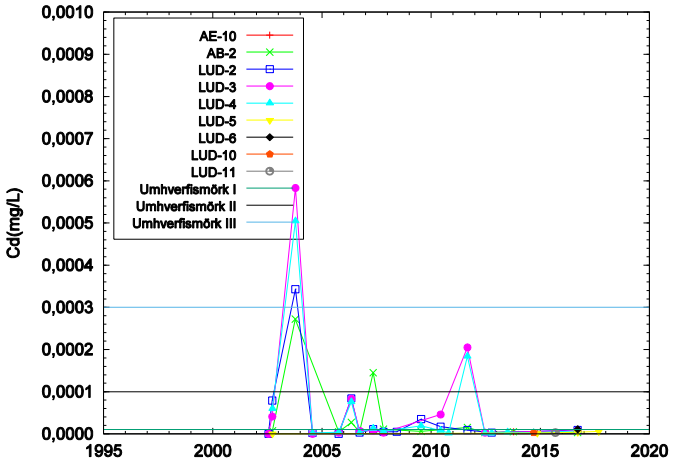
Mynd 122. *Styrkur nikkels í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt umhverfismörkum I (0,0007 mg/L).*



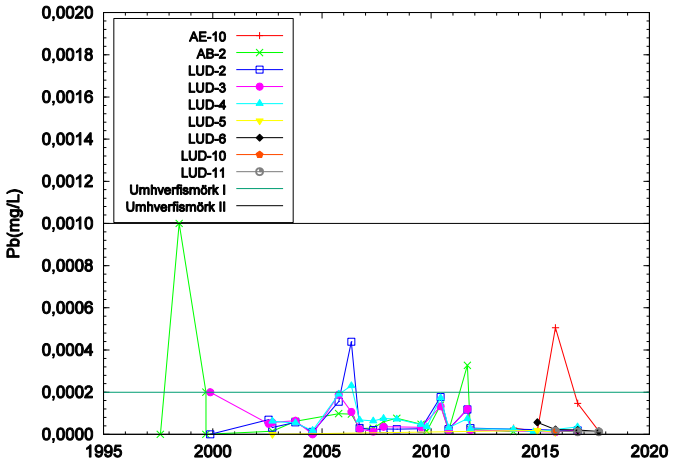
Mynd 123. *Styrkur kopars í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I (0,0005 mg/L), II (0,003 mg/L) og III (0,009 mg/L).*



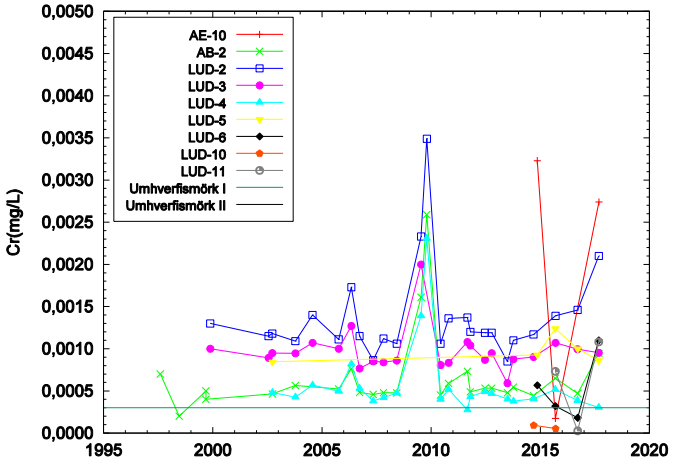
Mynd 124. *Styrkur sinks í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I (0,005 mg/L) og II (0,02 mg/L) efst á myndinni.*



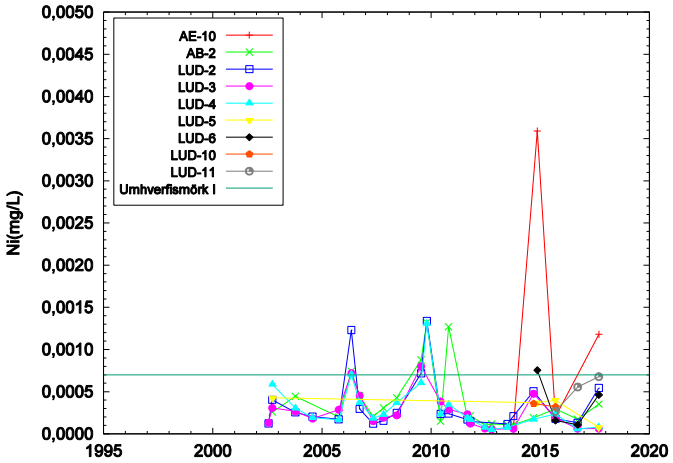
Mynd 125. *Styrkur kadmíums í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I (0,00001 mg/L), II (0,0001 mg/L) og III (0,0003 mg/L).*



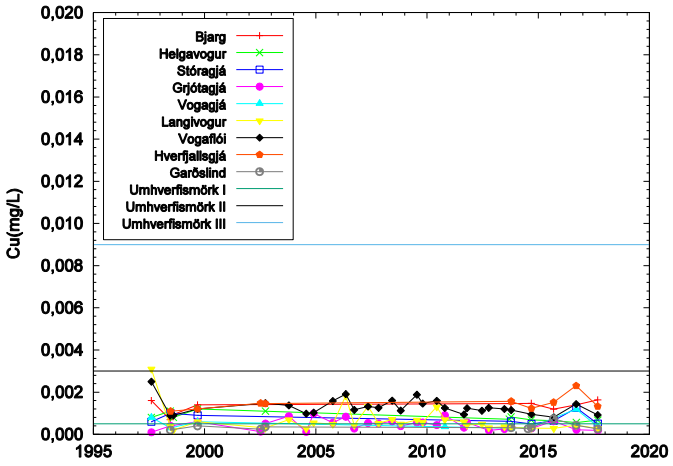
Mynd 126. *Styrkur blýs í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I (0,0002 mg/L) og II (0,001 mg/L).*



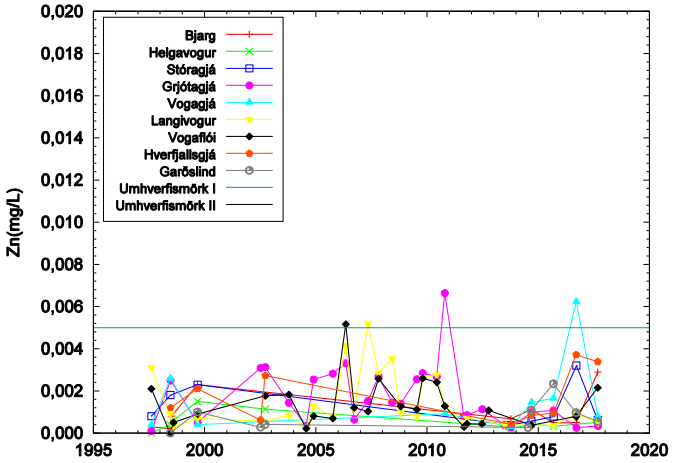
Mynd 127. *Styrkur króms í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I (0,0003 mg/L) og II (0,005 mg/L) efst á myndinni.*



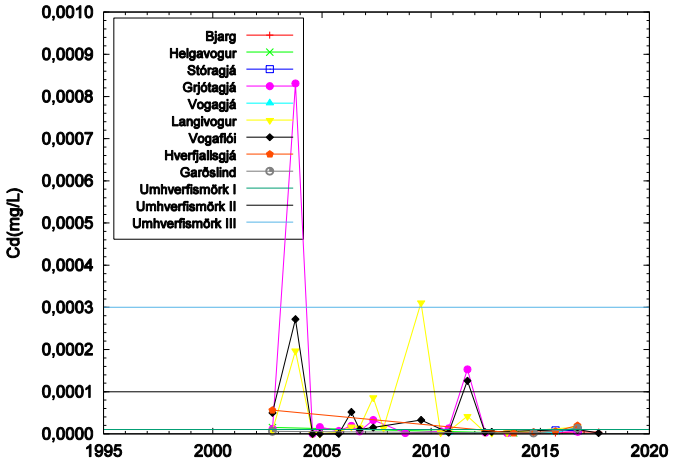
Mynd 128. *Styrkur nikkels í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I (0,0007 mg/L).*



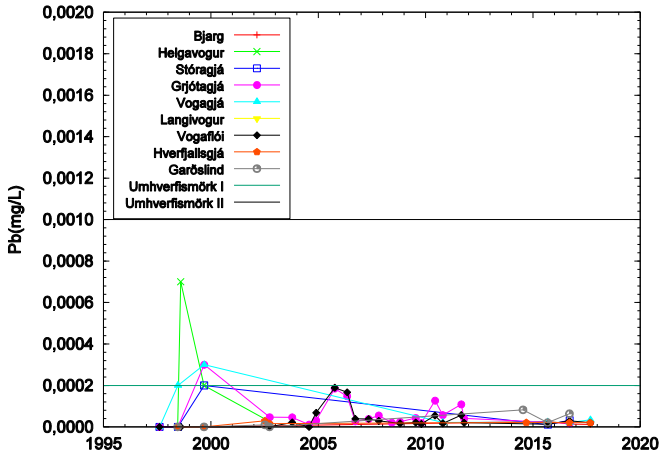
Mynd 129. *Styrkur kopars í vatni úr lindum ásamt umhverfismörkum I (0,0005 mg/L), II (0,003 mg/L) og III (0,009 mg/L).*



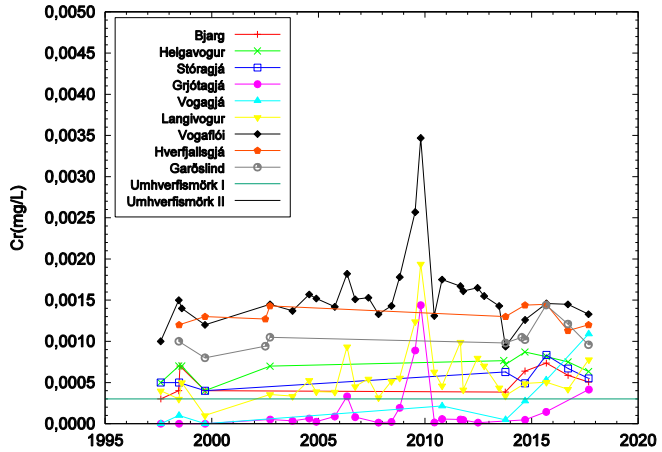
Mynd 130. *Styrkur sinks í vatni úr lindum ásamt umhverfismörkum I (0,005 mg/L) og II (0,02 mg/L) efst á myndinni.*



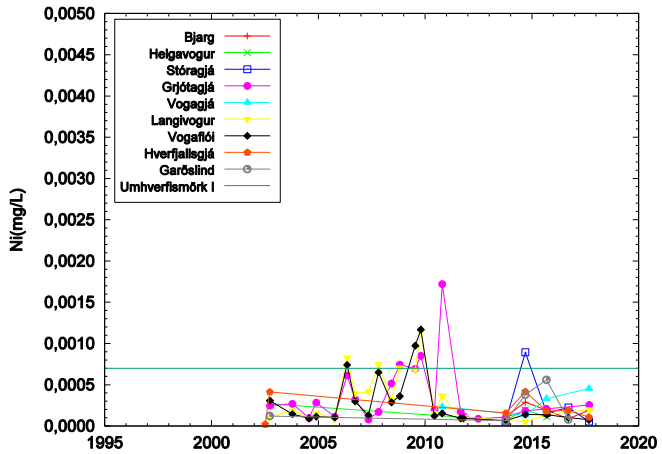
Mynd 131. *Styrkur kadmíums í vatni úr lindum ásamt umhverfismörkum I (0,00001 mg/L), II (0,0001 mg/L) og III (0,0003 mg/L).*



Mynd 132. *Styrkur blýs í vatni úr lindum ásamt umhverfismörkum I (0,0002 mg/L) og II (0,001 mg/L).*



Mynd 133. *Styrkur króms í vatni úr lindum ásamt umhverfismörkum I (0,0003 mg/L) og II (0,005 mg/L) efst á myndinni.*



Mynd 134. *Styrkur nikkels í vatni úr lindum ásamt umhverfismörkum I (0,0007 mg/L).*

5.2 Þeistareykir og Kelduhverfi

Fyrsta lið í uppbyggingu gufuaflsvirkjunar Landsvirkjunar á háhitasvæðinu á Þeistareykjum lauk haustið 2017 þegar fyrri 45 MW vél stöðvarinnar var tekin í notkun. Í starfsleyfi virkjunarinnar eru gerðar kröfur um ýmiss konar eftirlit og vöktun. Einn liður í vöktun svæðisins er að fylgjast með 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.

Haustið 2017 fór sýnataka á Þeistareykjum og Kelduhverfi fram í september, líkt og í Mývatnssveit (sjá kaflann hér á undan). Í Kelduhverfi er sýnum safnað úr köldum og volgum lindum og á Þeistareykjum hafa sérstakar holur verið boraðar fyrir grunnvatnseftirlitið og í þeim eru djúpdælur. Einnig er sýnum safnað úr vatnsbóli Þeistareykja vestan undir Ketilfjalli og úr vatnsbóli Sæluhússins. Yfirlit um sýnatökustaðina er gefið í töflu 16 og þeir eru einnig sýndir á mynd 135.

Tafla 16. *Sýnatökustaðir á Þeistareykjum og í Kelduhverfi 2017.*

Staður	Staðarnr.	Sýni nr.	Dagsetning	Hitastig (°C)	X	Y
Þeistareykir-vatnsból	M-20409	20170227	5.9.2017	19,8	594285	599848
Þeistareykir-skáli	H-10124	20170228	5.9.2017	15,4	593046	599344
ÞR-4	B-60364	20170231	5.9.2017	24,7	592726	601617
ÞR-8	B-60368	20170229	5.9.2017	2,9	591519	608366
ÞR-15	B-60376	20170226	5.9.2017	15,8	595016	608951
ÞR-16	B-60377	20170230	5.9.2017	5,6	589986	598150
Krossdalur	K-2745	20170243	8.9.2017	4,2	602765	622250
Rifós - Tangabrunnur	K-2743	20170244	8.9.2017	11,0	594606	624481
Lón	K-2744	20170247	8.9.2017	5,0	593990	623909
Fjöll - vatnsból	K-568	20170245	8.9.2017	3,7	592404	622118
Fjöll - lind	K-2742	20170246	8.9.2017	3,3	592391	620833

Djúpdælur eru í 5 vöktunarholum á Þeistareykjum og í töflu 17 er sýnt yfirlit um þær og hve miklu var dælt úr hverri holu við sýnatökuna haustið 2017. Að þessu sinni var tekið sýni úr holu ÞR-4 en holur ÞR-4, ÞR-5 og ÞR-6 eru allar mjög nálægt hver annarri og eru nýttar sem vatnstökuholur á Þeistareykjum. Efnagreiningar sýna að efnasamsetning vatns úr þeim er mjög svipuð. Þegar sýnatakan fór fram var unnið að framkvæmdum við holu ÞR-9 og ekki hægt að taka sýni þar.

Tafla 17. *Yfirlit um dælt vatnsmagn við sýnatöku 2017 úr vöktunarholum á Þeistareykjum.*

Hola	Staðarnr.	Sýni nr.	Dagsetning	Hitastig (°C)	Magn (L)
ÞR-4	B-60364	20170231	5.9.2017	24,7	Dæling, ~40L/s
ÞR-8	B-60368	20170229	1.9.2017	2,9	4060
ÞR-9	B-60369	-	-	-	Framkvæmdir við holu
ÞR-15	B-60376	20170226	5.9.2017	15,8	2730
ÞR-16	B-60377	20170230	5.9.2017	5,6	1150

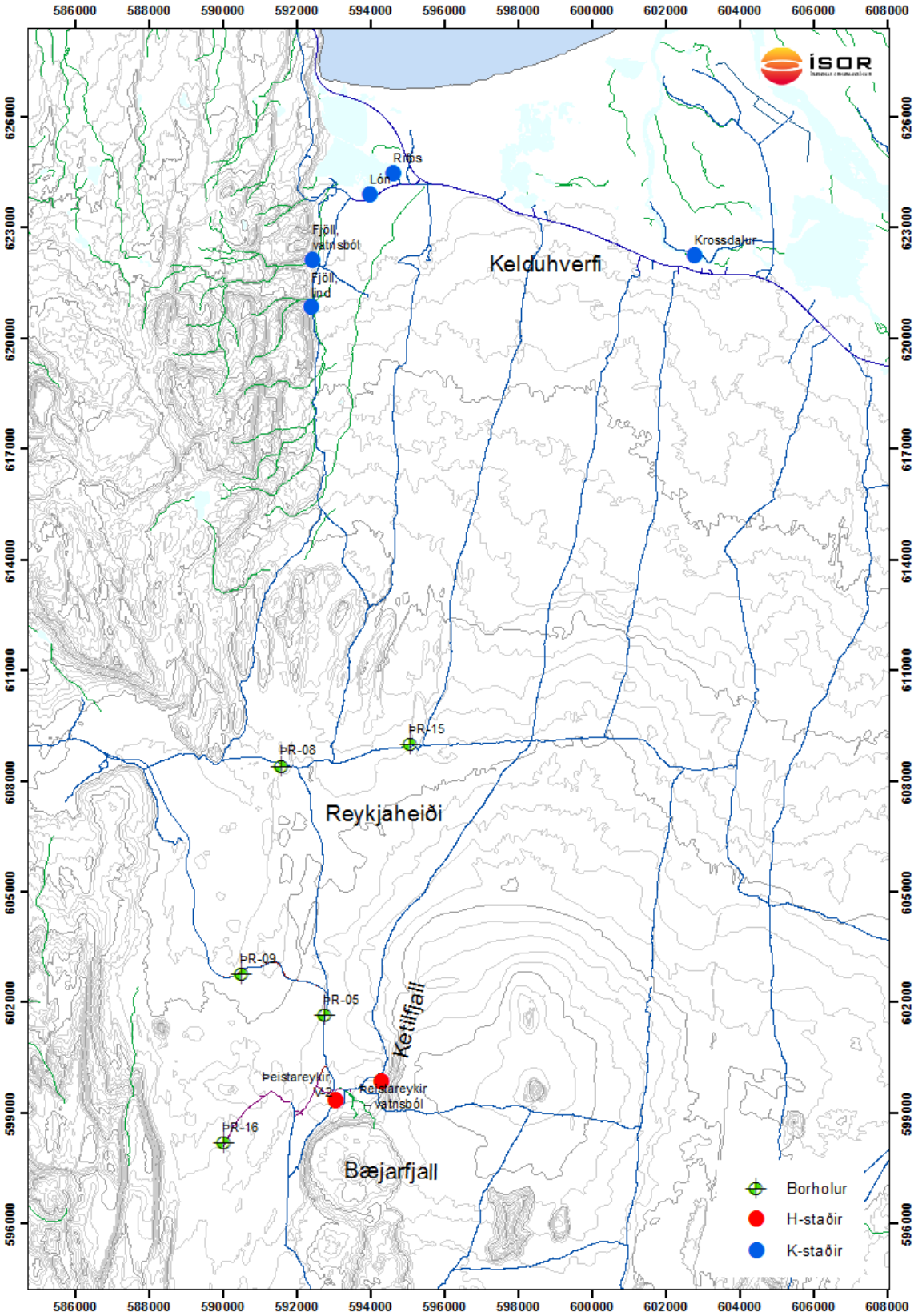
Niðurstöður efnagreininga úr Kelduhverfi og Þeistareykjum eru sýndar í töflu 18. Á myndum 136 og 137 eru sýndar niðurstöður fyrir styrk arsens og áls fyrir vöktunarstaði í Kelduhverfi og á myndum138–143 eru aftur á móti sýndar niðurstöður fyrir mælingar á styrk kopars, sinks, kadmíums, blýs, króms og nikkels fyrir þessa sömu vöktunarstaði. Niðurstöður flestra mælinga á vöktunarstöðum í Kelduhverfi fyrir 2010 eru fengnar frá Háskólanum á Akureyri (Hrefna Kristmannsdóttir, 2010). Uppgefin umhverfismörk eru skráð í töflu 12 í kafla 5.1 hér að framan og sýnd á myndum 136, 138–144 og 146–151.

Niðurstöður mælinga á arseni og áli í Kelduhverfi sýna engar marktækar breytingar milli ára þó e.t.v. megi greina örlitla hækkun í styrk arsens (myndir 136 og 137) milli áranna 2016 og 2017. Fyrir arsen eru allar niðurstöður vel innan umhverfismarka I (0,0004 mg/L) og fyrir ál eru niðurstöður langt innan viðmiðunarmarka fyrir neysluvatn (0,2 mg/L), (sem er utan skalans á mynd 137).

Niðurstöður greininga á styrk kopars, sinks, kadmíums, blýs, króms og nikkels í sýnum í Kelduhverfi eru sýndar á myndum 138–143. Fyrir kopar (mynd 138) falla niðurstöður efnagreininga undanfarin ár við eða innan við umhverfismörk I (0,0005 mg/L) og sama er að segja um sink, kadmíum og blý (myndir 139–141). Styrkur kadmíums er t.d. alltaf innan greiningarmarka (0,000002 mg/L). Styrkur króms í lindum í Kelduhverfi mælist nærri umhverfismörkum I (0,0003 mg/L) og hækkaði lítillega í sýnum frá síðastliðnu hausti. Styrkur nikkels mælist ávallt innan umhverfismarka I (0,0007 mg/L).

Myndir 144 og 145 sýna styrk arsens og áls í sýnum frá Þeistareykjum. Styrkur arsens mælist langt innan umhverfismarka I (0,0004 mg/L) og breytist ekkert milli ára. Sama má í raun segja um styrk áls, hann mælist langt innan viðmiðunarmarka fyrir neysluvatn (0,2 mg/L) og breytist lítið milli ára. Styrkur kopars (mynd 146) mælist um og rétt yfir umhverfismörkum I (0,0005 mg/L) og breytist ekki milli ára. Sama máli gegnir um sink (mynd 147) að undanskildu sýni úr lögn við Þeistareykjaskála. Þar hefur styrkur sinks mælst óvenju hár síðastliðin þrjú ár, sem getur stafað af e.k. „mengun“ úr rörum sem vatnið rennur um. Síðastliðið haust mældist styrkur króms og nikkels (myndir 150 og 151) langt yfir því sem verið hefur í sýni frá Þeistareykjaskála en nánast óbreyttur á öðrum eftirlitsstöðum og talið rétt að fylgjast með þessu við sýnatöku 2018. Í sýnum 2015 mældist styrkur þessara tveggja efna óvenju hár í sýni úr holu ÞR-8 en sú aukning gekk til baka. Styrkur kadmíums (mynd 148) mælist að venju innan umhverfismarka I (0,00001 mg/L) og hefur ekki breyst milli ára. Sama máli gegnir um styrk blýs (mynd 149) þar sem styrkur er á öllum stöðum innan umhverfismarka I (0,0002 mg/L) að undanskildu sýni úr holu ÞR-4 þar sem styrkur blýs mælist lítillega yfir umhverfismörkum I.

Jarðhitaáhrifa gætir á sumum sýnatökustöðum á Þeistareykjum. Sést það t.d. vel í hækkuðum styrk kísils í vatni úr vatnsbóli vestan undir Ketilfjalli, vatnsbóli skálans, holu ÞR-15 og við Rifós. Á öllum þessum stöðum er hiti vatns einnig vel yfir grunnvatnshita á svæðinu.



Mynd 135. *Sýnatökustaðir í Kelduhverfi og á Þeistareykjum 2017. Borholur eru sýndar grænar með krossi. Volgar lindir eru rauðar og kaldar lindir bláar.*

Tafla 18. *Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum á Þeistareykjum 2017. Styrkur efna er í mg/L.*

Staðarnafn	Þeistar.	Sæluhús	ÞR-4	ÞR-8	ÞR-15	ÞR-16
Staður	M-20409	H-10124	B-60364	B-60368	B-60376	B-60377
Dagsetning	2017-09-05	2017-09-05	2017-09-05	2017-09-05	2017-09-05	2017-09-05
Sýnanúmer	20170227	20170228	20170231	20170229	20170226	20170230
Hitastig (°C)	19,8	15,4	24,7	2,9	15,8	5,6
Sýrustig (pH/°C)	6,50 / 20,1	6,70 / 21,2	7,85 / 21,8	7,90 / 21,8	7,56 / 17,8	8,66 / 21,3
Leiðni við 25°C (µS/cm)	273	273	203	73,0	181	99,5
Karbónat (CO_2)	159	140	52,3	20,3	50,4	35,8
Brennisteinsvetni (H_2S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,05	0,04	0,10	0,06	0,06	0,07
Kísill (SiO_2)	55,9	58,0	48,1	17,2	36,5	22,7
Natríum (Na)	17,0	16,9	21,1	7,01	14,7	8,93
Kalíum (K)	2,16	2,17	1,59	0,56	1,28	1,22
Magnesíum (Mg)	8,07	8,18	3,93	1,81	4,45	3,44
Kalsíum (Ca)	25,2	25,3	12,1	3,35	12,8	4,20
Flúoríð (F)	0,03	0,04	0,08	0,04	0,06	0,08
Klóríð (Cl)	5,34	5,36	7,82	6,49	7,68	5,13
Brómíð (Br)	<0,01	<0,01	0,02	0,01	0,02	0,01
Súlfat (SO_4)	12,4	12,4	23,8	1,57	17,3	1,86
Ál (Al)	0,000687	0,000965	0,00679	0,0104	0,00474	0,00697
Arsen (As)	0,000064	0,000081	0,000102	0,000101	0,000066	0,000115
Baríum (Ba)	0,00109	0,000904	0,000327	0,000061	0,000234	0,000073
Kadmíum (Cd)	<0,000002	0,000003	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	0,000020	0,000125	0,000009	0,000011	0,000006	0,000007
Króm (Cr)	0,00182	0,0166	0,00172	0,00131	0,000596	0,00163
Kopar (Cu)	0,000210	0,00122	0,000279	0,000187	0,000415	0,00033
Járn (Fe)	0,0130	0,0764	0,00443	0,00702	0,00440	0,00405
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Mangan (Mn)	0,00173	0,00189	0,000161	0,000072	0,000414	0,000064
Mólybden (Mo)	0,000335	0,00240	0,000437	0,000224	0,000251	0,000321
Nikkel (Ni)	0,000808	0,00739	0,000429	0,000529	0,000052	0,000411
Blý (Pb)	0,000014	0,000093	0,000308	<0,00001	0,000021	<0,00001
Strontíum (Sr)	0,0258	0,0261	0,0141	0,00446	0,0143	0,00418
Vanadíum (V)	0,0126	0,0123	0,0195	0,0132	0,0178	0,0416
Sink (Zn)	0,00266	0,0169	0,00353	0,00144	0,00114	0,000611
Uppleyst steinefni (UE)	189	185	133	53,0	111	63,0
Jónavægi (%)	12,7	8,2	0,4	-5,1	1,6	-12,8
δD (‰ SMOW)	-73,5	-72,3	-81,5	-73,3	-77,8	-83,4
$\delta^{18}O$ (‰ SMOW)	-10,33	-10,35	-11,42	-10,78	-11,05	-11,88

Tafla 18. *(Frh.) Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum í Kelduhverfi 2017. Styrkur efna í mg/L.*

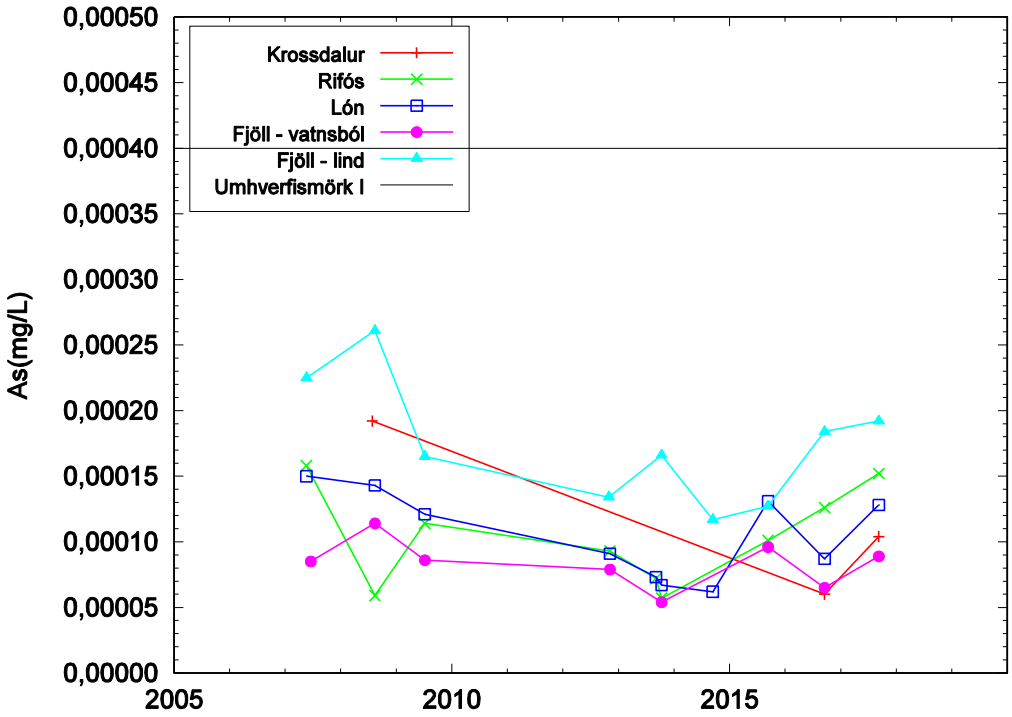
Staðarnafn	Krossdalur	Rifós	Lón	Fjöll, vatnsból	Fjöll, lind
Staður	K-2745	K-2743	K-2744	K-568	K-2742
Dagsetning	2017-09-08	2017-09-08	2017-09-08	2017-09-08	2017-09-08
Sýnanúmer	20170243	20170244	20170247	20170245	20170246
Hitastig (°C)	4,2	11,0	5,0	3,7	3,3
Sýrustig (pH/°C)	8,17 / 21,3	7,83 / 21,6	7,47 / 21,8	8,66 / 21,4	9,64 / 21,8
Leiðni við 25°C (µS/cm)	103	153	122	101	97,0
Karbónat (CO_2)	24,8	38,2	27,5	25,7	19,7
Brennisteinsvetni (H_2S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,05	0,07	0,03	0,08	0,1
Kísill (SiO_2)	21,9	30,9	21,6	12,3	9,75
Natríum (Na)	9,15	16,4	13,7	11,6	16,3
Kalíum (K)	0,83	1,37	1,03	0,14	0,04
Magnesíum (Mg)	2,62	3,61	3,26	0,43	0,04
Kalsíum (Ca)	5,58	6,63	4,77	7,16	2,62
Flúoríð (F)	0,08	0,08	0,06	0,02	0,03
Klóríð (Cl)	8,15	11,9	16,1	9,27	7,49
Brómíð (Br)	0,02	0,02	0,03	0,02	0,02
Súlfat (SO_4)	3,79	9,84	4,33	2,64	3,83
Ál (Al)	0,00652	0,00516	0,00586	0,00343	0,0170
Arsen (As)	0,000104	0,000152	0,000128	0,000089	0,000192
Baríum (Ba)	0,000214	0,000158	0,000126	0,000039	0,000047
Kadmíum (Cd)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	0,000011	0,000006	<0,000005	0,000006	<0,000005
Króm (Cr)	0,00158	0,00134	0,000641	0,000584	0,000237
Kopar (Cu)	0,000344	0,000240	0,000221	0,000118	<0,0001
Járn (Fe)	0,00502	0,00192	0,000880	0,00211	0,00111
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Mangan (Mn)	0,000155	<0,00003	0,000048	0,000095	0,000119
Mólybden (Mo)	0,000281	0,000282	0,000220	0,000132	0,000177
Nikkel (Ni)	0,000460	0,000206	0,000071	0,000192	0,000064
Blý (Pb)	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Strontíum (Sr)	0,00732	0,0101	0,00836	<0,002	<0,002
Vanadíum (V)	0,0313	0,0351	0,0239	0,00759	0,0140
Sink (Zn)	0,000873	0,000584	0,000494	0,000447	0,000315
Uppleyst steinefni (UE)	39,0	77,0	74,0	32,0	50,0
Jónavægi (%)	3,9	-0,9	0,3	-2,7	7,9
δD (‰ SMOW)	-76,5	-80,2	-77,1	-71,1	-71,9
$\delta^{18}O$ (‰ SMOW)	-10,82	-11,43	-10,98	-10,32	-10,55

5.2.1 Samsætur í sýnum 2016 frá Þeistareykjum og Kelduhverfi

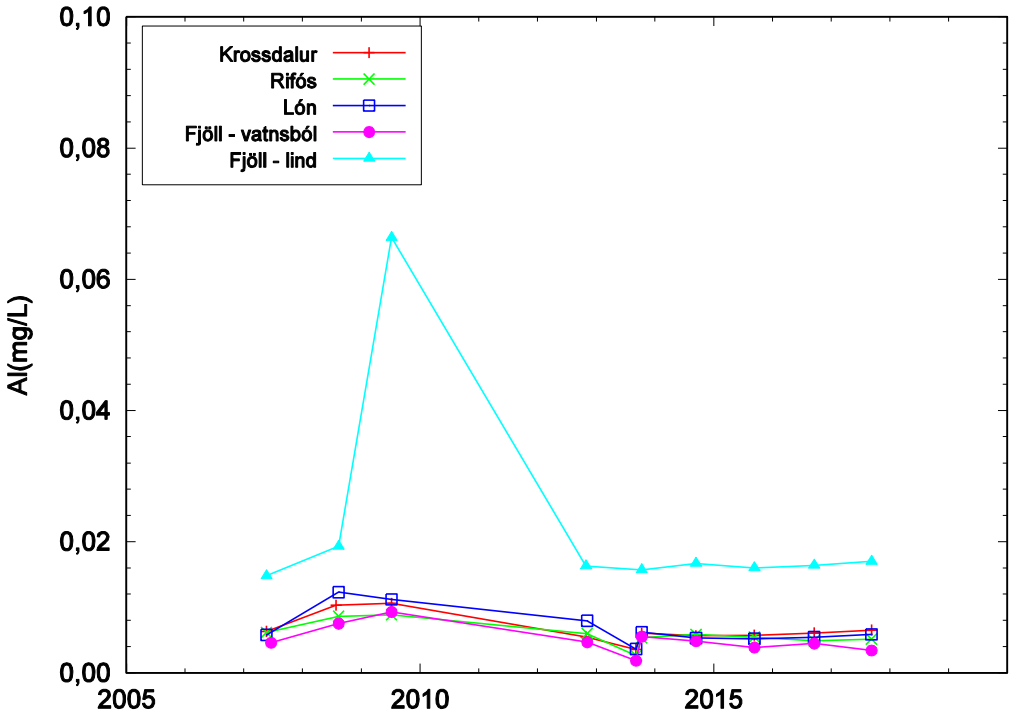
Við útgáfu skýrslunnar um umhverfisvöktun 2016 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2016) höfðu ekki borist niðurstöður mælinga á samsætum vetnis og súrefnis frá Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands. Niðurstöðurnar liggja nú fyrir og eru sýndar í töflu 19.

Tafla 19. *Niðurstöður mælinga á samsætum súrefnis og vetnis í sýnum frá Þeistareykjum og Kelduhverfi frá árinu 2016.*

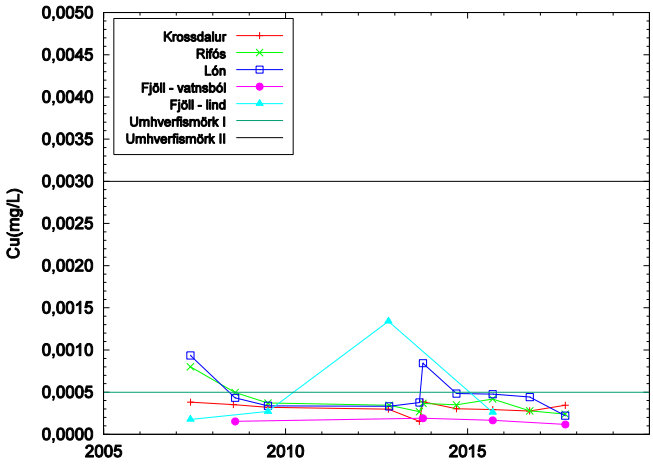
Staður	***Staðarnr.***	***Sýni nr.***	***$\delta^{18}O$*** *(‰ SMOW)*	***δD*** *(‰ SMOW)*
Þeistareykir - vatnsból	M-20409	20160270	-10,55	-72,3
Sæluhús	H-10124	20160271	-10,48	-71,0
ÞR-8	B-60368	20160272	-10,91	-73,3
ÞR-9	B-60369	20160273	-11,77	-81,8
ÞR-15	B-60376	20160269	-11,18	-76,4
Krossdalur	K-2745	20160280	-11,03	-75,6
Rifós - Tangabrunnur	K-2743	20160281	-11,40	-79,4
Lón	K-2744	20160282	-11,15	-76,8
Fjöll - vatnsból	K-568	20160283	-10,32	-72,9
Fjöll - lind	K-2742	20160284	-10,60	-70,7



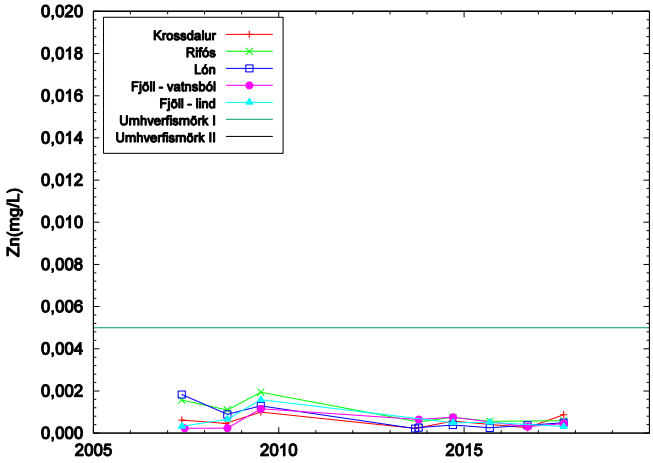
Mynd 136. *Styrkur arsens í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I (0,0004 mg/L).*



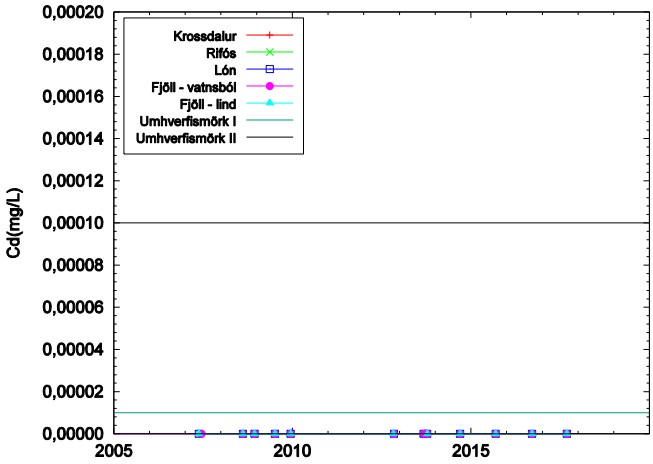
Mynd 137. *Styrkur áls í vatni úr lindum í Kelduhverfi (ath. viðmið neysluvatns er 0,2 mg/L).*



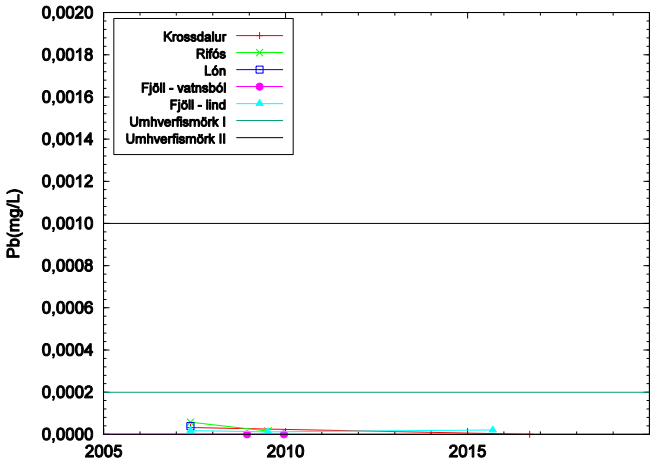
Mynd 138. *Styrkur kopars í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I (0,0005 mg/L) og II (0,003 mg/L).*



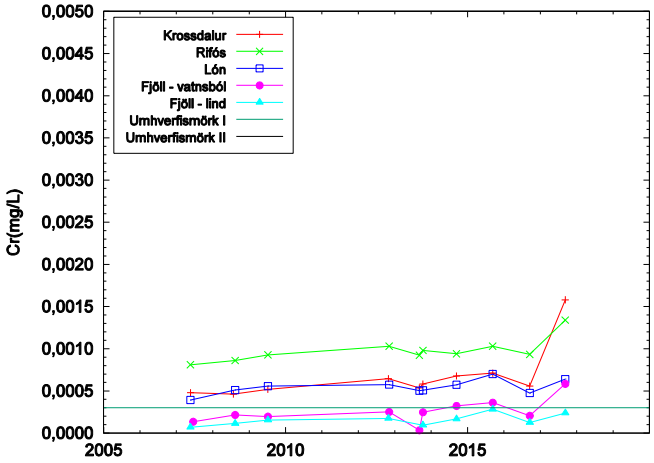
Mynd 139. *Styrkur sinks í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I (0,005 mg/L) og II (0,02 mg/L) efst á myndinni.*



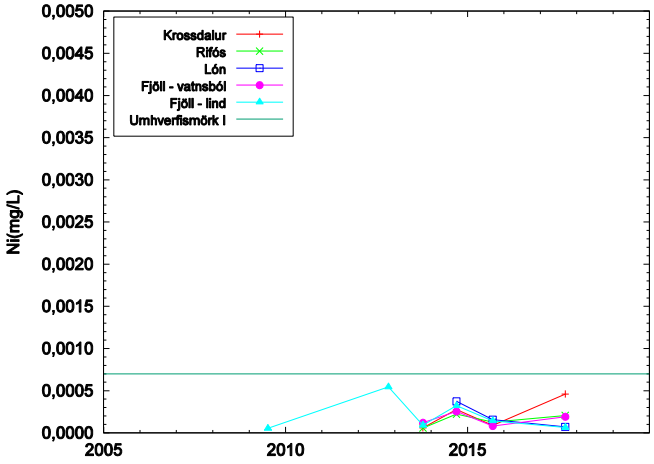
Mynd 140. *Styrkur kadmíums í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I (0,00001 mg/L) og II (0,0001 mg/L).*



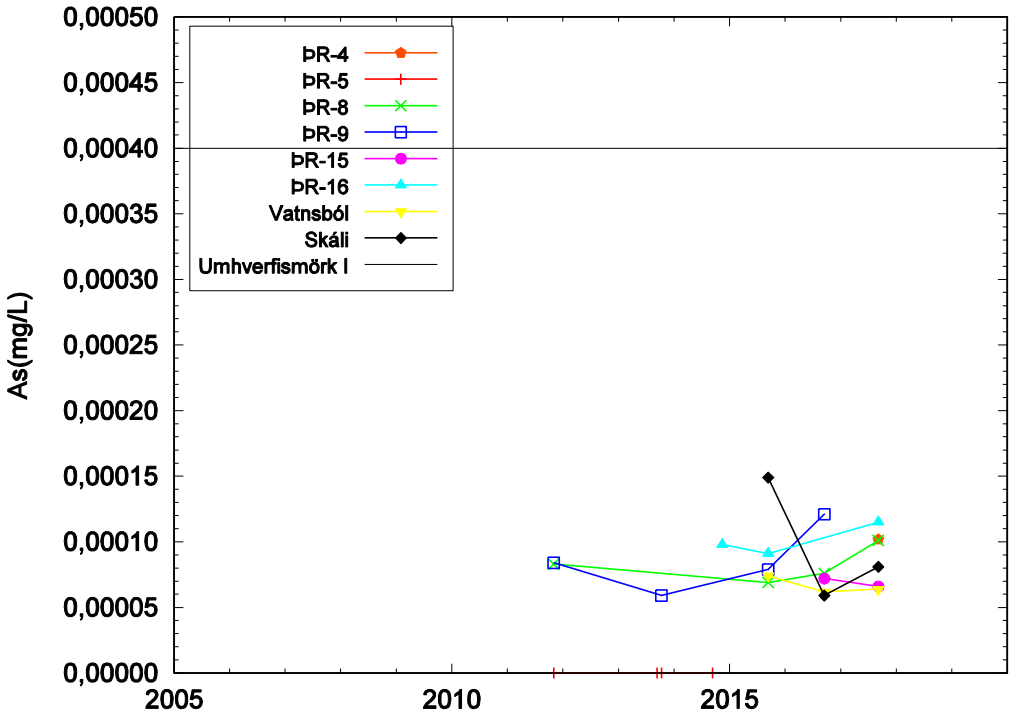
Mynd 141. *Styrkur blýs í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I (0,0002 mg/L) og II (0,001 mg/L).*



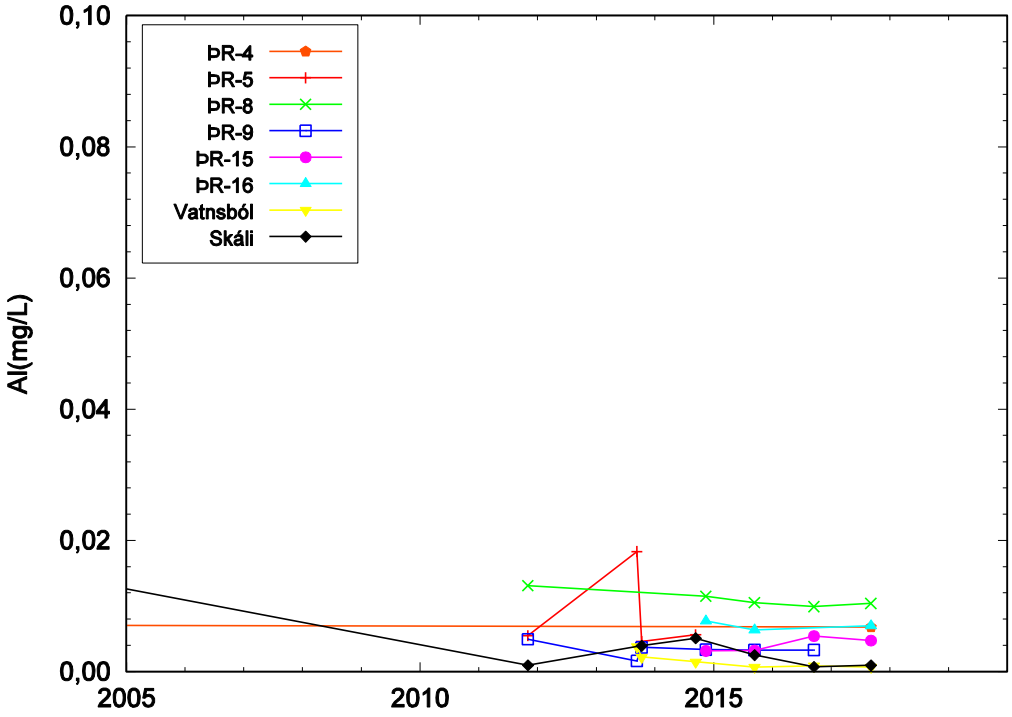
Mynd 142. *Styrkur króms í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I (0,0003 mg/L) og II (0,005 mg/L) efst á myndinni.*



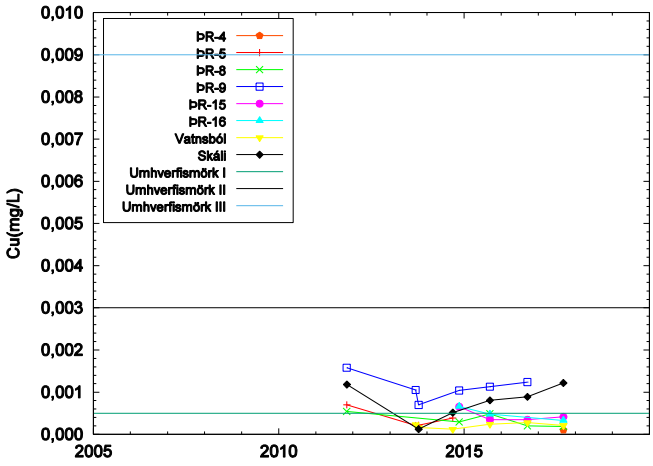
Mynd 143. *Styrkur nikkels í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I (0,0007 mg/L).*



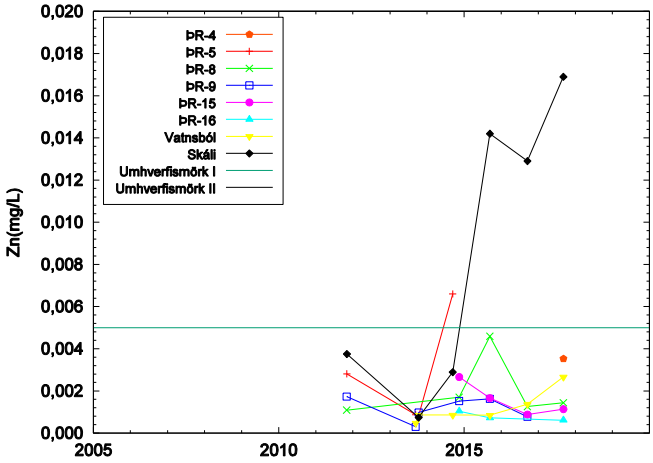
Mynd 144. *Styrkur arsens í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I (0,0004 mg/L).*



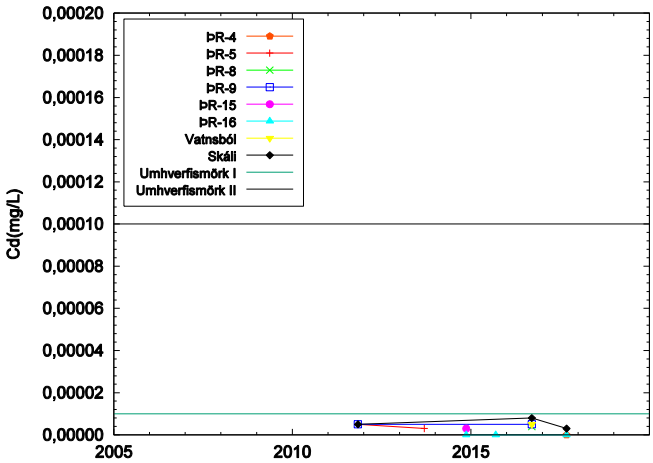
Mynd 145. *Styrkur áls í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum (ath. viðmið neysluvatns er 0,2 mg/L).*



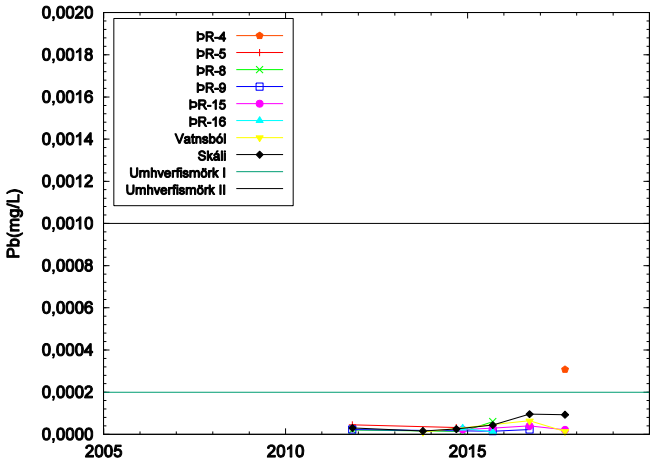
Mynd 146. *Styrkur kopars í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I (0,0005 mg/L), II (0,003 mg/L) og III (0,009 mg/L).*



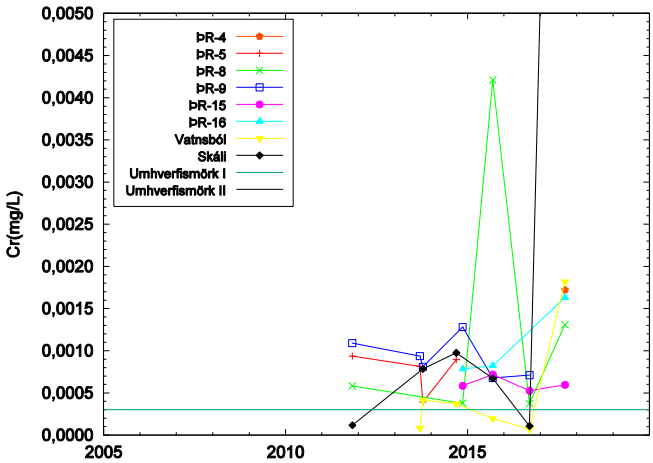
Mynd 147. *Styrkur sinks í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I (0,005 mg/L) og II (0,02 mg/L) efst á myndinni.*



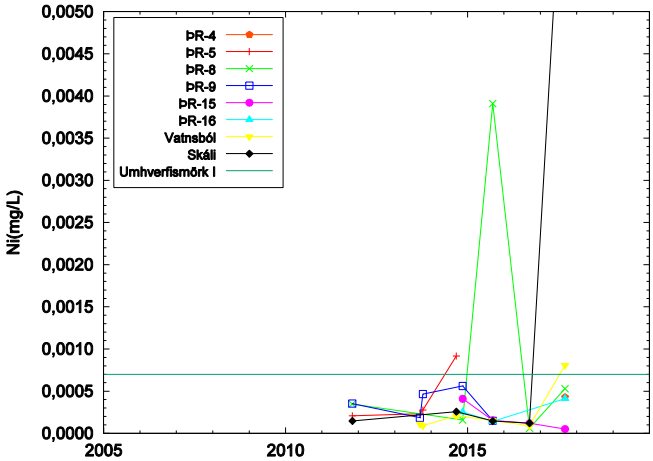
Mynd 148. *Styrkur kadmíums í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I (0,00001 mg/L) og II (0,0001 mg/L).*



Mynd 149. *Styrkur blýs í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I (0,0002 mg/L) og II (0,001 mg/L).*



Mynd 150. *Styrkur króms í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I (0,0003 mg/L) og II (0,005 mg/L) efst á myndinni. Bent er á að mjög hár styrkur mældist í sýni síðastliðið haust frá Þeistareykjaskála sem gæti stafað frá „mengun“ við sýnatöku eða frá rörum í vatnslögn.*



Mynd 151. *Styrkur nikkels í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I (0,0007 mg/L). Bent er á að mjög hár styrkur mældist síðastliðið haust í sýni frá Sæluhúsinu sem gæti stafað frá „mengun“ við sýnatöku eða frá rörum í vatnslögn.*

5.3 Vísar og sjálfbærni

Landsvirkjun er að fara af stað með sjálfbærniverkefni fyrir Norðausturland þar sem skilgreindir hafa verið vísar til vöktunar á sviði samfélags, umhverfis og efnahags.

Einn vísanna er gæði grunnvatns og hafa eftirtaldir staðir í Mývatnssveit, á Þeistareykjum og í Kelduhverfi verið valdir (Magnús Ólafsson og Ásgrímur Guðmundsson, 2017).

Mývatnssveit

Grjótagjá
Bjarg, volg lind við Mývatn
Langivogur, volg lind við Mývatn
Garðslind, köld lind við Mývatn
LUD-11, borhola í Hrossadal
LUD-3, borhola í „Búrfellshrauni“

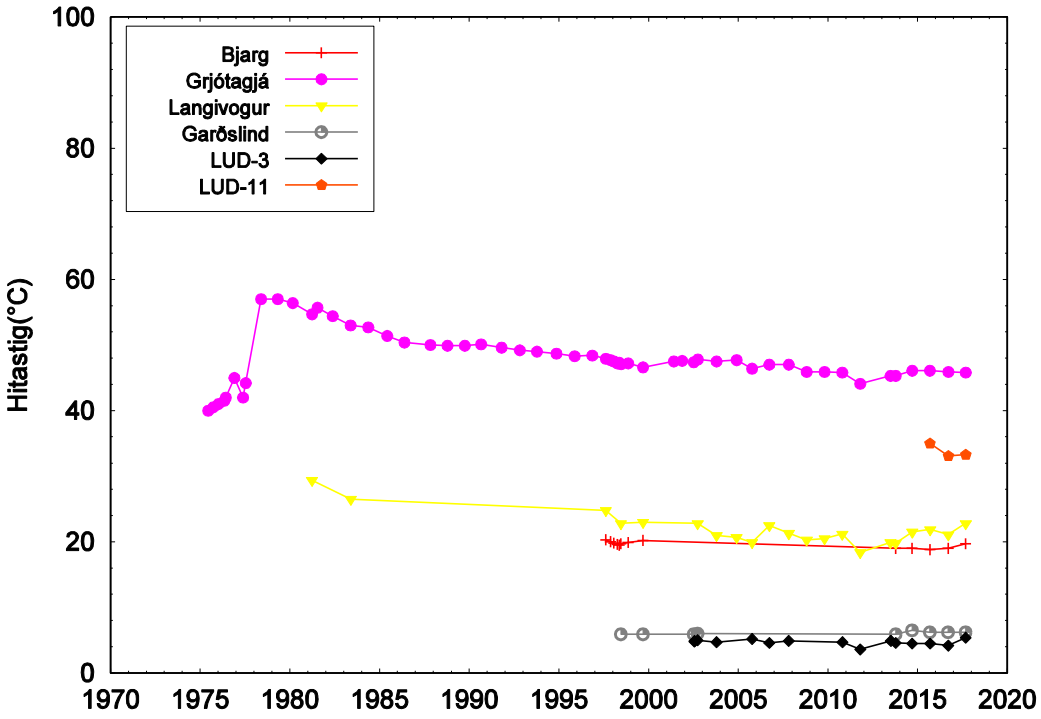
Þeistareykir og Kelduhverfi

Vatnsból við Ketilfjall
ÞR-16 – borhola
ÞR-9 – borhola á vatnstökusvæði virkjunar
ÞR-15 – borhola á „Reykjaheiði“
Fjöll – vatnsból bæjarins
Rifós – lind við seiðaeldisstöð

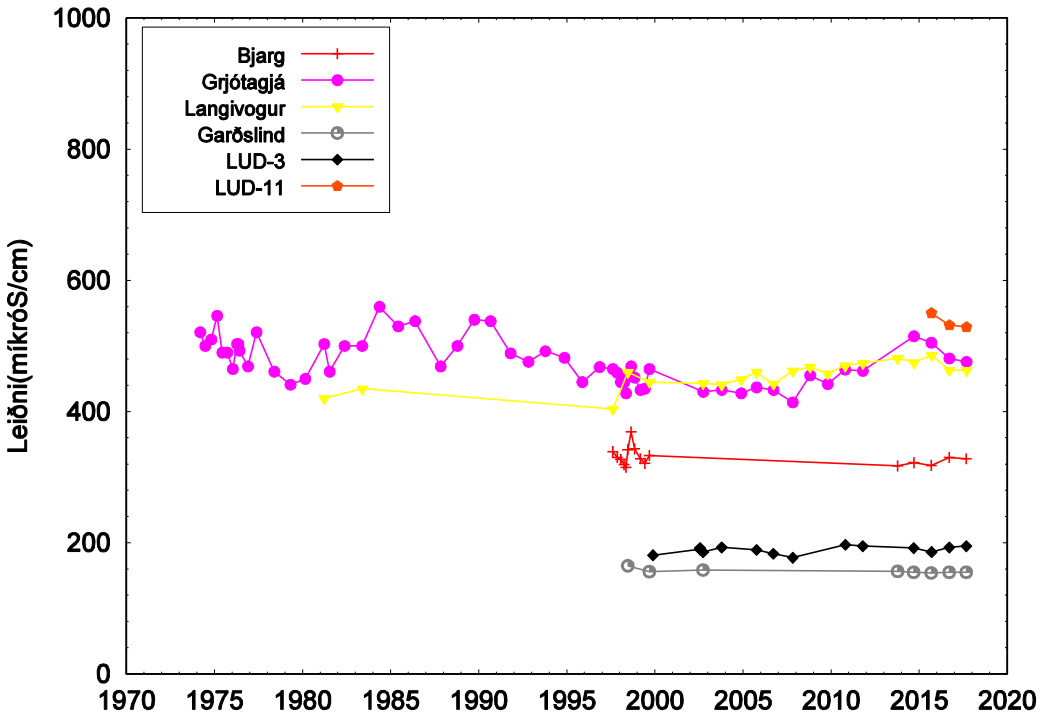
Eftirtalin efni og mæliþættir hafa verið valdir til að sýna niðurstöður:

Styrkur arsens (As)
Styrkur króms (Cr)
Styrkur kísils (SiO_2)
Mælt hitastig
Rafleiðni vatnsins

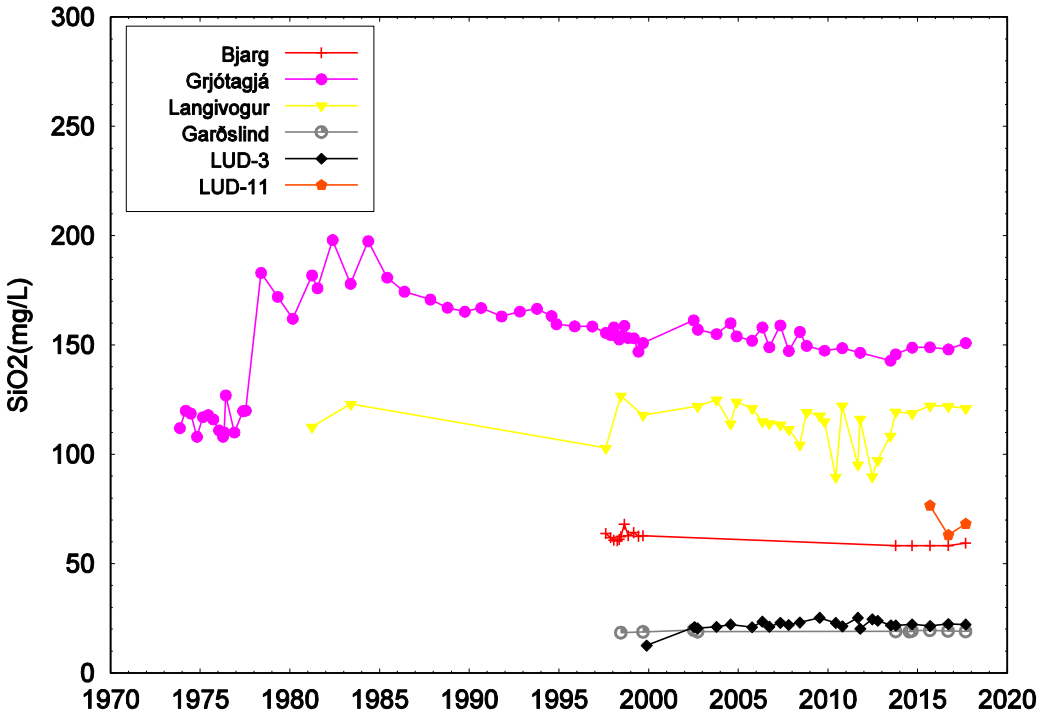
Hér að framan eru sýndar niðurstöður fyrir arsen (As) og króm (Cr) en á myndum 152–157 eru sýndar niðurstöður fyrir mælt hitastig við sýnatöku, rafleiðni vatnsins og styrk kísils (SiO_2) á ofangreindum sex stöðum í Mývatnssveit og sex stöðum á Þeistareykjum og í Kelduhverfi. Gögnin úr Mývatnsveit ná allt aftur til 1974 en gögnin frá Þeistareykjum og Kelduhverfi ná flest aftur til 2007. Upplýsingar um vatnsbólin við Fjöll ná aftur til 1995.



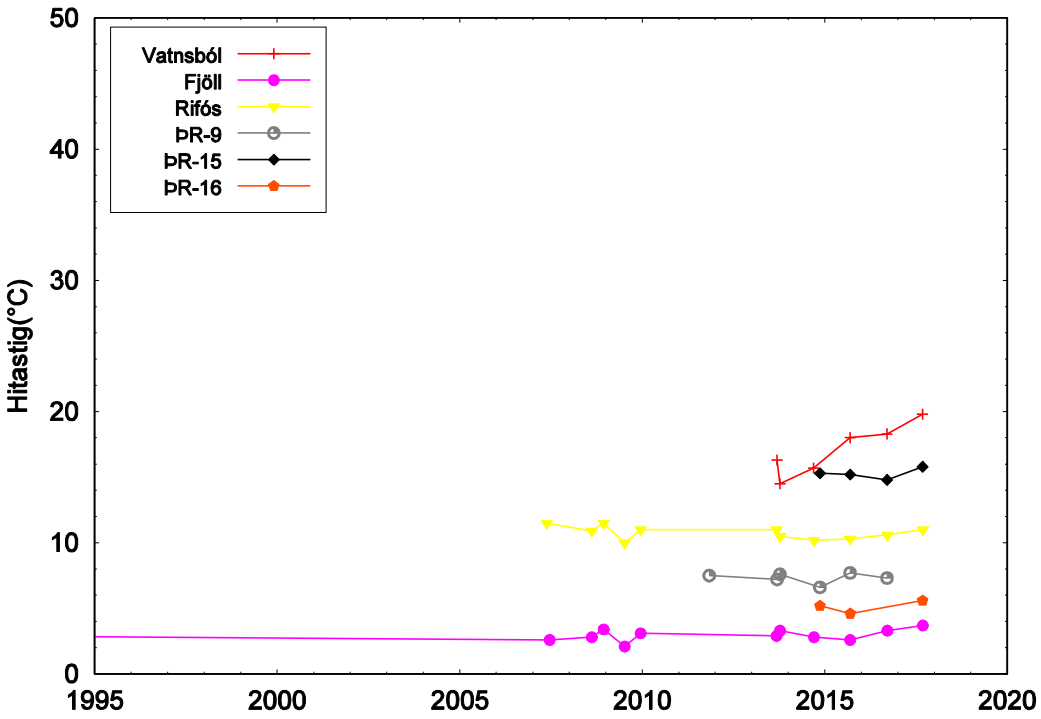
Mynd 152. *Mælt hitastig við sýnatöku á völdum stöðum í Mývatnssveit.*



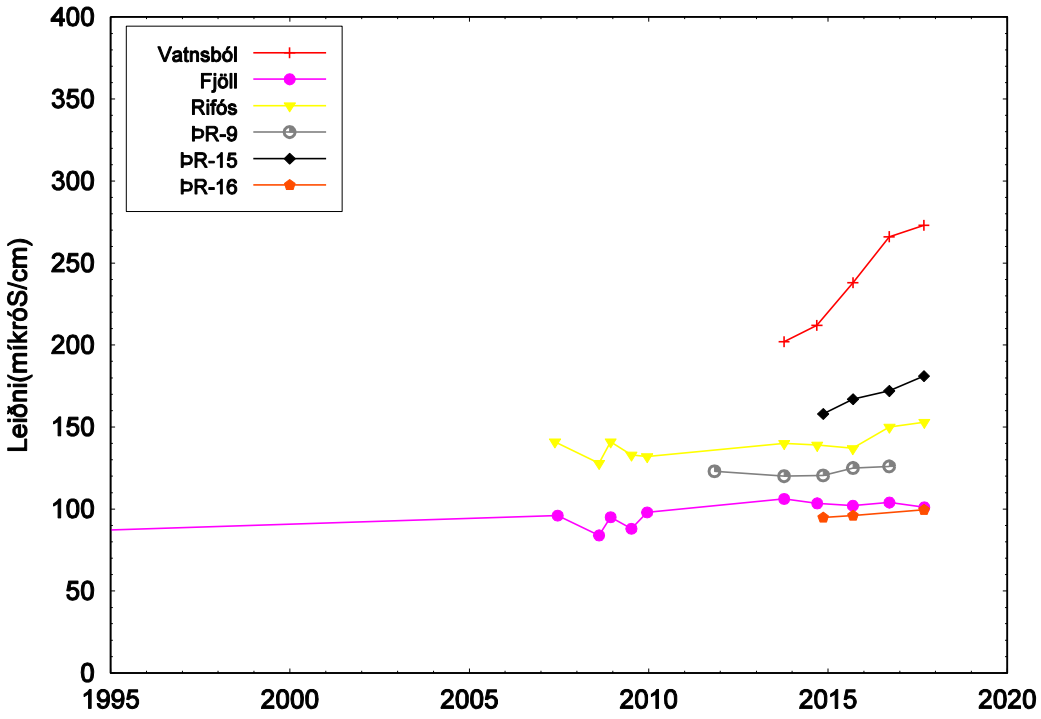
Mynd 153. *Mæld rafleiðni í sýnum á völdum stöðum í Mývatnssveit.*



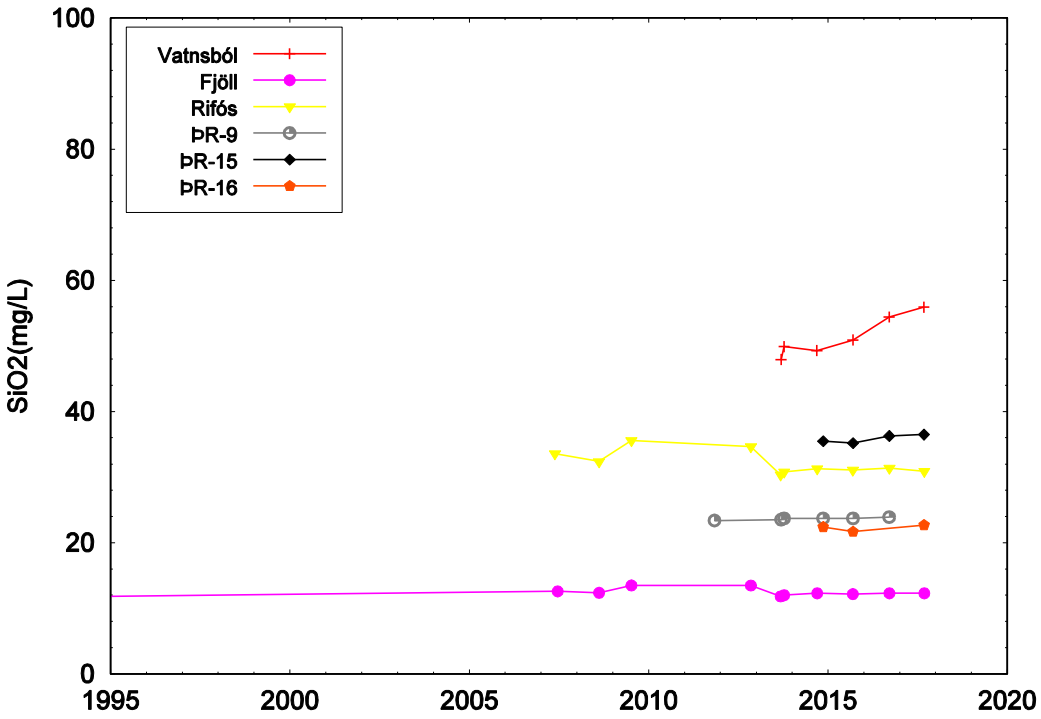
Mynd 154. *Styrkur kísils (SiO_2) á völdum stöðum í Mývatnssveit.*



Mynd 155. *Mælt hitastig við sýnatöku á völdum stöðum í Kelduhverfi og á Þeistareykjum.*



Mynd 156. *Mæld rafleiðni í sýnum á völdum stöðum í Kelduhverfi og á Þeistareykjum.*



Mynd 157. *Styrkur kísils (SiO_2) á völdum stöðum í Kelduhverfi og á Þeistareykjum.*

6 Helstu niðurstöður

6.1 Krafla

Yfirborðsvirkni

Sumarið 2017 var farið um Kröflusvæðið, jarðhitavirkni skoðuð og ljósmyndir og hitamyndir teknar. Farið var á alla þá staði sem eftirlit hefur verið haft með í gegnum árin sem og vítt og breytt um svæðið.

Jarðhitavirkni í Vesturhlíðum Kröflu hefur tekið smá breytingum frá því í fyrra en virkar skellur eru þó neðarlega í hlíðinni á svæðinu frá G-33 að Hækjunni. Í gilinu sem gengur til vesturs frá G-38 er virkni að aukast og var ekki skráð 2012 þegar gengið var þar upp með. Virkni var heldur ekki skráð 2014 en þar eru nú heitar skellur og smávægileg gufa með neðarlega í gilinu sem og í skál austan í því. Í Suðurhlíðum er nokkur virkni á stökum og afmörkuðum blettum en hefur ekki aukist neitt síðasta árið. Í Hveragili er virkni svipuð og undanfarin ár en þó eru smávægilegar breytingar; gufuopið neðan við Litla-Víti sem opnaðist með miklum krafti 2009, sem og meiri virkni neðar í gilinu. Gegnt Litla-Víti varð smá jarðfall til hliðar við heita leirskellu sem þar er. Virknin í skellunni er að aukast og náðist að taka sýni þar í ár. Leirskellan hefur frá 2012 verið útbólgin og heit en hefur síðasta árið fallið nokkuð saman og útfellingar myndast enda ákveðið gufustreymi frá því. Spurning er hvort þessar breytingar stafi af einhverju leyti af nýju holunni K-41 sem nær að hluta til inn undir Hveragilið norðaustanvert en sú hola var boruð sumarið 2016. Við Leirhnjúk var virknin á hverasvæðinu með svipuðu móti og síðustu tvö ár en gufuvirknin virtist vera að aukast í toppi hnjúksins og í austurhlíðinni. Virknin einkennist af gufu-, brennisteins- og leirhverum. Í Hvíthólum voru árið 2017 þrjár heitar skellur á meginsvæðinu við borholurnar en ekki gufaði upp um op sunnar á svæðinu sem lýst var árið 2014. Í Sandabotnaskarði var allt kalt. Litlar sem engar breytingar eru á virkninni við Hrafntinnuhrygg og ekki varð vart við neitt gufustreymi frá heitu blettunum í honum.

Almennt gildir fyrir Kröflusvæðið að þar hafa litlar breytingar orðið frá lýsingu Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2011) og athugunum ÍSOR undanfarin fimm ár (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a; 2013b, 2014, 2015, 2016).

Efnasamsetning gufu

Gufan sem stígur upp af hlíðum Kröflu og Vítissvæðinu er mun gasríkari en gufan í Leirhnjúk. Samanlagður gasstyrkur í sýnum ársins er um 123 mmól/kg í Leirhnjúk, 320–430 mmól/kg við Tvíburavötn, Víti og í Hveragili, en 1170 mmól/kg í Suðurhlíðum (sennilega hefur gufa þést úr sýninu á leið til yfirborðs) og 1330 mmól/kg í Vesturhlíðum. Undanfarin ár hefur meðalgashiti reiknast 300–315°C í hlíðum Kröflu en heldur lægri í Leirhnjúki, um 290–295°C. Svo er enn, nema hvað nýjasta sýnið frá Tvíburavötnum sýnir mun lægri gasstyrk en áður og reiknast með gashita nærri 290°C. Almennt ber gashitamælunum vel saman en helstu frávik eru að H_2S-hitamælarnir gefa lægri gildi en hinir efnahitamælarnir fyrir Leirhnjúkssýnin, og að CO_2-hitamælarnir gefa mjög há gildi í Suður- og Vesturhlíðum.

Samsætugildi í gufuaugum við Leirhnjúk eru býsna stöðug, með δD á bilinu -108 til -101‰ í flestum sýnum. Flest sýnanna úr Suðurhlíðum hafa sömuleiðis verið á því bili. Sýni úr Vesturhlíðum og Hveragili eru sömuleiðis snauð að tvívetni, með δD ≤ -114‰, en sýnin sem safnað er norðan Vítis eru áberandi þyngst, með δD > -100‰. Sýnin frá Tvíburavötnum dreifast yfir

vítt bil, með tvívetnisvik frá -114 til -101‰. Gufuaugnasýnin eru almennt talsvert tvívetnissnauðari en sem nemur áætluðum djúpvökva í kerfinu (δD á bilinu -94 til -87‰), nema sýnin sem safnað var norðan Vítis.

Gasflæði um jarðveg

Mælingar frá árinu 2017 sýna að koldíoxíðflæði gegnum jarðveg í Kröflu er víða nokkuð líflegt og í um 70% mælipunkta komu fram koldíoxíðgildi yfir bakgrunnsgildi svæðisins. Áberandi hátt koldíoxíðflæði kom fram víða á þeim mælilínum sem mældir voru á Leirhnjúkssvæðinu og einkennandi er hve víða er að finna hátt koldíoxíðflæði í suður- og vesturhlíðum Kröflufjalls án þess að því fylgi hækkað hitastig og stundum voru ekki heldur áberandi jarðhitaummerki á yfirborði. Þetta er einkennandi fyrir gasflæðið í Kröflu og mjög ólíkt t.d. gasflæðinu í Námafjalli og á Reykjanesi. Þegar niðurstöðurnar voru bornar saman við eldri gildi komu víðast hvar fram litlar breytingar.

6.2 Námafjall

Yfirborðsvirkni

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 norðvestan, vestan og suðvestan við Mið-Kollu sem og nærri Syðstu-Kollu. Á þessu svæði eru brennisteinsþúfur, gufu- og leirhverir mest áberandi. Almennt er mikil jarðhitavirkni frá og með misgengi sem liggur með fjallsbrúninni vestanverðri 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 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. Í stórum dráttum virðist jarðhitinn vera tengdur meginbrotum svæðisins, þ.e. rekbeltisins í NNA-stefnu. Hinsvegar má sjá út frá dreifingu jarðhitans og ummyndunar sem og línu í landslagi að NA- og NV-stefna er einnig á svæðinu. Í yfirferð ársins var aðeins skoðað hvort hægt væri að finna ummerki um slík brot en fjallað verður um þær athuganir í greinargerð.

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, 2015) að undanskilinni aukinni virkni norðan við Syðstu--Kollu og nærri Mið-Kollu.

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. Gashiti er lægstur í Bjarnarflagi, nærri 230°C, en hækkar eftir því sem austar dregur, er um 300°C á Námafjalli sjálfu og um 320°C á Hverum og helst þar í hendur við heildargasmagn í gufunni. Hár vetnisstyrkur gefur til kynna að nokkur djúpgufa sé til staðar undir Námafjalli og Hverum en vetnisstyrkur í Bjarnarflagi er í samræmi við það sem vænta má miðað við að jarðhitavökvinn sé í jafnvægi við berg.

Munur undirsvæðanna þriggja sést einnig í samsætugildunum. Léttasta gufan (δD ≈ -120‰) er austast í kerfinu, í Hverum, og þar er súrefnishliðrun einnig mest (8 til 9‰). Þegar komið er upp á Námafjall sjálft mælist meira af tvívetni og gildi á bilinu -115 til -110‰ mega teljast dæmigerð. Súrefnishliðrun á þessu svæði er 3 til 5‰ sem bendir til þess að efnaskipti milli bergs og vatns séu ekki gengin jafn langt og í Hverum. Sýnin úr Bjarnarflagi hafa tvívetnisgildi á bilinu -118 til -108‰ og sýna svolitla neikvæða súrefnishliðrun (< 1‰), þ.e. liggja vinstra megin við úrkomulínuna. Það kann að benda til þess að gufan þar sé mynduð við suðu á grunnvatni eða blöndu djúpvatns og grunnvatns. Sýni úr gufuaugum eru mun snauðari að tvívetni en reiknaður djúpvökvi í jarðhitakerfinu í Bjarnarflagi (δD ≈ -95‰) og kalt grunnvatn í Mývatnssveit (δD ≈ -92‰ í Vogaflóa).

6.3 Þeistareykir

Yfirborðsvirkni

Dreifing jarðhitans sem kortlagður var á Þeistareykjum sumarið 2012 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a) var áþekk því sem áður hafði verið lýst (Gestur Gíslason o.fl., 1984; Kristján Sæmundsson, 2007). Þetta á að hluta til við um athuganir sumarsins 2017. Þeir staðir þar sem mesta breytingin í jarðhita hefur orðið frá 2012 eru norðan og sunnan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7. Virkni hefur aukist og nýleg virkni hefur fundist rétt norðan og norðvestan við holurnar sem og hin nýja virkni sunnan við ummyndunarblettinn suður af borteignum. Einnig hefur jarðhitavirkni aukist í norðvesturhlíðinni (niður við rætur Ketilfjalls og í hlíðum fjallsins), mun meiri gufuvirkni er og aukin virkni í gömlum skellum sem voru lítt áberandi áður. Jarðhitavirkni í norðurhluta Tjarnaráss fer minnkandi og er nánast engin. Virkni við Sæluhús og að Bæjarfjalli, þar sem Tjarnarás gengur upp að fjallinu, hefur einnig aukist. Jarðhitavirkni í norðurhluta Tjarnaráss fer minnkandi.

Efnasamsetning gufu

Ekki hafa teljandi breytingar sést á efnasamsetningu gufu á Þeistareykjum síðan 2012 þótt stöku sýni skeri sig úr, helst vegna þéttingar gufu eða loftmengunar. Svæðið í Röndum er gassnauðara og 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. 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 í sýnum áranna 2012–2017 spanna bilið -124 til -108‰. 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. Það bendir til þess að gufan í Ketilfjalli sé hér um bil ótrufluð djúpgufa en að gufa vestan Tjarnaráss hafi þést verulega við hitastig nærri eða undir 200°C. Varðandi uppruna vatnsins bendir tvívetni ótvírætt til þess að hans sé ekki að leita í köldu eða volgu grunnvatni nærri yfirborði, þar eð það hefur mun hærra tvívetnishlutfall en jarðhitavökvinn (δD ≈ -72‰ í vatnsbóli Þeistareykja en djúpvökvi háhitakerfisins hefur δD á bilinu -119‰ til -108‰).

6.4 Eftirlit með grunnvatni

6.4.1 Mývatnssveit

Á árinu 2017 fór sýnataka á grunnvatni fram í september og var alls safnað vatni til efnagreininga á 20 vöktunarstöðum.

Engar marktækar breytingar koma fram í styrk arsens milli áranna 2016 og 2017. Líkt og áður er styrkur arsens hæstur í affallsvatni frá Bjarnarflagsvirkjun en mun lægri í affalli frá skiljustöð Krófluvirkjunar.

Hækkaður styrkur arsens og áls kom fram í eftirlitsholu LUD-4 austan Námafjalls. Hækkun þessi náði hámarki 2009 og 2010 en er nú gengin til baka og hefur styrkur þess verið innan við umhverfismörk II síðastliðin ár.

Styrkur arsens hefur lækkað í AB-2 á undanförnum árum, líkt og gerst hefur í sýnum úr Hlíðardalslæk. Þetta má ugglaust rekja til minnkandi magns af affallsvatni sem fer frá skiljustöðinni til förgunar í Hlíðardalslæk vegna aukinnar niðurdælingar í borholur í Kröflu.

Styrkur arsens í heitum og köldum lindum í Mývatnssveit fellur neðan umhverfismarka I á öllum vöktunarstöðum. Athygli vakti að árið 2016 mældist lítið eitt hærri styrkur arsens á nánast öllum þessum vöktunarstöðum en verið hefur undanfarin ár. Styrkur mældist svipaður 2017, nema neðan greiningarmarka í Vogagjá. Styrkur arsens er þó í öllum tilvikum vel neðan við umhverfismörk I.

Styrkur áls í vatni úr Bjarnarflagslóni er sem fyrr hærri en á öðrum vöktunarstöðum, nokkuð hærri en í vatni frá skiljustöð í Kröflu, en í báðum tilvikum vel yfir viðmiðunarmörkum fyrir neysluvatn. Styrkur áls í vatni í Hlíðardalslæk og í LUD-4 er mun lægri og er rétt við viðmiðunarmörk fyrir neysluvatn.

Líkt og í umhverfisvöktunarskýrslu frá 2016 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2016) eru sýndar myndir með niðurstöðum efnagreininga síðustu áratugina fyrir kopar, sink, kadmíum, blý, króm og nikkel en þessi efni auk arsens eru sérstaklega tilgreind í reglugerð um varnir gegn mengun vatns frá 1999. Í heildina er styrkur þessara efna almennt lágur og oft nærri greiningarmörkum efnagreiningaraðferðanna, sem endurspeglast að einhverju leyti í óreglulegum sveiflum í styrk efnanna. Á myndunum eru sýnd umhverfismörk samkvæmt reglugerðinni frá 1999. Niðurstöður langtímavöktunar á uppleystum efnum í grunnvatni sýna að vatn í lindum við Mývatn og í grunnvatni vestan Námafjalls hefur ekki orðið fyrir áhrifum frá jarðhitavatni frá Bjarnarflags- eða Krófluvirkjunum hvað varðar styrk arsens og áls.

6.4.2 Þeistareykir og Kelduhverfi

Grunnvatn á Þeistareykjum og í Kelduhverfi er vaktað á sama hátt og grunnvatn í Mývatnssveit. Sýni eru tekin úr lindum og vatnsbólum og djúpdælur eru í eftirlits- og vinnsluholum til ná sýnum úr holunum. Sýnataka fór fram í september 2017. Styrkur arsens og áls er á öllum vöktunarstöðum innan við umhverfismörk I. Líkt og fyrir vöktunarstaði í Mývatnssveit eru sýndar myndir með niðurstöðum efnagreininga síðasta áratuginn fyrir kopar, sink, kadmíum, blý, króm og nikkel, en þessi efni auk arsens eru sérstaklega tilgreind í reglugerð um varnir gegn mengun vatns frá 1999. Í heildina er styrkur þessara efna almennt lágur og oft nærri greiningarmörkum efnagreiningaraðferðanna sem endurspeglast að einhverju leyti í óreglulegum sveiflum í styrk efnanna. Á myndunum eru sýnd umhverfismörk samkvæmt reglugerðinni frá 1999. Í sýni úr lögn við Sæluhúsið á Þeistareykjum mældist hækkaður styrkur sinks, króms og nikkels, e.t.v. vegna „mengunar“ frá rörum í lögninni.

7 Heimildaskrá

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.

Branson, E. (1993). *Environmental Aspects of Aquaculture*. In Aquaculture for Veterinarians, Fish Husbandry and Medicine. (Ed. Lydia Brown).

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*, 1072–1703.

Darling WG. and Ármannsson, H. (1989). 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.

Finnbogi Óskarsson (2011). *Háhitaholur á Þeistareykjum. Efnasamsetning vökva og gufu 2011.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2011/068.

Finnbogi Óskarsson (2012). *Hola ÞG-7 á Þeistareykjum. Niðurstöður efnagreininga árið 2012.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/066.

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.

Gestur Gíslason, Halldór Ármannsson og Trausti Hauksson (1978). *Krafla: hitaástand og gastegundir í jarðhitakerfinu.* Orkustofnun, Jarðhitadeild, OS-JHD-7846.

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.

Horita, J. og Wesolowski, D. J. (1994). Liquid-vapor fractionation of oxygen and hydrogen isotopes of water from the freezing to the critical temperature. *Geochimica et Cosmochimica Acta, 58,* 3425–3437

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 Ásgrímur Guðmundsson (2017). *Vöktunarstaðir í Mývatnssveit, á Þeistareykjum og í Kelduhverfi.* Íslenskar orkurannsóknir, minnisblað, 20. desember 2017.

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.

Pope, E. C., Bird, D. K., Arnórsson, S. og Giroud, N. (2016). Hydrogeology of the Krafla geothermal system, northeast Iceland. *Geofluids, 16,* 175-197.

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.

Sigurður G. Kristinsson, Finnbogi Óskarsson, Auður Agla Óladóttir og Magnús Ólafsson (2015). *Háhitasvæðin á Þeistareykjum í Kröflu og Námafjalli. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2015.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2015/059, Landsvirkjun, LV-2015-125, 175 bls.

Sigurður G. Kristinsson, Finnbogi Óskarsson, Auður Agla Óladóttir og Magnús Ólafsson (2016). *Háhitasvæðin í Námafjalli, Kröflu og á Þeistareykjum. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2016.* Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2016/080, Landsvirkjun, LV-2016-124, 157 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 Krófluhlíðum. 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

Krafla

Tafla V-1. *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
23.08.2016	ÍSOR 16	20160248	90,2	10,7	0,028	0,570	12,8	1,28	<0,01
12.08.2015	ÍSOR 15	20150257	84,8	12,3	0,029	0,499	10,7	1,39	<0,01
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-2. *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-3. *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
21.08.2016	ÍSOR 16	20160241	613	51,4	0,043	0,294	12,3	2,09	<0,01
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-4. *Efnasamsetning eldri gufusýna úr Suðurhlíðum (K G-102, G-106, G-5 og G-7) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
21.08.2016	ÍSOR 16	20160240	500	34,3	0,021	0,459	14,8	0,77	<0,01
12.08.2015	ÍSOR 15	20150259	625	47,2	0,024	0,500	20,3	0,84	<0,01
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-5. *Efnasamsetning eldri gufusýna úr Hveragili (G-3) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
15.09.1979	HA&TH 80	G-3	1844	46,7		<0,2	0,6	81,5	18,8
01.08.1978	GG&fl 78	G-3	1143	20,6					

Tafla V-6. *Efnasamsetning eldri gufusýna við Tvíburavötn (K G-103, G-105 og G-12) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
21.08.2016	ÍSOR 16	20160242	336	49,9	0,081	0,698	25,7	3,50	<0,01
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
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-7. *Efnasamsetning eldri gufusýna af Vítissvæði (G-1 og G-107) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
21.08.2016	ÍSOR 16	20160242	336	49,9	0,081	0,698	25,7	3,50	<0,01
12.08.2015	ÍSOR 15	20150258	293	46,1	0,057	0,425	19,5	2,46	<0,01
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	

Námafjall

Tafla V-8. *Efnasamsetning eldri sýna af hrygg Námafjalls (N G-101, G-107 og G-108) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
21.08.2016	ÍSOR 16	20160239	52,3	44,6	0,027	0,496	86,7	1,31	<0,01
21.08.2016	ÍSOR 16	20160236	38,6	41,1	0,026	0,362	61,9	1,26	<0,01
11.08.2015	ÍSOR 15	20150253	35,5	61,0	0,022	0,478	96,2	1,18	<0,01
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 og NG-1) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
21.08.2016	ÍSOR 16	20160238	79,5	62,1	0,030	0,759	96,2	1,65	<0,01
11.08.2015	ÍSOR 15	20150254	67,0	82,5	0,039	0,987	105	1,76	<0,01
10.08.2014	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 og G-105) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
20.08.2016	ÍSOR 16	20160235	8,18	6,75	0,046	0,943	1,21	1,96	<0,01
11.08.2015	ÍSOR 15	20150255	7,50	8,22	0,048	0,839	1,11	2,05	<0,01
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 og G-106) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
21.08.2016	ÍSOR 16	20160243	329	167	0,070	1,85	228	3,86	<0,01
11.08.2015	ÍSOR 15	20150256	157	81,6	0,039	1,15	138	2,31	<0,01
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

Tafla V-12. *Efnasamsetning eldri sýna vestan Syðstu-Kollu (N G-109) í mmól/kg.*

Tími	Heimild	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
21.08.2016	ÍSOR 16	20160237	72,1	51,5	0,031	0,337	74,7	1,57	<0,01

Þeistareykir

Tafla V-13. *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
22.08.2016	20160245	76,6	21,7	0,016	0,081	2,23	0,862	<0,01
10.08.2015	20150247	68,6	31,4	0,021	0,481	23,6	0,958	<0,01
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-14. *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
22.08.2016	20160244	165	50,9	0,052	0,967	53,6	2,62	<0,01
10.08.2015	20150248	168	66,3	0,055	1,02	60,5	2,88	<0,01
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-15. *Efnasamsetning eldri gufusýna úr Þ G-103 og G-107 (áður G-6) í mmól/kg.*

Tími	Númer	CO_2	H_2S	Ar	CH_4	H_2	N_2	O_2
22.08.2016	20160246	246	59,9	0,073	0,661	76,1	3,76	<0,01
10.08.2015	20150250	108	35,2	0,030	0,278	31,4	1,78	<0,01
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-16. *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
10.08.2015	20150249	59,3	29,6	0,016	0,300	18,1	1,14	<0,01
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-17. *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
10.08.2015	20150251	334	74,2	0,420	2,69	31,9	20,8	<0,01
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-18. *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
22.08.2016	20160247	79,5	18,5	0,031	0,363	14,4	1,73	<0,01
10.08.2015	20150252	76,6	23,5	0,034	0,355	11,5	1,85	<0,01
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-19. *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
14.08.2016	20150263	46,1	29,1	0,025	0,262	31,9	1,19	<0,01
12.08.1981	19811056	35,9	35,2		0,546	15,1	1,89	

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 (0,2 μm) við söfnun, þau sett á plastflöskur og sýrð með saltpéturssýru (*suprapur*). Greining er í langflestum tilfellum gerð með atómísogsmælingum (AAS) á rannsóknarstofu ÍSOR en í sumum tilfellum (vorsýni) með rafgasgreiningum (ICP-AES) á rannsóknarstofu ALS í Svíþjóð.

Hliðarmálmar og snefilefni (Al, As, Ba, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Mo, Ni, Pb, Sr, Zn): Sýni síuð (0,2 μm) við söfnun, þau sett á sýruþvegnar plastflöskur og sýrð með saltpéturssýru (*suprapur*). Greining með rafgasgreiningum (ICP-AES/MS) á rannsóknarstofu ALS í Svíþjóð.

Kvikasilfur (Hg): Sýni eru síuð (0,2 μm) við söfnun, þau sett á sýruþvegnar plastflöskur og þau sýrð með saltpéturssýru (*suprapur*). Greining með atómflúrljómun (AFS) á rannsóknarstofu ALS í Svíþjóð.

Anjónir (F, Cl, Br, NO_3, SO_4): Sýni eru síuð (0,2 μm) 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 rannsóknarstofu ÍSOR.

Bór (B): Sýni eru síuð (0,2 μm) á plastflöskur við söfnun og greind á rannsóknarstofu ÍSOR. Greint með mælingu á ljósgleypni bór-azómethín komplex við 415 nm bylgjulengd.

Kísill (SiO_2):

(i) Rannsóknarstofa ÍSOR: Ómeðhöndluðum eða þynntum (1:2 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 (0,2 µm) við söfnun, þau sett á sýruþvegnar plastflöskur og þau sýrð með saltpéturssýru (*suprapur*). Greining á Si með rafgasgreiningum (ICP-AES) á rannsóknarstofu ALS í Svíþjóð.

Uppleyst steinefni (TDS): Sýni eru síuð (0,2 µm) á plastflöskur við söfnun og greind á rannsóknarstofu 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 Isotech Laboratories í Bandaríkjunum. Samsætuhlutföll eru gefin upp sem ‰-vik frá sömu hlutföllum í staðalsjó (V-SMOW).

Næringarsölt (NH_4, NO_2, NO_3, N_{tot}, PO_4, P_{tot}): Sýni eru síuð (0,2 µm) á plastflöskur við söfnun og greind með sjálfvirkum litrófsmæli á rannsóknarstofu ALS í Svíþjóð.

Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavik
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

UMHVERFISMERKI
141 381
Prentað efni