



Háhitasvæðin í Kröflu, Námafjalli og á Þeistareykjum

Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2014

LV-2014-132

Háhitasvæðin í Kröflu, Námafjalli og á Þeistareykjum

Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2014



ÍSOR-2014/058

Verknr.: 14-0117

Desember 2014

Skýrsla LV nr.: LV-2014-132

Dags: Desember 2014

Fjöldi síðna: 173

Upplag: 8

Dreifing:

☒ Birt á vef LV☒ Opin☐ Takmörkuð til

Titill:

Háhitasvæðin í Kröflu, Námafjalli og á Þeistareykjum.
Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2014.

Höfundar/fyrirtæki:

Sigurður G. Kristinsson, Finnþogi Óskarsson, Magnús Ólafsson
og Auður Agla Óladóttir

Verkefnisstjóri:

Ásgerður K. Sigurðardóttir 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 2014 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 þar voru einnig teknar hitamyndir af yfirborðsjarðhitunum og sýni tekin úr gufuaugum á hvoru svæði og borin saman við fyrri mælingar. Óverulegar breytingar voru í jarðhitavirkni á öllum svæðunum frá 2013 en gufuvirkni virtist heldur meiri. Líkt og árið 2013 var almennt meira vatn í vatns- og leirhverum en eftir hið þurra og hlýja sumar 2012. Fremur litlar breytingar eru á efnasamsetningu gufunnar milli ára en þó virðist gasstyrkur fara heldur vaxandi á hrygg Námafjalls og á Hverum austan Námaskarðs.

Grunnvatn í Mývatnssveit er kannað árlega og var svo einnig gert 2014 í þeim tilgangi að meta áhrif frá affallsvatni frá Kröflu- og Bjarnarflagsvirkjunum. Í skýrslunni er einnig gerð grein fyrir athugunum á efnasamsetningu grunnvatns í Þeistareykjasprungu-sveimnum í Kelduhverfi til að hafa til viðmiðunar í framtíðinni þegar vinnsla verður hafin á Þeistareykjum. Vöktunin 2014 sýnir engar meiri háttar breytingar frá fyrri árum. Eftirlit með efnasamsetningu grunnvatns síðustu áratugina sýnir að vatn í lindum við Mývatn og grunnvatn vestan Námafjalls hefur ekki orðið fyrir neinum áhrifum frá jarðhitavatni frá Bjarnarflagsvirkjun eða Kröfluvirkjun hvað varðar styrk arsens og áls.

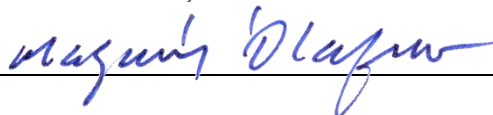
Lykilorð:

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

ISBN nr:

Samþykki verkefnisstjóra
Landsvirkjunar

Undirskrift verkefnisstjóra



Yfirfarið af

BS

Efnisyfirlit

1 Inngangur	11
2 Krafla	13
2.1 Yfirborðsvirkni í Kröflu.....	13
2.1.1 Leirbotnar.....	15
2.1.2 Leirhnjúkur	17
2.1.3 Vítismór.....	22
2.1.4 Vítissvæðið.....	22
2.1.5 Hveragil.....	23
2.1.6 Vesturhlíðar	25
2.1.7 Suðurhlíðar	30
2.1.8 Hrafninnuhryggur.....	35
2.1.9 Hvíthólar	37
2.1.10 Sandabotnaskarð og Leirhóll	42
2.1.11 Niðurstöður	42
2.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum í Kröflu	42
2.2.1 Sýnatökustaðir.....	42
2.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga	49
2.2.3 Samantekt.....	52
2.3 Gasflæði um jarðveg í Kröflu	52
2.3.1 Niðurstöður gasflæðimælinga 2014	53
2.3.2 Samantekt.....	62
3 Námafjall	63
3.1 Yfirborðsvirkni í Námafjalli.....	63
3.1.1 Austurgrundir	64
3.1.2 Hverir	67
3.1.3 Námafjall.....	72
3.1.4 Bjarnarflag.....	76
3.1.5 Jarðbaðshólar.....	80
3.1.6 Niðurstöður	81
3.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum í Námafjalli	81
3.2.1 Sýnatökustaðir.....	81
3.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga	86
3.2.3 Samantekt.....	89
4 Þeistareykir.....	89
4.1 Yfirborðsvirkni á Þeistareykjum	89
4.1.1 Misgengi suðvestan Randa og jarðhitinn við Hitur.....	91
4.1.2 Randir	91
4.1.3 Tjarnarás.....	96
4.1.4 Bæjarfjall.....	98

4.1.5 Ketilfjall	105
4.1.6 Niðurstöður	107
4.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum á Þeistareykjum	107
4.2.1 Sýnatökustaðir.....	107
4.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga	108
4.2.3 Samantekt.....	115
5 Vöktun grunnvatns í Mývatnssveit, á Þeistareykjum og í Kelduhverfi.....	115
6 Greiningar á gassamsætum	135
7 Helstu niðurstöður	137
7.1 Krafla.....	137
7.1.1 Yfirborðsvirkni	137
7.1.2 Efnasamsetning gufu.....	137
7.1.3 Gasflæði um jarðveg.....	137
7.2 Námafjall	138
7.2.1 Yfirborðsvirkni	138
7.2.2 Efnasamsetning gufu.....	138
7.3 Þeistareykir	138
7.3.1 Yfirborðsvirkni	138
7.3.2 Efnasamsetning gufu.....	138
7.4 Eftirlit með grunnvatni.....	139
7.4.1 Mývatnssveit	139
7.4.2 Þeistareykir og Kelduhverfi	139
8 Heimildir	141
Viðauki 1: Sýnataka og efnagreiningaraðferðir	146
Viðauki 2: Eldri gufuefnagreiningar	148
Viðauki 3: Efnastyrkur í grunnvatnssýnum - myndir	154

Töflur

Tafla 1. Sýnatökustaðir í Kröflu í ágúst 2014.	43
Tafla 2. Efnasamsetning gufusýna úr Kröflu sumarið 2014.	49
Tafla 3. Reiknaður efnahiti gufusýna áráanna 2012–2014 af Kröflusvæðinu, skipt eftir svæðum.....	50
Tafla 4. Sýnatökustaðir í Námafjalli sumarið 2014.	82
Tafla 5. Efnasamsetning gufusýna frá Námafjallssvæðinu.....	86
Tafla 6. Reiknaður efnahiti gufusýna áráanna 2012–2014 frá Námafjallssvæðinu.....	88
Tafla 7. Sýnatökustaðir á Þeistareykjum sumarið 2014.....	108
Tafla 8. Efnasamsetning gufusýna frá Þeistareykjum sumarið 2014.	109
Tafla 9. Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áráanna 2012–2014 frá Þeistareykjum.....	114
Tafla 10. Vöktunarstaðir í Mývatnssveit 2014.	118
Tafla 11. Yfirlit um dælt magn við sýnatöku úr vöktunarholum í Mývatnssveit.	118
Tafla 13. Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum haustið 2014.	119

Tafla 12. Umhverfismörk fyrir málma í yfirborðsvatni til verndar lífríkis	123
Tafla 14. Sýnatökustaðir á Þeistareykjum og í Kelduhverfi 2014.	130
Tafla 15. Yfirlit um dælt magn við sýnatöku úr vöktunarholum á Þeistareykjum.	130
Tafla 16. Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum á Þeistareykjum og í Kelduhverfi	131
Tafla 17. Niðurstöður greininga á styrk eðalgasa og stöðugum gassamsætum.	136

Myndir

Mynd 1. Yfirlitskort af þeim svæðum sem fjallað er um í skýrslunni	12
Mynd 2. Jarðhitakort af Kröflu.	14
Mynd 3. Gilskorningur milli holna K-11 og K-27.	15
Mynd 4. Myndir teknar ofan af Rauðhól	16
Mynd 5. Austurhlíð Leirhnjúks. Gufuvirkni var nokkur en dreifð.	17
Mynd 6. Hverasvæðið við Leirhnjúk. Gufuvirkni sumarið 2014 var svipuð og árið áður.	18
Mynd 7. Jarðhitinn í brotinu sem liggur meðfram austurhlíðinni með NNA-lægri stefnu.	18
Mynd 8. Frá toppi Leirhnjúks	19
Mynd 9. Hraun og gígar við norðurenda Leirhnjúks. Töluverð gufa stígur upp.	19
Mynd 10. Jarðhiti í Leirhnjúki frá borteig IDDP-1 og frá Rauðhól	20
Mynd 11. Stækkað kort af jarðhitinum við Leirhnjúk.	21
Mynd 12. Svæðið norðan við Víti	22
Mynd 13. Við Tölburaðstöð. Mest allur jarðhitinn er bundinn við þennan stað.	23
Mynd 14. Litla-Víti og gufuopið á miðri mynd. Gufuvirkni heldur meiri en og í fyrra.	24
Mynd 15. Heita leirflagið gegnt Litla-Víti. Gufan á myndinni er frá Litla-Víti.	24
Mynd 16. Virkinn við Jónshver gegnt jarðfallinu.	25
Mynd 17. Nokkurt gasstreymi var frá Þörungadýinu sumarið 2013 en ekkert nú í ár.	26
Mynd 18. Litlihver (G-33) sunnan við slóðann upp á Kröflufjall	26
Mynd 19. G-28. Gufuvirkni var mest í árfarveginum þar sem vatn rann yfir sjóðandi jörð	27
Mynd 20. Hækjan er vestan í hryggnum sem G-28 liggur austan við.	28
Mynd 21. Laugarnar neðan Stórahvers (G-29)	28
Mynd 22. Hitamyndir af Vesturhlíðum Kröflu	29
Mynd 23. Útfellingar og töluverður hiti (98,7°C) er umhverfis holu K-16.	30
Mynd 24. Jarðhitaskellan neðan holu K-16. Þarna er gamli sýnatökustaðurinn G-5.	31
Mynd 25. Suðurhlíðar. Ljósá flagið ofan við holur K-20 og K-31 er sýnatökustaður G-9	32
Mynd 26. Ofan við veginn að holum K-19 og -30. Heit skella með hita 95°C.	32
Mynd 27. Nokkuð stór skella neðarlega í sama gili og sýnt er á mynd 26 (G-106, áður G-7).	33
Mynd 28. Vestast í Suðurhlíðum ofan við K-12. Heitt leirflag og smávægileg gufa, hiti 98,4°C.	33
Mynd 29. Hitamyndir af Suðurhlíðum frá myndatökustað 7 á myndum 2 og 30.	34
Mynd 30. Stækkað jarðhitakort af miðsvæði Kröflu.	35
Mynd 31. Hrafninnuhryggur norðan Grænutjarnar.	36
Mynd 32. Jarðhitinn í austanverðum Hrafninnuhrygg rétt norðan við skarðið hjá Grænutjörn.	36
Mynd 33. Jarðhitinn vestan hryggjar	37
Mynd 34. Skella 10x3 m á stærð við Hvíthóla.	38

Mynd 35. Ummyndunarskellan G-26 fyrir austan og neðan K-21.	38
Mynd 36. Gufuhverinn eins og hann er nefndur í skýrslu Jóns og Trausta.....	39
Mynd 37. Ljósleitur mosagróður í kringum hitaopin	39
Mynd 38. Horft yfir hluta Hvíthólasvæðisins. K-21 og gufuhverinn neðarlega á myndinni.....	40
Mynd 39. Hitamyndir frá Hvíthólum.....	41
Mynd 40. Gufuaugu í Kröflu.	44
Mynd 41. Sýni tekið úr gufuauga K G-102 í Suðurhlíðum.....	46
Mynd 42. Sýnataka úr gufuauga K G-104 í austurhlíð Leirhnjúks. Horft til norðausturs.....	46
Mynd 43. Gufusýnataka úr gufuauga K G-106 í gili vestan við holu K-14.	47
Mynd 44. Undirbúningur sýnatöku úr gufuauga K G-107 í gígskál norðan Vítis.	47
Mynd 45. Þéttivatni safnað úr gufuauga K G-108 í Vesturhlíðum.....	48
Mynd 46. Sýnataka úr gufuauga K G-109, rétt sunnan Nínu.	48
Mynd 47. Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum í Kröflu	51
Mynd 48. Staðsetning mælinga á jarðvegshita og koldíoxíðgasflæði um jarðveg í og við Kröflu.	54
Mynd 49. Gasflæðimælir sem notaður var til mælinga á Kröflusvæðinu.	54
Mynd 50. Niðurstöður gasflæðimælinga um jarðveg á Kröflu og Leirhnjúkssvæðinu.	55
Mynd 51. Niðurstöður jarðvegshitastigsmælinga á 15 cm dýpi.....	56
Mynd 52. Gasflæði um jarðveg og jarðvegshiti í Kröflu 2014.	57
Mynd 53. Línurit sem sýna samanburð á koldíoxíðflæði um jarðveg á öllum átta mælinunum sem mældar voru sumarið 2014, samanborið við eldri mælingar, frá 2004, 2005 og 2010.	59
Mynd 54a. Línurit sem sýna samanburð á hita á 15 cm dýpi í jarðvegi á öllum átta mælinunum sem mældar voru sumarið 2014, samanborið við eldri mælingar frá 2010, 2005 og 2004.	60
Mynd 54b. Línurit sem sýna samanburð á hita á 15 cm dýpi í jarðvegi á öllum átta mælinunum sem mældar voru sumarið 2014, samanborið við eldri mælingar frá 2010, 2005 og 2004.	61
Mynd 54c. Línurit sem sýna samanburð á hita á 15 cm dýpi í jarðvegi á öllum átta mælinunum sem mældar voru sumarið 2014, samanborið við eldri mælingar frá 2010, 2005 og 2004.	62
Mynd 55. Jarðhitakort af Námafjalli.	63
Mynd 56. Yfirlitsmynd af Austurgrundum tekin ofan af Námafjalli.....	64
Mynd 57. Virk brennisteinsþúfa nyrst á svæðinu með 96°C hita.....	65
Mynd 58. Gufustreymi syðst á svæðinu kemur upp um op og sprungur í hrauninu.	65
Mynd 59. Hitamynd af Austurgrundum frá myndatökustað 8.....	66
Mynd 60. Yfirlitsmynd af Hverarönd	67
Mynd 61. Leirhverir við Hverarönd, dökkur leir og bullandi virkni á stöku stað.....	68
Mynd 62. Hóla 5. Eins og í fyrra gufar nokkuð upp um holurnar einnig þá syðri (holu 4).....	68
Mynd 63. Töluverð virkni leirhvera og heitar skellur einkenna svæðið sem teygir sig upp í hlíðar Námafjalls.	69
Mynd 64. Hitamyndir af Hverum séð ofan af Mið-Kollu.	70
Mynd 65. Hitamyndir af Hverum og austurhlíðum Námafjalls.	71
Mynd 66. Jarðhitinn á toppi Námafjalls við Mið-Kollu.....	72
Mynd 67. Leirhverirnir á toppi Námafjalls.....	73
Mynd 68. Toppur Námafjalls.....	73
Mynd 69. Frá Syðstu-Kollu til suðurs.	74
Mynd 70. Jarðhitavirknin í vesturhluta Námafjalls. Horft til norðurs	74

Mynd 71. Hitamyndir af vesturhlíðum Námafjalls	75
Mynd 72. Gilið ofan við holu B-9. Sýnatökustaður G-103 í holunni	76
Mynd 73. GB-4. Virknin í framhaldi af gílinu sunnan B-9.....	77
Mynd 74. Þó nokkur gufuvirkni er við holu B-4, brennisteinn og myndlaus kísill.....	78
Mynd 75. GB-5. Brennisteinsútfellingar í Gamla bakaríinu	78
Mynd 76. Hitamyndir í Bjarnarflagi	79
Mynd 77. Dæmigerð virkni við Jarðbaðshóla.....	80
Mynd 78. Gufuaugu í Námafjalli og Bjarnarflagi.....	83
Mynd 79. Sýnataka úr gufuauga N G-102 ofan við gil í Námafjalli austanverðu	84
Mynd 80. Sýnataka úr gufuauga N G-105 í gili upp af stöðvarhúsinu í Bjarnarflagi.....	84
Mynd 81. Gufuauga N G-106 á Hverum	85
Mynd 82. Sýnataka úr gufuauga N G-107 á Námafjalli. Mið-Kolla í baksýn.....	85
Mynd 83. Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum á Námafjallsvæðinu.	87
Mynd 84. Jarðhitakort af Þeistareykjum frá 2007 með kortlagningu 2012 til samanburðar.....	90
Mynd 85. Gufustreymið í hrauninu sunnan við holu ÞG-8.....	91
Mynd 86. Við sýnatökustað Þ G-105	92
Mynd 87. Randir, horft til suðurs.....	93
Mynd 88. Hitamyndir teknar ofan af Bæjarfjalli vestanverðu.....	94
Mynd 89. Framhald hitamynda (mynd 88)	95
Mynd 90. Horft yfir norðurhluta Randa sem og Tjarnarás í framhaldinu til norðurs.....	96
Mynd 91. Sýnataka úr Þ G-103, en virkni þar var svipuð og í fyrra	97
Mynd 92. Við hliðina á sýnatökustað Þ G-103 er heit skella sem skiptist í tvennt.....	97
Mynd 93. Hitamyndir. Myndatökustaður 2 á mynd 84.....	98
Mynd 94. Norðurhlíð Bæjarfjalls austanverð	98
Mynd 95. Miðhluti norðurhlíðar Bæjarfjalls.	99
Mynd 96. Vestanverð norðurhlíð Bæjarfjalls.	99
Mynd 97. Jarðhitinn á sléttunni neðan við Bæjarfjall norðanvert.....	100
Mynd 98. Framhald til vesturs af mynd 97	101
Mynd 99. Jarðhitavirknin neðan við sæluhús.	102
Mynd 100. Jarðhitinn við norðanvert Bæjarfjall.....	103
Mynd 101. Hitamyndir af norðurhlíð Bæjarfjalls.....	104
Mynd 102. Jarðhitaskálinn í miðjum hlíðum Ketilfjalls	105
Mynd 103. Jarðhitinn norðan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7.	106
Mynd 104. Svæðið sunnan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7.	107
Mynd 105. Gufuaugu á Þeistareykjum.....	110
Mynd 106. Undirbúningur sýnatöku úr auga Þ G-101	111
Mynd 107. Gufuaugað Þ G-102 í skál í hlíðum Ketilfjalls.	111
Mynd 108. Sýnataka úr gufuauga Þ G-103 syðst í Tjarnarási nærri Bæjarfjalli.....	112
Mynd 109. Undirbúningur sýnatöku úr gufuauga Þ G-105 vestast á Röndum.....	112
Mynd 110. Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum á Þeistareykjum.....	113
Mynd 111. Sýnatökustaðir í Mývatnssveit 2014.....	117
Mynd 112. Styrkur arsens í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni á árunum 1995–2014 ásamt umhverfismörkum I, II, III og IV og mörkum fyrir neysluvatn.	124

Mynd 113. Styrkur arsens í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflaglóni á árunum 1995–2014 ásamt umhverfismörkum I, II, III og IV og mörkum fyrir neysluvatn.	125
Mynd 114. Styrkur arsens í lindum við Mývatn 1995–2014 ásamt umhverfismörkum I.	125
Mynd 115. Styrkur áls í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk LUD-4 og Bjarnarflaglóni á árunum 1995–2014 ásamt umhverfismörkum I og II.	126
Mynd 116. Styrkur áls í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk og Bjarnarflaglóni á árunum 1995–2014 ásamt norskum umhverfismörk I og II.	127
Mynd 117. Styrkur áls í vatni linda við Mývatn á árunum 1995–2014 ásamt norskum umhverfismörkum I og II.	127
Mynd 118. Sýnatökustaðir í Kelduhverfi og á Þeistareykjum 2014.	129
Mynd 119. Styrkur arsens í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I.	133
Mynd 120. Styrkur arsens í vatni úr borholum og lindum á Þeistareykjum og umhverfismörk I.	133
Mynd 121. Styrkur áls í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I og II.	134
Mynd 122. Styrkur áls í vatni úr borholum og lindum á Þeistareykjum og umhverfismörk I og II.	134

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 2014. Niðurstöður ársins 2014 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 jarðhitanytingar. Niðurstöðurnar leggja síðan grunn að frekara eftirliti til framtíðar.

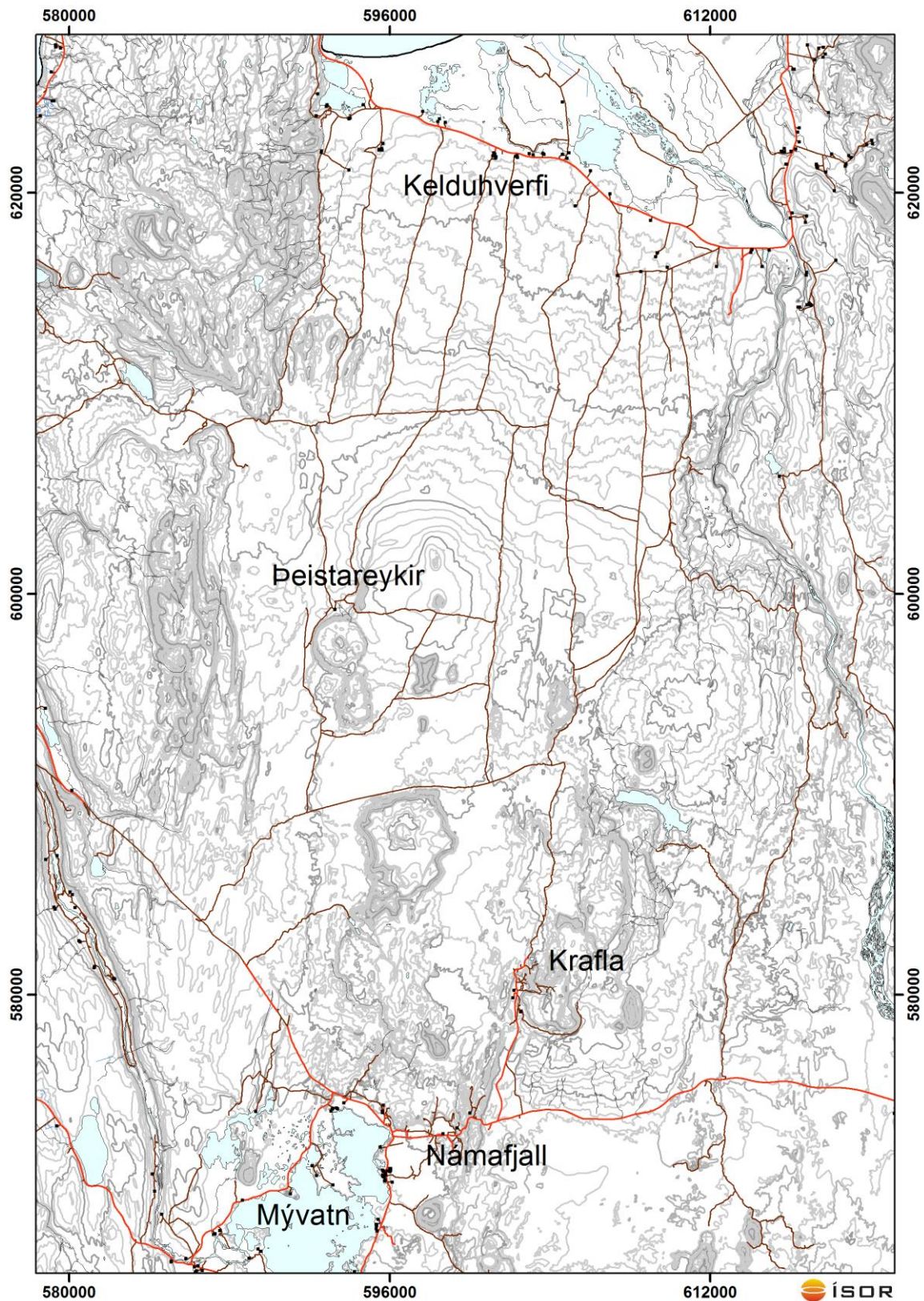
Sumarið 2014 voru gerðar ítarlegar athuganir á jarðhitavirkni í Kröflu en yfirferðin um Námafjall og Þeistareyki var lauslegri. Jarðhitastaðir í Kröflu voru skoðaðir og þeim lýst, gerðar hitamælingar og teknar myndir með hitanæmri myndavél sem nemur innrauða geislun. Hitamyndir voru einnig teknar af 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., 2013b, 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 stjórnað 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 elds-umbrotin í Kröflu sem enn eimur 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 2014 en slíkar mælingar hafa áður verið gerðar í Kröflu (Þráinn Friðriksson, 2009) sem og við Námafjall 2013 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013b) og á Þeistareykjum 2012 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a). 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 níttján.

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.

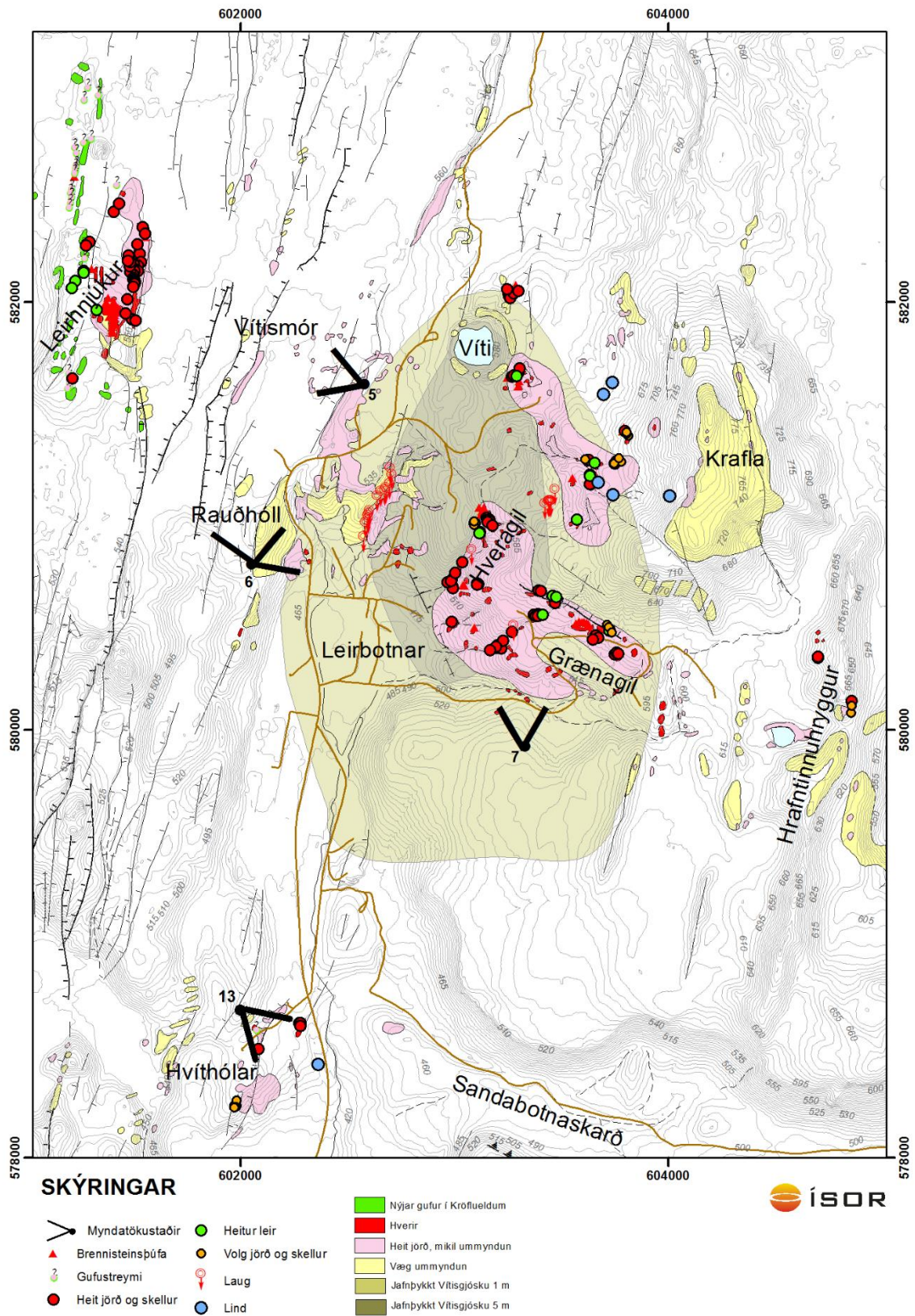
2 Krafla

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 reglulegu eftirliti (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2011; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a, 2013b). Að auki var farið á svæði í jaðri Kröfluöskjunnar, þ.e. Hvíthóla, Hrafninnuhrygg og Sandabotnahrygg, til yfirlits en enga virkni var að sjá á þessum svæðum nema við Hrafninnuhrygg og í Hvíthólum.

Dagana 6.–15. ágúst 2014 var farið á öll svæðin og yfirborðsvirkni athuguð, ljósmynduð og hitamyndir teknar. Staðsetning og stefna hitamyndatökustaða er sýnd á jarðhitakorti (mynd 2). Kortið byggist á jarðhitakorti Kristjáns Sæmundssonar (2008) að viðbættum gjósku-geira Vítis frá 1724 og nákvæmari afmörkun á ummyndun umhverfis Hveragil.

Í köflunum sem hér koma á eftir er farið yfir hvert svæði um sig og fjallað um niðurstöður athugana á yfirborðsvirkni.



Mynd 2. Jarðhitakort af Kröflu. Athuganir 2014 sýndu óverulegar breytingar frá undanförunum árum.

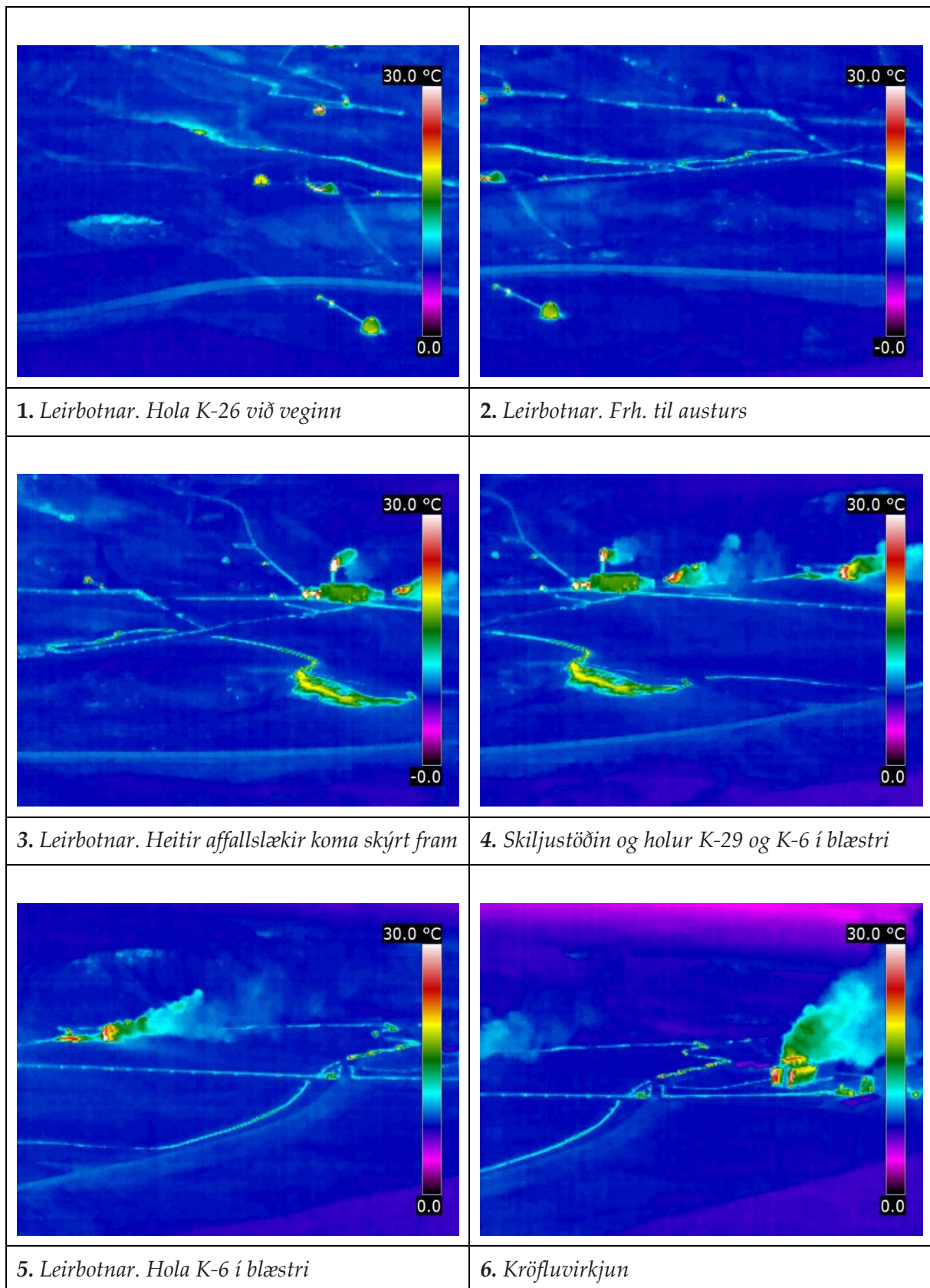
2.1.1 Leirbotnar

Á svæðinu við Leirbotna var farið á alla þá staði sem nefndir eru í skýrslu Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2011) en enginn virkur jarðhiti var á þeim stöðum sem þar eru nefndir. Einnig var litið yfir svæðið en ekkert gufustreymi var sjáanlegt frekar en undanfarin ár. Í skýrslu Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2011) er þess getið að árið 2010 hafi engin gufa verið sjáanleg í Leirbotnum. Beinar mælingar voru gerðar á nokkrum stöðum en annars var notast við hitamyndavél að kvöldlagi og myndað frá Rauðhól (myndatökustað 6 á mynd 2, sjá mynd 4).



Mynd 3. Gilskorningur milli holna K-11 og K-27. Nokkrar heitar lindir spretta fram á þessum stað. Efst á myndinni sést í holu K-5.

Hitamælt var á nokkrum stöðum á sléttunni neðan við K-26 og á borplaninu. Svæðið var allt kalt, engin ummerki um velgju eða nýlegar útfellingar. Velgjur og uppsprettur eru í gilskorningi sem gengur upp á milli holna K-11 og K-27. Hiti er 50–65°C og rennsli frá uppsprettum < 1 L/s. Á mynd 3 sést upp gilið, lækur rennur niður með blöndu af jarðhitavatni og kaldri snjóbráð. Grænt og svart slý er meðfram uppsprettunum. Í brekkunni austan við K-5 var engan hita að finna né heldur neðan við K-9 eða í Hveragilsrana. Á borplani K-6 var enginn hiti merkjanlegur. Lítil merki sáust um hitaútsstreymi frá svæðinu á hitamyndunum (mynd 4) og einu ummerkin um hita sem sjást á myndunum eru volgu lækjarspræurnar og mannvirki, svo sem kúluhús yfir borholunum, gufuleiðslum, skiljustöð og kæliturnum við Kröflustöð.



Mynd 4. Myndir teknar ofan af Rauðhól (myndatökustaður 6), horft til austurs á Leirbotna og svo til suðurs. Engin virkni sjáanleg nema á mynd 1. Heitar laugar eru í gili milli K-11 og K-27.

2.1.2 Leirhnjúkur

Jarðhiti á Leirhnjúkssvæðinu einkennist af leirhverum, gufuaugum og brennisteinspáfum (mynd 11). Leirummyndun og brennisteinn eru víða áberandi en jarðhiti er einnig greinilega undir nýjum hraunum þótt vart sjáist ummyndun. Sést það t.d. á því hvernig mosi vex hraðar þar sem hiti er undir hraunum (sést greinilega frá göngustígnum frá Leirhnjúk norður í gíginn Hóf).



Mynd 5. Austurhlíð Leirhnjúks. Gufuvirkni var nokkur 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 sem og ofan af toppi hans. Svolítill gufa kemur upp úr kolli Leirhnjúks en þó nokkur virkni er í austuröxl hans, heit jörð með brennisteinspáfum og leirhverum. Svæðið við útsýnispallinn í norðaustanverðum Leirhnjúk var með rólegra móti, 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 brennisteinspáfur mest áberandi. Tengjast þær misgengjum sem liggja eftir honum með NNA-lægri stefnu (myndir 11 og 8).



Mynd 6. *Hverasvæðið við Leirhnjúk. Gufuvirkni sumarið 2014 var svipuð og árið áður.*



Mynd 7. *Jarðhitinn í brotinu sem liggur meðfram austurhlíðinni með NNA-lægri stefnu. Heitar skellur með leirhverum og brennisteinsþúfum.*



Mynd 8. Frá toppi Leirhnjúks. Þó nokkurt gufustreymi úr brennisteinsþúfum. Heitur, rauður leir er umhverfis meginvirknina.

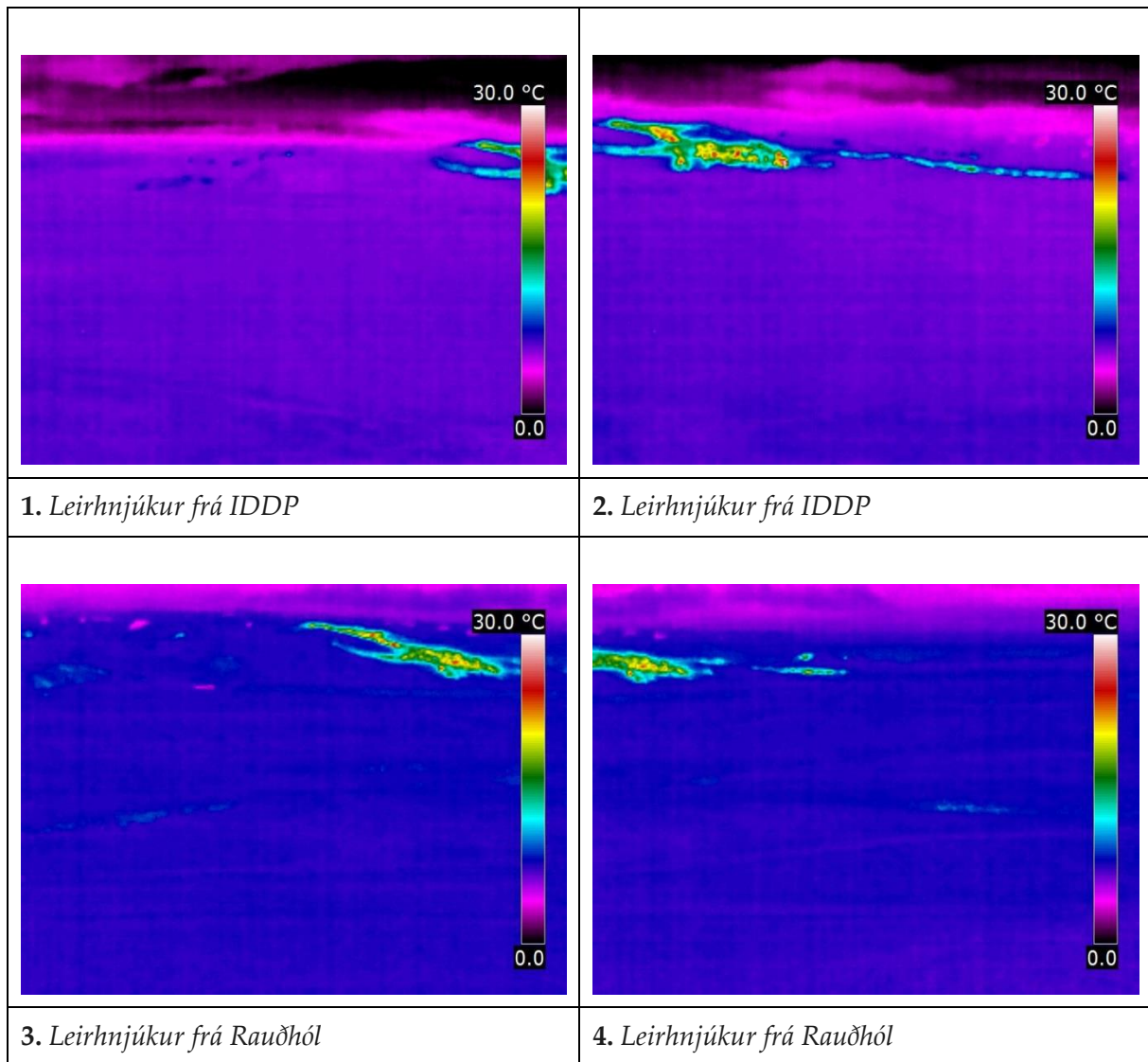


Mynd 9. Hraun og gígar við norðurenda Leirhnjúks. Töluverð gufa stígur upp.

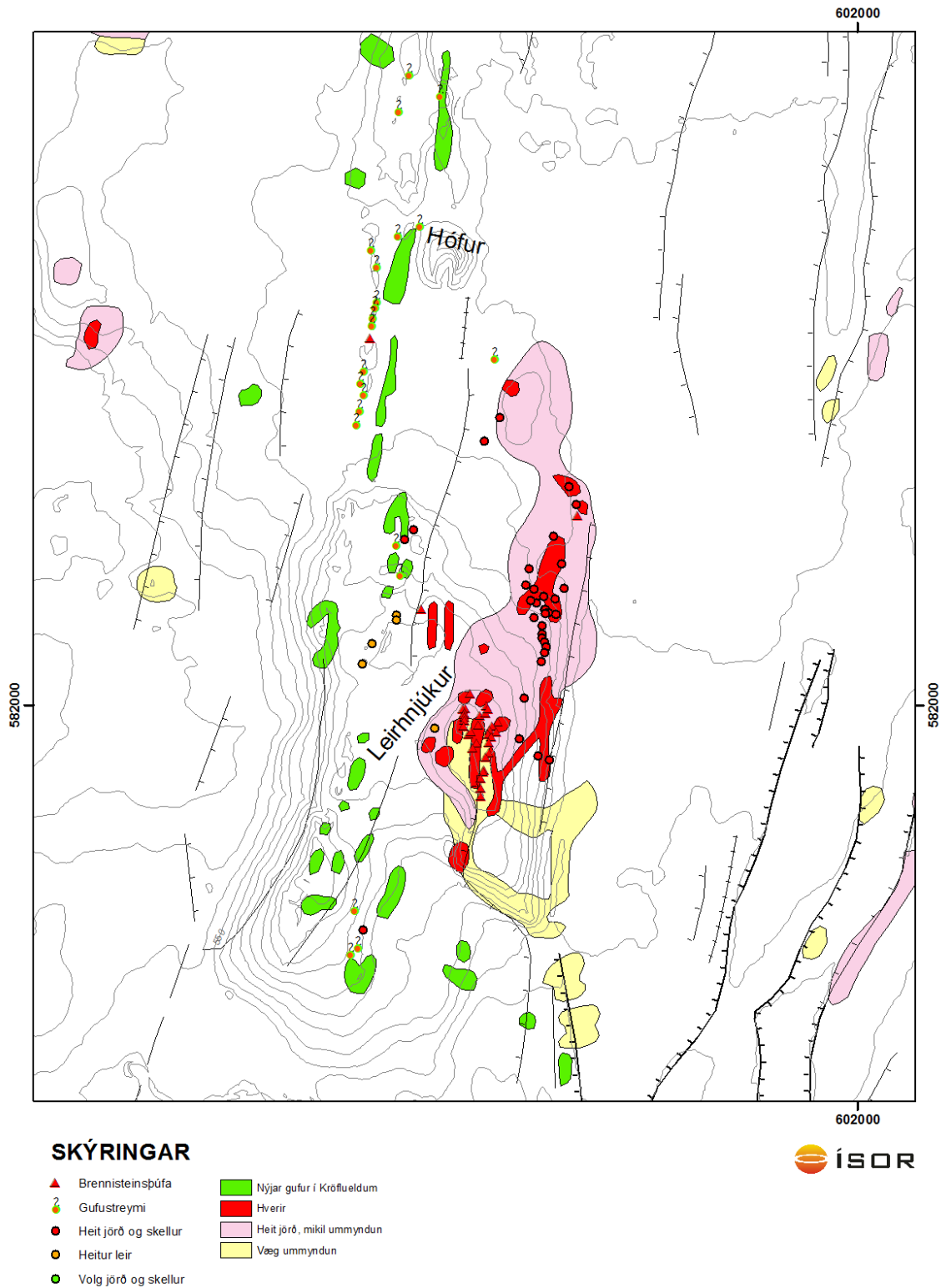
Í stórum gíg frá Kröflueldum norðanvert í Leirhnjúk stíga gufur víða upp (mynd 9) og mældist hitinn í gufuaugunum 97–99°C, auk þess voru brennisteinsblettir áberandi. Í gígaröðinni suðvestan í Leirhnjúk er töluvert gufustreymi og var hiti yfir 90°C þegar náðist að mæla ofan í kargann. Smá vottur af brennisteinslykt var af gufunni og á nokkrum stöðum sáust brennisteinsútfellingar í hrauninu.

Sjá má gufu stíga upp úr holum í nýja hrauninu norðan og norðvestan við gíginn Hóf. Þar kom upp hraunspýja í upphafi Kröfluelda í desember 1975 en einnig síðar. Hitinn á gufunni í hrauninu var 25–60°C.

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, teygist 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.



Mynd 10. Myndir 1 og 2 sýna jarðhitann í Leirhnjúki frá borteig IDDP-1 (myndatökustaður 5) en myndir 3 og 4 sýna hann frá Rauðhól (myndatökustaður 6). Vítismór er í forgrunni en þar kemur lítill sem enginn jarðhiti fram.



Mynd 11. Stækkað kort af jarðhitanum við Leirhnjúk. Töluvert er af brennisteinspúfum á toppi Leirhnjúks en norður af hnjúkunum og í austurhlíðum hans eru heitar skellur áberandi með leirhverum og gufuaugum.

2.1.3 Vítismór

Ummyndunarblettur (leir) er um 500 m NNV við Víti í átt að Hreindýrahól. Enginn hiti mældist þar í jarðvegi 2014 frekar en 2013 og 2012. Engin önnur jarðhitavirkni er sjáanleg í norðurhluta Vítismós frá Víti til Leirhnjúks (mynd 10) en í suðurhlutanum, þ.e. við og vestur af borteig IDDP, austur að Hveragili og fram á brúnir Hlíðardals er ljós leirumyndun ríkjandi. Engin gufa er sjáanleg og þær hitamælingar sem gerðar voru sýna engan jarðhitavott.

2.1.4 Vítissvæðið

Allmikil ummyndun (leir) er umhverfis Víti og jarðhitavirkni sums staðar mikil. Helstu gufusvæðin eru norðan, austan og suðaustan við Víti. Norðan Vítis er þó nokkur gufuvirkni utan í gígskál við sýnatökustaðinn G-1, virknin á þessum stað hefur heldur aukist og þá aðallega í vesturenda hennar þar sem annar gígur skarast við hinn. Heitur leir og brennisteinn ásamt hverasöltum er mest áberandi og hiti í gufuaugum er 97–98,5°C. Í ár var tekið sýni á þessum stað (mynd 12).



Mynd 12. Svæðið norðan við Víti (G-1). Heit leirskella með brennisteinsútfellingum inni á milli. Sjá má jarðvísindafólk við sýnatöku.

Tvíburavötn eru suðaustan við Víti og mynda tvær gígskálar, meginvirknin er í nyrðri skálinni. Gufusýni voru tekin úr gufuaugum við Tvíburavötn 2012 og 2013 en þau voru ekki nægilega kraftmikil í ár til sýnatöku. Svæðið var mjög blautt sem gæti haft áhrif á yfirborðsvirknina. Svæðið myndar ílanga ræmu þar sem virknin einkennist af heitum skellum með gufuvirkni og bullandi leirhverum (mynd 13). Hiti á þessum stað er 97°C í heitu skellunum en 95°C í leirpyttum.



Mynd 13. Við Tofuravötn. Mest allur jarðhitinn er bundinn við þennan stað. Sumarið 2014 var ekki hægt að taka sýni þar eð gufustreymi var frekar dræmt. Mikil bleyta var á svæðinu. Gufustreymi á svæðinu var minna en 2012 og 2013.

2.1.5 Hveragil

Neðst í Hveragili er allt kolummyndað en virknin er mest í miðju gilsins og austan til í því. Þar er meðal annars að finna öflug gufuaugu, leirhver og brennisteinspúfur (mynd 14, 15 og 3030303030). 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), síðastliðin tvö ár hefur ekki mikil virkni verið í opinu en þó hefur gufað upp úr því. Í ár var meiri kraftur í opinu, þungir dynkir komu frá því og sletti það gráum leir 10 m frá sér, auk þess sem gufustreymi var stöðugt (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 svæðinu gegnt Litla-Víti er lítils háttar gufustreymi úr leirflagi en flagið er allt mjög heitt, 70–98°C (mynd 15). Við kortlagningu árið 2013 kom í ljós að á móts við svokallaðan Jónshver hafði allstór spilda (100x30 m) fallið úr hlíðinni aftan við holur K-15, K-32 og K-33. Jarðfallið hafði skriðið rólega fram og farið að hluta yfir lækinn. Vatn hefur síðan grafið sig aftur í gegnum jarðfallið. Virknin í giliinu er svipuð nú og þá. Enn bolar gas í lækjarbotninum og stakar brennisteinspúfur eru norðan við og í jarðfallinu. Á móts við jarðfallið er heit jörð, > 90°C, mesti hiti í gufuaugum 96–99°C tengt brennisteinsopum en lítil gufuvirkni (Jónshver, mynd 16). Ummyndun er víðast hvar mjög mikil í giliinu og er ljós leir, brennisteinn og gífsútfellingar áberandi. Ekki er jarðhita að sjá ofar í Hveragili nema allra efst við veginn að holum K-34, K-36 og K-38 en þar eru fimm litlar skellur 2x2 m á stærð með hverasöltum og hita allt að 96°C. Ofar er svo jarðhiti á nokkrum stöðum (t.d. G-28 og G-38) í gili austur upp af Hveragili en honum er lýst með Vesturhlíðum hér á eftir.



Mynd 14. Litla-Víti og gufuopið á miðri mynd. Gufuvirkni er heldur meiri en í fyrra. Gufuopið spýtir nú gráum leir en það hefur ekki verið áður. Nokkrar hitaskellur eru í kringum Litla-Víti, aðallega sunnan við það og á móts við það.



Mynd 15. Heita leirflagið gegnt Litla-Víti. Gufan á myndinni er frá Litla-Víti.



Mynd 16. Virknin við Jónshver gegnt jarðfallinu. Mesta virknin er í lækjarfarveginum eins og undanfarin ár en smávægileg gufuvirkni er í skellunni með hita á bilinu 90–99°C.

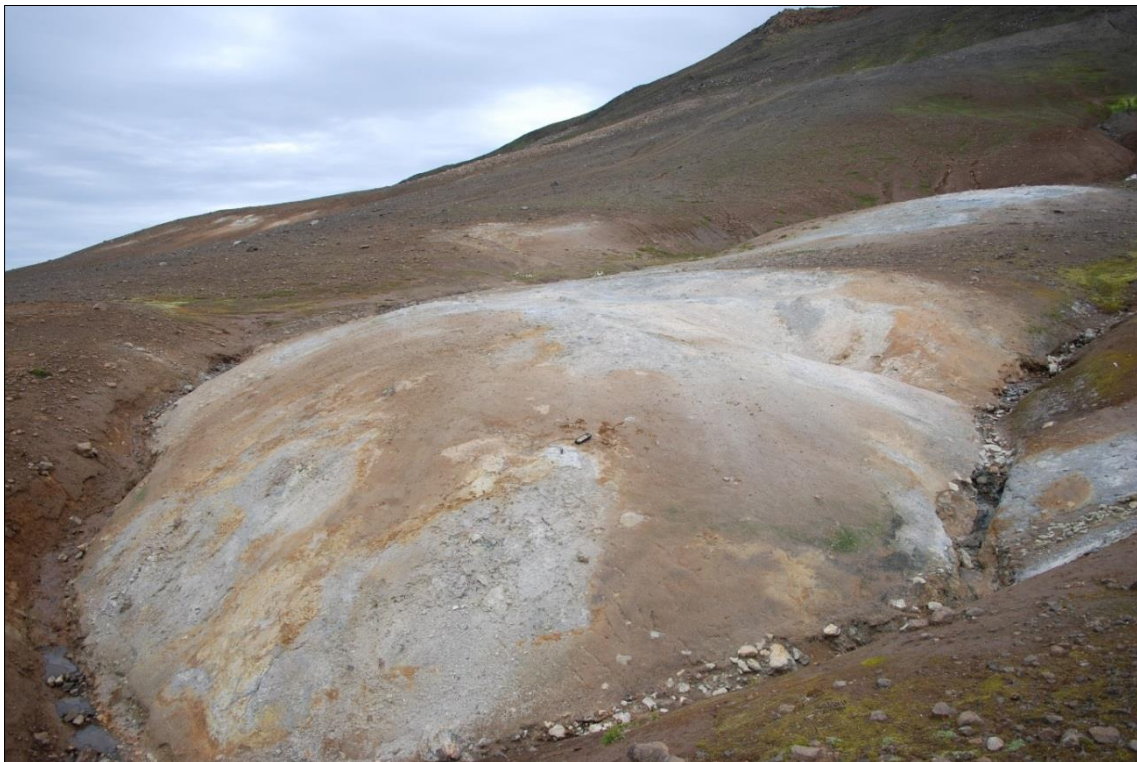
2.1.6 Vesturhlíðar

Vesturhlíðarnar voru skoðaðar en gengið var upp úr Hveragili og eftir vesturhlíðinni til suðurs svo frá borteig K-38 og upp að jarðhitunum við slóðann upp á Kröflufjall og síðan til norðurs með hlíðinni. Þannig var farið yfir flestalla staði sem lýst er í skýrslu Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2011). Svæðunum er lýst frá norðri til suðurs. Þörungadýið, þar var ekkert gasuppstreymi en í fyrra var töluvert gasuppstreymi í því (mynd 17). Mældur hiti var sá sami, um 12°C á 15 cm dýpi. Þessi staður var ekki skoðaður 2012 en hefur tekið breytingum frá lýsingum frá 2009 þar sem hiti var um 35–40°C en 2013 mældist enginn hiti í því (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2011). Lækjarspræna sem Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2011) lýsa sunnan við dýið var nánast þurr í fyrra en í ár var töluvert vatn í henni en allt kalt. Miklar rigningar voru í ágúst 2014 og því ekki gott að bera þetta saman.

Í miðjum hlíðum Kröflu (norðan við slóðann upp á fjall) eru leirskellur (G-32) með hita frá 50–94°C en ekkert gufustreymi greindist frekar en árið 2013. Við Litlahver (G-33) sunnan við slóðann upp á Kröflufjall, miðja vegu milli G-32 og G-28, sáust nokkrir ummyndunarflekkir. Þar mældist mesti hiti 96°C og hvissaði svolítið í gufu. Í flekkjunum eru leirop, hverasölt þar sem meginvirknin er, en í útjaðri þeirra er hiti tæpar 50°C (mynd 18). Við G-38 var smá gufustreymi og hiti (95–96°C) í þremur litlum skellum (1x1–1x2 m) en töluverð virkni var hjá G-28. Suða var í lækjarfarveginum og gufustreymi beggja vegna við lækinn og leirhveravirkni austan við hann. Hiti í læknum mældist 95–96°C (mynd 19). 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). Staðan er svipuð í ár, gufustreymi úr G-38 var fremur lítið en þó náðist sýni úr auganu.



Mynd 17. Nokkurt gasstreymi var frá Þörungadýjunu sumarið 2013 en ekkert nú í ár. Hiti var sá sami, 12°C, en rennsli lítið. Annað smádý er rétt norðan við aðaldýið með hita um 14°C en allt kalt þar norðan við. Holur K-34, K-36 og K-38 austan Vítis eru í blæstri fyrir neðan.



Mynd 18. Litlihver (G-33) sunnan við slóðann upp á Kröflufjall. Lítil gufuvirkni en innan flagsins eru heitir staðir 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 2014 var mest í árfarveginum þar sem vatn rann yfir sjóðandi jörð en heit skella er beggja vegna farvegarins með gufustreymi og leirhverum. G-38 er fjær.

Handan við hrygginn til vesturs frá G-28, mitt á milli G-28 og G-30 (sem var kalt) er ílöng (8 x 1,5 m) brennisteinsþúfa í brattri hlíð (mynd 20). Við hana mátti greina kísil, gifs og brennisteinsútfellingar og gufaði upp úr henni á nokkrum stöðum (brennisteinslykt). Hiti í gufustreymi var 97°C. Þetta er væntanlega Hækjan sem Jón og Trausti nefna svo. Hvorki var farið að þessum stað 2012 né 2013 en hann sést vel á ljósmyndum frá þessum árum.

Stórhver (G-29), sem myndaðist um eða upp úr 1980 og var mjög áberandi í Vesturhlíðunum, hefur dalað smám saman. Töluverðar breytingar urðu á svæðinu árin eftir að hann kom fyrst upp. Hverinn eða öllu heldur hverirnir voru leirhverir ásamt gufuhverum. Á svæðinu voru áður fyrr tekin sýni (G-17 og G-29) en undanfarin ár hefur virkni verið mjög lítil. Í skýrslu Jóns og Trausta (2010) er sagt að gufað hafi upp úr svæðinu en ekki hafi verið farið á svæðið heldur það aðeins skoðað úr sjónauka. Neðan við Stórahver er síðan laugasvæði (mynd 21). Í ár var engin yfirborðsvirkni í skálinni þar sem Stórhver var en hiti mældist þó á tveimur stöðum 71°C og 68,5°C. Allt var þurrt en laugasvæðið fyrir neðan var hins vegar vel virkt. Frá því runnu um 2–3 L/s með hita um 35°C en mesti hiti var 70°C efst á laugasvæðinu. Önnur laug er 70 m norðar og virðist ekki tengjast þessu svæði. Rennsli hennar var um 0,5 L/s af 34°C heitu vatni. Melskellurnar sem Jón og Trausti nefna í skýrslum sínum liggja nokkurn veginn milli G-28 og G-29 (Stórahvers). Ekki var vart við neina yfirborðsvirkni á því svæði.

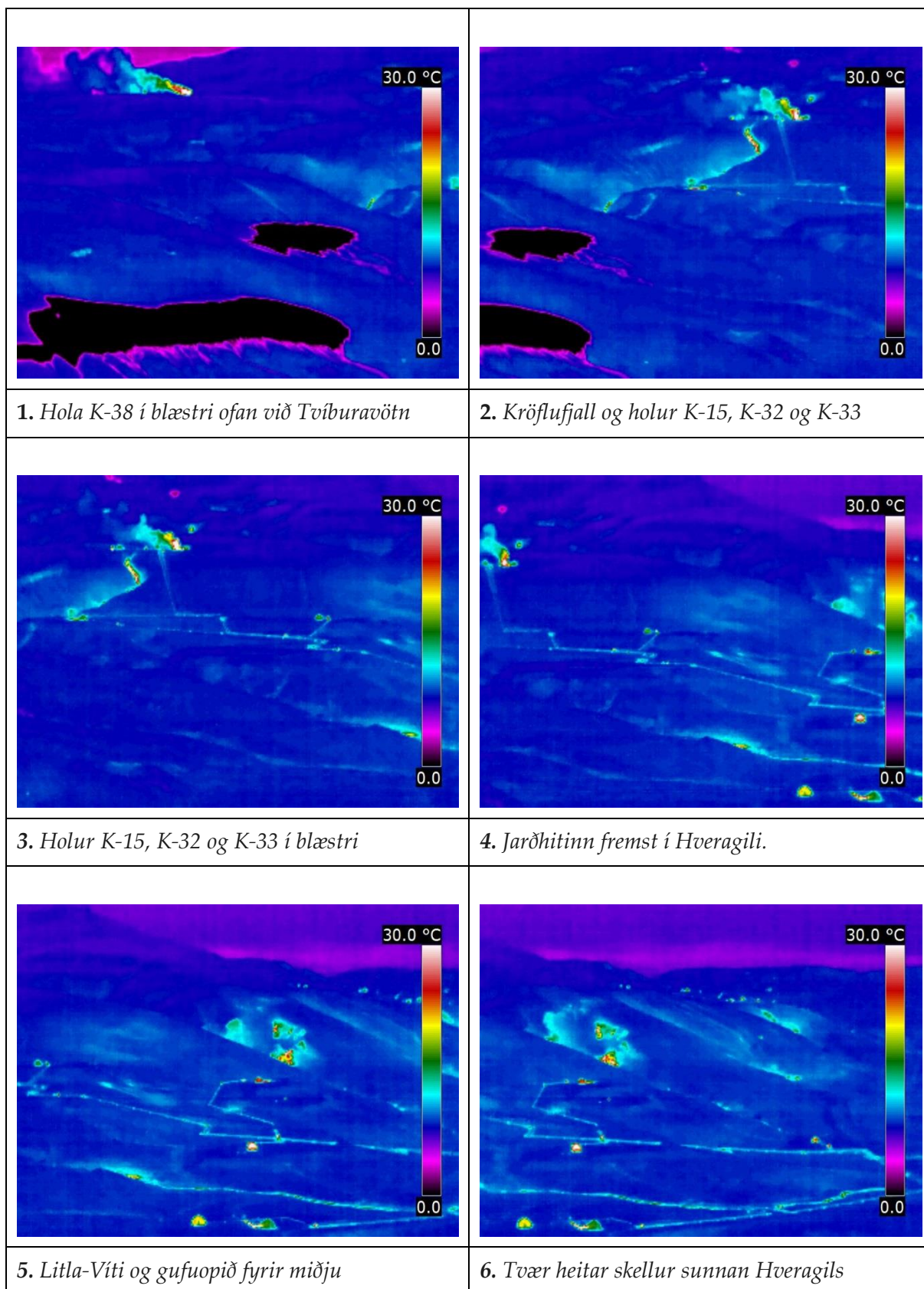
Á hitamyndum (mynd 22) sem teknar eru frá Rauðhól er ekki mikið að sjá en vesturbarmur Hveragils skyggir á neðsta hluta vesturhlíða Kröflu. Á hitamyndunum (mynd 22; hitamyndir 2 og 3) má þó sjá stakan blett í fjallinu ofan við holu K-15 en líklega er þetta svæðið við Hækju og Stórahver (G-29) eða laugarnar þar fyrir neðan. Sunnar með hlíðinni koma svo stöku blettir fram í hitamyndunum (mynd 22, hitamyndir 5 og 6) en það er virknin við mynni Hveragils og þar suður af. Á þessum myndum má sjá nokkra hitaaukningu frá myndunum í fyrra, í og við Litla-Víti og stemmir það við aukna virkni við gufuopið neðan Litla-Vítis.



Mynd 20. Hækjan er vestan í hryggnum sem G-28 liggur austan við. Brennisteinsútfellingar. Hiti í gufu er 97°C. Toppur Kröflufjalls er í baksýn til vinstri.



Mynd 21. Laugarnar neðan Stórahvers (G-29). Mesti hiti er 70°C. Hiti í afrennsli svæðisins er 34°C og rennslið um 2–3 L/s.



Mynd 22. Hitamyndir af Vesturhlíðum Kröflu. Myndirnar eru teknar til austurs frá Rauðhól (myndatökustaður 6 á mynd 30). Lítil sem engin virkni sést í efri hluta fjallsins. Nokkur velgja og heitir staðir eru þó í gilskorningum neðan til í Vesturhlíðum Kröflu en vesturbarmur Hveragils byrgir sýn á neðsta hluta Vesturhlíða.

2.1.7 Suðurhlíðar

Suðurhlíðar Kröflu eru skornar mörgum giljum og úr fjarska má víða sjá ummyndunarskellur (leir og brennistein). Virkir jarðhitastaðir eru nokkrir. Umhverfis holu K-16 eru talsverðar útfellingar; kísill, hverasölt og brennisteinn, hiti um 98,7°C og svolítil gufa (mynd 23). Neðan við holu K-16 við gamla sýnatökustaðinn G-5 (mynd 24) gufaði lítið eitt en ekki nóg til sýnatöku. Meiri hiti (95°C) var rétt ofan við hann. Í gamla sýnatökurörinu eru brennisteinsútfellingar en annars er hitinn á svæðinu bundinn við fjórar litlar skellur. Enginn annar hiti fannst í ummyndunarskellum sem koma fram t.d. í gílinu austan við. Ofan vegar frá holu K-16 í brekkunni eru tveir þornaðir hverabollar en þar mældist hiti 22,8°C. Í framhaldinu til norðvesturs er ljósbrúnt leirlag, hiti til endanna var 24°C en í miðjum flekknum gufaði lítið eitt og var hitinn frá 87–95°C. Vottur af brennisteinsútfellingum var við gufuústreymið. Neðan við þennan stað eru þrír litlir blettir. Sá fyrsti er neðst í gilskorningi; hvítur leir og vottur af brennisteini, hiti 88°C. Annar blettur er fast við veginn (1x1 m), þar mældist hiti 97,7°C en engin gufa sást. Sá þriðji var neðan vegar, lítið gufuauga rétt ofan við holur K-20 og K-31. Þaðan var tekið sýni árið 2012 (G-102) en 2013 var lítill kraftur í gufuauganu og hiti 88°C þegar sýnataka fór fram en viku síðar var meiri kraftur í auganu og hiti 96°C. Í ár tókst að safna sýni úr auganu þótt gufustreymi væri ekki mikið. Hiti í gufuauganu mældist 98,7°C.



Mynd 23. Útfellingar og töluverður hiti (98,7°C) er umhverfis holu K-16.



Mynd 24. Jarðhitaskellan neðan holu K-16. Þarna er gamli sýnatökustaðurinn G-5. Þar hefur ekki verið næg gufa til að taka sýni undanfarin ár. Hiti um 95°C og smávægilegar brennisteinsútfellingar.

G-9 er gamall sýnatökustaður í flöngu leirflagi með brennisteinsútfellingum og lítils háttar gufustreymi, hiti 92–98,5°C (mynd 25). Ekki var hægt að taka sýni þar en gufan kom of dreifð upp í gegnum útfellingaskán. Í framhaldi til vesturs, í hliðinni 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 hinn. Svöltil gufa kemur upp og fylgja henni hverasölt og brennisteinn.

Í gili sem snýr til suðvesturs eru tvær heitar skellur ofan vegar að K-19 og K-30. Sú neðri er mjög heit (97°C) með smá gufuvirkni, hverasöltum og brennisteini (mynd 26) 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 27). Einnig voru brennisteinsútfellingar tengdar gufustreymi enda lyktar gufan þarna af brennisteinsvetni. Sýni var tekið á þessum stað í ár líkt og í fyrra en um er að ræða gamlan sýnatökustað, G-7.

Neðst og vestast í Suðurhlíðum ofan við K-12 er gilskorningur og þar gufaði lítið eitt frá einum stað 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 (mynd 28). Ekki hefur verið mikil virkni á þessum stað í mörg ár en hann dalaði svo mjög að upp úr 1988 var gufustreymi orðið mjög lítið (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2004). Mitt á milli G-4 og G-7 er stök brennisteinsþúfa. Engin gufa kemur frá henni en hitinn mælist 97,8°C.

Á hitamyndum (mynd 29) sem teknar voru af Suðurhlíðunum koma vel fram þær hitaskellur sem lýst hefur verið, nema þær sem eru ofan í giljum.



Mynd 25. Suðurhlíðar. Ljósá flagið ofan við holur K-20 og K-31 er sýnatökustaður G-9. Ljósu leirflögin vinstra megin á myndinni eru bæði heit.



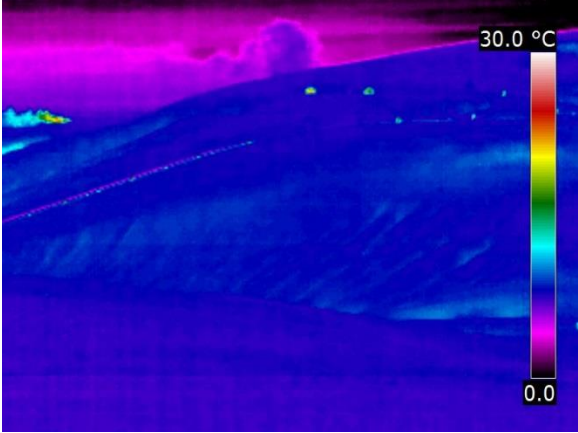
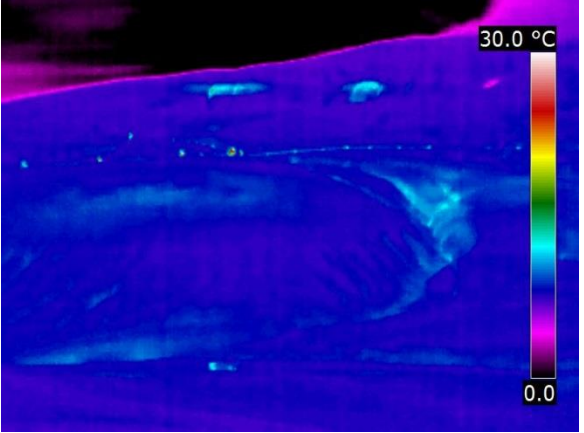
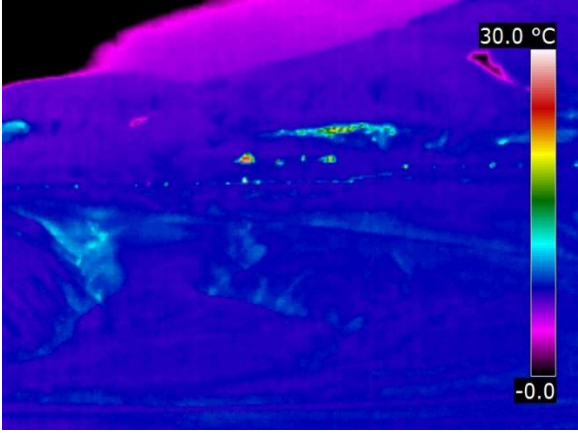
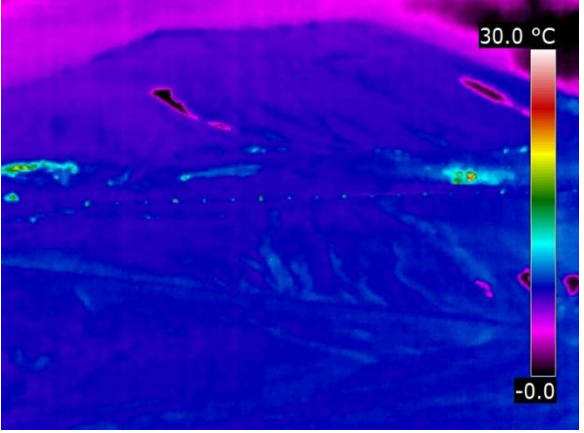
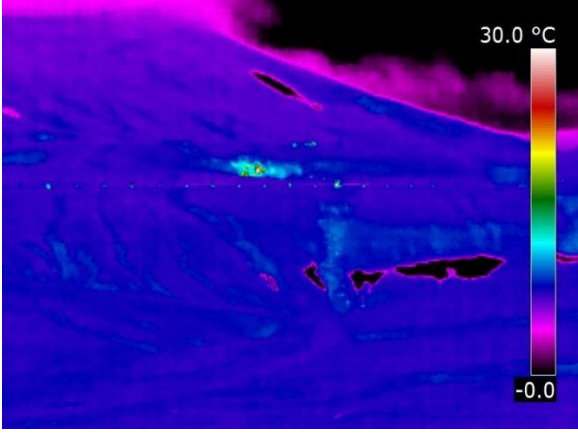
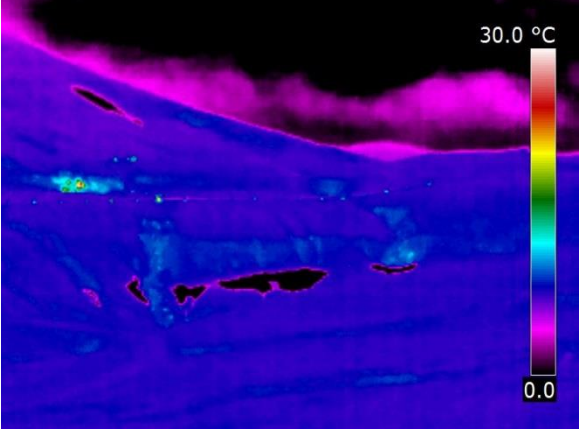
Mynd 26. Ofan við veginn að holum K-19 og K-30. Heit skella, 95°C. Önnur minni skella er rétt ofar í giliinu. Þar er hiti >90°C en ekkert gufustreymi sást.



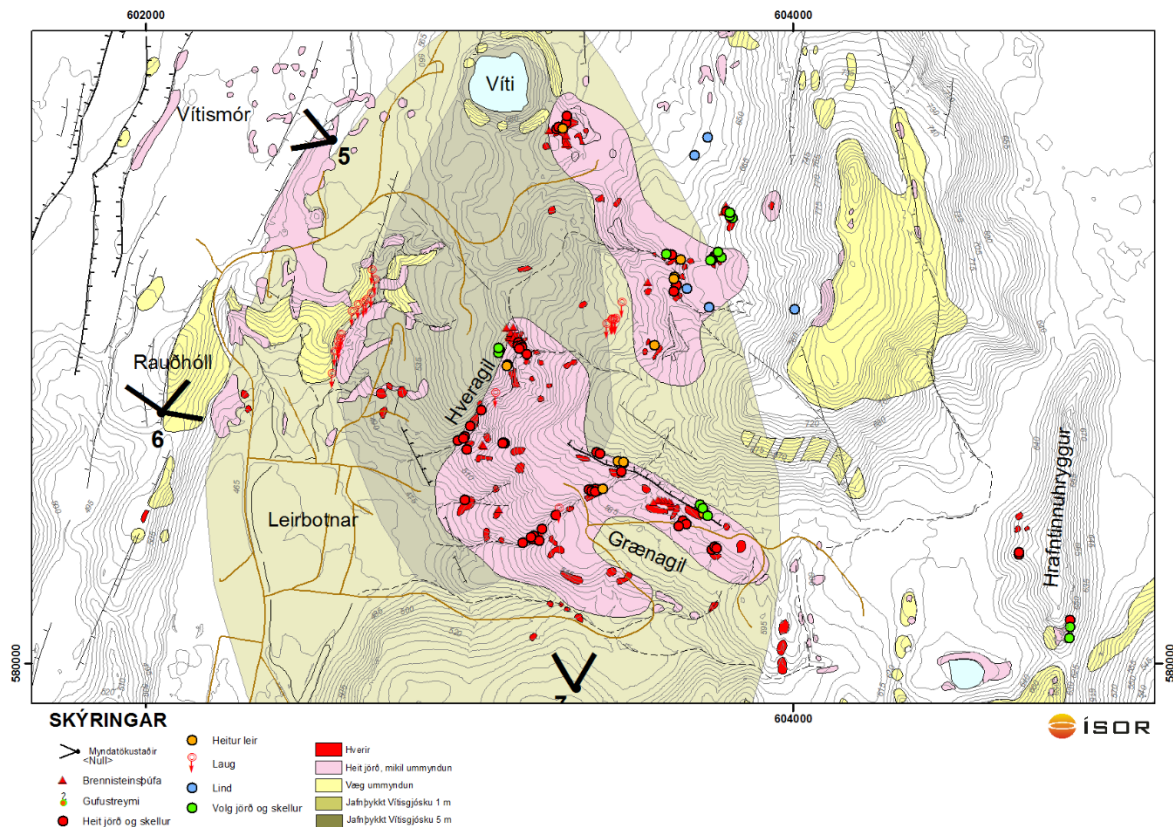
Mynd 27. Nokkuð stór skella neðarlega í sama gili og sýnt er á mynd 26 (G-106, áður G-7). Mikill hiti og nokkurt gufustreymi. Hér var tekið sýni í ár eins og 2013 þar sem engin önnur gufuaugu í Suðurhlíðum voru með nógu afgerandi gufustreymi.



Mynd 28. Vestast í Suðurhlíðum ofan við K-12. Heitt leirflag og smávægileg gufa, hiti 98,4°C.

	
1. Suðurhliðar Kröflu. Holur K-19 og K-30	2. Suðurhliðar Kröflu
	
3. Suðurhliðar Kröflu. G-9 á miðri mynd	4. Suðurhliðar Kröflu
	
5. Suðurhliðar Kröflu. G-5 fyrir miðju	6. Suðurhliðar Kröflu

Mynd 29. Hitamyndir af Suðurhliðum frá myndatökustað 7 á myndum 2 og 3030. Á hitamyndum 1 og 2 koma fram tvær heitar leirskellur (50–85°C). Austar, á myndum 3 og 4, er síðan íllanga skellan (G-9). Neðan vegar virðist vera smá velgja í gilskorningi en ekki var mældur hiti þar. Austar á mynd 5 og 6 sést skellan neðan við holu K-16 (sýnatökustaður G-5).



Mynd 30. Stækkað jarðhitakort af miðsvæði Kröflu.

2.1.8 Hrafninnuhryggur

Í athugunum undanfarin sumur hefur ekki verið farið að Hrafninnuhrygg. Síðast var farið að hryggnum árið 2009 og gamlar útfellingaskellur skoðaðar og hitamældar. Enginn jarðhitavottur fannst þá en árið 2004 voru afbræðslublettir á hryggnum (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2004, 2010).

Í ár var farið að hryggnum og hann genginn frá suðri og norður eftir og helstu ummyndunarskellur skoðaðar. Á tveimur stöðum austan og vestan hryggjarins norðan Grænutjarnar fannst jarðhiti.

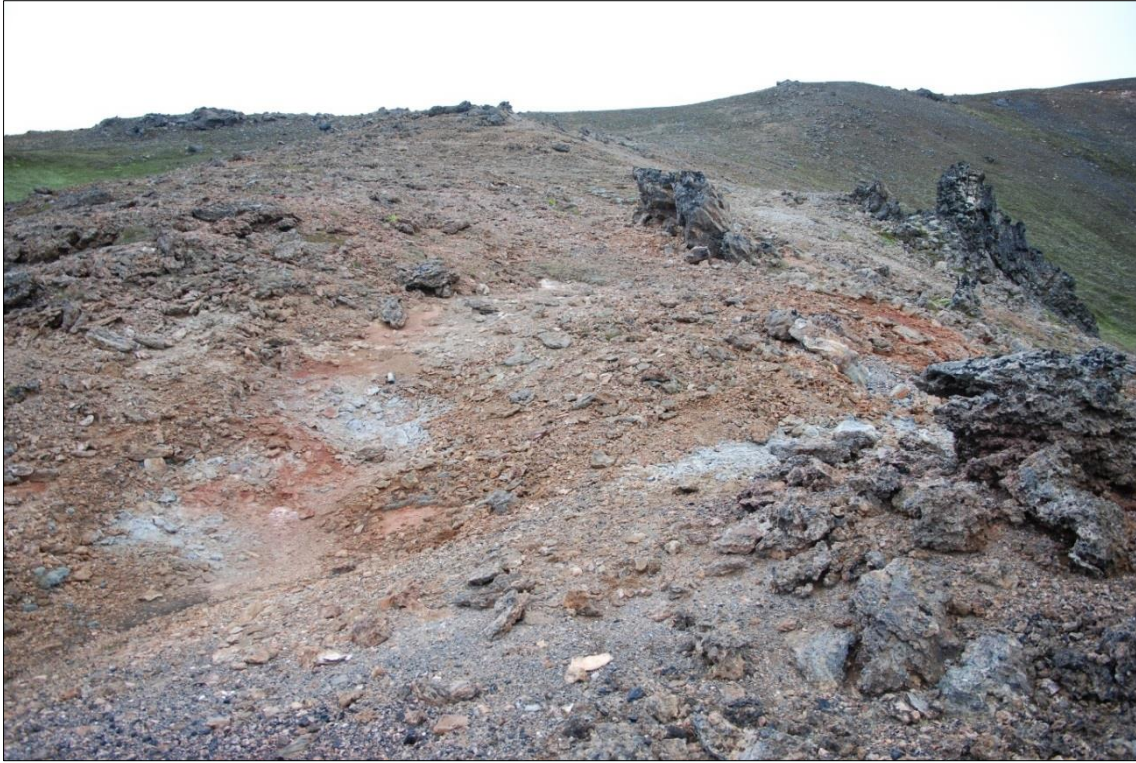
Í austanverðum Hrafninnuhrygg sást jarðhitinn á þremur stöðum á litlu svæði, hitinn var frá 31,5–85,7°C. Jarðhitinn kom upp í miðjum hlíðum og sást ljós og rauð oxun í jarðveginum (mynd 32). Vestan hryggjar kom jarðhitinn líka upp í miðjum hlíðum í aflangri tungu sem teygir sig til vesturs frá hryggnum (sjá mynd 31). Ummyndun er svipuð og austan hryggjar en við mesta hitann voru einnig hverasölt og smá brennisteinn. Hiti vestan megin var frá 47,5–96,3°C (sjá mynd 33).



Mynd 31. Hrafninnuhryggur norðan Grænutjarnar. Jarðhitinn austan hryggjar er rétt norðan við skarðið en vestan hryggjar í miðtotunni (rauðleit) með mesta hita 96,3°C.



Mynd 32. Jarðhitinn í austanverðum Hrafninnuhrygg rétt norðan við skarðið hjá Grænutjörn.



Mynd 33. Jarðhitinn vestan hryggjar. Mesti hitinn var í ljósu skellunum $96,3^{\circ}\text{C}$.

2.1.9 Hvíthólar

Farið var yfir Hvíthólasvæðið og hiti mældur í ummyndunarskellum. Einnig voru teknar hitamyndir ofan af hólnum norðan við svæðið á myndatökustað 13 (myndir 2 og 39).

Jarðhitaskellan (10x3 m) sem liggur í misgenginu milli K-21 og K-23 var virk og gufaði lítið eitt úr henni. Hiti gufunnar mældist 99°C . Í skellunni eru hverasölt og kísil- og brennisteinsútfellingar. (mynd 34). Virkni var svipuð nú og 2013 en engin gufa sást þarna 2012. Austan við K-21 og sunnan vegarins að holunum er hringlaga ummyndunarblettur (ljós og rauður leir ásamt brennisteini) með velgju ($20\text{--}50^{\circ}\text{C}$) en hærri hita (80°C) á afmörkuðu svæði. Þessi ummyndunarskella hefur númerið G-26 í skýrslum Jóns og Trausta og hefur verið að hjaðna undanfarin ár. Ekki var hægt að greina neina gufu frá G-26 frekar en undanfarin tvö ár (mynd 35). Gufuhverinn á milli K-22 og K-23, sem var undir vatni í fyrra, blés gufu úr tveimur opum svipað því sem var 2012 (mynd 36). Þessi gufuhver myndaðist 1987 og hefur verið nokkuð virkur síðan þá með litlum breytingum milli ára. Gömlu ummyndunarskellurnar í Hvíthólum (ljós leir og gífsútfellingar) sem eru í skarðinu sunnan Hvíthóla voru allar kaldar. Gegnt þeim til vesturs, ofarlega í kantinum, gufaði upp um nokkur op (mynd 37). Hiti í opunum var $35\text{--}45^{\circ}\text{C}$ nema í einu þar sem hitinn fór upp í $97,5^{\circ}\text{C}$. Ekki fannst brennisteinslykt af gufunni. Gróður, þ.e. mosi, var áberandi öðruvísi í kringum hitann. Rauður leir var undir hraunkantinum. Þessum stað hefur ekki áður verið lýst.



Mynd 34. Skella við Hvíthóla, 10x3 m á stærð. Það gufar lítið eitt, svipað og í fyrra, en ekki varð vart við gufu frá staðnum líkt og 2012. Brennisteinn, hverasölt og myndlaus kísill. Mesti hiti 99°C. Skellan liggur á misgengi milli holna K-21 og K-23.



Mynd 35. Ummyndunarskellan G-26 fyrir austan og neðan K-21. Engin gufuvirkni frekar en undanfarin ár. Mesti hiti 80°C.



Mynd 36. Gufuhverinn eins og hann er nefndur í skýrslu Jóns og Trausta. Virkni svipuð og 2012. Í fyrra var svæðið undir vatni.



Mynd 37. Ljósleitur mosagróður í kringum hitaopin. Mesti hiti 97,5°C. Engin brennisteinslykt var af gufunni. Þessi staður er vestan við mestu ummyndunina. Hvíthólar í baksýn.



Mynd 38. Horft yfir hluta Hvíthólasvæðisins. Hola K-21 og gufuhverinn neðarlega á myndinni. Myndin er tekin frá sama sjónarhorni og hitamyndir nr. 4, 5 og 6 (mynd 39).

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

Mynd 39. Hitamyndir frá Hvíthólum (myndatökustaður 13, mynd 2). Virki jarðhitinn kemur vel fram. Ekki verður vart við annan hita á svæðinu á myndunum.

2.1.10 Sandabotnaskarð og Leirhóll

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

2.1.11 Niðurstöður

Sumarið 2014 var farið um Kröflusvæðið, jarðhitavirkni skoðuð og ljósmyndir og hitamyndir teknar. Farið var á flest alla þá staði sem eftirlit hefur verið haft með í gegnum árin.

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

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

2.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum í Kröflu

2.2.1 Sýnatökustaðir

Sex gufusýnum var safnað í Kröflu dagana 6. og 7. ágúst við ágæt skilyrði. Yfirlit um sýnatökustaði er í töflu 1 og staðsetning þeirra sýnd á mynd 40 ásamt öðrum gufuaugum í Kröflu sem sýni hafa verið tekin úr (Halldór Ármannsson og Trausti Hauksson, 1980; Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2011; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a; 2013b). Sýnatöku- og efnagreiningaraðferðum er lýst í viðauka 1.

Þar eð til stóð að safna sýnum úr sex gufuaugum í Kröflu í stað þriggja árin áður var gengið víðar um svæðið en undanfarin ár og vænlegra sýnatökustaða leitað. Fyrst var gætt að augunum þremur sem safnað var úr sumarið 2013, og reyndust augun G-104 í austanverðum Leirhnjúki og G-106 í gili neðan holu K-14 í fullu fjöri. Þá reyndist nokkurt líf í auganu G-102 neðan vegar milli K-16 og K-20 en úr því var safnað sýni sumarið 2012.

Við Tvíburavötn var hins vegar lítið að hafa; sýnatökustaðurinn G-103 frá 2012 var kaldur og dauður en gas bólaði úr volgum polli þar sem G-105 var sumarið 2013. Í gígskálinni norðan Vítis fundust hins vegar nokkur kraftmikil augu og var eitt þeirra valið til sýnatöku. Það fékk nafnið G-107 og virðist vera á svipuðum slóðum og augað G-1 var til forna. Einnig var gengið í gufuleit ofan gil sem liggur til austurs frá slóðanum upp á Kröflutopp frá planinu við holur K-34, K-36, K-38 og K-40. Þar fannst auga sem heitir K-38 hjá Jóni Benjamínssyni og Trausta

Haukssyni (2011), það var reyndar ekki sérlega kraftmikið en vel fókuserað. Því var afráðið að safna sýni úr auganu, sem fékk nafnið G-108 og telst hér fulltrúi Vesturhlíða.

Einnig var gáð að gufum við Hvíthóla en ekki þótti árennilegt að safna sýnum þar þótt nokkuð gufaði upp úr hrauninu norðan vegarins að K-21 og einnig úr leirskellu sunnan vegarins. Síðasta sýninu var því valinn staður norðarlega í Leirhnjúki, þar sem fundust tvö kraftmikil og fókuseruð augu í leirflagi sunnan skálarinnar Nínu, nokkru sunnar en gamla G-15 var í hraunjaðrinum. Annað augnanna varð fyrir valinu og fékk nafnið G-109.

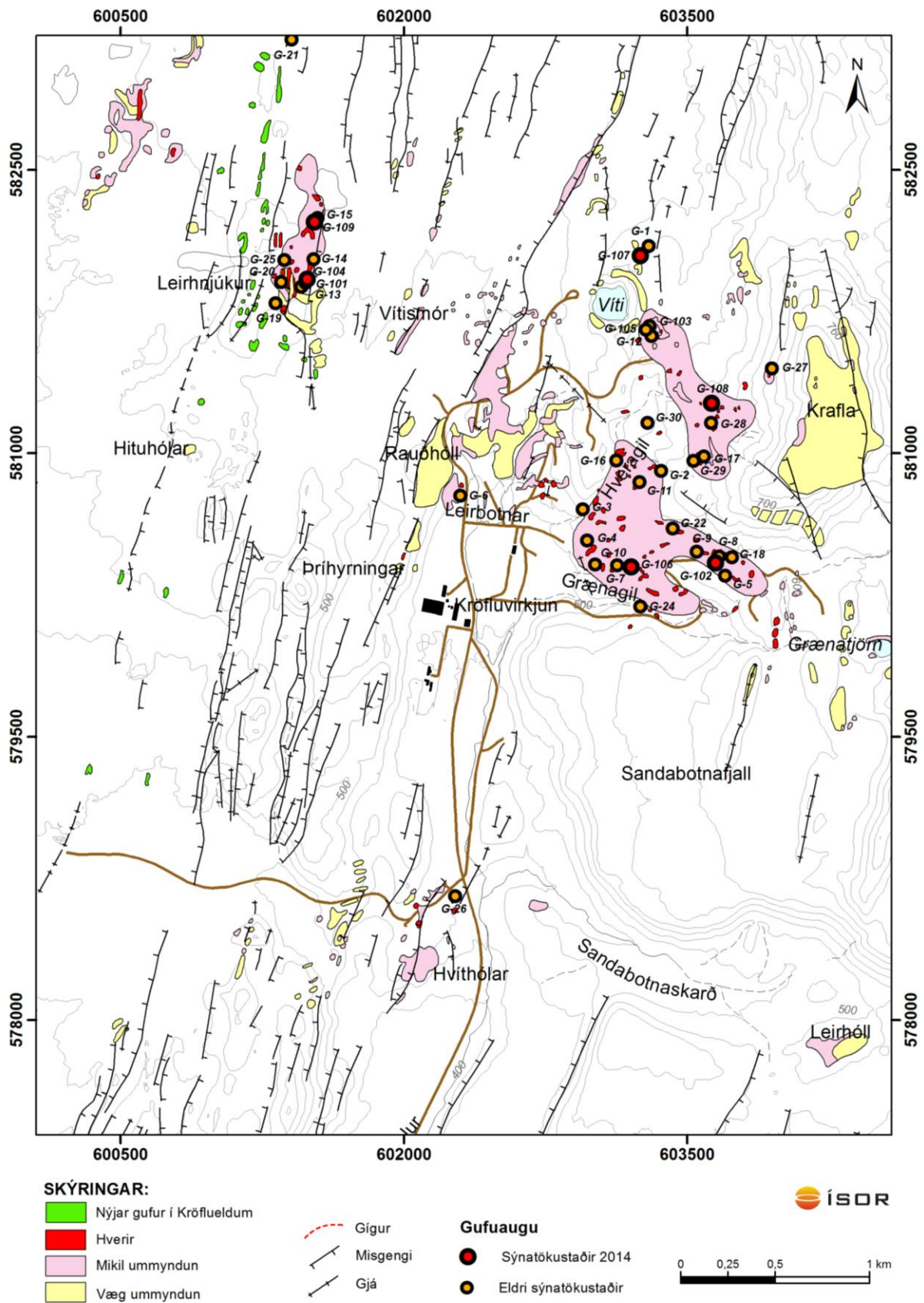
Gufuaugum sem tekin voru sýni úr sumarið 2014 er lýst nánar hér á eftir. Í gagnagrunni ÍSOR eru sýnatökuaugu árána 2012–2014 í Kröflu kölluð „K G-101“ og svo framvegis til að forðast rugling við gufuaugu á öðrum svæðum en í texta og á myndum hér á eftir eru nöfn gufuaugna víða stytt í „G-101“ til einföldunar.

Tafla 1. Sýnatökustaðir í Kröflu í ágúst 2014.

Nafn auga*	Staðar-númer	Eldri sýni**	x-hnit	y-hnit	Hæð (m y.s.)	Lýsing
G-102	H 10189		603649	580421	609	Neðan vegar í Suðurhlíðum
G-104	H 10198	G-13/-101	601488	581921	572	Í flagi í austurhlíð Leirhnjúks
G-106	H 10200	G-7	603204	580399	541	Ofarlega í gili neðan við 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-109	H 93516		601527	582224	560	Norðan til í Leirhnjúk, sunnan Nínu

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

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



Mynd 40. Gufuaugu í Kröflu. Gufuaugu sem safnað var úr sumarið 2014 eru sýnd með rauðum táknum.

K G-102: Frekar kraftlítið auga í lítilli en vel afmarkaðri ummyndunarskellu í Suðurhlíðum (myndir 40 og 41), rétt neðan vegarins milli holna K-16 og -20. Gufa streymir út um augað og er nokkuð af brennisteinsútfellingum í kringum það en minna um leirummyndun. Sýni var tekið úr þessu auga sumarið 2012 en það var dautt ári síðar.

K G-104: Öflugt gufuauga ofarlega í stóru leirflagi í austurhlíð Leirhnjúks (myndir 40 og 42). 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.

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 40 og 43). Fleiri álitleg augu voru í þessari skellu (mynd 43) en aðgengi var þægilegast að þessu, sem var neðst í henni. Einnig virtist nokkur virkni vera neðar í giliinu.

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 neðst og vestast í skellunni, allkröftugt, vel fókuserað og aðgengilegt (myndir 40 og 44).

K G-108: Ekki sérlega kraftmikið en fókuserað auga í lítilli (1–2 m²) leirskellu ofarlega í afgili Hveragils sem liggur upp í Vesturhlíðar (myndir 40 og 45). Aðkoma er auðveldust frá slóðanum sem liggur frá borplani 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-109: Hið öflugra tveggja nokkuð kraftmikilla gufuaugna á sléttunni sunnan hvera-skálarinnar Nínu við Leirhnjúk (myndir 40 og 46). Augað er heldur sunnar en hið forna G-15 sem var við hraunjaðarinn á tímum Kröfluelda. G-15 var ótækt til sýnatöku í ágúst 2014.



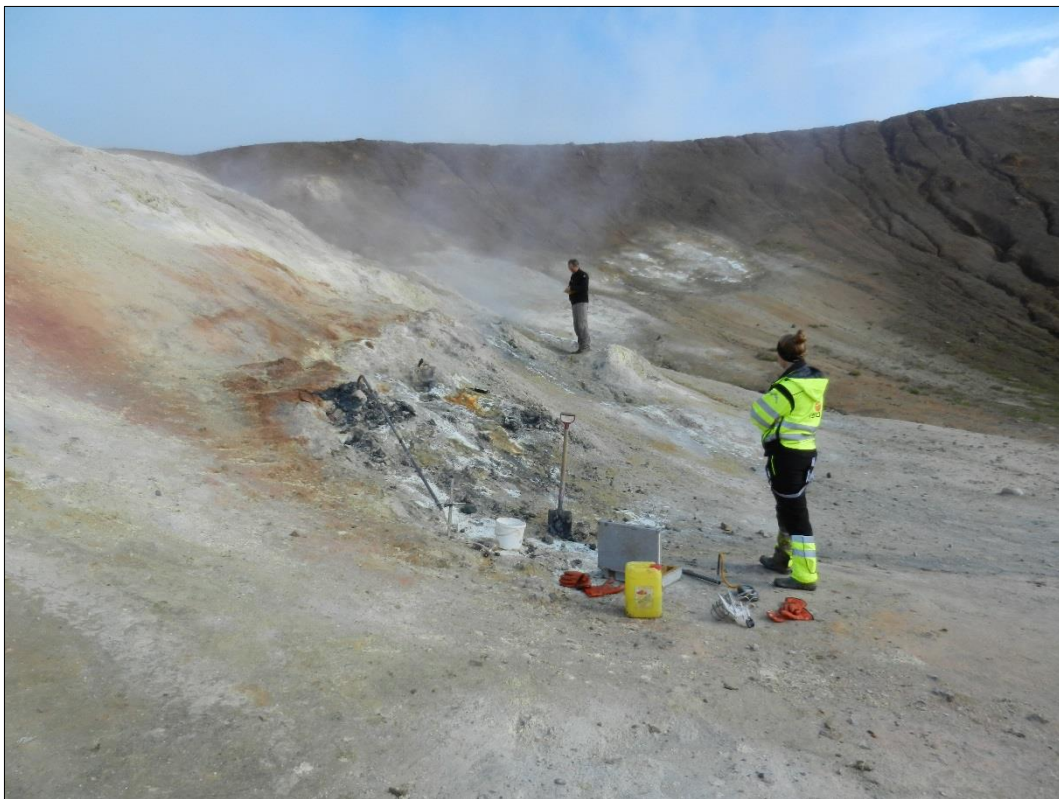
Mynd 41. *Sýni tekið úr gufuauga K G-102 í Suðurhliðum.*



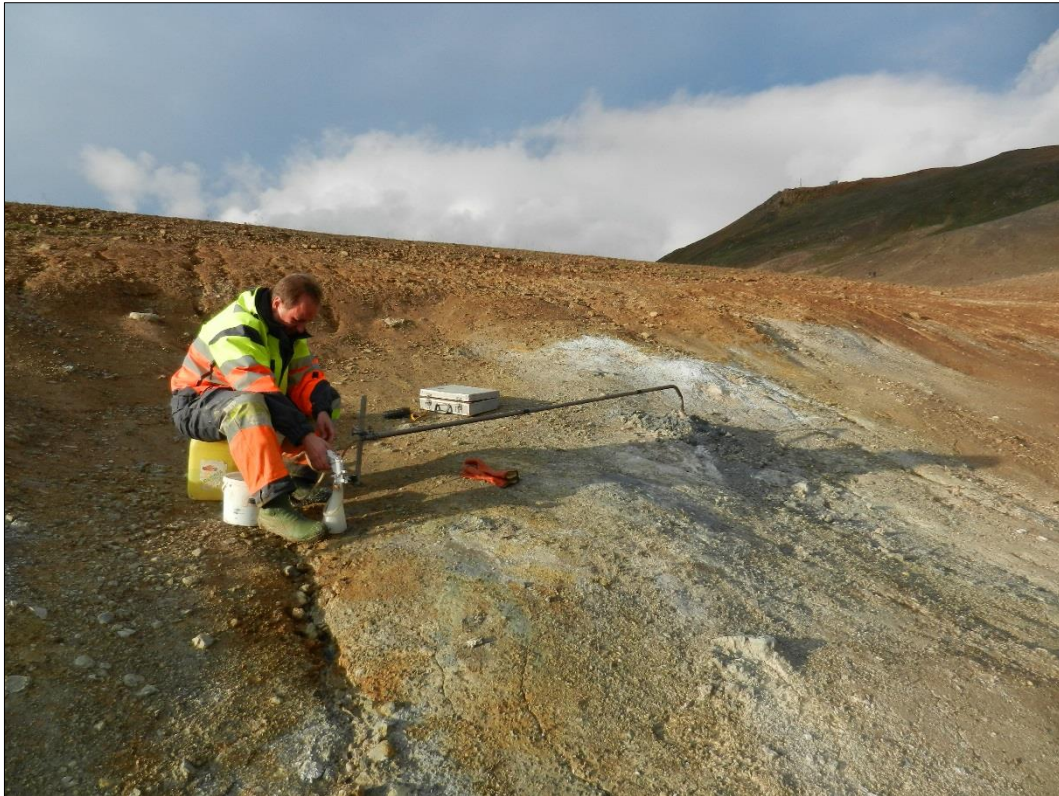
Mynd 42. *Sýnataka úr gufuauga K G-104 í austurhlið Leirhnjúks. Horft til norðausturs.*



Mynd 43. Gufusýnataka úr gufuauga K G-106 í gili vestan við holu K-14.



Mynd 44. Undirbúningur sýnatöku úr gufuauga K G-107 í gígskál norðan Vitis.



Mynd 45. Þéttivatni safnað úr gufuauga K G-108 í Vesturhlíðum.



Mynd 46. Sýnataka úr gufuauga K G-109, rétt sunnan Nínu. Í fjarska má sjá jarðfræðing við vísindastörf.

2.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga

Niðurstöður efnagreininga sýna sem tekin voru á Kröflusvæðinu sumarið 2014 eru sýndar í töflu 2 og á mynd 47 ásamt efnasamsetningum eldri sýna úr öðrum gufuaugum á svipuðum slóðum. Nýjustu sýnin voru tekin úr augum G-102, G-105, G-106, G-107, G-108 og G-109 í ágúst 2014 en einnig eru sýnd gögn frá öðrum augum á sömu slóðum. Þar er um að ræða augu G-15, G-19 og G-101 í Leirhnjúk, G-5 og G-7 í Suðurhlíðum, G-12, G-103 og G-105 við Tvíbura-vötn austan Vítis, G-1 í gígskál norðan Vítis og G-38 í Vesturhlíðum.

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) og Stefáns Arnórssonar o.fl. (1995; 1996), og eru þær sýndar í töflum V-1 til V-6 í viðauka 2 ásamt vísunum í frumheimildir.

Tafla 2. Efnasamsetning gufusýna úr Kröflu sumarið 2014.

Sýni	20140254	20140255	20140256	20140257	20140258	20140259
Dagsetning	6.8.2014	6.8.2014	7.8.2014	7.8.2014	7.8.2014	7.8.2014
Staður	K G-107	K G-108	K G-109	K G-104	K G-102	K G-106
Svæði	Víti	Vesturhl.	Leirhnj.	Leirhnj.	Suðurhl.	Suðurhl.
Hitastig (°C)	98,4	97,8	98,2	98,2	97,2	98,4
Gasstyrkur í gufu (mmól/kg)						
CO₂	337	1200	134	101	497	447
H₂S	47,0	49,9	27,0	11,7	46,7	30,2
H₂	21,7	12,8	19,4	13,3	1,02	14,6
CH₄	0,47	0,26	0,48	0,56	0,51	0,055
N₂	2,55	2,07	3,06	1,05	19,64	1,57
O₂	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ar	0,057	0,043	0,066	0,030	0,226	0,023
Steinefni í þéttivatni (mg/kg)						
Cl	0,14	0,13	0,19	0,21	0,04	0,09
B	0,08	0,07	0,07	0,05	0,05	0,05

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 (CO₂) og pýrít-pýrrhótít-prehnít-epidót (H₂S og H₂). Fyrir Vítissvæði, Vesturhlíðar og Suðurhlíðar er notuð sú kvörðun CO₂-hitamælisins sem gerir ráð fyrir talsverðu CO₂-flæði frá kviku, þrátt fyrir að það hafi talsvert dregist saman miðað við árin um og eftir Kröfluelda. Koldíoxíðstyrkur í gufu úr þessum augum er nú um 340 mmól/kg við Víti, 450–500 mmól/kg í Suðurhlíðum en 1200 mmól/kg í Vesturhlíðum. Styrkurinn var þó enn hærri; fór hæst yfir 7000 mmól/kg og var lengi yfir 2000 mmól/kg í þessum augum. Þessi kvörðun CO₂-hitamælisins á síður við um Leirhnjúkssvæðið enda komu áhrif kvikugass hraðar fram þar og dofnuðu jafnframt hraðar og er því hér notast við þá kvörðun gashitamælisins sem gerir ekki ráð fyrir miklu CO₂-flæði frá kviku.

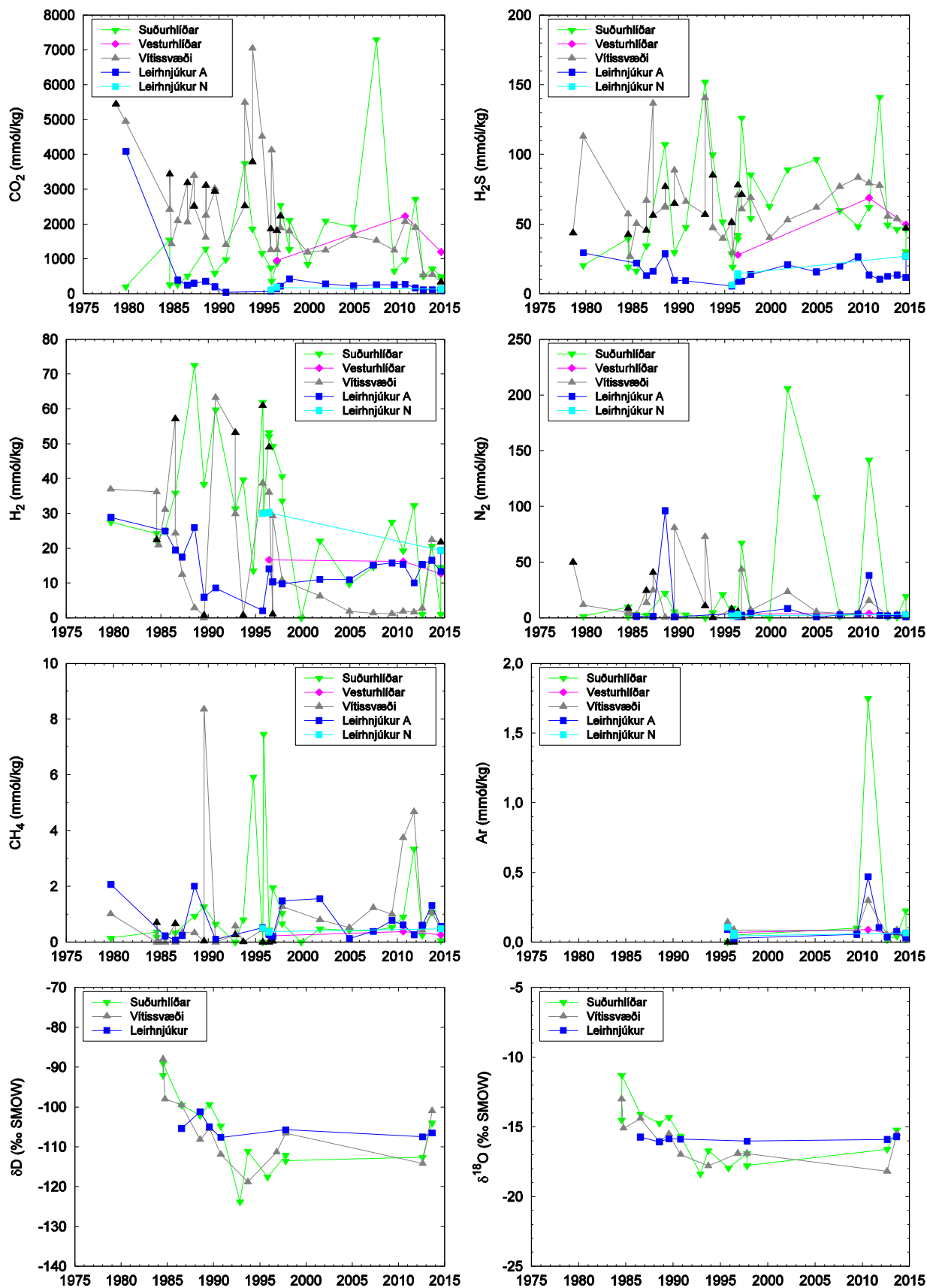
Tafla 3. Reiknaður efnahiti ($^{\circ}\text{C}$) gufusýna áráanna 2012–2014 af Kröflusvæðinu, skipt eftir svæðum. Notast er við kvarðanir Stefáns Arnórssonar o.fl. (1998). Tölum í sviga er sleppt við útreikninga á meðaltali ($\bar{x}$) og staðalfrávik (σ).

Sýni	Auga	T _{CO2}	T _{H2S}	T _{H2}	T _{CO2/N2}	T _{H2S/Ar}	T _{H2/Ar}	$\bar{x}$	σ
20140258	G-102	328	301	(228)	261	257	(199)	315	19
20120189	G-102	329	303	(227)	(393)	331	(247)	321	16
20140259	G-106	323	286	311	(364)	309	296	305	14
20130250	G-106	347	301	326	(422)	303	290	314	23
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
20140254	G-107	309	302	329	327	296	286	308	17
20130249	G-105	333	306	330	346	(288)	(278)	329	16
20120190	G-103	332	308	(254)	342	303	(247)	321	19
20140255	G-108	(377)	304	305	(403)	306	281	299	12

K G-102: Sýnið sem safnað var úr G-102 hefur líklega verið svolítið mengað andrúmslofti, þótt ekki hafi súrefni greinst í því. Styrkur bæði N₂ og Ar er um stærðargráðu hærri en í öðrum sýnum úr Kröflu en styrkur H₂ er lágur líkt og í fyrra sýninu úr þessu auga frá 2012. Augað var endá fremur máttlaust og sú gufa sem náðist að safna kom að mestu undan brennisteins-hellu eins og áður segir. Styrkur CO₂ og H₂S er hins vegar svipaður og árið 2012; 500 og 47 mmól/kg, sem einnig ber vel saman við sýni úr hinu Suðurhlíðaauganu; G-106. Vegna loftmengunar og lágs vetnisstyrks er ekki mark takandi á öðrum efnahitamælum en CO₂- og H₂S-mælunum en meðaltal þeirra reiknast 315 $^{\circ}\text{C}$, sem er svipað og 2012.

K G-104: Styrkur CO₂ og H₂S hefur lengst af verið mun lægri í Leirhnjúk en í hlíðum Kröflu og svo er enn (styrkur CO₂ í nýjasta sýninu úr austurhlíð Leirhnjúks er 101 mmól/kg samanborið við 1200 og 500 mmól/kg í augum í Vesturhlíðum og Suðurhlíðum). Styrkur H₂ er hins vegar á svipuðu róli og á hinum svæðunum, um 13 mmól/kg. Litlar breytingar sjást síðustu ár en toppar í styrk N₂ og Ar árið 2010 stafa af andrúmsloftsmengun. Reiknaður meðalgashiti er nú 297 $^{\circ}\text{C}$ sem er gráðu hærri en árið 2013. H₂S-hitamælinum er sleppt þegar meðaltalið er reiknað þar eð hann gefur miklu lægri gildi en hinir gashitamælarnir.

K G-106: Styrkur CO₂ er mjög svipaður milli ára í auga G-106 (um 450 mmól/kg) en H₂S styrkur er nokkru lægri nú en 2013, eða 30 mmól/kg í stað 47 mmól/kg. Eins og áður segir ber þessum niðurstöðum ágætlega saman við G-102 sem einnig er í Suðurhlíðum. Hins vegar er styrkur vetnis mun hærri í G-106 en í G-102, nú um 15 mmól/kg. Almennt hefur gasstyrkur í Suðurhlíðum flókt umtalsvert en þau gildi sem mælast nú eru vel innan þess bils sem dæmigert getur talist. Meðalefnahiti reiknast 305 $^{\circ}\text{C}$ en þar hefur CO₂/N₂ hitamælinum verið sleppt. Þetta er um 10 $^{\circ}\text{C}$ lægra gildi en árið 2013 en því gildi bar vel saman við G-102. Úr þessu auga var jafnframt safnað sýni til samsætumælinga, svo sem frá greinir í 6. kafla.



Mynd 47. Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum í Kröflu. Sýni frá Vítissvæði eru ýmist frá Tviburavötnum (grá tákn) eða gígum norðan Vítis (svört tákn). Sýni úr Leirhnjúk eru úr flögum í austurhlíð (dökkblá tákn) eða við Ninu (ljósblá tákn).

K G-107: Svo virðist sem áhrif kvikugass í Kröflueldum hafi verið mest á Vítissvæðinu og þar hefur styrkur CO₂ lengst af verið hæstur, þótt nokkuð hafi dregið saman með Vítissvæðinu og Suðurhlíðum hin síðari ár, en styrkurinn hefur einnig flókt minna síðan árið 2000, eða þar um bil. Sýnið 2014 er tekið úr gígarmi norðan Vítis en ekki við Tvíburavötn eins og árin á undan en niðurstöðurnar eru mjög áþekkar því sem var 2013. Styrkur CO₂ mælist um 340 mmól/kg og styrkur H₂S 47 mmól/kg. Styrkur H₂ er hár, um 22 mmól/kg, nú líkt og 2013. Gashitamælum ber ágætlega saman og gefa meðaltalið 308°C sem reyndar er um 20°C lægra en 2013.

K G-108: Hæsti gasstyrkurinn sumarið 2014 mældist í Vesturhlíðum Kröflu, í auga G-108. Hér mælist CO₂-styrkur 1200 mmól/kg en styrkur H₂S og H₂ er ekki hærri en annars staðar; 50 og 13 mmól/kg. Til samanburðar eru sýni Jóns og Trausta frá 2010 (G-38) þar sem gasstyrkur mældist næstum tvöfalt hærri og sýni frá Stefáni og félögum frá 1996 sem er mjög svipað þessu sýni. Vegna þess hve CO₂ hefur háan styrk er CO₂- og CO₂/N₂-hitamælunum sleppt úr meðaltalinu, sem þá reiknast 299°C. Það er 5°C herra en meðaltal Stefáns Arnórssonar og félaga (1996).

K G-109: Við Nínu, norðan í Leirhnjúk, er gassamsetning mjög svipuð og í austurhlíð Leirhnjúks, þótt heldur færri eldri sýni séu til þaðan; aðeins þau tvö sem Stefán Arnórsson og félagar söfnuðu árin 1995 og 1996. Styrkur CO₂ mældist um 120 mmól/kg árið 1995 og ári síðar 190 mmól/kg en er nú 134 mmól/kg. Styrkur H₂S er um tvöfalt hærri nú en árið 1996; 27 mmól/kg í stað 14 mmól/kg. Meðalefnahiti reiknast 293°C, litlu lægri en fyrir G-104.

2.2.3 Samantekt

Gufan sem stígur upp af Suðurhlíðum Kröflu og Vítissvæðinu er mun gasríkari en gufan í Leirhnjúk. Samanlagður gasstyrkur er 130–180 mmól/kg í Leirhnjúk en um 400 mmól/kg við Víti og 500–570 mmól/kg í Suðurhlíðum. Hæstur gasstyrkur er þó í Vesturhlíðum, samtals um 1270 mmól/kg. Þar er jafnframt hæsta CO₂/H₂S hlutfallið, um 24, en hlutfallið reiknast á bilinu 11–15 í Suðurhlíðum og lægra en 10 við Leirhnjúk og Víti. Sögulega virðist gasstyrkur flökta meira í Suðurhlíðum en á hinum svæðunum. Gashiti reiknast heldur lægri í Leirhnjúk en í kringum Kröflu, þ.e. 290–297°C í stað 300–315°C. Styrkur Cl mælist nú 0,04–0,2 mg/kg í þéttivatni en var iðulega hærri en 1 mg/kg á árunum um og eftir Kröfluelda (sjá t.d. samantekt hjá Jóni Benjamínssyni og Trausta Haukssyni, 1998). Styrkur B í þéttivatni mælist undir 0,1 mg/kg í öllum sýnum.

2.3 Gasflæði um jarðveg í Kröflu

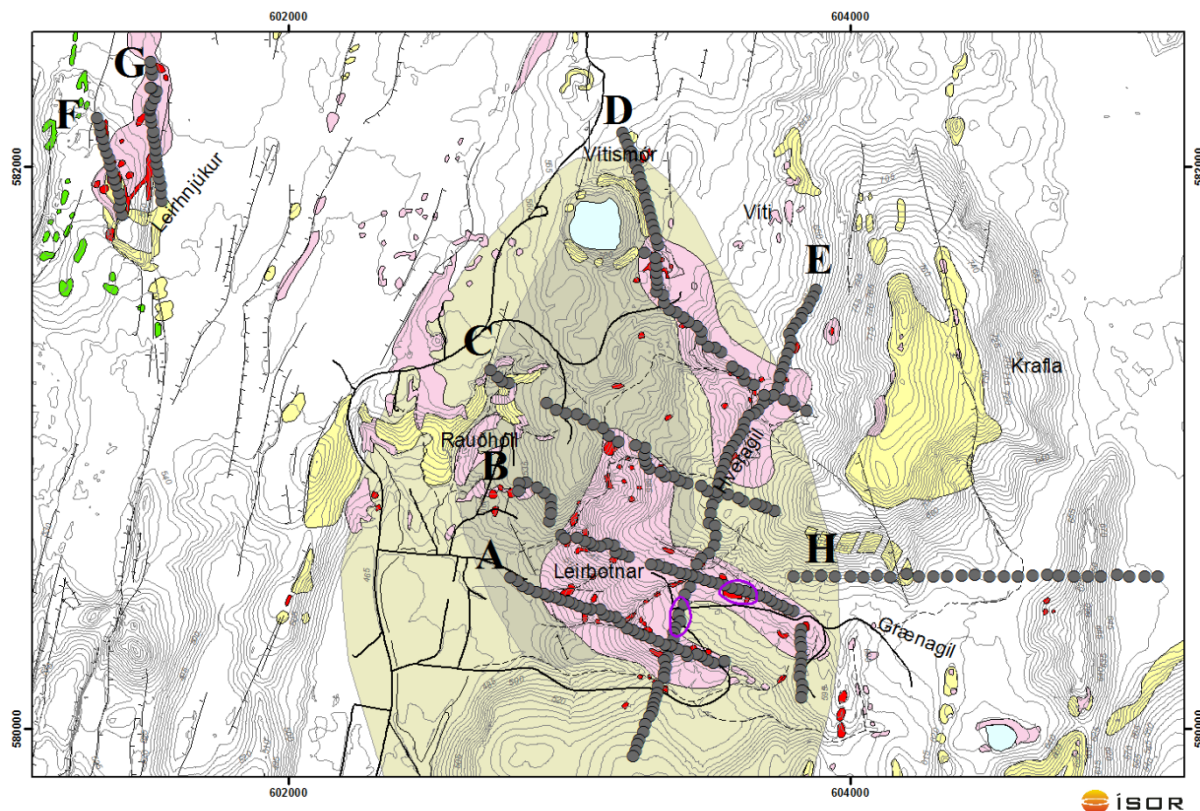
Sumarið 2014 voru gerðar mælingar á flæði koldíoxíðs (CO₂) um jarðveg og jarðvegshitastigi í Kröflu. Allviðamiklar slíkar mælingar hafa verið gerðar í Kröflu á síðasta áratug. Árið 2004 voru gerðar könnunarmælingar og á grundvelli þeirra var mælt á samfelldu mælineti sumurin 2005, 2006 og 2008 á svæði 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. Á undanförunum árum hafa gerðar gasflæðimælingar á Þeistareykjum og í Námafjalli sem hluti af umhverfiseftirliti svæðanna og þá hefur verið mælt á nokkrum löngum mælilínunum og var sá háttur hafður á við mælingarnar í Kröflu 2014. 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 henni 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 Hengilssvæði, í Námafjalli, á Þeistareykjum og Reykjanesi þar sem árlegar mælingar hafa verið gerðar frá árinu 2004. Þar hafa mælingarnar verið gerðar á mælineti sem nær yfir það svæði þar sem jarðhitavirkni gætir á yfirborði. Mælingarnar hafa reynst vel til að ákvarða umfang breytinga á yfirborðsvirkni vegna vinnslu á jarðhitasvæðinu á Reykjanesi á undanförunum áratug (Þráinn Friðriksson o.fl., 2010; Auður Agla Óladóttir, 2012). Hér verður gerð grein fyrir niðurstöðum mælinganna sem gerðar voru sumarið 2014 á Kröflusvæðinu og þær bornar saman við eldri mælingar frá sama svæði.

2.3.1 Niðurstöður gasflæðimælinga 2014

Út frá fyrri mælingum í og við Kröflu hafa verið gerð kort sem sýna koldíoxíðflæði um jarðveg á svæðinu. Þessar eldri mælingar voru lagðar til grundvallar þegar mælilínur fyrir eftirlitsmælingar sumarið 2014 voru ákvarðaðar. Leitast var eftir að leggja út mælilínur sem næðu yfir virkustu hluta svæðisins og jafnframt að þær dreifðust sem víðast um svæðið.

Mælingarnar fóru fram í byrjun ágúst 2014 og voru gerðar á átta mælilínum. Mældar voru fjórar langar mælilínur vestan og sunnan við Kröflufjall með stefnu nokkurn veginn SSA-NNV. Þær eru sýndar á mynd 48 og táknaðar með bókstöfunum A, B, C og D. Mæld var ein mælilína sem liggur þvert á þessar fjórar, í N-S stefnu og táknuð 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 að lokum mælt á línu sem nær frá sunnanverðu Kröflufjalli, beint til austurs og yfir Hrafninnuhrygg (mælilína H) og voru mælingar gerðar á henni með 50 metra millibili vegna þess að eldri mælingar á línunni, frá sumrinu 2010, voru gerðar með þeim hætti. Á mynd 48 má sjá staðsetningu allra mælipunkta á línunum þar sem gerðar voru mælingar á gasflæði um jarðveg og jarðvegshitastigi á Kröflusvæðinu sumarið 2014. Til eru niðurstöður gasflæðimælinga á þessum punktum árin 2004, 2005 og 2010, en mælingar áranna 2006 og 2008 skarast ekki við mælingarnar 2014.



Mynd 48. Staðsetning mælinga á jarðvegshita og koldíoxíðgasflæði um jarðveg í og við Kröflu. Mælinurnar eru merktir svörtum bókstöfum frá A til H.

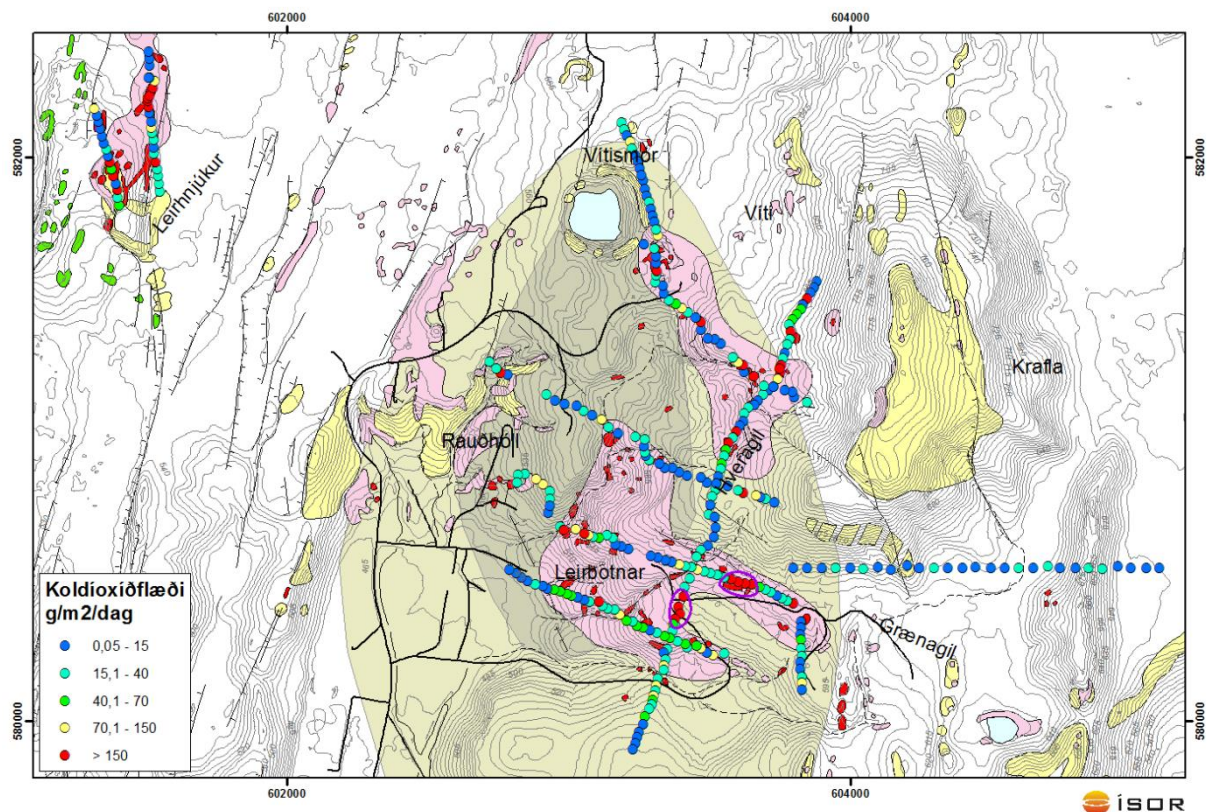
Mælingarnar fóru fram í byrjun ágúst og var koldíoxíðflæði um jarðveg og hitastig á 15 cm dýpi í jarðvegi mælt í 406 mælipunktum með um 20–30 metra millibili (nema á mælinu H með um 50 m millibili). Notast var við stafrænan handhitamæli við hitamælingarnar en við gasflæðimælingarnar var notaður gasflæðimælir frá West systems sem byggist á svokallaðri „closed-chamber“ aðferð þar sem mældur er hraði uppsöfnunar koldíoxíðs í lokuðu rými („potti“) sem lagt er þétt ofan á jörðina (Cardellini o.fl., 2003; Þráinn Friðriksson o.fl., 2010). Gasflæðimælinn má sjá á mynd 49.



Mynd 49. Gasflæðimælir sem notaður var til mælinga á Kröflusvæðinu.

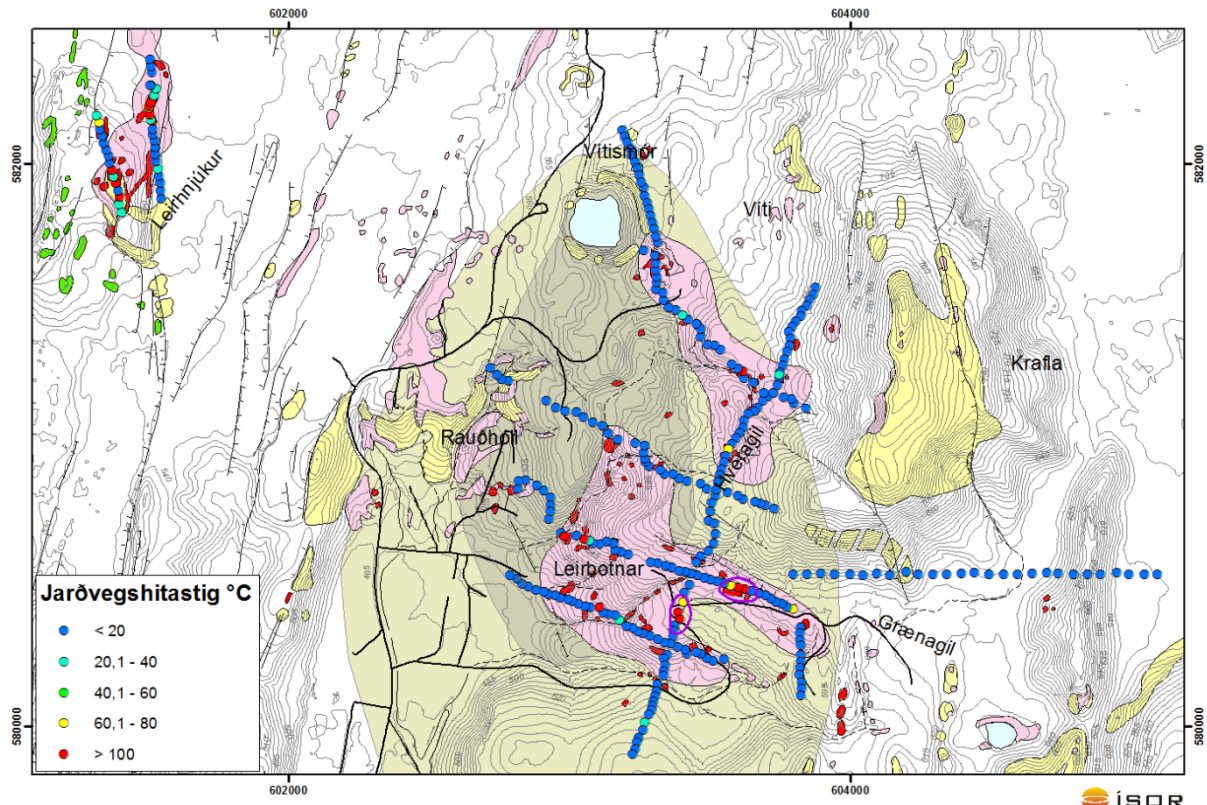
Þessi aðferð við gasflæðimælingar um jarðveg er útbreidd víða um heim, einkum á jarðhita-svæðum og við eldstöðvar, og má teljast áreiðanleg þar sem endurteknar mælingar gefa sambærilegar niðurstöður nema í kjölfar mikillar úrkomu sem getur dregið úr gasflæði í skamman tíma (Granieri o.fl., 2003). Sömu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

Niðurstöður mælinganna voru settar fram myndrænt á kortum, annars vegar koldíoxíðflæði (á mynd 50) og hins vegar jarðvegshiti (á mynd 51). Gasflæði í og við Kröflu mældist víða töluvert hátt. Fyrri niðurstöður frá Kröflu (Ármannsson o.fl., 2007) hafa bent til að gasflæði um yfirborð þar sem jarðhitaáhrifa gætir ekki er á bilinu 1,6–6 (g/m²)/dag og er þar um að ræða bakgrunnsgildi (t.d. af völdum gróðurþekju eða lífvera). Í rúmlega 80% tilvika voru mæligildi yfir bakgrunnsgildum og í sumum tilfellum mældist koldíoxíðflæði mjög hátt. Öflugt koldíoxíðflæði kom fram á öllum mælinum nema línu H sem teygir sig austur yfir Hrafn-tinnuhrygg en þar fór gasflæðigildið aldrei yfir 40 (g/m²)/dag. Í 44 mælipunktum á svæðinu, þ.e. 14% tilvika, mældist koldíoxíðflæði mjög hátt, eða yfir 100 (g/m²)/dag; hæsta gildið var 13324 (g/m²)/dag og mældist sá punktur ofarlega á Leirhnjúki. Raunar mældust mörg há gasflæðigildi á Leirhnjúkssvæðinu og þar var einnig að finna hæstu jarðvegshitagildin.



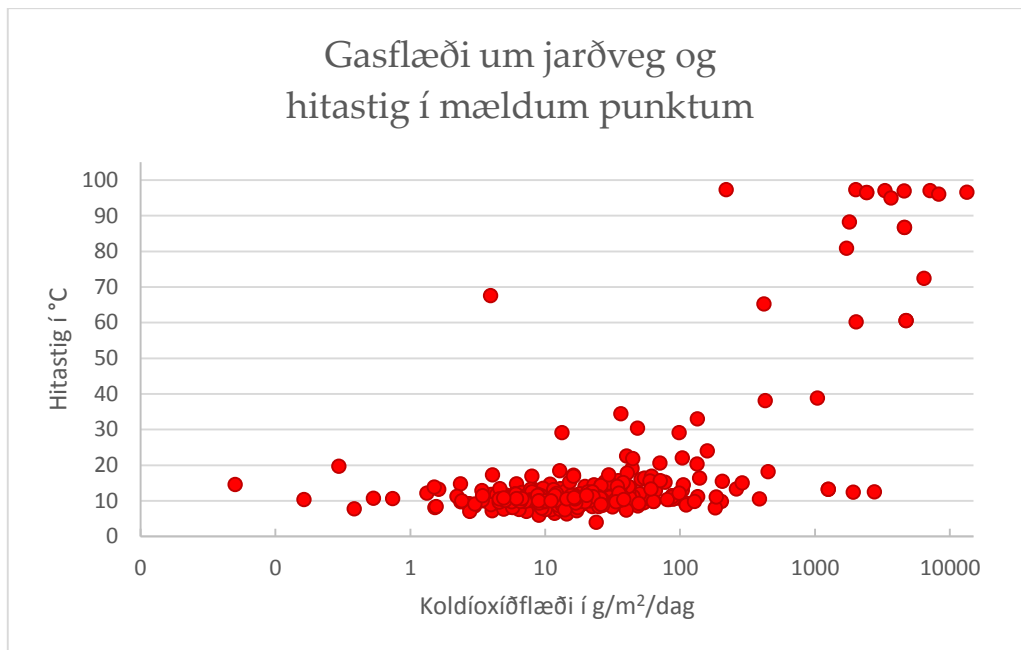
Mynd 50. Niðurstöður gasflæðimælinga um jarðveg á Kröflu og Leirhnjúkssvæðinu.

Á mynd 51 má sjá niðurstöður hitastigsmælinga sem gerðar voru á 15 cm dýpi í sömu mælipunktum og koldíoxíðmælingarnar. Hitastig var lágt í flestum mælipunktum, í um 89% tilvika var það undir 20°C. Flesta heita punkta var að finna á mælilínunum F og G á Leirhnjúkssvæðinu en einnig komu fram nokkrir heitir punktar á mælilínunum A og B sem liggja í suðurhlíðum Kröflufjalls.



Mynd 51. Niðurstöður jarðvegshitastigsmælinga á 15 cm dýpi sem gerðar voru samhliða mælingum á koldíoxíðflæði.

Athygli vekur hversu víða í Kröflu er að finna svæði þar sem koldíoxíðflæði er hátt án þess að því fylgi hækkaður jarðvegshiti eða mikil jarðhitaummerki á yfirborði. Stafar þetta líklega af frekar háum gasstyrk í gufunni á svæðinu og því að gufan þéttist frekar djúpt þannig að varminn skilar sér ekki til yfirborðs. Þetta kemur skýrt fram á mynd 52 þar sem sést að í langflestum mælipunktum er hitastig lágt en í slíkum punktum getur koldíoxíðflæðið orðið verulega hátt, eða yfir 1000 (g/m²)/dag þrátt fyrir að hitastig sé undir 20°C. Þar kemur líka fram að í punktunum þar sem gasflæði er allra hæst mælist einnig hátt hitastig.

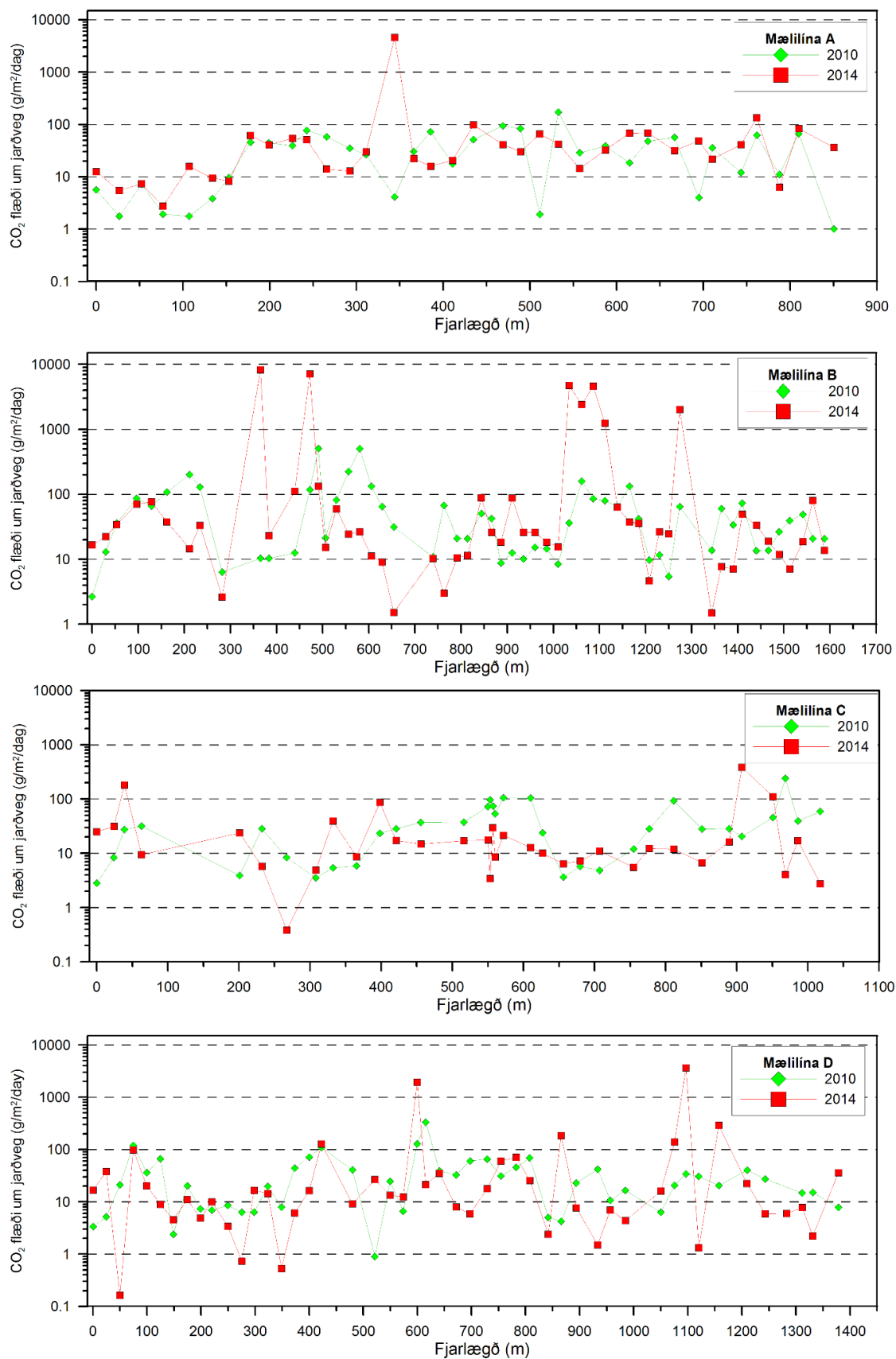


Mynd 52. Gasflæði um jarðveg og jarðvegshiti í Kröflu 2014.

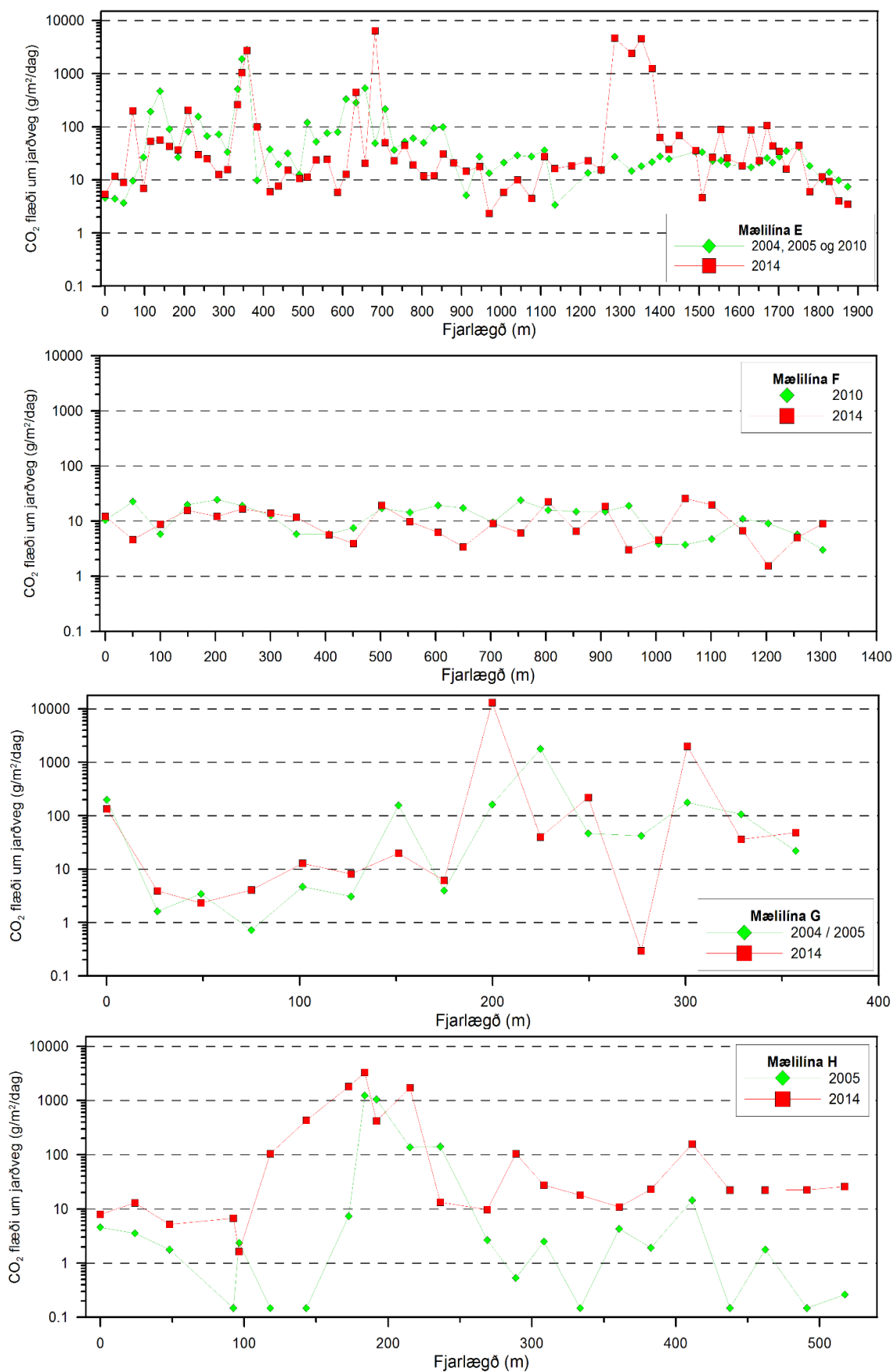
Niðurstöðurnar frá 2014 voru bornar saman við fyrri niðurstöður frá árunum 2004, 2005 og 2010. Mælt var í sömu mælipunktum á hverri mælilínu og áður, og sömu mælitæki og aðferðafræði notuð. Til að bera saman þessi gögn voru gerð línurit fyrir bæði koldíoxíðflæði og jarðvegshitastig fyrir hverja mælilínu um sig (mynd 53). Fyrir línuritinn gildir að á x-ás er fjarlægð í metrum frá einum mælipunkti til þess næsta frá vestri til austurs (mælilínur A, B, C, D og H), 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 2014 sýna að í fæstum tilfellum er um miklar breytingar að ræða. Mjög víða er tiltölulega lítill munur á gildum frá 2014 og eldri gildum frá 2010, 2005 og 2004. Í um 50% tilfella er mismunur eldri og nýrri mæligilda innan við 20 (g/m²)/dag og í þeim tilfellum sem mismunur er meiri eru gildin ýmist hærri eða lægri árið 2014 en fyrri ár. Þótt ekki séu sjáanlegar miklar breytingar á svæðinu var meðalflæði í mældum punktum töluvert hærra árið 2014 en meðalflæði eldri mælinganna, eða ~300 (g/m²)/dag árið 2014 samanborið við ~76 (g/m²)/dag á eldri mælingum. Á stöku stað er koldíoxíðflæðið mjög ólíkt milli eldri og yngri mælinga. Slíkir stakir punktar vekja að öllu jöfnu ekki sérstaka athygli þar sem óvissa í GPS-mælingunum 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 og vekur það meiri athygli. Dæmi um slíkt er að finna á mælilínu B þar sem fjórir punktar í röð sýna allir mikla aukningu á koldíoxíðflæði og svipað kemur frá á mælilínu E þar sem þrír samliggjandi mælipunktar skera sig úr. Hitastig í jarðvegi er líka hærra en áður í þessum sömu mælipunktum. Á þessu svæði hefur ekki orðið vart breytinga á yfirborði, ný jarðhitafyrirbæri hafa ekki komið fram ennþá en athygli vekur að þessar breytingar er bæði að sjá í jarðvegshitastigi og koldíoxíðflæði.

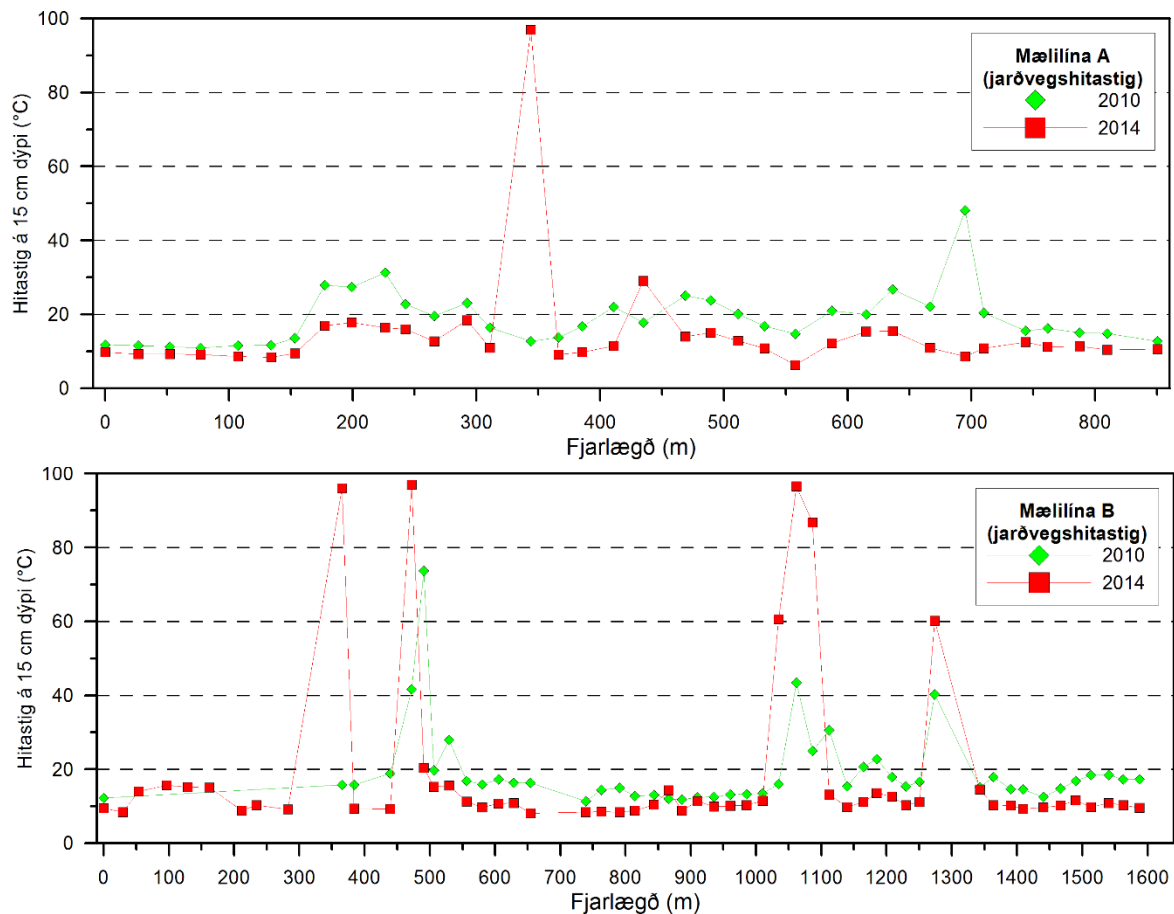


Mynd 53a. Línurit sem sýna samanburð á koldíoxíðflæði um jarðveg á öllum átta mælinunum sem mældar voru sumarið 2014, samanborið við eldri mælingar frá 2004, 2005 og 2010.

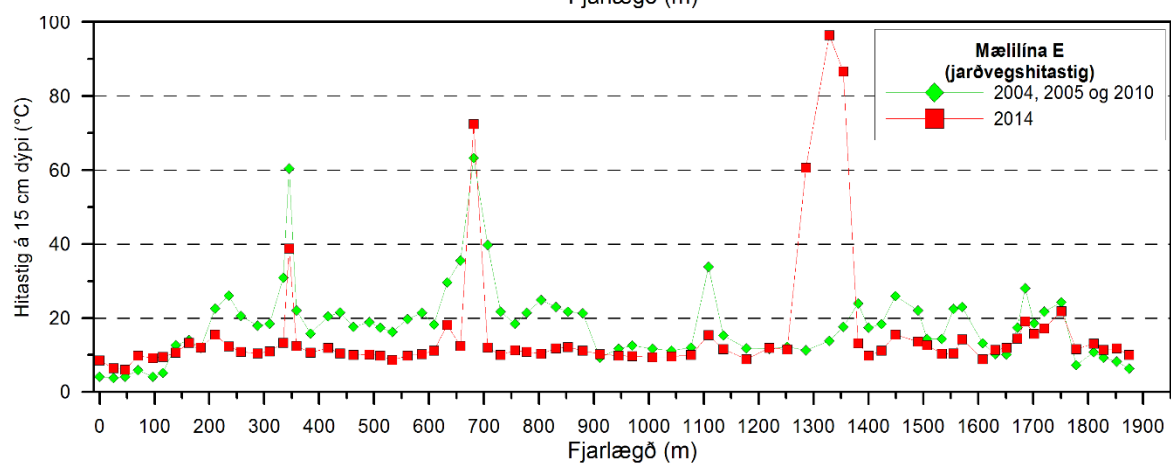
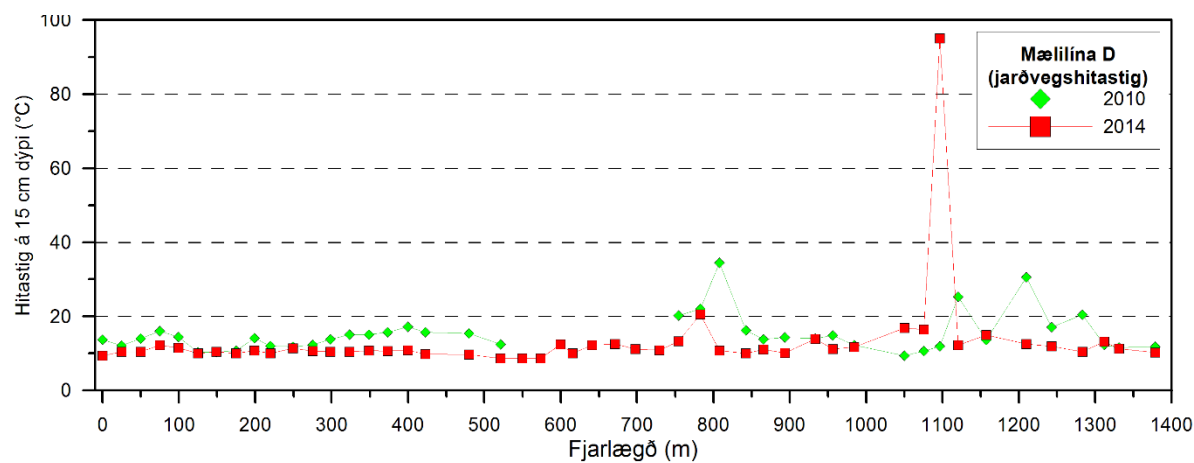
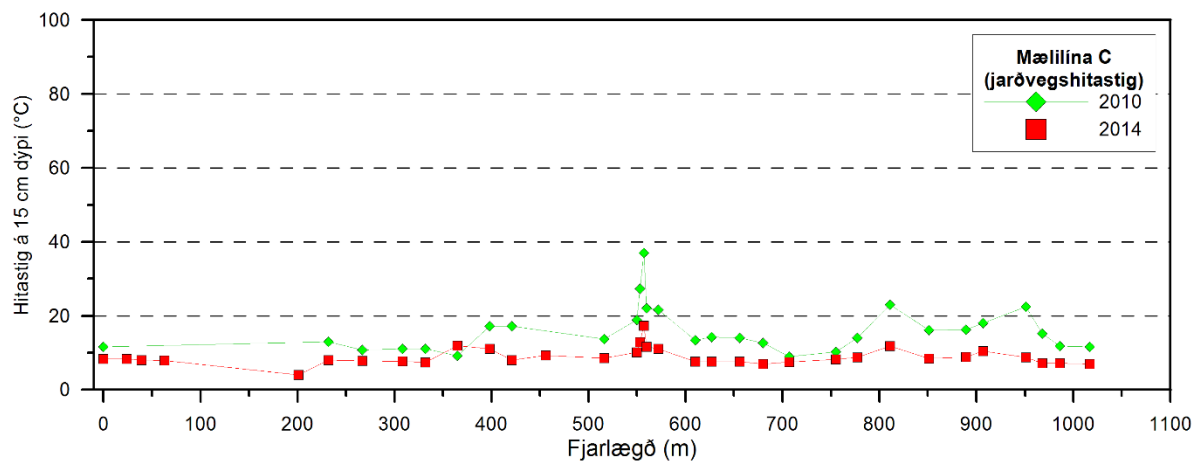


Mynd 53b. Línurit sem sýna samanburð á koldíoxíðflæði um jarðveg á öllum átta mæilínunum sem mældar voru sumarið 2014, samanborið við eldri mælingar frá 2004, 2005 og 2010.

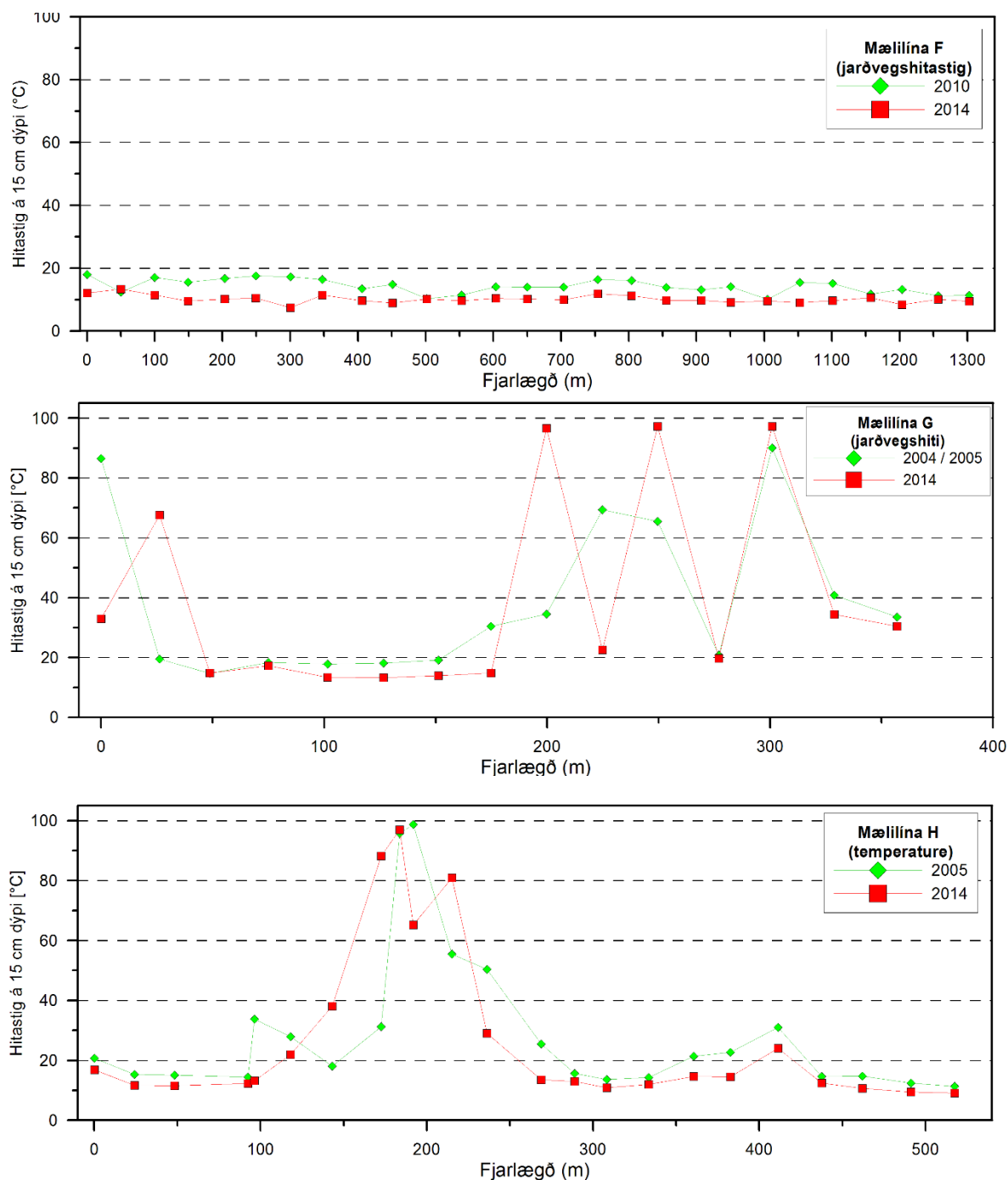
Hitastigsmælingarnar voru unnar á sama hátt og bornar saman við eldri mælingarnar og eru niðurstöðurnar sýndar á línuritum á mynd 54. Á línuritunum má sjá að jarðvegshiti hefur í flestum tilfellum breyst lítið milli ára. Gegnumgangandi er nokkrum gráðum lægra hitastig 2014 en á eldri mælingum og stafar sá munur af mismunandi veðurfari á meðan á mælingum stóð. Mest áberandi breytingar eru þær sömu og áður voru nefndar og koma einnig fram í gasflæðimælingunum. Það kemur fram töluverð hækkun á hitastigi á mælilínu B (í kringum 1050 m frá upphafi mælilínunnar) og á mælilínu E (í kringum 1300 m frá upphafspunkti). Bæði þessi svæði eru afmörkuð með fjólubláum hring á myndum 50 og 51.



Mynd 54a. Línurit sem sýna samanburð á hita á 15 cm dýpi í jarðvegi á öllum átta mælilínunum sem mældar voru sumarið 2014, samanborið við eldri mælingar frá 2010, 2005 og 2004.



Mynd 54b. Línurit sem sýna samanburð á hita á 15 cm dýpi í jarðvegi á öllum átta mæilínlunum sem mældar voru sumarið 2014, samanborið við eldri mælingar frá 2010, 2005 og 2004.



Mynd 54c. Línurit sem sýna samanburð á hita á 15 cm dýpi í jarðvegi á öllum átta mæilínunum sem mældar voru sumarið 2014, samanborið við eldri mælingar frá 2010, 2005 og 2004.

2.3.2 Samantekt

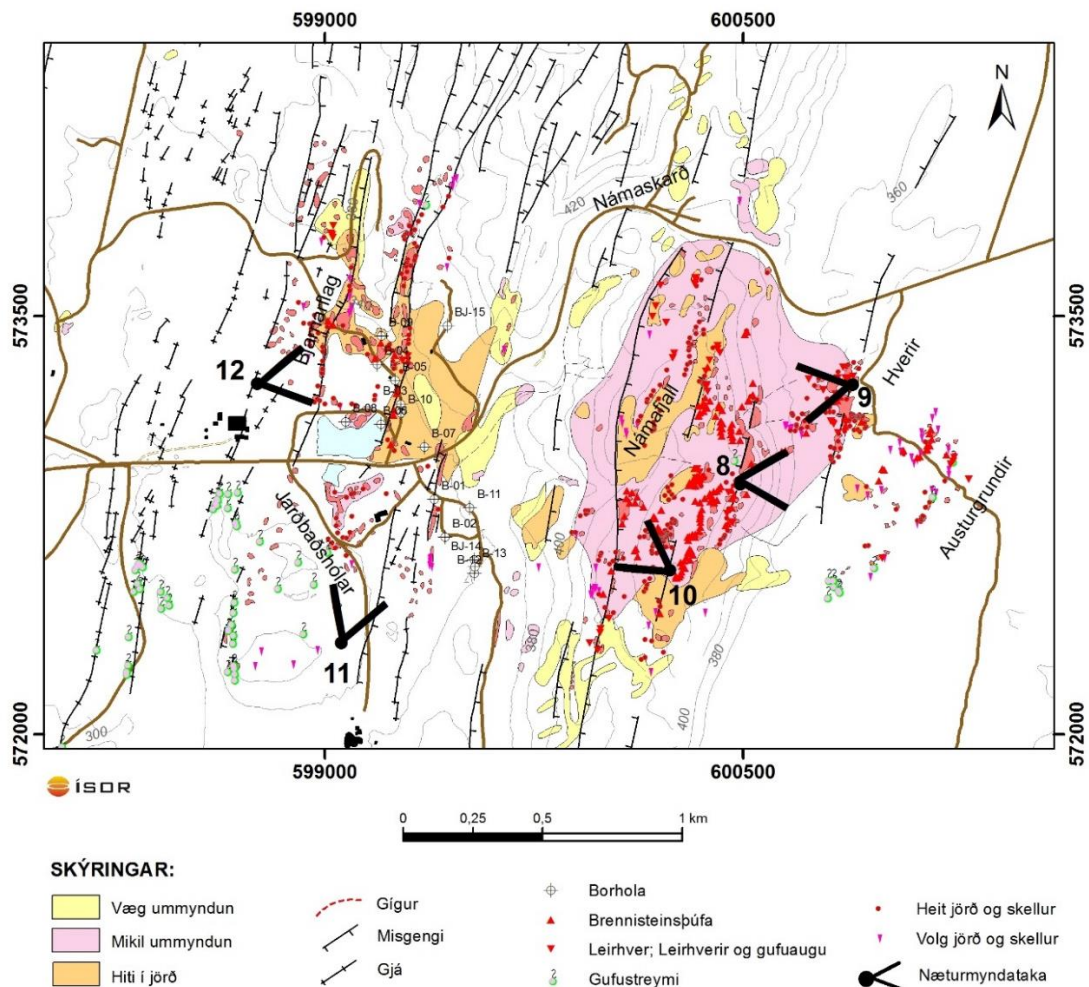
Mælingar frá árinu 2014 sýna að koldíoxíðflæði gegnum jarðveg í Kröflu er víða nokkuð líflegt og í um 80% mælipunkta komu fram koldíoxíðgildi yfir bakgrunnsgildi svæðisins. Áberandi hátt koldíoxíðflæði kom fram víða á þeim mæilínum sem mældar voru á Leirhnjúkssvæðinu (F og G) og einkennandi er hve víða er að finna hátt koldíoxíðflæði í suður- og vesturhlíðum Kröflufjalls án þess að því fylgi hækkað hitastig. Stundum voru ekki heldur áberandi jarðhita-ummerki 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. Þó skáru tvö svæði sig úr á mælilínunum B og E bæði hvað varðar hækkun á jarðvegshitastigi og koldíoxíðflæði. Nýrra jarðhitaummerkja hefur ekki orðið vart á þessu svæði en eiga hugsanlega eftir að koma fram.

3 Námafjall

3.1 Yfirborðsvirkni í Námafjalli

Námafjallssvæðið er notað sem yfirheiti yfir jarðhitasvæðið sem skiptist í eftirfarandi fimm undirsvæði og er þeim lýst nokkurn veginn frá austri til vesturs í þessari röð: *Austurgrundir*, *Hverir* (*Hverarönd*), *Námafjall*, *Bjarnarflag* og *Jarðbaðshólar* (mynd 55). Hér á eftir er lýsing af hverju einu þeirra eins og staðan á yfirborðvirkninni var sumarið 2013, að viðbættum athugunum frá 2014. Farið var yfir svæðin á tímabilinu 6.–15. ágúst 2014 og jarðhitanum lýst og hann flokkaður eftir jarðhitafyrirbærum. Flokkunin fer að stórum hluta eftir lýsingu Hauks Jóhannessonar og Kristjáns Sæmundssonar (2005) og lýsingum Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2010, 2011), sem og skýrslum Sigurðar G. Kristinssonar o.fl. (2013a, 2013b) en þá var farið yfir sömu svæði.



Mynd 55. Jarðhitakort af Námafjalli.

3.1.1 Austurgrundir

Austurgrundir er hraunsléttan austan Námafjalls (mynd 56) en hún einkennist af fjölmörgum brennisteinsþúfum sem eru yfirleitt ekki miklu stærri en 3x1 m og tæplega 1 m háar. Þó eru undantekningar á þessu og töluvert stærri þúfur finnast á svæðinu. Þær stærstu koma yfirleitt upp um hraunhóla sem gerir þær nokkuð hærri en ella. Svæðið er um 1x0,4 km að stærð en stærsti hluti brennisteinsþúfnanna er volgur, þ.e. ekki mjög virkur nú. Nánast allur jarðhitinn kemur upp á tveimur stöðum; á línu með NNA-SSV stefnu sem er austast á svæðinu, en þar er hitinn 50–97°C, og nyrst á svæðinu með þyrpingu brennisteinshvera. Hæstu hitagildin mældust þó aðeins á stöku stöðum en velgja er inni á milli. Syðst á svæðinu er smávægilegt og nánast lyktarlaust gufustreymi um op í hrauninu en hiti þar er 65–80°C (mynd 58). Virkustu þúfurnar voru á norðurhluta svæðisins en þar var einnig mesta gufuvirknin og þar fannst brennisteinslykt (mynd 57).

Fáar virkar brennisteinsþúfur eru á svæðinu en mun fleiri eru kaldar eða volgar. Hitamyndir staðfesta þetta vel (mynd 59). Hiti á svæðinu er hæstur nyrst og austast en lítið sem ekkert er að gerast frá virka hlutanum að Hverum. Hitamyndir staðfesta þó að nokkur velgja er í svæðinu og kom það einnig berlega í ljós í snjóafbræðslumælingunum 2013 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013b).

Tveir virkir staðir á Austurgrundum munu vera í frekari eftirliti í framtíðinni. Fyrri staðurinn er á norðurhluta svæðisins og er brennisteinsþúfa í toppi hólts, sem einkennist af nokkurri gufuvirkni. Hiti við gufuop er 97°C en um 50°C á jaðri þúfunnar. Rauð og ljós leirummyndun er í kringum gufuopin, auk brennisteinsútfellinga. Virkni á þessum stað er svipuð og í fyrra (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013b) þegar farið var yfir svæðið (mynd 57). Seinni staðurinn (mynd 58) er sunnarlega á svæðinu og er í raun nokkur gufuop á afmörkuðu svæði. Hitinn í gufuopunum er 50–80°C og gufan nokkuð stöðug. Gufan flokkast sem lyktarlaus þótt greina megj vott af brennisteinslykt (lyktarlaus í athugunum 2012).



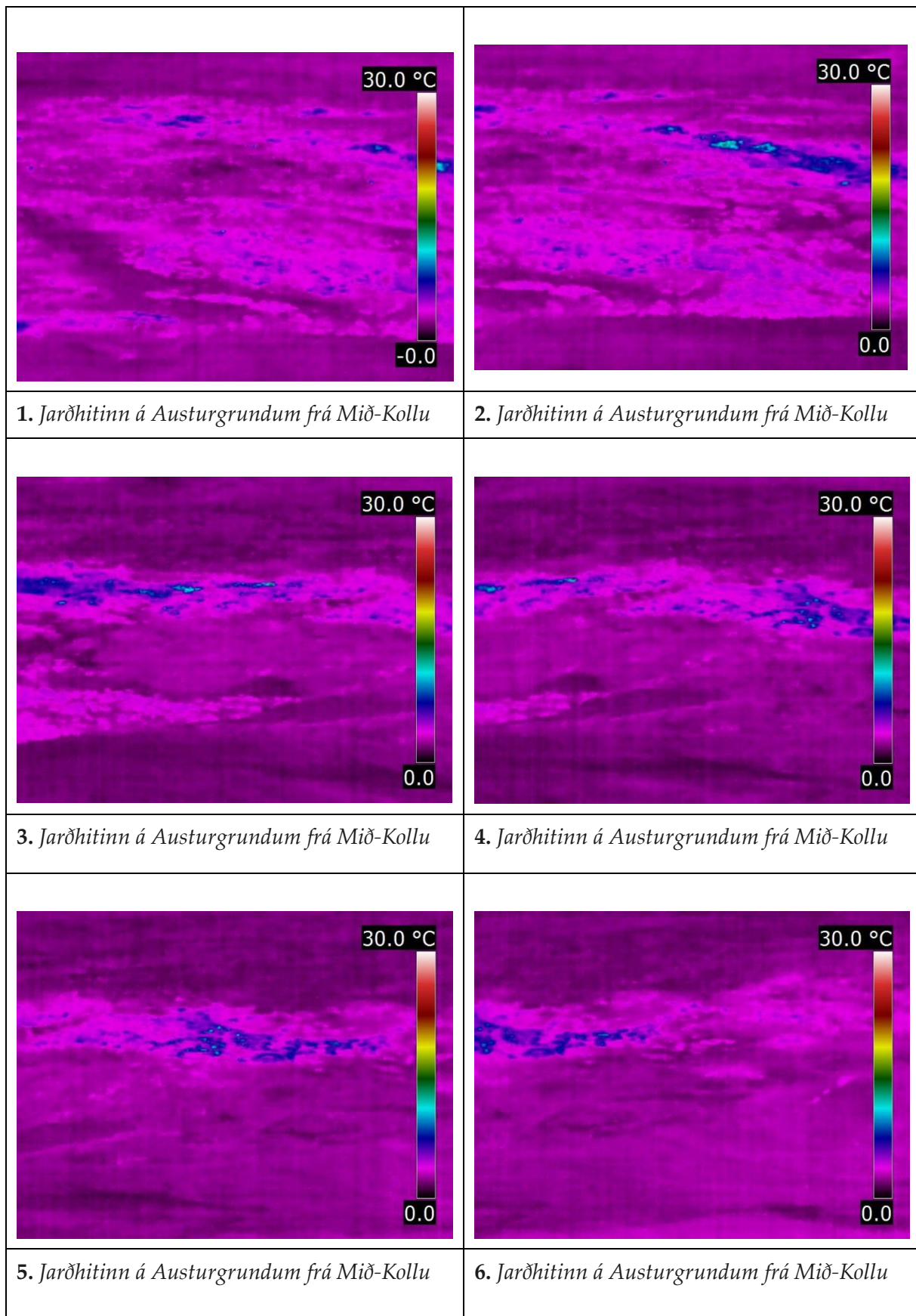
Mynd 56. Yfirlitsmynd af Austurgrundum tekin ofan af Námafjalli. Ljósú skellurnar sýna vel dreifingu ummyndunarskellna sem eru aðallega brennisteinsþúfur en virknin virðist minnkandi.



Mynd 57. Virk brennisteinspúfa nyrst á svæðinu með 96°C hita. Gufustreymi með brennisteinslykt kemur dreift upp um púfunu sem einkennist af þykkum brennisteinsútfellingum.



Mynd 58. Gufustreymi syðst á svæðinu kemur upp um op og sprungur í hrauninu. Hiti er 50–80°C en gufan er nánast lyktarlaus.



Mynd 59. Hitamynd af Austurgrundum frá myndatökustað 8 (sjá mynd 55). Myndirnar eru teknar til norðausturs (hitamynd 1) og til suðausturs (hitamynd 6). Engar breytingar eru frá 2013.

3.1.2 Hverir

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



Mynd 60. Yfirlitsmynd af Hverarönd. Gufustreymi er mest við hraunkantinn og frá gömlu borholunum ofan við hann.

Ofan við hraunkantinn (misgengið) einkennist virknin af blásandi þurrgufuholum og smá svæði kringum þá austustu (H-8) sem ekki er í línu við hinar. Þó nokkur kraftur var í holunum í ár sem og í fyrra. Engin gufuvirkni né sjáanlegur jarðhiti er á milli Hverarandar og Austurgrunda og kemur það vel fram á hitamyndunum (mynd 59).

Neðan við hraunkantinn eru leirhverir mest áberandi. Samtals eru þar um 15 myndarlegir leirhverir sem liggja flestir á svæðinu nærri hraunbrúninni. Hverirnir eru allt frá 1 m og upp í 5 m í þvermál, í heitu skellunum eru þó fleiri mun smærri leirhverir (op). Virkni í stóru hverunum einkennist af dökkgráum, bullandi leir í flestum tilfellum. Virkni þeirra er þó mikil en mest er hún við útsýnispallinn (mynd 61) og í næsta lagi þar suður af. Lengra til suðurs taka við brennisteinsþúfur og gufuhverir sem eru 10–50 m² á stærð og lyktar gufan af brennisteini. Gufuvirknin er svipuð því sem hún var í fyrra. Nær Námafjalli koma aftur heitar skellur og brennisteinsútfellingar en þetta svæði er 100 m² á stærð. Einnig gufaði úr holunum tveimur í hliðum Námafjalls austanverðs (mynd 62, hola 5) og töluverður hiti var í kringum þær, sér í lagi þeirri sem sunnar er, og var hiti þar um og yfir 95°C.



Mynd 61. *Leirhverir við Hverarönd. Dökkur leir og bullandi virkni á stöku stað.*



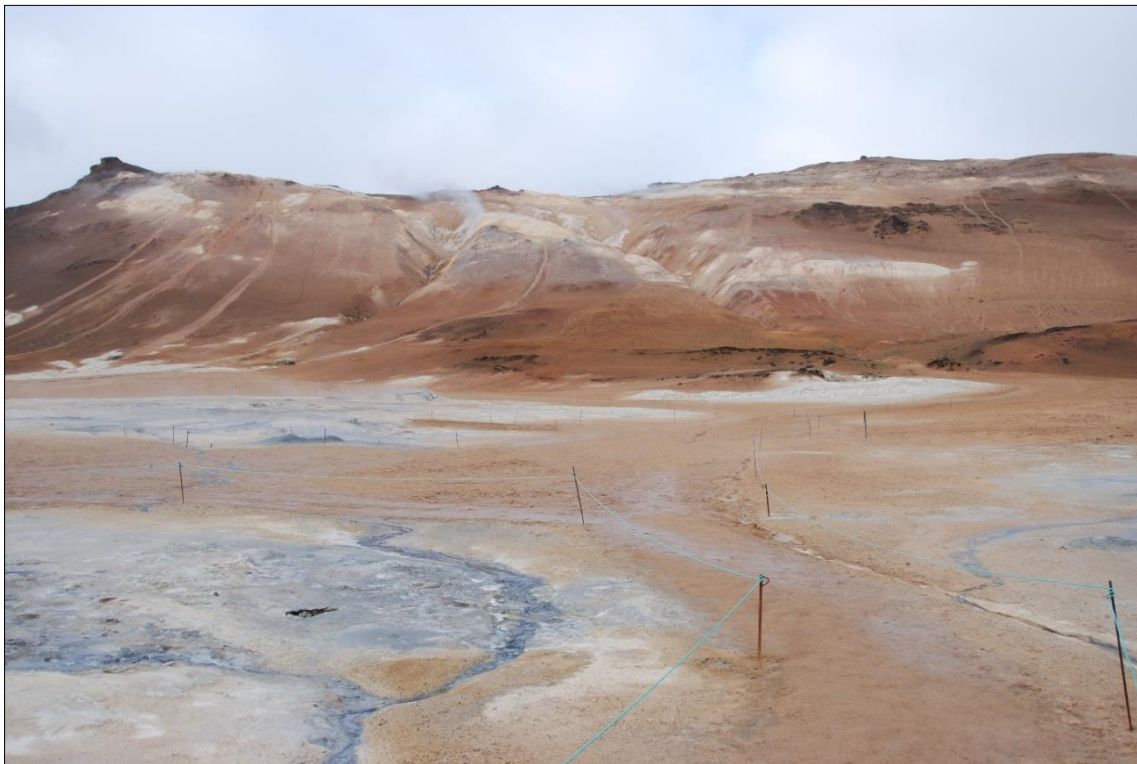
Mynd 62. *Hola 5. Eins og í fyrra gufar nokkuð upp um holurnar, einnig þá syðri (holu 4). Nokkur brennisteinn var umhverfis holutoppinn á holu 4 eins og í fyrra. Á svæðinu fyrir neðan var þunn skán yfir öllu (myndlaus kísill, brennisteinn og hverasölt) og hiti mældist yfir 95°C.*

Jarðhitinn teygir sig síðan upp í tvo gilskorninga sem ganga niður úr toppi fjallsins (mynd 63). 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.

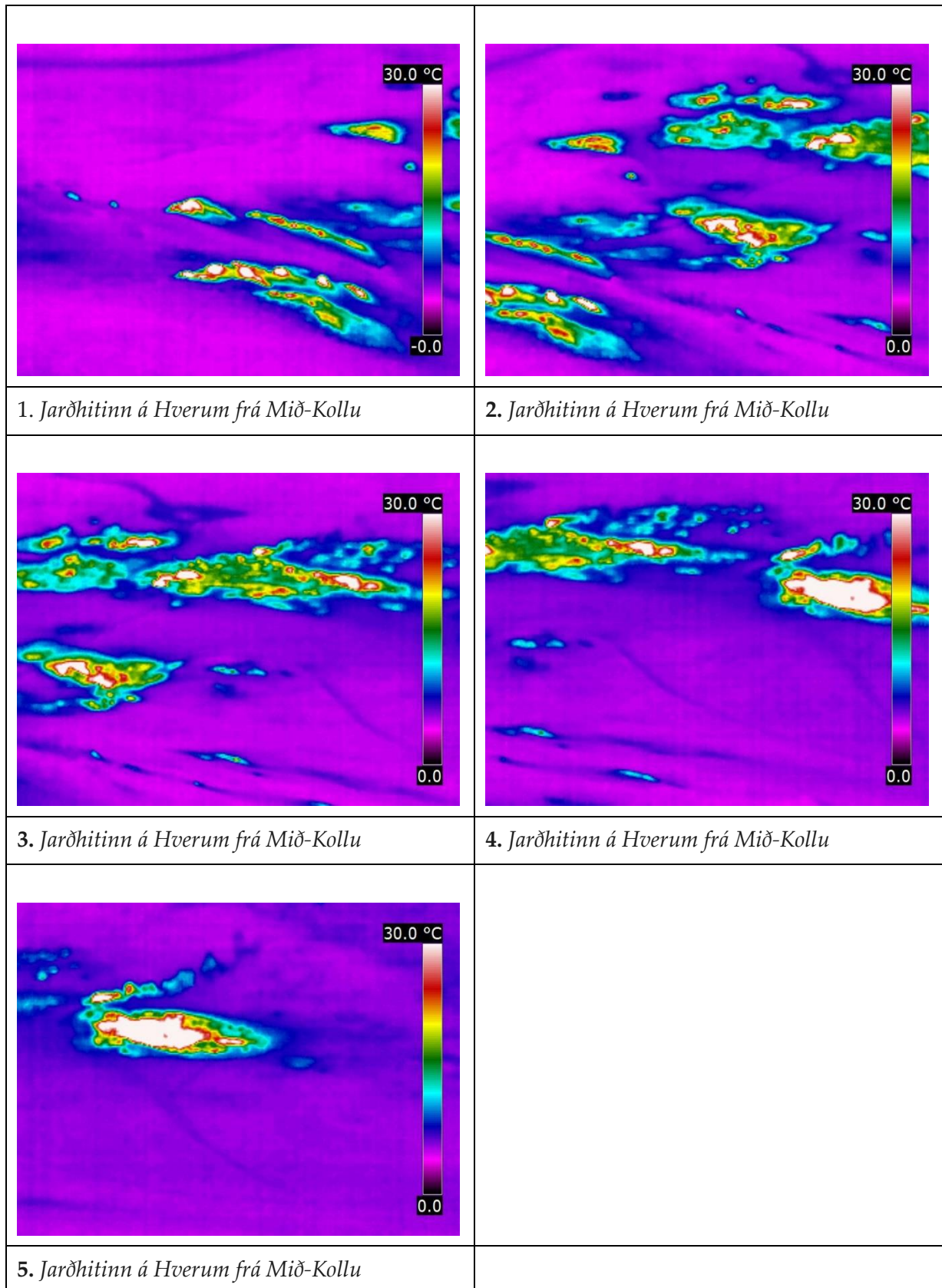
Virki jarðhitinn kemur skýrt fram á hitamyndum (mynd 64), sem teknar voru ofan af Mið-Kollu og sýna jarðhitann á sléttunni, sem og á hitamyndunum (mynd 65) sem teknar voru á útsýnispallinum við Hveri og sýna jarðhitann í austurhlíð fjallsins. Samanburður við hitamyndirnar frá fyrra ári bendir ekki til meiri háttar breytinga. Eins og kemur fram á hitamyndum sem teknar voru ofan af Námafjalli er virknin mest norðarlega á svæðinu en syðst er hún aðallega meðfram hraunstallinum (misgenginu). Myndirnar sýna greinilega að jarðhitinn raðar sér upp á N til NA-læga stefnu. Sama er upp á teningnum þegar hitamyndir af austurhlíð fjallsins eru skoðaðar þar sem jarðhitinn myndar línuleg form í hlíðinni með norðlæga stefnu. Mestur er hitinn við Mið-Kollu og þar norðan við í og við gilskorningana.

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

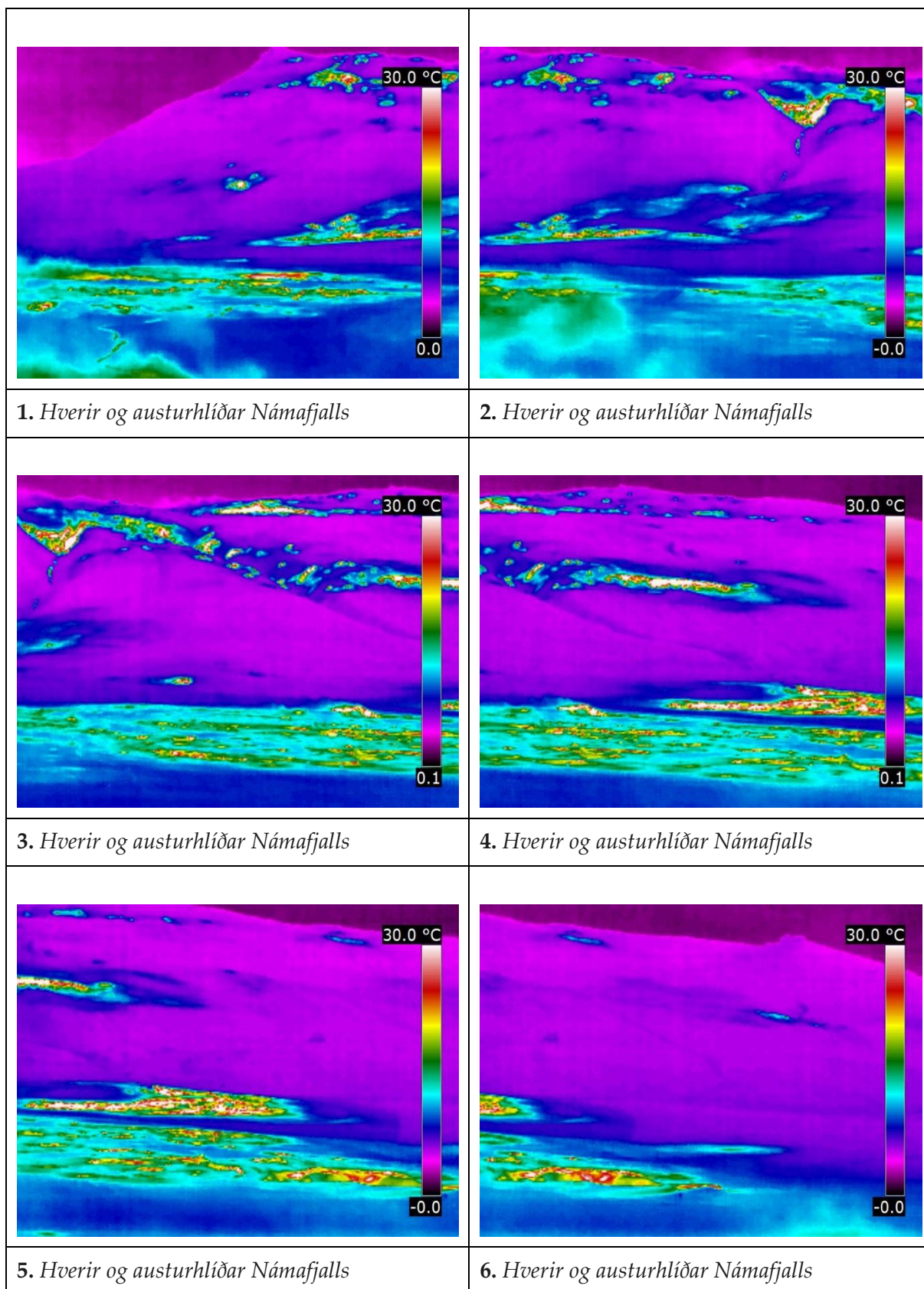
Staðir sem fylgjast ætti með eru virka svæðið við borholurnar (holur 4 og 5) í hlíðinni sem og virknin í hraunstallinum meðfram göngustígnum, þ.e. leirhverirnir og gufu- og brennisteinshverirnir. Neðarlega í hlíð fjallsins er brennisteinsþúfa (ílöng í framhaldi af virkninni í giljunum) með norðlæga stefnu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



Mynd 63. Á norðanverðu svæðinu: Töluverð virkni leirhvera og heitar skellur einkenna svæðið sem teygir sig upp í hlíðar Námafjalls. Einnig er mikil virkni ofarlega í gilskorningunum tveimur sem teygja sig upp á fjallið og með hlíðum þess.



Mynd 64. Hitamyndir af Hverum séð ofan af Mið-Kollu. Myndatökustaður 8 (sjá mynd 55), mynd 1 tekin til norðausturs en mynd 5 er beint til austurs.



Mynd 65. Hitamyndir af Hverum og austurhlíðum Námafjalls. Myndatökustaður 9 (sjá mynd 55). Töluverður hiti er í efri hlíðum fjallsins með 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 í ár var töluverð á þessum stað og hefur gufuvirknin aukist frá því 2012 þegar farið var yfir svæðið og enn meira en þegar myndir voru teknar sumarið 2009. Svæðið virðist þó vera svipað að stærð (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2009; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a; 2013b).

Virknin í toppi fjallsins myndar í raun tvær línur með norðlæga stefnu þar sem jarðhitinn er í skellum með nokkuð samfelldri virkni. Í austanverðu fjallinu er gufuvirkni í heitum skellum og brennisteinn er allsráðandi ásamt ljósum leir (myndir 66 og 68). Gilin tvö sem ganga niður úr hlíðinni austanverðri eru með mest áberandi jarðhitavirkni, mest efst í fjallinu. Þessi virkni teygir sig síðan til suðurs og tengist að hluta virkninni efst á miðju fjallinu sem kom upp árið 2008 (mynd 67).



Mynd 66. Jarðhitinn á toppi Námafjalls við Mið-Kollu. Á þessu svæði eru aðallega virkar brennisteinsþúfur en einnig leirhverir.

Jarðhitinn á N-S misgengjunum tveimur (þremur línur) á austanverðu og vestanverðu Námafjalli er ekki breiður, rétt um 10–20 m þar sem mest er. Jarðhitavirknin á vestustu línunni er nánast eina virknin í vestanverðu fjallinu (mynd 70). Austan megin teygir virknin sig niður á jafnsléttu, þ.e. niður á svæðið sem kennt er við Hveri.

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

Leirpyttir sem komu fram á toppi fjallsins árið 2008 sunnan Náma-Kollu eru enn töluvert virkir sem og brennisteinsþúfurnar á sama svæði. Leirhverirnir eru 24–25 talsins, misstórir en umhverfis þá er brennisteinn í gufuopum. Grár og ljós leir bullar í hverunum og er brennisteinslykt í gufu frá gufuopum umhverfis leirhverina. Hiti á svæðinu er $>95^{\circ}\text{C}$ (mynd 67).



Mynd 67. Leirhverirnir á toppi Námafjalls sem Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2009) lýstu fyrst 2008. Virknin á þessum stað hefur aukist sem og á öllu fjallinu frá Mið-Kollu suður að Syðstu-Kollu (á miðri mynd).



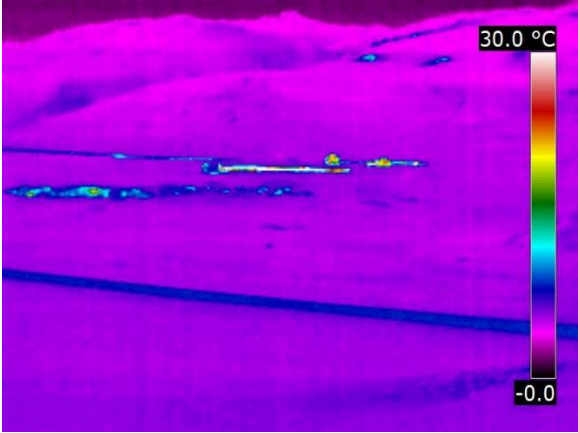
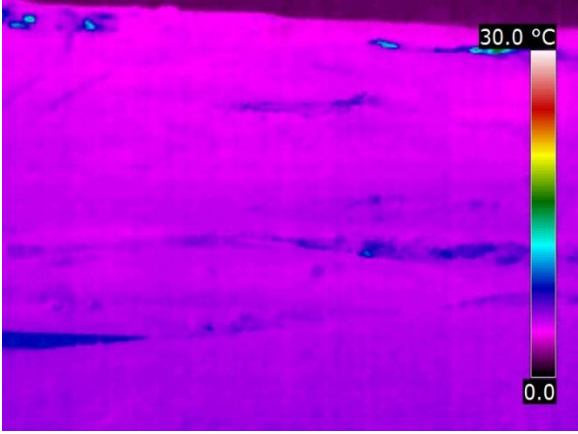
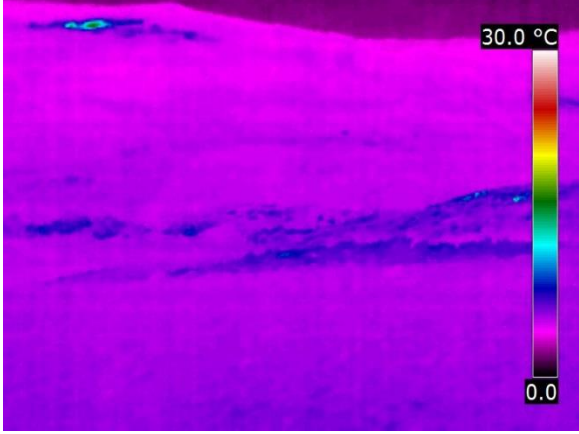
Mynd 68. Toppur Námafjalls. Toppurinn er meira og minna sundursoðinn, leir og brennisteinsþúfur. Mynd tekin til norðurs frá Syðstu-Kollu.



Mynd 69. Frá Syðstu-Kollu til suðurs. Töluvert dregur úr jarðhitavirkninni til suðurs og ummyndun verður vægari.



Mynd 70. Jarðhitavirknin í vesturhluta Námafjalls, horft til norðurs. Heitar skellur raða sér upp með norður-suður stefnu. Virkni er ekki mikil en svipuð því sem hefur verið undanfarin þrjú ár.

	
1. Vesturhliðar Námafjalls. Hóla B-12 vinstra megin á mynd.	2. Vesturhliðar Námafjalls
	
3. Vesturhliðar Námafjalls	4. Vesturhliðar Námafjalls

Mynd 71. Hitamyndir af vesturhliðum Námafjalls teknar frá myndatökustað 11 á mynd 55. Hitamynd 1 er tekin til ANA en myndirnar hliðrast svo til suðausturs.

Staðir sem skoða á sérstaklega í eftirlitinu eru leirhverasvæðið sem myndaðist á miðju fjallinu 2008. Virknin í gilskorningunum sem ganga niður af Mið-Kollu nærri sýnatökustað G-102, sem og við sýnatökustað N G-101 norðan Ystu-Kollu og virknin syðst á fjallinu (t.d. mynd 69).

Hitamyndir sem teknar voru til vesturs ofan af Syðstu-Kollu (myndatökustaður 10, mynd 55) í sumar eins og í fyrra sýna ekki nægilega vel staðsetningu yfirborðsvirkinnar og eru því ekki sýndar hér. Annars gekk hitamyndatakan vel og kemur jarðhitinn glögg fram á myndunum. Hitadreifingin er áþekk því sem var í fyrra. Almennt er lítil breyting á milli ára.

3.1.4 Bjarnarflag

Á Bjarnarflagssvæðinu er virknin mest í kringum Gamla bakaríið og skiljustöðina en þar er svæðið allt sundursoðið. Rauðlitaður leir ásamt brennisteini og hverasöltum er áberandi. Í litlum gilskorningi ofan við holu B-9 er töluverður og nánast samfelldur jarðhiti upp með austurhlíðinni og nær hann um 800 m til norðurs frá holunni (mynd 72). Einnig er virkni vestan til í gílinu, 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 73). Framhald vestara brotsins kemur fram með stórri brennisteinsskellu sunnan við veginn að skiljustöðinni (mynd 74) en hún heldur slitrótt áfram til suðurs niður að lóninu.

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

Á sléttunni milli Bjarnarflagsvirkjunar og gömlu Kísiliðjunnar liggur lítill sigdalur, þ.e. misgengi með fall til vesturs (Krummaskarðsmisgengið) austast á svæðinu og misgengi með fall til austurs vestast á svæðinu (Grjótagjármisgengið). Inni á milli þessara misgengja eru svo smærri misgengi sem einnig mynda sigdældir. Mest allur jarðhitinn er tengdur þessum brotum (sjá mynd 55).



Mynd 72. Gilið ofan við holu B-9, sýnatökustaður G-103 í holunni. Holan er um 1 m að dýpt en í fyrra mátti sjá hvar mótaði fyrir henni en þá var hún ekki nema um 30 cm djúp. Vegna breytinganna var ekki unnt að taka sýni á þessum stað í ár.

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

Staðir sem skoða ætti sérstaklega og hafa eftirlit með eru: Gufu- og brennisteinsvirknin við Gamla bakarið (GB-5, mynd 75) og framhald jarðhitans þar norður af. Gufuvirkni, brennisteinn og hverasölt í heitum skellum í gílinu við sýnatökustað G-103 (mynd 72). Gufusprengigígurinn (GB-4) ofan vegar í hlíðinni ofan við hitaveituskemmu, sem er heit leirskella með bullandi leirhverum og gufuhverum þar sem brennisteinn og hverasölt finnast við gufuop (mynd 73).

Hitamyndir af Bjarnarflagi (mynd 76) 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 gílinu inn af holu B-9). Norðan við Gamla bakarið eru heitir blettir (mynd 76, hitamyndir 1 og 2) sem liggja á sama misgengi og liggur í gegnum Gamla bakarið. Á hitamynd 3 er svo Gamla bakarið fyrir miðri mynd en nokkur hiti er fyrir ofan það og er það í samræmi við athuganir okkar í sumar. Rétt austar (hitamynd 4) er svo skiljustöðin en aftan við hana er hinn mikli jarðhiti í gílinu 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 bakarið og austur fyrir sigspilduna í gílinu 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).



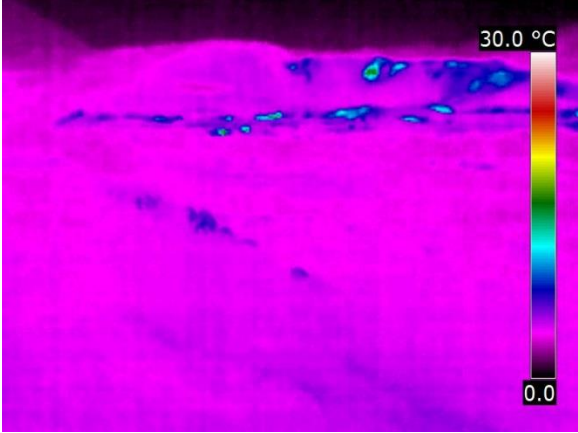
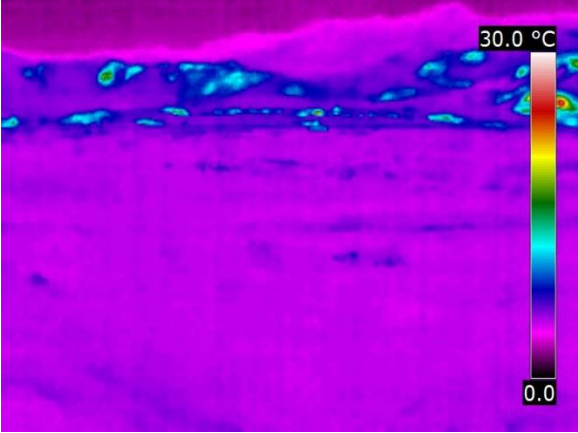
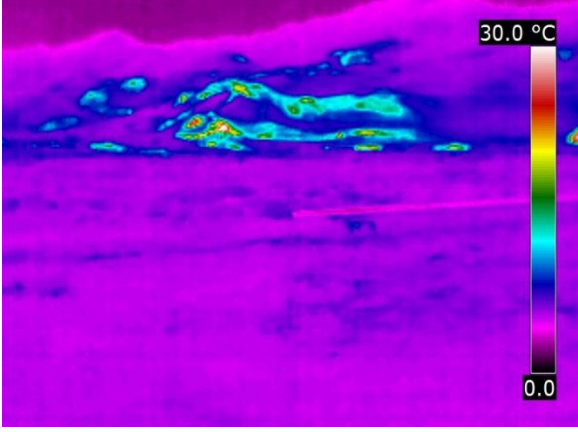
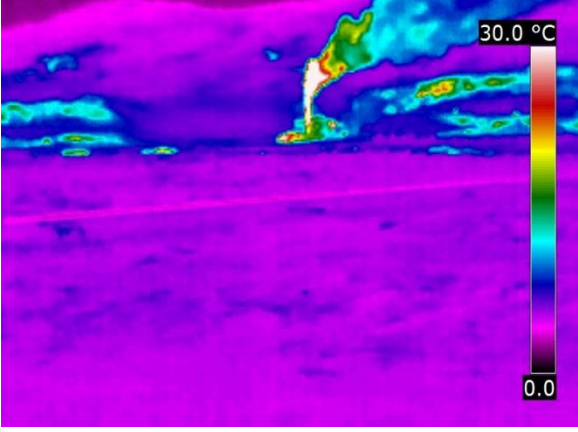
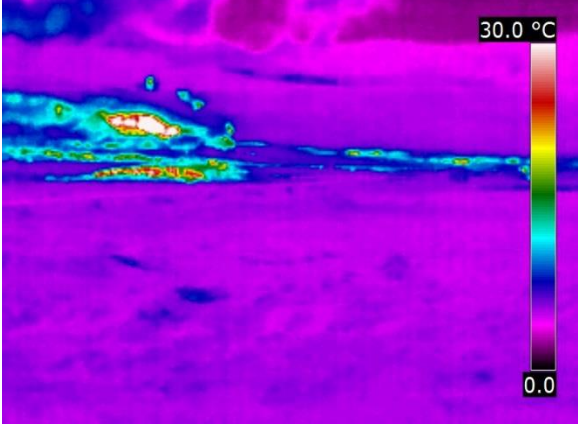
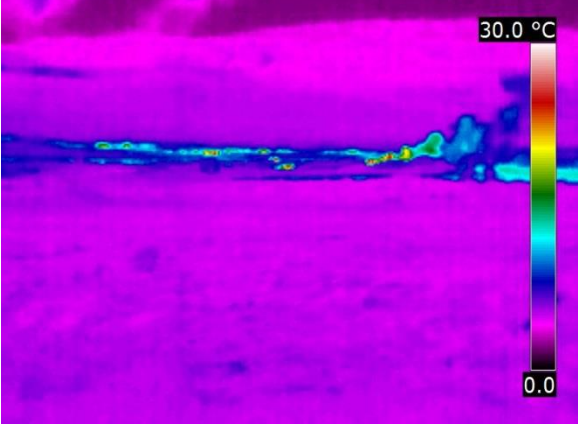
Mynd 73. GB-4. Virknin í framhaldi af gílinu sunnan B-9. Pyttur þar sem allt er í suðu, heit skella með hverasöltum, myndlausum kisli og brennisteini. Í slakkanum eru svo bullandi leirhverir og nokkur gufuvirkni.



Mynd 74. Þó nokkur gufuvirkni er við holu B-4, brennisteinn og myndlaus kísill. Borhola B-4 stendur upp úr útfellingunum.



Mynd 75. GB-5. Brennisteinsútfellingar í Gamla bakaríinu. Virkni svipuð og í fyrra og undanfarin ár.

	
1. Bjarnarflag til norðurs	2. Bjarnarflag til norðurs
	
3. Gamla bakaríið á miðri mynd.	4. Gufuaflstöðin
	
5. Bjarnarflag	6. Bjarnarflag. Hitaveitulögnin lengst til hægri

Mynd 76. Hitamyndir í Bjarnarflagi. Myndatökustaður (12) við gömlu Kísiliðjuna (sjá mynd 55). Myndir teknar til norðurs (mynd 1) en síðan til austurs (mynd 6). Hitaskellurnar sem ganga áfram inn gilið við holu B-9 (ofan við gufuaflstöðina, myndir 4 og 5) koma vel fram sem og virknin kringum Gamla bakaríið (mynd 3) og þaðan norður eftir (myndir 1 og 2).

3.1.5 Jarðbaðshólar

Á kyrrum kvöldum má sjá gufa upp um nánast allt hraunið frá Jarðbaðshólum að Reykjahlíð. Mest af gufunni kemur upp um sprungur og misgengi (mynd 55) á svæðinu við veginn að Grjótagjá. Virknin er ívið meiri gígmegin við Grjótagjárvegin (austan megin). Á svæðinu frá Námafjalli að gígnum er virkni einna mest meðfram veginum að Jarðböðunum, hár hiti með töluverðri ummyndun, einkum heitum leirskellum, austan vegar og er lýst með Bjarnarflagi. Í gígnum 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 hitinn á bilinu 40–65°C. Í gíg sem er austan Jarðbaðanna nær Námafjalli er svolítill gufuvirkni og í toppi gígbarmsins sunnanverðum en hitinn þar var 38°C og gufan lyktarlaus.

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

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



Mynd 77. Dæmigerð virkni við Jarðbaðshóla. Gufa streymir upp um sprungur (misgengi) sem skera hólana með norður-suður stefnu. Gufustreymið gengur bæði til norðurs og suðurs frá hólunum. Hiti er 40–75°C og gufan er lyktarlaus.

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. Á þessu svæði eru brennisteinsþúfur, gufu- og leirhverir mest áberandi. Almenn breytist jarðhitavirknin 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 bakaríi í vestri, austur að sigspildunni við holu B-9. Mest áberandi eru brennisteinsþúfur en einnig eru gufu- og leirhverir. Aðeins á tveimur svæðum má finna lyktarlausa gufu (upphitað grunnvatn) en það er á stóru svæði út frá Jarðbaðshólum sem og syðst á Austurgrundum. Sunnan og vestan Jarðbaðshóla er töluverð gufuvirkni sem kemur upp á dreifðu svæði allt vestur til Mývatns og suður fyrir Rauðuborg.

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

3.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum í Námafjalli

3.2.1 Sýnatökustaðir

Fjórum sýnum var safnað á Námafjallssvæðinu dagana 7., 9. og 10. ágúst í misjöfnu veðri. Upphaflega var gert ráð fyrir að safna sýnum úr sömu augum og sumarið 2013, nema hvað finna skyldi annan sýnatökustað uppi á Námafjalli í stað G-101. Hins vegar fór svo að enginn sýnatökustaður var alveg óbreyttur frá ágúst 2013.

Auga G-101 var mjög máttlaust og ekkert álitlegt auga var að sjá í nærliggjandi brennisteinsþúfum og var því fallið frá áformum um sýnatöku þar.

Augað G-102, sem var ofarlega í gili í Námafjalli og safnað var úr árið 2012, var ári síðar orðið að sjóðandi leirhver og var svo enn í ágúst 2014. Augað sem safnað var úr árið 2013 var útdautt og svæðið ofan við gilið var allt hið blautasta og fremur óárennilegt við fyrstu sýn. Þó fór svo að álitlegt auga fannst í eins konar leirhveraflagi, á bakka afrennslissytru sem rennur ofan gilið, en að því er hægt að komast ofan frá með því að fylgja farvegi sytrunnar sem er að mestu með grófum botni. Ákveðið var að safna úr þessu auga og hafa það sem fulltrúa svæðisins kringum G-102.

Þegar kom að því að safna úr G-103 í ummyndunarskellu í gili ofan við holu BN-9 í Bjarnarflagi reyndist það hafa grafið sig ofan í gilbotninn og sat þar á rúmlega 1 m dýpi á botni allstórs pyttis. Ekki þótti vænlegt að fara ofan í pyttinn og því var ákveðið að safna í stað þess sýni úr sæmilega kraftmiklu auga neðan til í annarri ummyndunarskellu fremst í gilinu. Það fékk nafnið G-105. Augað R hjá Stefáni Arnórssyni og Herði Svavarssyni (1985) er líklega í sömu skellu, svo og augað NA-4 í staðaskrá ÍSOR.

Augað G-104 austast á Hverum reyndist of máttlaust til sýnatöku og torvelt að þetta að því, enda liggur það undir brennisteinshellu sem var mun grofnari nú en 2013. Þess í stað var sýni safnað úr nýju auga, G-106, í flaginu vestan við syðstu borholuna (H-9) á Hverum. Augað virtist allsprækt en þó dró úr kraftinum þegar sýnatökutrektin var lögð á það. Því var brugðið á það ráð að pumpa augað í gang með sogdælu og gekk sýnatakan vel eftir það. Ekki er að sjá að eldri sýni séu til úr þessu flagi en auga D hjá Stefáni Arnórssyni og Herði Svavarssyni (1985) er ekki langt undan.

Enn átti eftir að finna sýnatökustað á Námafjalli sjálfu, í stað G-101, og eftir nokkra leit var ákveðið að safna sýni úr fremur kraftlitlu en ágætlega afmörkuðu auga eða opi (G-107) í brennisteinsþúfu, einni margra í dældinni norðvestan við Syðstu-Kollu. Þessi þúfa er nokkurn veginn mitt á milli staðanna H og I hjá Stefáni Arnórssyni og Herði Svavarssyni (1985) og hafði þá sérstöðu að aðeins eitt op var á brennisteinshellunni og því þótti líklegra að hægt væri að þetta að opinu og ná sæmilega óbrennguðu sýni. Hjálpa þurfti auganu af stað með sogdælu en þegar gufustreymið var komið í gang hélt það áfram hjálparlaust.

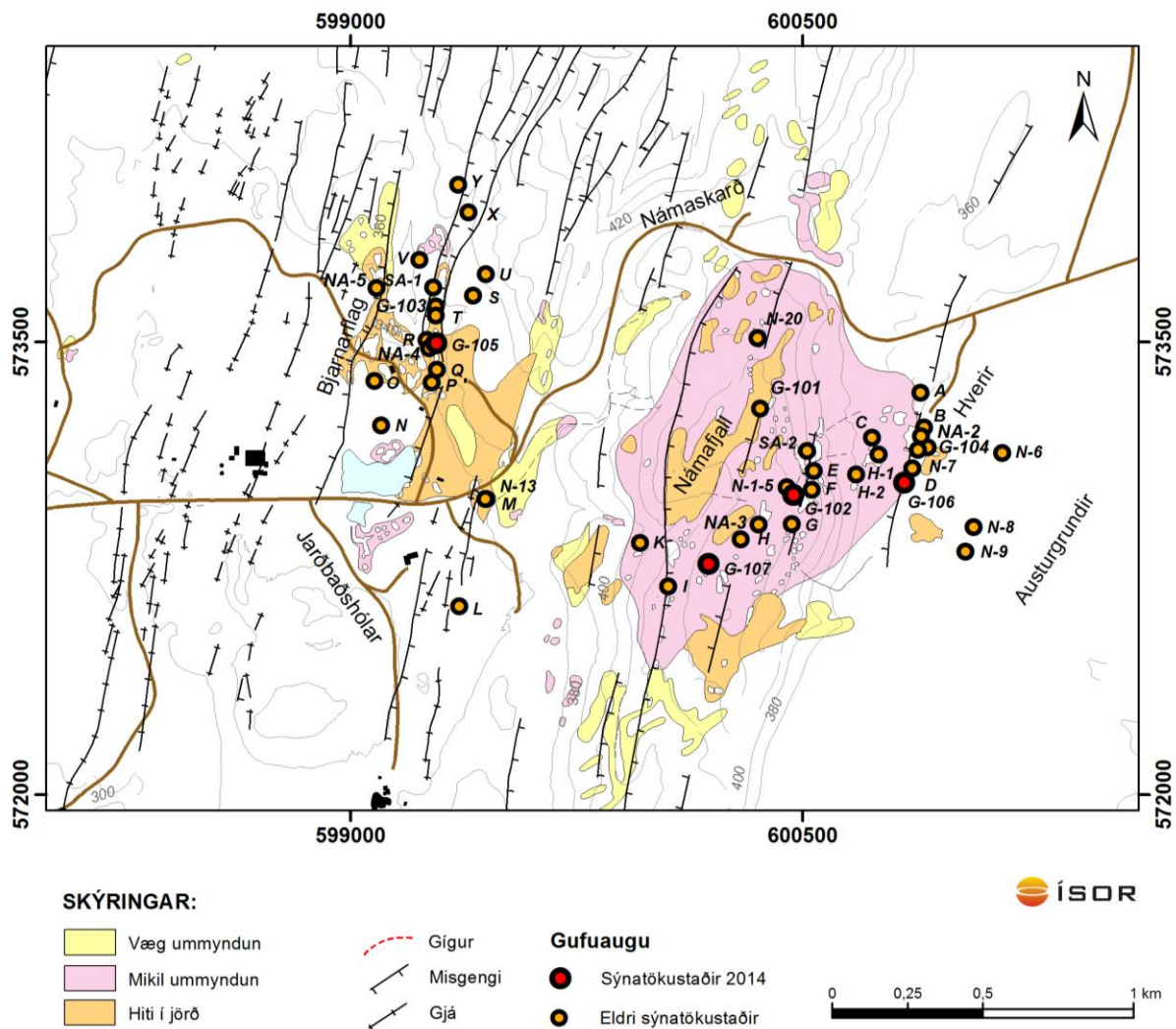
Yfirlit um sýnatökustaði er í töflu 4 og staðsetning þeirra er sýnd á mynd 78 ásamt öðrum gufuaugum sem sýni hafa verið tekin úr í Námafjalli og Bjarnarflagi. Á mynd 78 eru eldri gufusýnatökustaðir á svæðinu auðkenndir með þrennum hætti; staðir merktir N-1 til N-20 og H-1 og H-2 eru sýnatökustaðir skilgreindir af Baldri Línal (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 sýni á mun fleiri stöðum en þeir staðir höfðu flestir verið skilgreindir í eldri rannsóknum.

Sýnatökustöðum ársins 2014 í Námafjalli er lýst frekar hér á eftir. Í gagnagrunni ÍSOR eru sýnatökuaugu árána 2012–2014 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 stýtt í „G-101“ til einföldunar.

Tafla 4. Sýnatökustaðir í Námafjalli sumarið 2014.

Nafn auga*	Staðarnúmer	x-hnit	y-hnit	Hæð (m y.s.)	Lýsing
G-102	H 10192	600469	572994	471	Í gili hátt í Námafjalli austanverðu
G-105	H 93517	599285	573497	347	Í gili norður af holu B-9
G-106	H 93518	600837	573034	364	Vestan syðstu holunnar á Hverum
G-107	H 93519	600188	572765	480	Í brennisteinsþúfu á Námafjalli

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



Mynd 78. Gufuaugu í Námafjalli og Bjarnarflagi. Gufuaugu sem safnað var úr sumarið 2014 eru sýnd með rauðum táknum.

N G-102: Öflugt auga á bakka afrennslissytru sem fellur ofan syðri gilskorninginn í Námafjalli (sjá myndir 78 og 79). Augað er rétt ofan við brúnina, litlu ofar en augað sem safnað var úr sumarið 2012, en það er nú sjóðandi leirhver. Aðkoma er fremur erfið að þessu auga. Skásta leiðin er að ganga niður eftir farvegi sytrunnar en botn hennar er sæmilega grófur.

N G-105: Ágætlega kraftmikið gufuauga með fókuseruðu streymi framarlega í grunnu gili sem liggur norður frá holu B-9 í Bjarnarflagi (myndir 78 og 80). Talsverð virkni teygir sig upp eftir allri austurhlíð gilsins en þetta auga er í fremstu ummyndunarskellunni.

N G-106: Sæmilegt gufuauga í leirflagi vestan við syðstu borholuna á Hverum (H-9), rétt neðan við göngustíg fyrir ferðamenn. Skellan sú var of blaut til að hægt væri að fara inn á hana sumarið 2013 (sjá myndir 78 og 81).

N G-107: Fremur máttlaust en ágætlega afmarkað gufuauga eða -op í brennisteinsþúfu í dældinni norðvestan við Syðstu-Kollu á Námafjalli (sjá myndir 78 og 82). Sýnataka gekk þó frekar hægt og þurfti að örva rennslið með sogdælu við og við. Lúturinn var heiðgullur á lit eftir sýnatökuna en þéttivatn var mjólkurhvítt.



Mynd 79. Sýnataka úr gufuauga N G-102 ofan við gil í Námafjalli austanverðu. Syðsta-Kolla í baksýn.



Mynd 80. Sýnataka úr gufuauga N G-105 í gili upp af stöðvarhúsinu í Bjarnarflagi.



Mynd 81. Gufuauga N G-106 á Hverum, hægra megin við miðja mynd. H-9 blæs í baksýn.



Mynd 82. Sýnataka úr gufuauga N G-107 á Námafjalli. Mið-Kolla í baksýn.

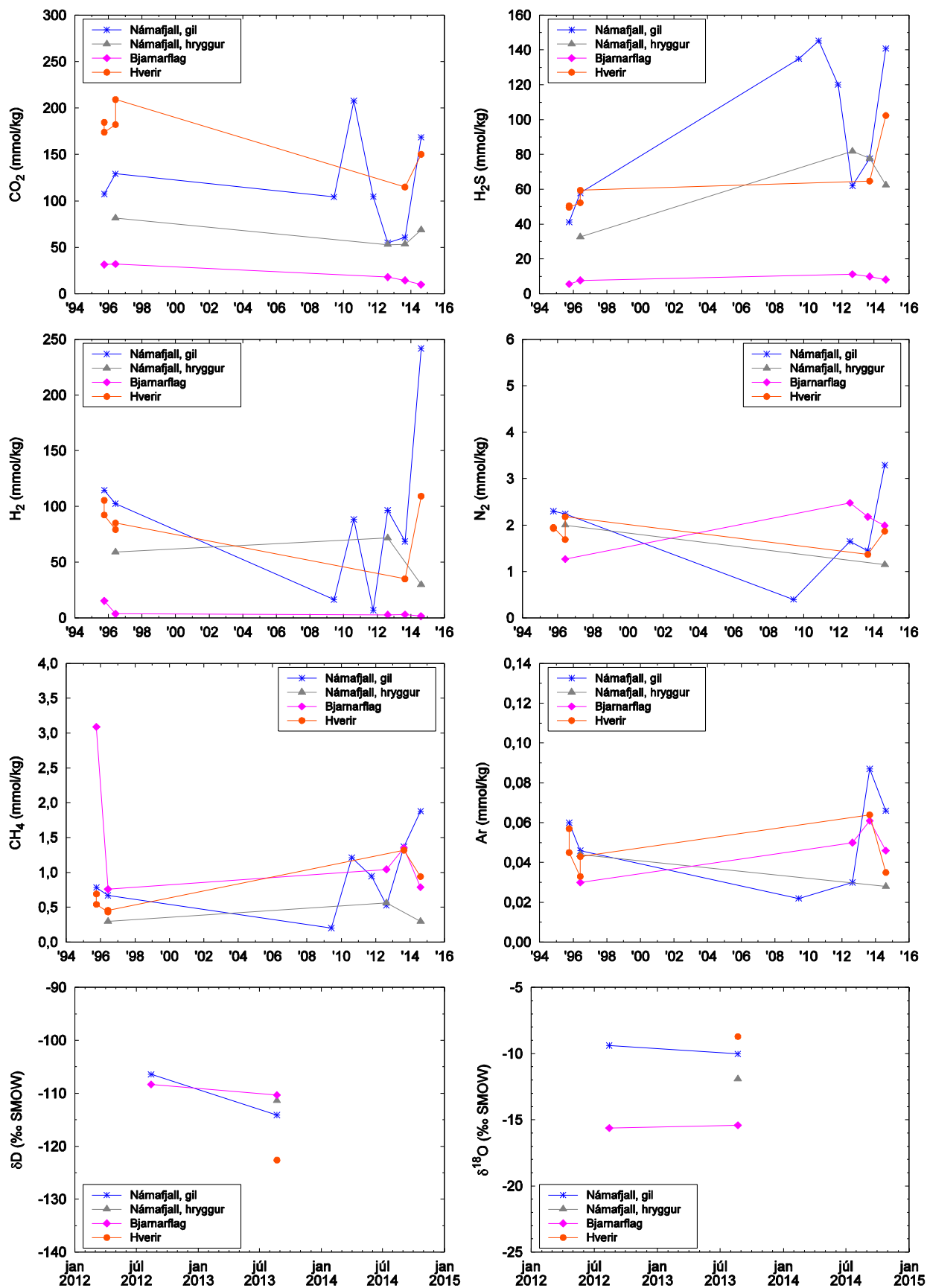
3.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga

Niðurstöður efnagreininga sýna sem tekin voru við Námafjall sumarið 2014 má sjá í töflu 5. Mynd 83 sýnir styrk CO₂, H₂S, H₂, N₂, CH₄ og Ar í gufuaugum á Námafjalli og í Bjarnarflagi í tímans rás. Nýjustu sýnin voru tekin í ágúst 2014 en einnig eru sýnd gögn úr öðrum augum af sömu slóðum og nýju augun þar sem þeim er að dreifa. Efnagreiningar eldri sýna eru fengnar úr skýrslum Stefáns Arnórssonar o.fl. (1995; 1996) og Jóns Benjamínssonar og Trausta Hauks-sonar (2010, 2011, 2012), og eru þær sýndar í töflum V-7 til V-10 í viðauka 2 ásamt vísunum í frumheimildir. Einnig eru á mynd 83 sýnd samsætuhlutföll í þéttivatni fyrir sýni áranna 2012 og 2013 en samsætur virðast ekki hafa verið mældar í eldri sýnum og samsætugreiningum er enn ekki lokið á sýnum ársins 2014. Á myndunum fyrir N₂ og Ar er þeim sýnum sleppt sem eru greinilega umtalsvert menguð andrúmslofti þar eð styrkur andrúmsloftsgasanna í þeim sýnum er margfalt hærri en gengur og gerist í gufusýnum og skekkir því myndina verulega.

Í töflu 6 er sýndur reiknaður djúphiti út frá mældum styrk hinna ýmsu gastegunda. Notast er við kvarðanir Stefáns Arnórssonar og félaga (1998) sem reiknaðar eru út frá ætluðu jafnvægi við steindafylkin klínózóisít-kalsít-kvars-prehnít (CO₂) og pýrít-pýrrhótít-prehnít-epidót (H₂S og H₂). Fyrir Námafjall er notuð sú kvörðun CO₂-hitamælisins sem gerir ekki ráð fyrir miklu CO₂-flæði frá kviku.

Tafla 5. Efnasamsetning gufusýna frá Námafjallssvæðinu.

Sýni	20140260	20140269	20140270	20140271
Dagsetning	7.8.2014	9.8.2014	10.8.2014	10.8.2014
Staður	N G-105	N G-106	N G-102	N G-107
Svæði	Bjarnarflag	Hverir	Námafj. gil	Nám. hryggur
Hitastig (°C)	98,3	99,7	99,9	99,7
Gasstyrkur í gufu (mmól/kg)				
CO ₂	10,0	150	169	68,9
H ₂ S	8,2	102	141	62,5
H ₂	1,66	109	242	29,9
CH ₄	0,79	0,94	1,88	0,30
N ₂	1,99	1,87	3,29	1,15
O ₂	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ar	0,046	0,035	0,066	0,028
Steinefni í þéttivatni (mg/kg)				
Cl	0,10	0,30	0,18	0,34
B	0,06	0,09	0,10	0,11



Mynd 83. Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttvatni úr gufuaugum á Námafjallssvæðinu.

Tafla 6. Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áranna 2012–2014 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 staðalfrávik (σ).

Sýni	Auga	T _{CO2}	T _{H2S}	T _{H2}	T _{CO2/N2}	T _{H2S/Ar}	T _{H2/Ar}	$\bar{x}$	σ
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
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
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
20140269	G-106	332	330	(422)	306	333	329	324	11
20130260	G-104	306	313	352	307	302	293	304	7

N G-102: Flest sýni eru til af þessu svæði, í eða ofan gilsins í Námafjalli, þótt reyndar séu sýnin ekki tekin á nákvæmlega sama stað. Sýnin 2010 og 2011 voru talsvert menguð andrúmslofti sem útskýrir að nokkru leyti flöktið sem sést á mynd 78. Styrkur allra gastegunda utan Ar hækkar milli ára. Þannig mælist styrkur CO₂ um 170 mmól/kg sem er tæplega þreföldun frá árunum 2012 og 2013 en nokkuð sambærilegt við árin þar á undan. Styrkur H₂ þrefaldast líka, eða þar um bil, og stendur í um 240 mmól/kg. Því reiknast efnahiti samkvæmt H₂-mælinum óeðlilega hár. Sé honum sleppt reiknast efnahiti að meðaltali 323°C sem er heldur hærra en árin áður. Þar sem gashlutfallamælunum ber ágætlega saman við hitamæla sem byggja á styrk einnar gastegundar er ekki sennilegt að kenna meg þéttingu um þennan hækkaða gashita.

N G-105: Styrkur CO₂ í giliinu ofan B-9 var á bilinu 59–67 mmól/kg árin 1995 og 1996 en hefur lækkað nokkuð samfelld síðustu þrjú ár og mælist nú 10 mmól/kg, reyndar í öðru auga en undanfarin tvö ár. Sömu sögu er að segja af styrk H₂S og H₂ en styrkur beggja gastegunda var á bilinu tæplega 20 til um 25 mmól/kg árin 1995 og 1996 en styrkur H₂S mælist nú 8,2 mmól/kg og styrkur H₂ aðeins 1,7 mmól/kg. Styrkur annarra gastegunda breytist minna. Efnahitamælum ber ágætlega saman, bæði innbyrðis og milli ára, og reiknast efnahiti að meðaltali 232°C í sýni ársins 2014. Úr þessu auga var einnig tekið sýni til greininga á gassamsætum og er fjallað um það í 6. kafla.

N G-106: Styrkur CO₂ mælist 150 mmól/kg í flaginu við holu H-9 á Hverum og er það svolítið hærra en sýnið úr G-104 árið 2013 en aftur á móti nokkru lægra en niðurstöður Stefáns Arnórssonar og félaga frá 1995 og 1996. H₂S og H₂ hafa styrk rúmlega 100 mmól/kg og er fyrra gildið nokkru hærra en áður. Styrkur H₂ er mjög sambærilegur við niðurstöður Stefáns og félaga en var heldur lægri árið 2013. Hér reiknast efnahiti álíka hár og í giliinu í Námafjalli; 324°C að meðaltali, að H₂-hitanum slepptum. Öðrum hitamælum ber ágætlega saman.

N G-107: Gasstyrkur í auga G-107 á hrygg Námafjalls er ekki ósvipaður styrk í eldri sýnum úr auga G-101, að því undanskildu að sýnið 2014 var ekki loftmengað. Styrkur CO₂ mælist um 69 mmól/kg og styrkur H₂S litlu lægri; 63 mmól/kg. Efnahiti reiknast að meðaltali 304°C þar sem H₂-hitanum er enn sleppt. Efnahitamælarnir sem byggjast á styrk CO₂ og H₂S eru allstöðugir milli ára, hvor um sig, en ber frekar illa saman (tafla 6).

3.2.3 Samantekt

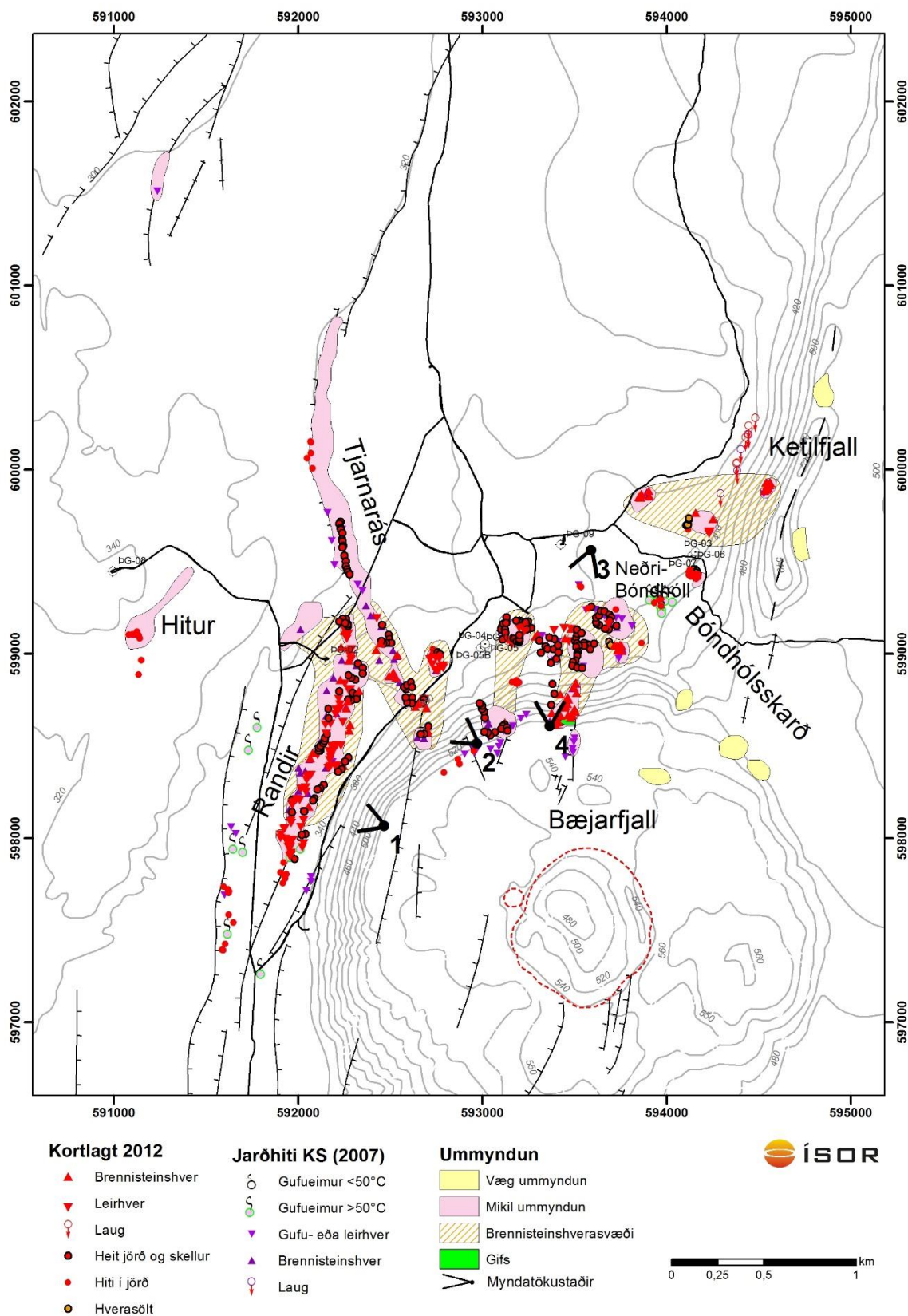
Styrkur vetnis hækkar talsvert milli ára, og reyndar gasstyrkur almennt, bæði í og upp af nyrðra gílinu í austurhlíð Námafjalls og á Hverum. Minni breytingar er að sjá á hrygg Námafjalls og í Bjarnarflagi þótt skipt hafi verið um sýnatökustaði á milli ára. Efnahitamælar gefa djúphitastig um 230°C fyrir G-105 ofan við stöðvarhúsið í Bjarnarflagi, 304°C fyrir G-107 á hrygg Námafjalls og rúmar 330°C bæði fyrir G-102 í gílinu í Námafjalli og G-106 á Hverum. Mólhlutfallið CO₂/H₂S er í öllum tilfellum á bilinu 1,1–1,5. Styrkur Cl er á bilinu 0,1–0,3 mg/kg en styrkur B lægri; hér um bil 0,06–0,11 mg/kg. Lægstu gildin eru í Bjarnarflagi.

4 Þeistareykir

4.1 Yfirborðsvirkni á Þeistareykjum

Fyrir rúmum 30 árum var gerð úttekt á yfirborðsvirkninni á Þeistareykjum og birtust niðurstöðurnar í skýrslu Orkustofnunar frá 1984 (Gestur Gíslason o.fl., 1984). Þá vann Kristján Sæmundsson jarðfræðifyfirlit árið 2007 þar sem jarðhitakort af svæðinu var uppfært frá 1984 (Kristján Sæmundsson, 2007) og er kort Kristjáns notað sem grunnur í þessari skýrslu. Árið 2012 var gerð úttekt á yfirborðsvirkninni og teknar hitamyndir og ljósmyndir. Einnig voru tekin sýni úr gufuaugum og gerðar gasflæðimælingar (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a).

Á Þeistareykjum var farið yfir hluta svæðisins daganna 9. og 13. ágúst, 2014 þar sem jarðhitavirkni á yfirborði hefur áður verið getið, jarðhitanum lýst og hann flokkaður með sama hætti og á korti Kristjáns Sæmundsonar (2007). Jarðhitasvæðinu á Þeistareykjum er skipt upp í eftirfarandi undirsvæði: Hitur, Randir, Tjarnarás, Bæjarfjall og Ketilfjall (sjá mynd 84).



Mynd 84. Jarðhitakort af Peistareykjum frá 2007 með kortlagningu 2012 til samanburðar. Ekkert nýtt var að sjá í ár svo kortið er óbreytt frá 2012.

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 84). Hiti var ekki mældur í syðsta gufuuppstreyminu en gufustreymið var áþekkt því sem var 2012 og 2013. 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 82°C í ár (2014) en var á sama stað 75°C í fyrra. Gufustreymi var meira áberandi í ár heldur en undanfarin tvö ár (mynd 85) sem gæti stafað af veðurfari en hitinn var í það minnsta nokkuð hærri. 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 85. Gufustreymið í hrauninu sunnan við holu ÞG-8. Hiti á þessu stað mældist 82°C en var 75°C í fyrra.

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 4.1.1 er á misgengi með falli til austurs og myndast smá sigdæld þarna á milli misgengjanna

sem þrengist til suðurs (mynd 84). 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 línunum með 30–50 m bili. Inni á milli er köld leirumyndun en á línunum er nánast samfelld virkni sem þó myndar hveraþyrpingar með meiri virkni (myndir 86 og 87). Hitinn í virkum leir- og brennisteinshverum er yfir 95°C í flestum tilfellum. Gufu- augu voru ekki aflmikil 2014 frekar en 2013 og leirhverir voru vatnsmeiri en 2012 en þá var mjög þurrt og hverirnir vatnslitlir. Frá gufunni er brennisteinslykt en í leirhverunum bullar mismikið. Þeir sem eru í blautari kantinum eru yfirleitt bullandi eða sletta leir. Miðað við kort Kristjáns Sæmundssonar (2007) nær hitinn núna um 100 m lengra til suðurs frá ummyndunar- svæðinu en hitinn var hæstur 97°C. Á korti Kristjáns (mynd 84) eru hins vegar sýndir gufu- eða leirhverir austan við þennan stað (við veginn) sem og gufueimur rétt við gatnamótin. Árið 2012 sást ekki nein gufuvirkni þarna en 2014 og 2013 gufaði lítið eitt frá þessum stað og mældist hiti frá 22–60°C. Á hitamynd 1 á mynd 88 kemur þessi staður vel fram í ár og það glittir í hann á hitamyndunum frá því í fyrra (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013b).

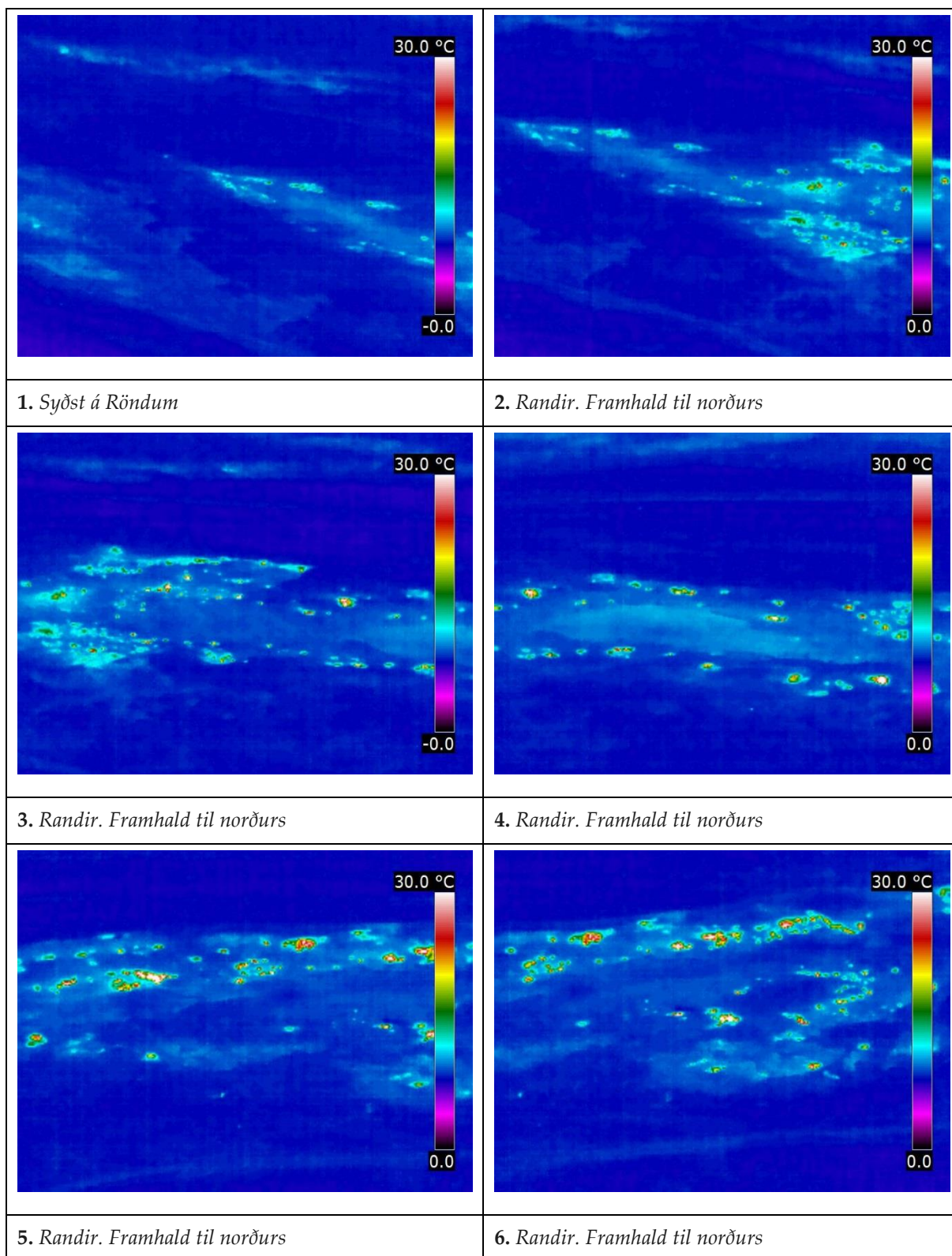


Mynd 86. Við sýnatökustað Þ G-105. Brennisteinn og gufa í kantinum á misgenginu en leirhverir á sléttunni. Virkni á Röndum 2014 var almennt svipuð og 2013.

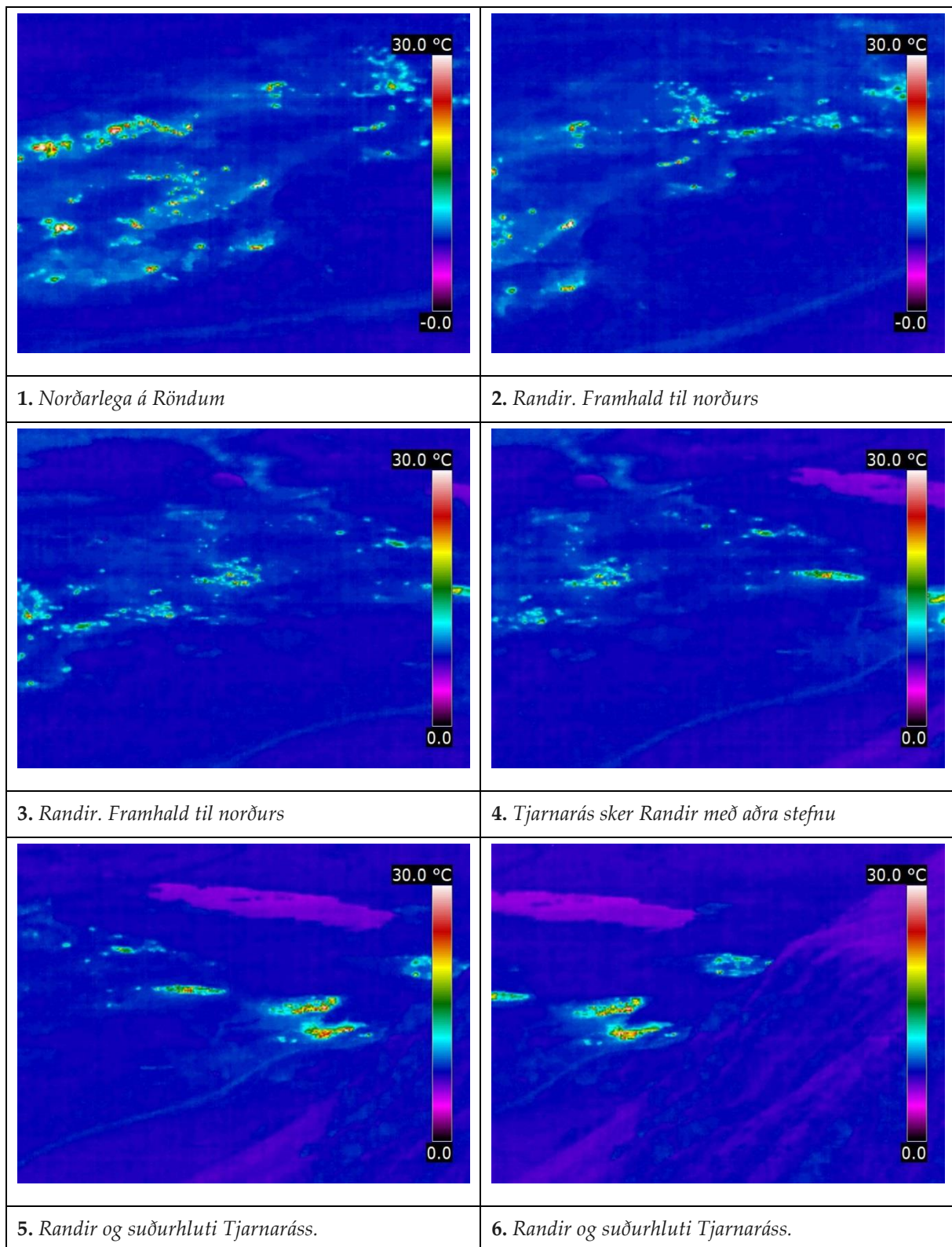


Mynd 87. Randir, horft til suðurs. Víða má sjá gufustreymi frá gufuaugum sem eru aðallega í misgengisbrotinu.

Hitamyndir af jarðhitnum á Röndum eru sýndar á myndum 88 og 89. Þær eru teknar ofan af Bæjarfjalli (mynd 84, myndatökustaður 1). Jarðhitastaðirnir sem og volg jörð koma vel fram á myndunum. Brennisteinspúfur, 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 vætutíðar koma aðeins heitustu staðirnir skýrt fram.



Mynd 88. Hitamyndir teknar ofan af Bæjarfjalli vestanverðu (myndatökustaður 1 á mynd 84). Jarðhitastaðirnir og volg jörð koma vel fram á myndunum. Vegna vætutíðar koma staðirnir ekki eins skýrt fram og í fyrra.



Mynd 89. Framhald hitamynda (mynd 88). Jarðhitinn á Röndum er tengdur tveimur misgengjum með NNA-læga stefnu (hitamyndir 1-3). Syðri hluti Tjarnaráss sker virknina á Röndum með NNV-stefnu (hitamyndir 3-6).

4.1.3 Tjarnarás

Jarðhitinn í Tjarnarási kemur í beinu framhaldi norður af Röndum en þó með annarri stefnu syðst (mynd 84). Tjarnarás liggur í sveigðu misgengi þar sem suðurendinn stefnir frá Bæjarfjalli til NNV en sveigir síðan til norðurs og loks til norð-norðausturs. Fall misgengisins er til vesturs. Jarðhitinn á þessu misgengi er mestur næst Bæjarfjalli og nær þar upp í miðjar hlíðar fjallsins. Ummyndun á Tjarnarási er mikil og teygir sig um tvo km norður fyrir Bæjarfjall. Ummyndunin einkennist af ljósum og rauðum leir meðfram misgengisbrúninni. Yfirlitsmynd (mynd 90) af Tjarnarási er tekin ofan af Bæjarfjalli en hitamyndir af Tjarnarási eru sýndar á mynd 93.



Mynd 90. Horft yfir norðurhluta Randa og Tjarnarás í framhaldinu til norðurs. Glöggst má sjá muninn á stefnu Randa og Tjarnarás. Virknin á Tjarnarási teygir sig að Bæjarfjalli í suðri.

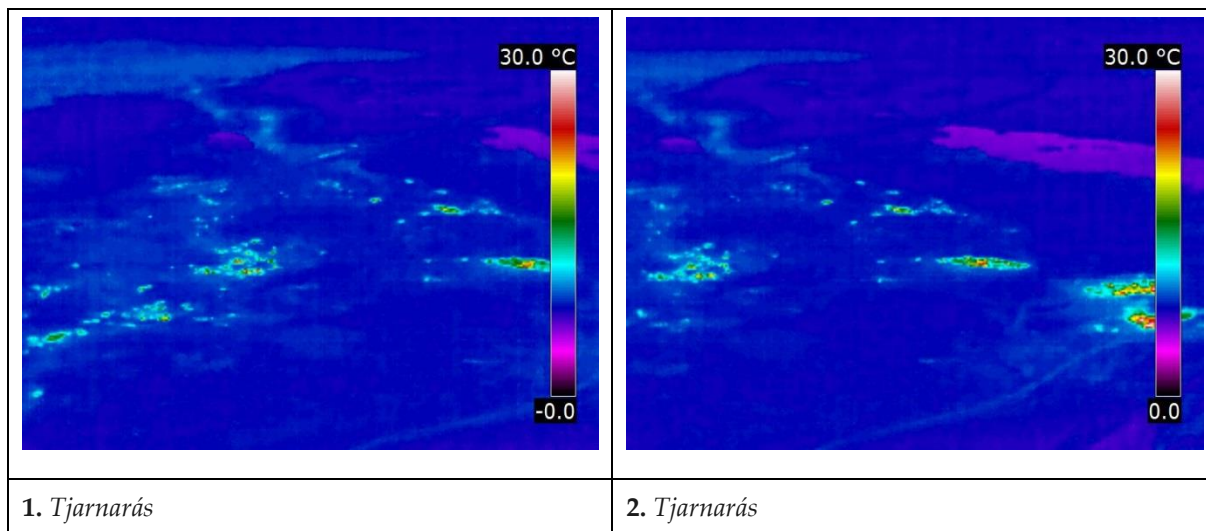
Skipta má Tjarnarási upp í þrjá hluta. Suðurhlutinn er með NNV-læga stefnu og mikinn jarðhita syðst við Bæjarfjallið og upp í hlíðar þess en þar sem koma fram stöku svæði með töluverðri virkni í leir- og brennisteinshverum sem mælast með yfir 90°C hita. Um miðbik svæðisins raðast stöku gufu- og leirhverir 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 er gufuvirkni á 10 m² stórri skellu og jarðvegshiti er frá 50 upp í 97°C. Þar fyrir norðan byrjar misgengið að sveigja til NNA (vottar fyrir brennisteinslykt).



Mynd 91. *Sýnataka úr Þ G-103 en virkni þar var svipuð og í fyrra. Hiti við sýnatökustað var 98°C. Skellan er öll heit með brennisteinsútfellingum við gufustreymi, myndlausum kísli og hverasöltum.*



Mynd 92. *Við hliðina á sýnatökustað Þ G-103 er önnur heit skella sem skiptist í tvennt, þ.e. annars vegar brennisteinsskellu með hvissandi gufuaugum í kantinum og hins vegar bullandi leirhverfi og hvissandi gufuopi á sléttunni. Meiri gufustreymi var í ár frá þessum stað en síðustu ár.*



Mynd 93. Hitamyndir. Myndatökustaður 2 á mynd 84. Myndirnar sýna hvar misgengið á Röndum gengur inn í Tjarnarássmisgengið. Virkni á Tjarnarási er mest næst Bæjarfjalli.

4.1.4 Bæjarfjall

Jarðhitnum 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 84). Misgengin eru þó fleiri innan sigdældarinnar. Jarðhitinn kemur aðallega fram á tveimur línunum sem liggja eins og misgengin (myndir 94, 95 og 96).



Mynd 94. Norðurhlíð Bæjarfjalls austanverð. Jarðhitinn er að mestu bundinn við ljósu skellurnar á myndinni. Neðri-Bóndhóll og jarðhitinn neðan við hann er vinstra megin á myndinni.



Mynd 95. Miðhluti norðurhlíðar Bæjarfjalls. Jarðhitinn er að mestu bundinn við ljósu skellurnar á myndinni.



Mynd 96. Vestanverð norðurhlíð Bæjarfjalls. Jarðhitinn er að mestu bundinn við ljósu skellurnar á myndinni. Sæluhúsið er fyrir miðju.

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

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 samfelld svæði með heitri jörð og skellum (myndir 97 og 98). Virkninni á eystri línunni má svo skipta upp í þrjú til fjögur svæði. Það efsta er ofarlega í norðurhlíðum fjallsins þar sem brennisteinshverir eru ráðandi en þar eru einnig umtalsverðar gifsútfellingar. Kristján Sæmundsson (2007) sýnir gufu/leirveri uppi á brún Bæjarfjalls syðst á þessu svæði. Engin gufuvirkni var frá þeim sumarið 2012 en sumurin 2013 og 2014 var gufa á 50 m línu með misgenginu og hiti allt að 80°C . Neðan við þetta er svo allstórt svæði sem nær upp í hlíðar fjallsins en einnig út á sléttuna. Þetta er stór leir skella með mikið af gufu- og leirhverum. Virkni næst fjallinu var þó nokkur en þar er vatn mest áberandi í hverum sem eru bullandi, eða skvettandi leirskellur. Hiti var almennt yfir 90°C í virkum gufu- og leirhverum en hærri í brennisteinshverum, yfir 95°C . Á þessu svæði er meginvirknin við fjallið. Bergið er sundursoðið í leir, mest ljóslitaður leir en einnig rauður, og myndast hverasölt kringum gufuop.



Mynd 97. Jarðhitinn á sléttunni neðan við Bæjarfjall norðanvert. Neðri-Bóndhóll á miðri mynd. Jarðhitinn er bundinn við ljósu skellurnar.

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 hliðar hólans aðallega norðanmegin ($>95^{\circ}\text{C}$). Hins vegar er slétta norðvestan við hólinn þar sem er töluverð gufu- og leirhveravirkni á allstóru svæði (125–140 m á kant) (sjá mynd 97). Gufur og leirslettur úr hverum voru töluverðar en ekki var hægt að ganga um allt svæðið vegna heits leirs (mjúkur og ótryggur til göngu).

Á milli vestari og eystri jarðhitalínanna í Bæjarfjallinu er svæði (100x60 m) niðri á sléttunni sem tengir þessi svæði saman í nánast einn samfelldan gufu- og leirhveraflekk með A-V læga stefnu (myndir 97 og 98). 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 hliðarfætinum) og suðurenda Tjarnaráss gæti bent til þess að jarðhitavirknin þarna tengist hliðrun með A-V stefnu. Þessi hliðrun tengist aðalsiginu á sprungusveimnum sem myndar belti með stefnu frá Þeistareykjum yfir Stórahver að ummyndarskellum við Mælifell (Kristján Sæmundsson, 2007). Engar sprungur hafa þó sést á yfirborði með þessa stefnu á svæðinu við fjallið.

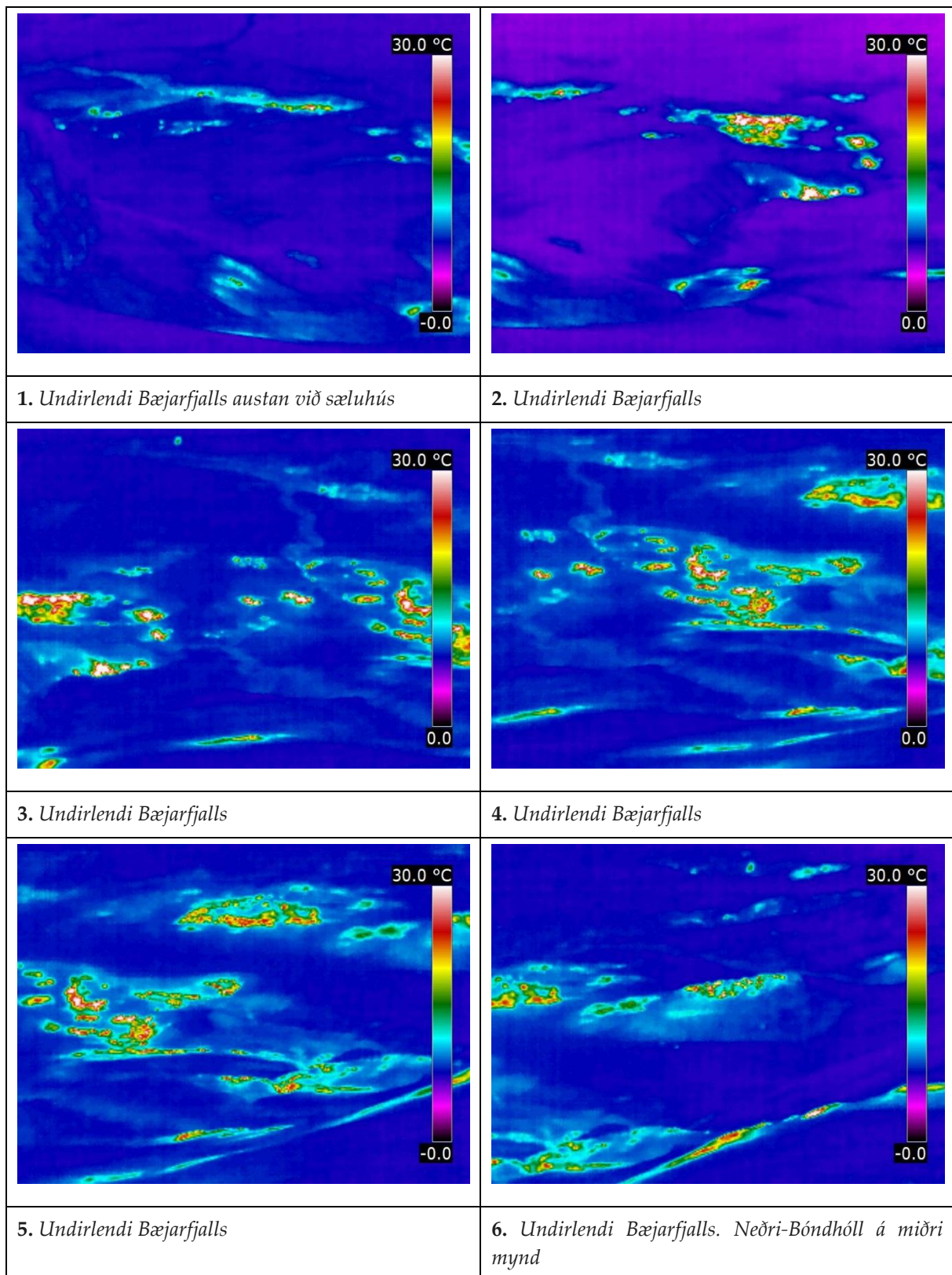


Mynd 98. Framhald til vesturs af mynd 97. Fyrir miðju fjalli er mesta jarðhitavirknin.

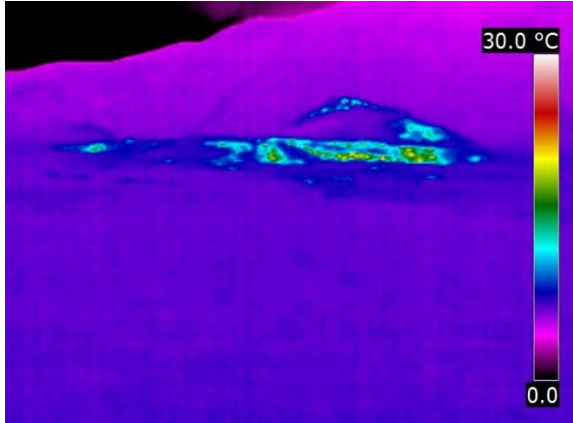
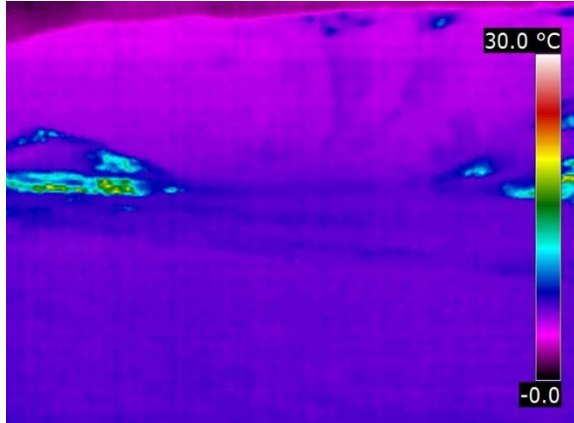
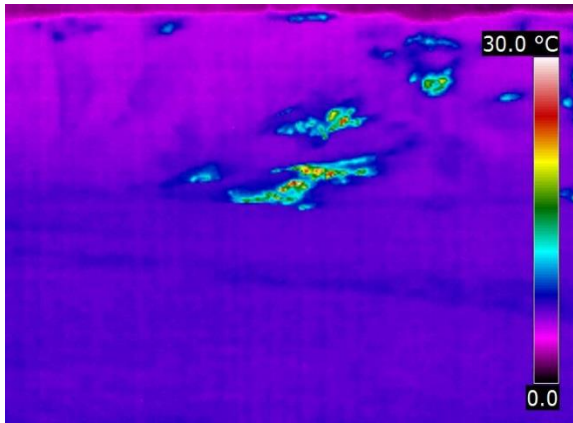
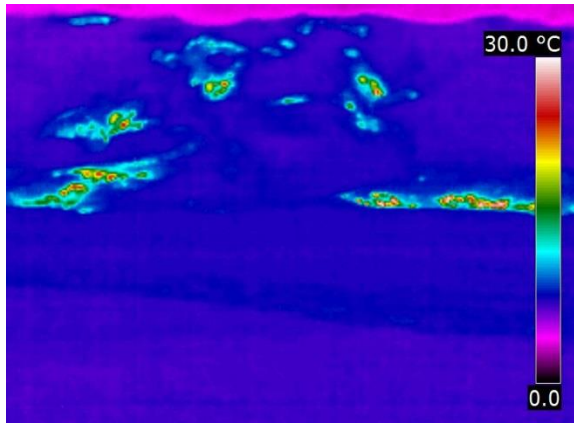
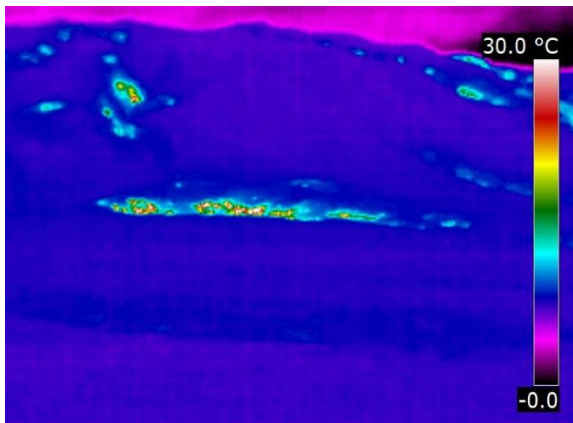
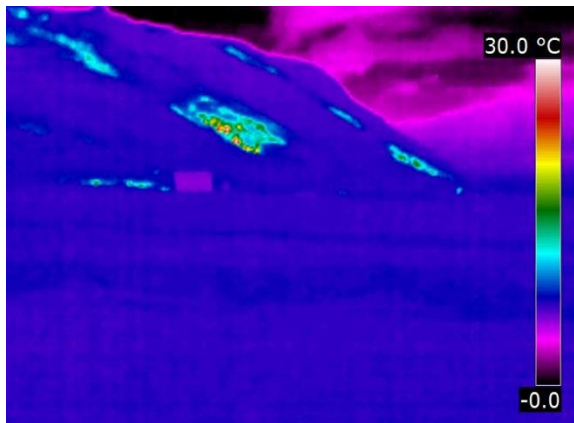


Mynd 99. Jarðhitavirknin neðan við sæluhús. Þarna er þó nokkurt gufustreymi, heitar leirskellur og eru leirhóerir ráðandi á þessu svæði. Sýnataka er í undirbúningi. Staður Þ G-101.

Á milli Bæjarfjalls og Ketilfjalls er jarðhiti neðst í brekkunni neðan við Bóndhólsskarð (mynd 84). Þarna kemur upp nokkur gufa úr hrauni og í jarðvegi er hitinn á gufunni allt að 70°C. Svæðið er að mestu gróið (gras og mosi). Stærð þess er um 50x30 m. Svæðið kemur fram á hitamyndum (hitamynd 6 á mynd 100; ljósari blettur hægra megin og ofan við Neðri-Bóndhól).



Mynd 100. Jarðhitinn við norðanvert Bæjarfjall. Hitamyndir teknar ofan af fjallinu á myndatökustað 4 (sjá mynd 84).

	
1. Norðurhlíð Bæjarfjalls. Neðri-Bóndhóll á miðri mynd	2. Norðurhlíð Bæjarfjalls
	
3. Norðurhlíð Bæjarfjalls	4. Norðurhlíð Bæjarfjalls
	
5. Norðurhlíð Bæjarfjalls. Hestar fremst á mynd	6. Norðurhlíð Bæjarfjalls. Sæluhúsið fyrir neðan stóru jarðhitaskelluna

Mynd 101. Hitamyndir af norðurhlíð Bæjarfjalls. Myndatökustaður 3 á mynd 84. 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 84). Laugarnar koma fram á um 500 m langri línu með NNA-læga stefnu. Hitinn í laugunum var frá 12–37°C, lítið eitt hærra en 2013 en rennsli mjög lítið (áætlað um 1 L/s samtals frá 6 laugum). Í laugunum kringum frárennslið var grænt slý (stundum brúnt með). 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) eru 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 brennisteinspúfur á 30x10 m stóru svæði. Nokkurt gufustreymi er á þessum stað, bæði frá gufuaugum og brennisteinspúfum, og er hiti >95°C.



Mynd 102. Jarðhitaskálinn í miðjum hlíðum Ketilfjalls. Virkni svipuð og í fyrra. Kröftugasta gufustreymið er norðarlega í skálinni (sýnatökustaður Þ G-102).

Jarðhiti er norðan og sunnan við borteig holna ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7. Nyrðra svæðið er mun stærra með brennisteinspúfum og gufu- og leirhverum með þó nokkru vatni (mynd 103). Virkni er töluverð í gufu- og leirhverunum, bullar mikið og hvín í gufuopum.



Mynd 103. Jarðhitinn norðan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7. Þó nokkur virkni er á svæði sem er 15x5 m, með gufuaugum, leirhverum og stöku brennisteinsummyndun kringum gufuopin.

Vestar á sléttunni við jaðar ummyndaða svæðisins er svæði með stökum jarðhitaskellum (hrúgöldum; hiti $> 90^{\circ}\text{C}$) þar sem brennisteinsþúfur eru eingöngu en lítill sem enginn hiti á milli þeirra. Er þetta í samræmi við kort Kristjáns Sæmundssonar frá 2007 (mynd 84).

Sunnan borteigs holna ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7 er nokkuð áberandi jarðhiti, þarna er heit jörð með gufuaugum (lítill virkni) og leirummyndun. Hiti í miðju flekks er $95\text{--}97^{\circ}\text{C}$ en þessum háa hita fylgja útfellingar (hverasölt). Í jöðrunum er gufustreymi lítið en mest gufustreymi sést þar sem hiti er um 70°C . Það vottar fyrir brennisteinslykt af gufunni. Virknin í þessum flekk er svipuð 2013 og 2012 en víða má sjá sölnaðan gróður (mynd 104).



Mynd 104. Svæðið sunnan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7. Lítið gufustreymi, mest í jöðrunum þar sem hiti er um 70°C. Það vottar fyrir brennisteinslykt af gufu. Hiti í miðju flekks er 95–97°C en 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 áþekkt því sem áður hefur verið lýst (Kristján Sæmundsson, 2007). Þetta á einnig við um athuganir sumarsins 2014. Almenn virtist meiri gufuvirkni núna í sumar (2014) en 2013 en það gæti stafað af logni meðan athuganir fóru fram. Helstu ásýndarbreytingar frá 2012 lágu í meira vatni í hverum (leirhverum) og gufu í misgengjum sem liggja upp á Bæjarfjall. Þar sást engin gufa 2012 en var nokkur sumarið 2014. Þessar breytingar stafa vafalaust af meiri rigningu og kaldara veðurfari í sumar en 2012 sem var frekar þurrt og heitt.

4.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum á Þeistareykjum

4.2.1 Sýnatökustaðir

Fjórum sýnum af gufu og þéttivatni var safnað á Þeistareykjum þann 9. ágúst 2014. Veður var ágætt til sýnatöku um morguninn, bjart og fagurt. Um hádegisbil þykknaði upp og hvessti nokkuð.

Sýnum var safnað úr fjórum gufuaugum af þeim sex sem safnað var úr sumurin 2012 og 2013. Yfirlit um sýnatökustaði er sýnt í töflu 7 og staðsetning þeirra er sýnd á mynd 105 ásamt öðrum gufuaugum sem sýni hafa verið tekin úr á Þeistareykjum (Gestur Gíslason o.fl., 1984; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a; 2013b). Sýnatöku- og efnagreiningaraðferðum er lýst í viðauka 1. 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. Sýnum til greininga á stöðugum gassamsætum var safnað

samhliða fyrstu þremur efnasýnunum, þ.e. úr G-101, G-102 og G-103. Frá niðurstöðum þeirra greininga er sagt í 6. kafla.

Tafla 7. *Sýnatökustaðir á Þeistareykjum sumarið 2014.*

Nafn auga*	Staðarnúmer	Eldri sýni**	x-hnit	y-hnit	Hæð (m y.s.)	Lýsing
G-101	H 10182	G-1	593218	599177	357	Í gili við sæluhús
G-102	H 10183	G-3	594555	599915	465	Í skál í Ketilfjalli
G-103	H 10184	G-6	592595	598816	343	Syðst í Tjarnarási
G-105	H 10186	G-17	592158	598659	340	Á Röndum vestan Bæjarfjalls

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

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

Þ G-101: Sæmilega öflugt gufuauga í grunnu gili sunnan við sæluhús á slóðum gamla G-1. G-101 er staðsett aðeins austar en G-1, í leirhólum í lækjarfarveginum (sjá myndir 105 og 106). Á þessum slóðum eru allmörg augu sem gætu dugað til sýnatöku. Svæðið var allt heldur blautara nú en sumarið 2013 og sauð og gufaði víða upp úr gili.

Þ G-102: Mjög öflugt auga í skál í Ketilfjalli á slóðum gamla G-3. G-102 er þó staðsett norðarlega í skálinni en G-3 var í henni sunnanverðri. G-102 var annað tveggja augna í skálinni þar sem gufustreymi var vel afmarkað (sjá myndir 105 og 107). Það var áberandi við sýnasöfnunina að gufan virtist mjög gasrík og safnaðist því lítill vökvi í flöskurnar. Sennilegt er að gufan hafi þétt að einhverju leyti á leið til yfirborðs.

Þ G-103: Sæmilega öflugt auga nærri gamla G-6, sunnarlega í frekar afmörkuðu leirflagi syðst á Tjarnarási, skammt norðan vegarins á móts við norðvesturhorn Bæjarfjalls (sjá myndir 105 og 108). Sumarið 2013 voru fleiri álitleg augu í þessu flagi en þegar komið var að flaginu í ágúst 2014 var svæðið talsvert blautara að sjá en ári áður og mörg gufuaugu því undir vatni. Nokkuð dró úr rennsli úr G-103 þegar sýnatökutrekkin var lögð yfir það en svo jafnaði það sig og eftir það gekk sýnataka ágætlega.

Þ G-105: Öflugt auga í leirflagi í vesturjaðri Randa, ummyndunarrandarinnar sem liggur vestan við Bæjarfjallið. Þetta auga er á sömu slóðum og G-17. Leirflagið er við sjóðandi leirpytt utan í leirflaginu, sem liggur lægra en svæðið í kring, og hefur gufuvirknin étið sig nokkuð inn í brún sléttunnar. Leirpytturinn var þó heldur þurrari að sjá nú en sumarið 2013 (sjá myndir 105 og 109). Víðar í flaginu eru kraftminni og kaldari leirpyttir af sama tagi, þó með gasbólustreymi. Athygli vakti að lúturinn í gasflöskunni var heiðguldur á lit eftir söfnun og sömuleiðis brá brennisteinsgulum lit á þéttivatnið meðan verið var að skola sýnatökubúnaðinn. Hin endanlegu þéttivatnssýni voru þó litlaus og tær.

4.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga

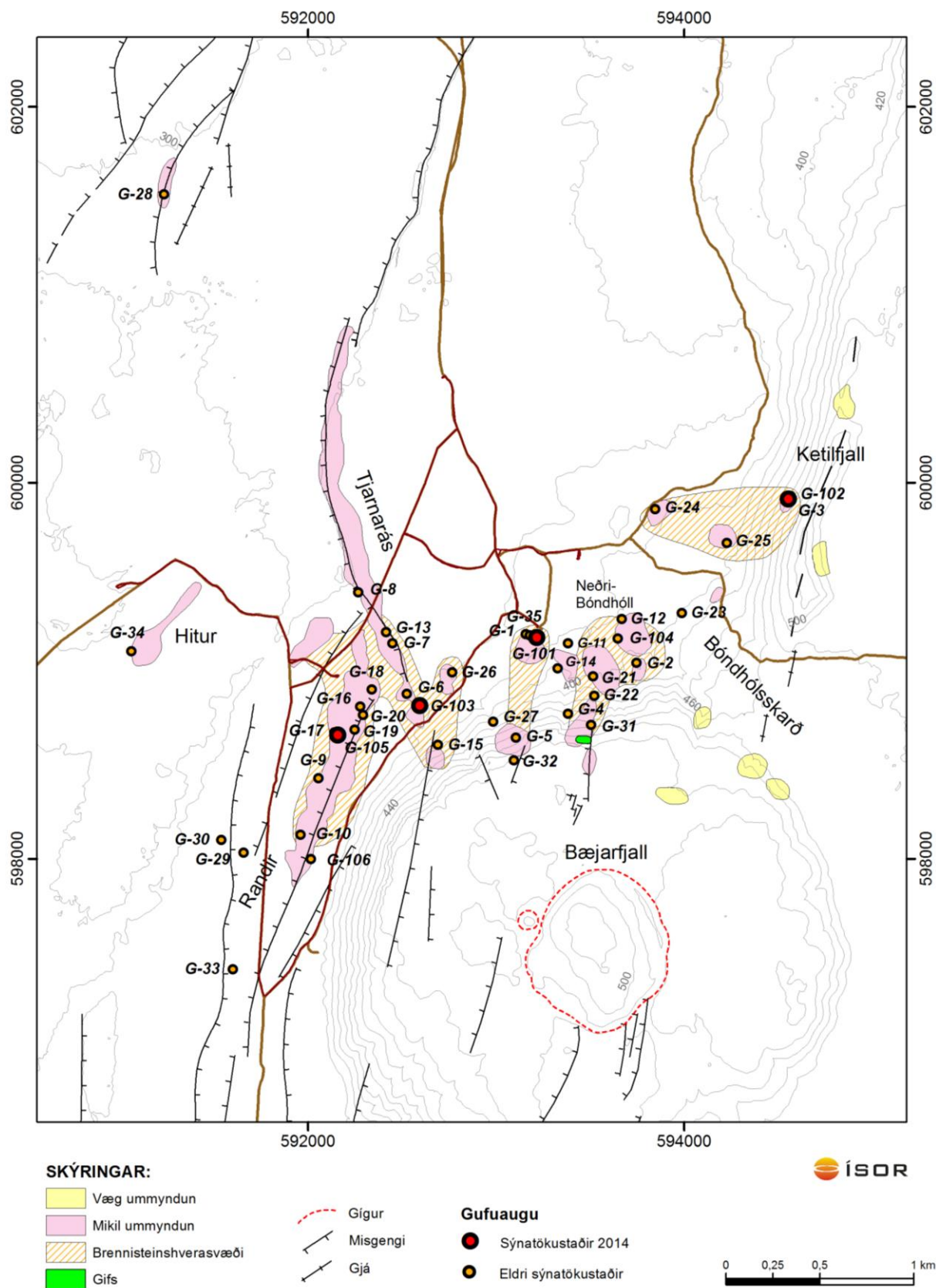
Niðurstöður efnagreininga sýna sem tekin voru á Þeistareykjum sumarið 2014 eru sýndar í töflu 8 og á mynd 110 má sjá styrk gastegunda í gufu frá Þeistareykjum með tíma. Einnig sjást þar hlutföll stöðugra samsætna súrefnis og vetnis. Efnagreiningar eldri sýna eru fengnar úr gagnagrunni ÍSOR og eru þær í töflum V-11 til V-16 í viðauka 2. Það er nokkuð misjafnt hve margar efnagreiningar eru til úr hverju auga. Til eru nokkur eldri sýni úr augum sem svara til G-101, G-102 og G-103 en bara fjögur úr augum tilsvarendi G-105. Argongreiningar eru fátíðar

frá fyrri tíð og tvívetnisgreiningar engar fyrr en árið 1993. Eins og áður segir er niðurstaðna samsætugreininga á sýnum frá 2014 enn beðið.

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-pýrrhótít-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.

Tafla 8. Efnasamsetning gufusýna frá Þeistareykjum sumarið 2014.

Sýni	20140265	20140266	20140267	20140268
Dagsetning	9.8.2014	9.8.2014	9.8.2014	9.8.2014
Staður	Þ G-102	Þ G-101	Þ G-103	Þ G-105
Svæði	Ketilfjall	Sæluhús	Tjarnarás	V-Randir
Hitastig ($^{\circ}\text{C}$)	99,2	99,4	99,8	99,4
Gasstyrkur í gufu (mmól/kg)				
CO_2	495	89,3	151	264
H_2S	131	26,7	44,6	53,1
H_2	236	30,0	18,5	12,7
CH_4	4,00	0,09	0,75	1,62
N_2	11,6	1,26	3,55	12,9
O_2	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Ar	0,17	0,03	0,07	0,26
Steinefni í þéttivatni (mg/kg)				
Cl	0,08	0,45	0,07	0,07
B	0,07	0,08	0,09	0,08



Mynd 105. Gufuaugu á Beistareykjum. Gufuaugu, sem safnað var úr sumarið 2014, eru sýnd með rauðum táknum.



Mynd 106. Undirbúningur sýnatöku úr auga Þ G-101 sunnan við sæluhúsið á Þeistareykjagrundum.



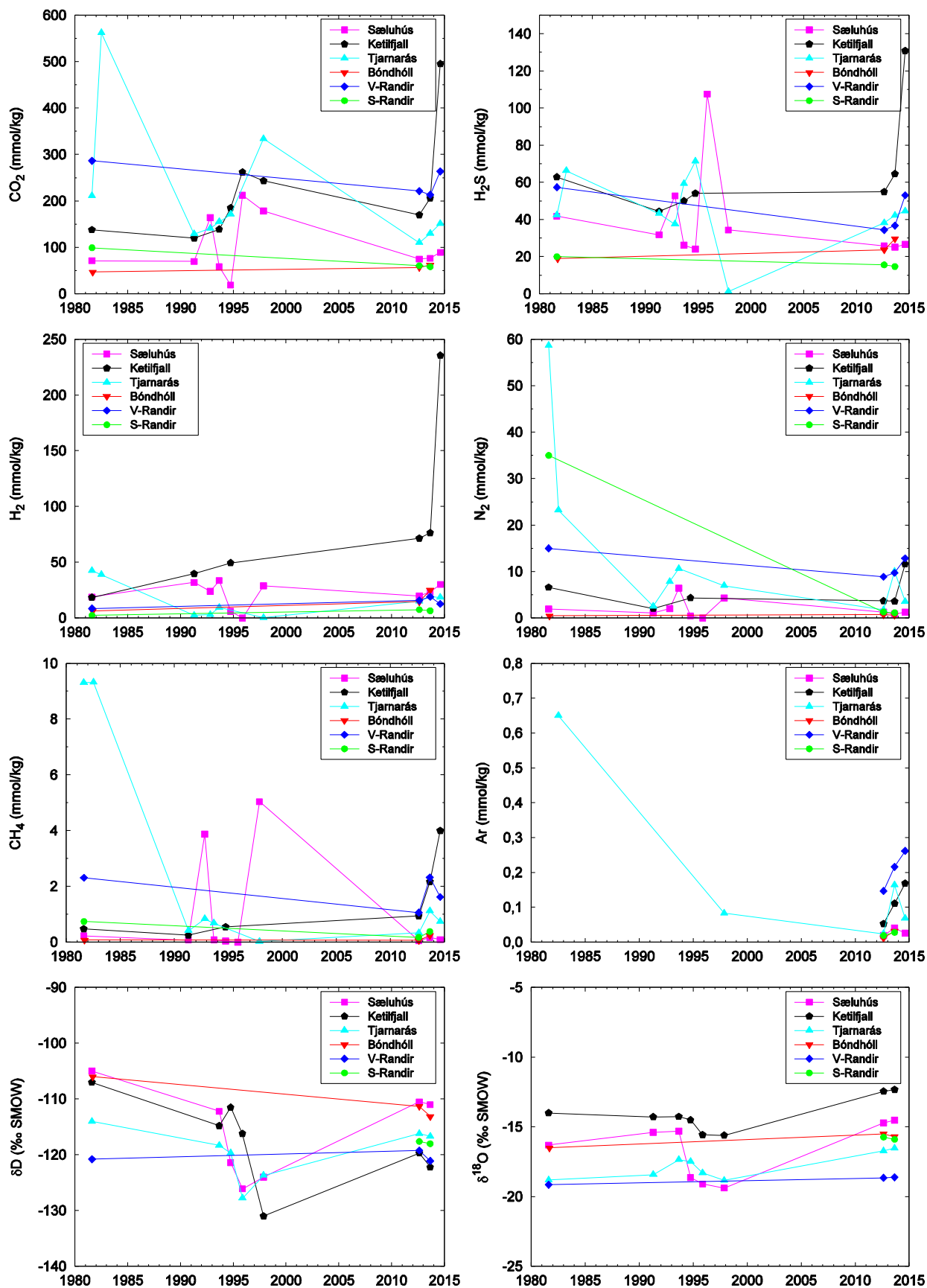
Mynd 107. Gufuaugað Þ G-102 í skál í hliðum Ketilfjalls.



Mynd 108. *Sýnataka úr gufuauga þ G-103 syðst í Tjarnarási nærri Bæjarfjalli.*



Mynd 109. *Undirbúningur sýnatöku úr gufuauga þ G-105 vestast á Röndum.*



Mynd 110. Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum á Þeistareykjum.

Tafla 9. Reiknaður efnahiti ($^{\circ}\text{C}$) gufusýna árunna 2012–2014 frá Þeistareykjum. Notast er við kvarðanir Stefáns Arnórssonar o.fl. (1998). Tölum í sviga er sleppt við útreikninga á meðaltali ($\bar{x}$) og staðalfrávik (σ).

Sýni	Auga	T _{CO2}	T _{H2S}	T _{H2}	T _{CO2/N2}	T _{H2S/Ar}	T _{H2/Ar}	$\bar{x}$	σ
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
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
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
20130252	G-104	275	285	335	318	299	300	302	22
20120185	G-104	271	278	311	305	321	310	299	20
20140268	G-105	(358)	306	305	254	257	245	273	30
20130255	G-105	(343)	293	322	256	252	256	276	31
20120186	G-105	(346)	291	314	261	261	261	278	24
20130256	G-106	272	261	280	288	283	276	277	9
20120187	G-106	274	263	285	285	296	287	282	11

Þ G-101: Talsverðar sveiflur hafa orðið í styrk gastegunda í gufu úr G-101 og forverum þess við lækinn neðan sæluhússins á Þeistareykjum frá því fyrstu sýnum var safnað þar haustið 1981, sérstaklega á árunum 1993–1997. Árin 2012–2014 má greina lítils háttar hækkun í styrk flestra gastegunda sem er þó á svipuðu róli og þegar fyrstu sýnum var safnað 1981. Styrkur CO₂ mælist nú um 90 mmól/kg meðan H₂S og H₂ eru um 30 mmól/kg. Ef H₂-gashitamælinum er sleppt reiknast meðalgashiti 297°C sem er ekki fjarri gildum síðustu ára. Efnahiti reiknaðist að meðaltali 271°C árið 1981 en um 280°C árin 1991–1997.

Þ G-102: Eins og nefnt var hér á undan vöknudu grunsemdir um það við sýnatöku að gufan úr G-102 hefði þést að nokkru leyti á leið sinni til yfirborðs enda safnaðist fremur lítið magn þéttivatns í sýnaflöskurnar. Þessa sér greinileg merki í gasniðurstöðunum en styrkur allra gastegunda hækkar mikið og er nú á bilinu 1,5 (Ar) til 3,2 (N₂) sinnum hærri en árið 2013. Hóflegri hækkun sást milli 2012 og 2013 en áberandi var að styrkur H₂ hafði farið stöðugt hækkandi síðan fyrstu sýnum var safnað árið 1981. En nú keyrir sem sagt um þverbak. Vegna þessarar þéttingar er torvelt að stóla á þá efnahitamæla sem nota gasstyrki og því verður að reiða sig á gashlutfallamælana. Þeir gefa að meðaltali 296°C sem er um 10°C lægra en árin 2012 og 2013. Gashiti reiknaðist um 270°C árið 1981 en að meðaltali um 290°C á árunum 1991–1997.

Þ G-103: Gasstyrkur mældist afar hár í elstu sýnum úr G-6 í Tjarnarási, sem er fyrirrennari G-103, og efnahiti þar reiknaðist um 310°C árið 1981. Þegar komið er fram yfir 1990 lækkar gasstyrkur verulega (t.d. lækkar CO₂ úr 560 í 129 mmól/kg og styrkur N₂ lækkar úr 23,2 í 2,5 mmól/kg milli 1982 og 1991). Gasstyrkur nú er svipaður og á árunum 1990–1995; styrkur CO₂ mælist um 150 mmól/kg og H₂S 45 mmól/kg. Meðalgashiti í sýninu reiknast 299°C sem er svipað og árið 2012.

Þ G-105: Styrkur flestra gastegunda hækkar lítið eitt milli ára í G-105 á vestanverðum Röndum, þó að H_2 og CH_4 undanskildum. Á svipuðum slóðum var áður augað G-17 og er til sýni úr því frá árinu 1981. Styrkur CO_2 og H_2S er svipaður árið 1981; styrkur CO_2 er nú um 264 mmól/kg en var þá 287 mmól/kg, og styrkur H_2S er nú 53 mmól/kg en var 57 mmól/kg árið 1981. Meðalgashiti reiknast 273°C ef CO_2 -hitamælinum er sleppt en hann gefur hita nærri 360°C. Þetta er svipaður meðalhiti og undanfarin tvö ár en nokkru lægra en meðalhiti sýnisins frá 1981.

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 í svipuðu ástandi nú og þá. Sýni ársins 2014 úr Ketilfjalli (G-102) virðist hafa þétt talsvert á leið til yfirborðs og er gasstyrkur nú 1,5–3,2 sinnum hærri en árið 2013.

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 270–280°C að meðaltali, samanborið við 300°C í Tjarnarási og neðan við Bóndhól og um 310°C í Ketilfjalli. Sýnið úr gílinu við sæluhúsið gefur gashita nærri 295°C. Þetta virðist lítið breytast milli síðustu ára en hjá Halldóri Ármannssyni (2004) kemur fram að Tjarnarás og Randasvæðið hafi kólnað talsvert (yfirborðshiti < 90°C) á árunum 1991 og 1995–1997. Mólhlutfallið CO_2/H_2S reiknast á bilinu 3,3–3,8 í öllum sýnum nema á Röndum þar sem hlutfallið er 5,0. Styrkur Cl í gufunni er á bilinu 0,07–0,45 mg/kg, hæst í G-101, en styrkur B er um eða undir 0,1 mg/kg. Ekki er til samfelld saga greininga á þessum efnum til samanburðar.

Eins og áður segir var sýnum til greininga á stöðugum gassamsætum safnað úr G-101, G-102 og G-103. Greint er frá niðurstöðum þar að lútandi í 6. kafla.

5 Vöktun grunnvatns í Mývatnssveit, á Þeistareykjum og í Kelduhverfi

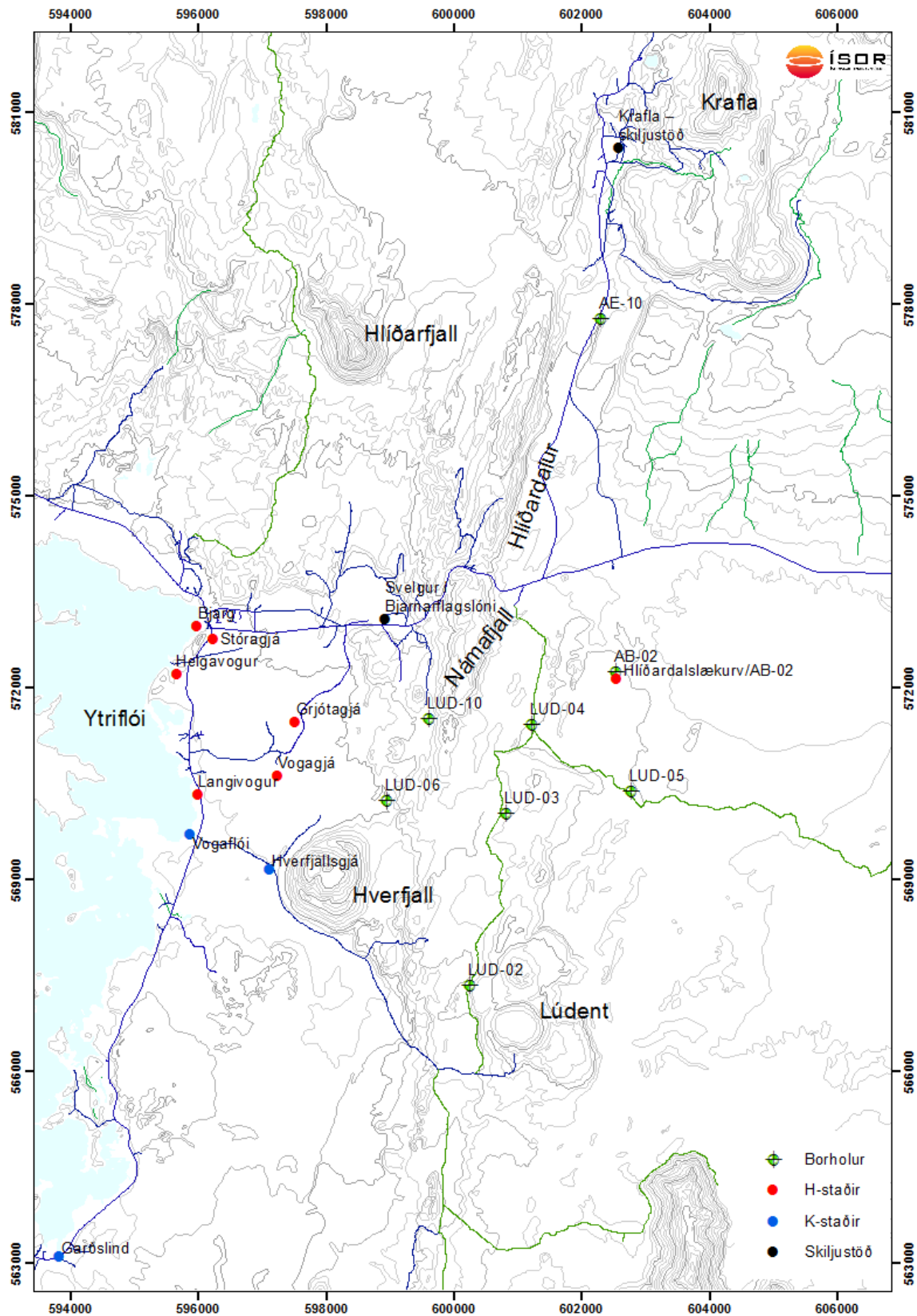
Í þessum kafla verður greint frá niðurstöðum þeirra efnagreininga sem gerðar voru á vatni í tengslum við vöktun grunnvatns í Mývatnssveit, á Þeistareykjum og í Kelduhverfi árið 2014. Niðurstöður verða bornar saman við niðurstöður fyrri ára og helstu breytingar raktar. ÍSOR annaðist sýnatöku og efnagreiningar aðalefna en snefilefni voru greind hjá ALS Laboratories í Luleå í Svíþjóð. Vegna bilana í massageini Raunvísindastofnunar Háskóla Íslands og anna starfsmanna við eldgos í Holuhrauni hefur ekki tekist að ljúka mælingum á samsætum vetnis og súrefnis en gerð verður grein fyrir þeim niðurstöðum síðar. Við sýnatöku haustið 2014 voru tekin aukasýni á mörgum sýnatökustöðum þar sem mældur var styrkur tví- og þrígilds járn í sýnunum. Þær greiningar voru gerðar hjá Jarðvísindastofnun Háskólans. Niðurstöður eru birtar en lítil umfjöllun að sinni, en í stuttu máli er járn á nánast öllu stöðum oxað og styrkur tvígilds járn hverfandi. Undantekning frá þessu eru vatn úr Bjarnarflagslóni, Hlíðardalslæk og frá skiljustöð Kröflustöðvar. Auk þessa voru á nánast öllum sýnatökustöðum tekin sýni fyrir Beccu Neely, við Jarðvísindastofnun Háskóla Íslands, til mælinga á mólýbdensamsætum.

5.1 Mývatnssveit

Umhverfisvöktun 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. Á grundvelli samkomulags við Umhverfisstofnun hefur grunnvatn í Mývatnssveit verið vaktað 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). Í efnagrunni ÍSOR eru varðveittar niðurstöður efnagreininga sem ná talsvert lengra aftur í tímann fyrir suma vöktunarstaðina. Á síðastliðnu ári varð sú breyting á vöktun grunnvatns á svæðinu að vöktunarstöðum var fjölgað úr 10 í 19 og sýnataka fer nú fram einu sinni á ári (Umhverfisstofnun, 2014). Starfsmaður ÍSOR annast sýnatöku og ÍSOR sér um efnagreiningar og úrvinnslu gagna.

Á árinu 2014 fór sýnataka fram í tveimur ferðum, annars vegar í fyrri hluta september og hins vegar í fyrri hluta nóvember, og alls voru tekin sýni á 20 stöðum, þ.e. þeim 19 vöktunarstöðum sem Umhverfisstofnun krefst, svo og holu AE-10 í Hlíðardalnum. Sýnataka fór fram samkvæmt verklagi ÍSOR (Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson, 2006b). Hiti vatnsins og styrkur brennisteinsvetnis var mældur við sýnatöku svo og rennsli úr þeim holum sem dælt var úr (tafla 11). Sýrustig, leiðni og styrkur karbónats var mældur á rannsóknarstofu ÍSOR innan tveggja sólarhringa, og önnur efni síðar. Nánari upplýsingar um efnagreiningaraðferðir eru gefnar í viðauka 1.

Yfirlit um sýnatökustaðina er sýnt í töflu 10 og þeir eru sýndir á korti á mynd 111.



Mynd 111. Sýnatökustaðir í Mývatnssveit 2014. Borholur eru sýndar grænar með krossi. Volgar lindir eru rauðar, kaldar lindir bláar og manngerðir staðir eru svartir.

Tafla 10. Vöktunarstaðir í Mývatnssveit 2014.

<i>Staður</i>	<i>Staðarnr.</i>	<i>Sýni nr.</i>	<i>Dags.</i>	<i>Hiti (°C)</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>
Krafla-skiljustöð	M-20008	20140312	12.9.2014 11:30	93,2	602585	580452
AE-10	B-57890	20140395	12.11.2014 11:00	40,6	602263	577758
Hlíðardalslækur v/AB-2	V-2356	20140293	9.9.2014 10:00	15,9	602549	572138
AB-2	B-57842	20140294	9.9.2014 11:00	3,3	602504	572234
LUD-4	B-58504	20140295	9.9.2014 14:30	5,4	601182	571414
LUD-3	B-58503	20140297	9.9.2014 19:20	4,5	600780	570018
LUD-2	B-58502	20140296	9.9.2014 17:20	5,6	600210	567326
LUD-5	B-58505	20140396	12.11.2014 13:30	4,3	602746	570365
LUD-6	B-58506	20140397	12.11.2014 17:30	33,0	598927	570225
LUD-10	B-58510	20140305	11.9.2014 10:40	25,3	595256	571507
Bjarnarflagslón	M-20004	20140298	9.9.2014 20:30	19,2	598920	573066
Bjarg	H-10080	20140300	10.9.2014 14:00	19	595981	572967
Helgavogur	H-10082	20140301	10.9.2014 15:30	23,3	595660	572213
Stóragjá	H-10083	20140310	12.9.2014 08:00	26,5	596231	572759
Grjótagjá	H-10085	20140306	11.9.2014 12:30	46,1	597515	571469
Vogagjá	H-10087	20140311	12.9.2014 09:30	40,0	597236	570623
Langivogur	H-10088	20140304	11.9.2014 09:30	21,5	595991	570334
Hverfellsgrjá	K-559	20140302	10.9.2014 17:30	6,5	597107	569164
Vogaflói	K-558	20140303	11.9.2014 08:30	5,0	595856	569697
Garðslind	K-556	20140299	9.9.2014 22:00	6,5	593816	563105

Djúpdælur eru nú í sjö vöktunarholum á Mývatnssvæðinu og í töflu 11 er sýnt yfirlit um þær og hve miklu var dælt úr hverri holu við sýnatöku haustið 2014.

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

<i>Hola</i>	<i>Staðarnr.</i>	<i>Sýni nr.</i>	<i>Dags.</i>	<i>Hiti (°C)</i>	<i>Magn (L)</i>
AB-2	B-57842	20140294	9.9.2014	3,3	1650
LUD-2	B-58502	20140296	9.9.2014	5,6	1950
LUD-3	B-58503	20140297	9.9.2014	4,5	1750
LUD-4	B-58504	20140295	9.9.2014	5,4	2450
LUD-5	B-58505	20140396	12.11.2014	4,3	5760
LUD-6	B-58506	20140397	12.11.2014	33,0	7668
LUD-10	B-58510	20140305	11.9.2014	25,3	~ 2000

Niðurstöður efnagreininga eru sýndar í töflu 12 og til glöggvunar eru niðurstöður mælinga á arseni bornar saman við fyrri niðurstöður á myndum 112–114 og fyrir ál á myndum 115–117. Myndirnar sýna tímabilið 1995–2014 en ekki eru til mælingar á þessum efnum sem ná svo langt aftur fyrir alla vöktunarstaðina. Á myndum V-1 til V-12 í viðauka 3 eru sýndar niðurstöður á mælingum hitastigs og allra tiltækra efna og samsæthlutfalls vetnis og súrefnis fyrir vöktunarstaði allt frá 1990 fram til 2014. Hafa ber í huga við skoðun myndanna í viðauka 3 að gögnin eru ekki yfirfarin með tilliti aðstæðna við sýnatöku eða greiningaraðferða, sem hafa breyst í gegnum tíðina. Þessi gögn eru fremur sýnd hér til þess að benda á að umsvifamikil

vöktun á efnasamsetningu grunnvatns, heits og kalds, hefur farið fram í Mývatnssveit um langa hrið.

Tafla 12. Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum haustið 2014. Styrkur efna í mg/L.

Staðarnafn	Skiljustöð	AE-10	Hlíðardalslækur v/AB-2	AB-2	LUD-4
Sýnanúmer	20140312	20140395	20140293	20140294	20140295
Staður	M-20008	B-57890	V-2356	B-57842	B-58504
Dagsetning	12.9.2014	12.11.2014	9.9.2014	9.9.2014	9.9.2014
Hitastig (°C)	93,2	40,6	15,9	3,3	5,4
Sýrustig (pH / °C)	9,85 / 22,0	8,23 / 21,2	8,16 / 22,6	8,00 / 23,2	8,10 / 22,0
Leiðni við 25°C (µS/cm)	1208	345	730	156	404
Karbónat (CO ₂)	29,8	81,9	96,8	49,1	66,9
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	22,4	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,88	0,18	0,31	0,06	0,18
Kísill (SiO ₂)	605	49,7	179	27,6	46,6
Natríum (Na)	250	42,0	91,3	11,2	53,6
Kalíum (K)	30,6	1,51	10,9	1,54	2,29
Magnesíum (Mg)	0,01	0,99	12,5	5,15	9,20
Kalsíum (Ca)	2,68	28,5	37,9	10,2	14,2
Flúoríð (F)	1,19	0,15	0,40	0,20	0,27
Klóríð (Cl)	81,3	4,09	26,0	4,36	12,3
Súlfat (SO ₄)	232	66,8	199	13,8	96,2
Ál (Al)	1,40	0,00912	0,321	0,00458	0,223
Arsen (As)	0,00680	<0,00005	0,00905	0,000537	0,00436
Baríum (Ba)	0,00272	0,00106	0,00203	0,000296	0,000542
Kadmíum (Cd)	<0,000002	0,000003	0,000011	<0,000002	0,000003
Kóbalt (Co)	<0,000005	0,000056	0,000177	<0,000005	0,000010
Króm (Cr)	0,000106	0,00323	0,000906	0,000442	0,000406
Kopar (Cu)	0,000103	0,000331	0,000682	0,000594	0,00119
Járn (Fe)	0,00558	0,0487	0,0493	0,00483	0,0293
Kvikasilfur (Hg)	0,000014	<0,000002	0,000005	<0,000002	<0,000002
Mangan (Mn)	0,000998	0,00968	0,0717	0,00168	0,00145
Mólybden (Mo)	0,00140	0,000954	0,00481	0,000331	0,00152
Nikkel (Ni)	0,000286	0,00359	0,00185	0,000190	0,000172
Blý (Pb)	0,000025	0,000015	0,000024	<0,00001	0,000011
Strontíum (Sr)	0,0217	0,0521	0,0461	0,0118	0,0186
Sink (Zn)	0,00111	0,00200	0,00258	0,00272	0,00105
Uppleyst steinefni (UE)	1344	267	641	111	289
Tvígilt járn (Fe ²⁺)	0,0018	-	0,0215	<0,001	<0,001
Þrígilt járn (Fe ³⁺)	0,0140	-	0,0321	0,0627	0,0404

Tafla 13. (Frh.) Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum haustið 2014. Styrkur efna í mg/L.

Staðarnafn	LUD-3	LUD-2	LUD-5	LUD-6	LUD-10
Sýnanúmer	20140297	20140296	20140396	20140397	20140305
Staður	B-58503	B-58502	B-58505	B-58506	B-58510
Dagsetning	9.9.2014	9.9.2014	12.11.2014	12.11.2014	11.9.2014
Hitastig (°C)	4,5	5,6	4,3	33,0	25,3
Sýrustig (pH / °C)	8,45 / 21,6	8,44 / 21,2	8,48 / 21,6	8,33 / 21,9	8,24 / 21,3
Leiðni við 25°C (µS/cm)	192	216	172	384	313
Karbonsat (CO ₂)	62,5	72,0	56,3	106	94,9
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,07	0,08	0,17	0,20	0,07
Kísill (SiO ₂)	22,3	23,4	21,3	62,7	28,7
Natríum (Na)	15,3	18,6	13,6	51,7	37,3
Kalíum (K)	1,79	1,97	1,82	5,51	3,74
Magnesíum (Mg)	7,07	7,60	6,55	7,11	8,57
Kalsíum (Ca)	11,1	12,3	9,92	17,2	14,6
Flúoríð (F)	0,17	0,16	0,18	0,28	0,34
Klóríð (Cl)	5,29	5,74	4,88	5,67	4,54
Súlfat (SO ₄)	15,3	16,1	10,6	57,0	40,5
Ál (Al)	0,0104	0,0110	0,00490	0,00725	0,00609
Arsen (As)	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Baríum (Ba)	0,000277	0,000285	0,000194	0,00321	0,00492
Kadmíum (Cd)	<0,000002	<0,000002	0,000002	<0,000002	0,000003
Kóbalt (Co)	0,000006	<0,000005	<0,000005	0,000012	0,000067
Króm (Cr)	0,000903	0,00117	0,000926	0,000567	0,000092
Kopar (Cu)	0,000545	0,00160	0,000718	0,000266	<0,0001
Járn (Fe)	0,00823	0,00131	0,00779	0,00911	0,0136
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Mangan (Mn)	0,000703	0,000043	0,000406	0,000593	0,0431
Mólybden (Mo)	0,000594	0,000565	0,000579	0,000888	0,00143
Nikkel (Ni)	0,000476	0,000504	0,000369	0,000755	0,000358
Blý (Pb)	<0,00001	<0,00001	0,000019	0,000057	<0,00001
Strontíum (Sr)	0,0122	0,0147	0,0106	0,0518	0,0308
Sink (Zn)	0,000473	0,000802	0,00168	0,000760	0,00124
Uppleyst steinefni (UE)	117	128	113	290	202
Tvígilt járn (Fe ²⁺)	<0,001	0,0105	-	-	0,0014
Þrígilt járn (Fe ³⁺)	0,0249	1,6189	-	-	0,5252

Tafla 13. (Frh.) Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum haustið 2014. Styrkur efna í mg/L.

Staðarnafn	Svelgur	Bjarg	Helgavogur	Stóragjá	Grjótagjá
Sýnanúmer	20140298	20140300	20140301	20140310	20140306
Staður	M-20004	H-10080	H-10082	H-10083	H-10085
Dagsetning	9.9.2014	10.9.2014	10.9.2014	12.9.2014	11.9.2014
Hitastig (°C)	19,2	19,0	23,3	26,5	46,1
Sýrustig (pH / °C)	6,80 / 21,7	8,08 / 22,5	8,25 / 22,0	8,28 / 21,7	8,33 / 21,7
Leiðni við 25°C (µS/cm)	683	322	408	456	515
Karbonsat (CO ₂)	6,9	79,0	107	111	89,8
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	0,05	<0,03	<0,03	<0,03	0,08
Bór (B)	1,58	0,10	0,11	0,17	0,36
Kísill (SiO ₂)	590	58,2	70,9	84,6	149
Natríum (Na)	119	44,3	52,3	61,8	86,3
Kalíum (K)	20,2	3,68	4,64	5,44	7,82
Magnesíum (Mg)	1,21	4,02	5,56	5,58	3,09
Kalsíum (Ca)	2,44	16,2	24,8	26,1	14,8
Flúoríð (F)	0,78	0,24	0,26	0,27	0,38
Klóríð (Cl)	54,0	9,71	8,04	9,57	17,7
Súlfat (SO ₄)	181	47,1	66,2	81,9	109
Ál (Al)	2,02	0,00579	0,00525	0,00704	0,0115
Arsen (As)	0,157	0,000091	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Baríum (Ba)	0,00106	0,000750	0,00156	0,00176	0,00264
Kadmíum (Cd)	0,000032	0,000003	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	0,000225	0,000025	<0,000005	0,000020	<0,000005
Króm (Cr)	0,00488	0,000639	0,000870	0,000490	0,000047
Kopar (Cu)	0,00252	0,00147	0,000682	0,000493	0,000281
Járn (Fe)	0,385	0,00235	<0,0004	0,00122	0,00169
Kvikasilfur (Hg)	0,000004	<0,000002	0,000002	0,000003	<0,000002
Mangan (Mn)	0,00929	0,000177	<0,00003	0,000180	0,00543
Mólybden (Mo)	0,00485	0,000988	0,000832	0,00104	0,000206
Nikkel (Ni)	0,00813	0,000289	0,000195	0,000893	0,000183
Blý (Pb)	0,000014	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Strontíum (Sr)	0,0119	0,0249	0,0344	0,0374	0,0222
Sink (Zn)	0,00553	0,00112	0,000428	0,000566	0,000985
Uppleyst steinefni (UE)	1109	244	309	344	450
Tvígilt járn (Fe ²⁺)	0,7505	<0,001	0,0096	0,0041	0,0069
Þrígilt járn (Fe ³⁺)	0,1842	0,0131	1,6907	1,4367	0,8257

Tafla 13. (Frh.) Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum haustið 2014. Styrkur efna í mg/L.

Staðarnafn	Vogagjá	Langivogur	Hverfjallsgjá	Vogaflói	Garðslind
Sýnanúmer	20140311	20140304	20140302	20140303	20140299
Staður	H-10087	H-10088	K-559	K-558	K-556
Dagsetning	12.9.2014	11.9.2014	10.9.2014	11.9.2014	9.9.2014
Hitastig (°C)	40,0	21,5	6,5	5,0	19,2
Sýrustig (pH / °C)	8,40 / 21,9	8,50 / 22,1	8,57 / 21,8	8,62 / 22,2	8,87 / 21,8
Leiðni við 25°C (µS/cm)	533	475	220	210	155
Karbónat (CO ₂)	76,1	76,5	66,0	62,7	54,4
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,39	0,29	0,08	0,09	0,05
Kísill (SiO ₂)	143	119	22,7	22,3	19,3
Natríum (Na)	88,0	76,9	21,5	21,1	17,4
Kalíum (K)	7,15	6,30	1,84	1,73	1,34
Magnesíum (Mg)	2,49	3,64	6,84	6,26	4,64
Kalsíum (Ca)	15,7	15,3	11,7	10,9	7,04
Flúoríð (F)	0,37	0,34	0,20	0,21	0,17
Klóríð (Cl)	17,5	15,1	5,08	4,75	2,11
Súlfat (SO ₄)	128	108	22,1	21,2	7,33
Ál (Al)	0,0248	0,0160	0,00874	0,00650	0,0105
Arsen (As)	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Baríum (Ba)	0,00183	0,00199	0,000253	0,000308	0,000162
Kadmíum (Cd)	<0,000002	<0,000002	0,000004	<0,000002	0,000002
Kóbalt (Co)	<0,000005	<0,000005	0,000007	0,000008	<0,000005
Króm (Cr)	0,000274	0,000488	0,00144	0,00126	0,00102
Kopar (Cu)	0,000339	0,000298	0,00123	0,000948	0,000322
Járn (Fe)	0,00215	0,00103	0,00318	0,000920	0,000540
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Mangan (Mn)	0,000066	0,000046	0,000086	0,000036	<0,00003
Mólybden (Mo)	0,000219	0,000371	0,000713	0,000812	0,000654
Nikkel (Ni)	0,000130	0,000051	0,000417	0,000140	0,000380
Blý (Pb)	<0,00001	<0,00001	0,000021	<0,00001	<0,00001
Strontíum (Sr)	0,0203	0,0227	0,0154	0,0135	0,00856
Sink (Zn)	0,00146	0,000376	0,000841	0,000368	0,00109
Uppleyst steinefni (UE)	452	400	123	127	92
Tvígilt járn (Fe ²⁺)	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	0,0046
Þrígilt járn (Fe ³⁺)	0,0134	0,0052	0,0129	0,473	1,7297

Myndum 112–117, sem sýna niðurstöður fyrir styrk arsens og áls, er skipt upp eftir svæðum. Myndir 112 og 115 sýna styrk arsens (mynd 112) og áls (mynd 115) fyrir skiljuvatn frá Kröflustöð, vatn í Hlíðardalslæk við holu AB-2, úr holu LUD-4 og úr „svelgnum“ vestast í Bjarnarflaglóni. Myndir 113 og 116 sýna styrk arsens og áls úr öllum vöktunarholum (AE-10, AB-2 og LUD-2, LUD-3, LUD-4, LUD-5, LUD-6 og LUD-10). Á það skal bent að niðurstöður fyrir holu LUD-4 eru sýndar bæði á myndum 112 og 113 fyrir arsen og á myndum 115 og 116 fyrir ál. Á myndum 114 og 117 er síðan sýndur styrkur arsens og áls í sýnum úr heitum, volgum og köldum lindum í Mývatnssveit. Rétt er að benda sérstaklega á að styrkur einstakra efna getur verið mjög breytilegur milli þessara svæða og kvarðar á y-ás myndanna, þar sem styrkur efna er sýndur, þess vegna mismunandi. Þetta þarf að hafa í huga við samanburð þeirra. Á myndunum sem sýna niðurstöður arsenmælinga (myndir 112–114) eru sýnd umhverfismörk þar sem við á en þau eru tilgreind í reglugerð um varnir gegn mengun vatns nr. 796/1999. Í reglugerðinni eru sett umhverfismörk fyrir nokkur snefilefni og þeim skipt í fimm flokka (tafla 13). Á myndunum eru einnig sýnd mörk fyrir neysluvatn (0,01 mg/L) eins og þau eru skilgreind í reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001. Á myndum sem sýna efnastyrk áls eru einnig sýnd norsk umhverfismörk (0,02 og 0,08 mg/L) eins og nánar er fjallað um í skýrslu Halldórs Ármannssonar og Magnúsar Ólafssonar (2005). Eitúráhrif áls gagnvart fiski eru þekkt og sett hafa verið mörk um hámarksstyrk þess í neysluvatni. Viðmiðunarmörk áls fyrir styrk í neysluvatni eru víðast á bilinu 0,1–0,2 mg/L (Srinivasan o.fl., 1999) en hér á landi eru þau 0,2 mg/L samkvæmt reglugerð nr. 536/2001 um neysluvatn. Í Noregi hefur verið lagt til að umhverfismörk fyrir lífríki verði annars vegar 0,02 mg/L fyrir lax en 0,08 mg/L fyrir silung (Löfgren og Lydersen, 2002).

Tafla 13. 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
Zink (Zn)	≤0,005	0,005-0,02	0,02-0,06	0,06-0,3	>0,3
Kadmíum (Cd)	≤0,00001	0,00001-0,0001	0,0001-0,0003	0,0003-1,005	>1,005
Blý (Pb)	≤0,0002	0,0002-0,001	0,001-0,003	0,003-0,015	>0,015
Krómi (Cr)	≤0,0003	0,0003-0,005	0,005-0,015	0,015-0,075	>0,075
Nikkel (Ni)	≤0,0007	0,0007-0,0015	0,0015-0,0045	0,0045-0,0225	>0,0225
Arsen (As)	≤0,0004	0,0004-0,005	0,005-0,015	0,015-0,075	>0,075

Skýringar við töflu 13:

Umhverfismörk I: Mjög lítil eða engin hættu á áhrifum.

Umhverfismörk II: Lítil hættu á áhrifum.

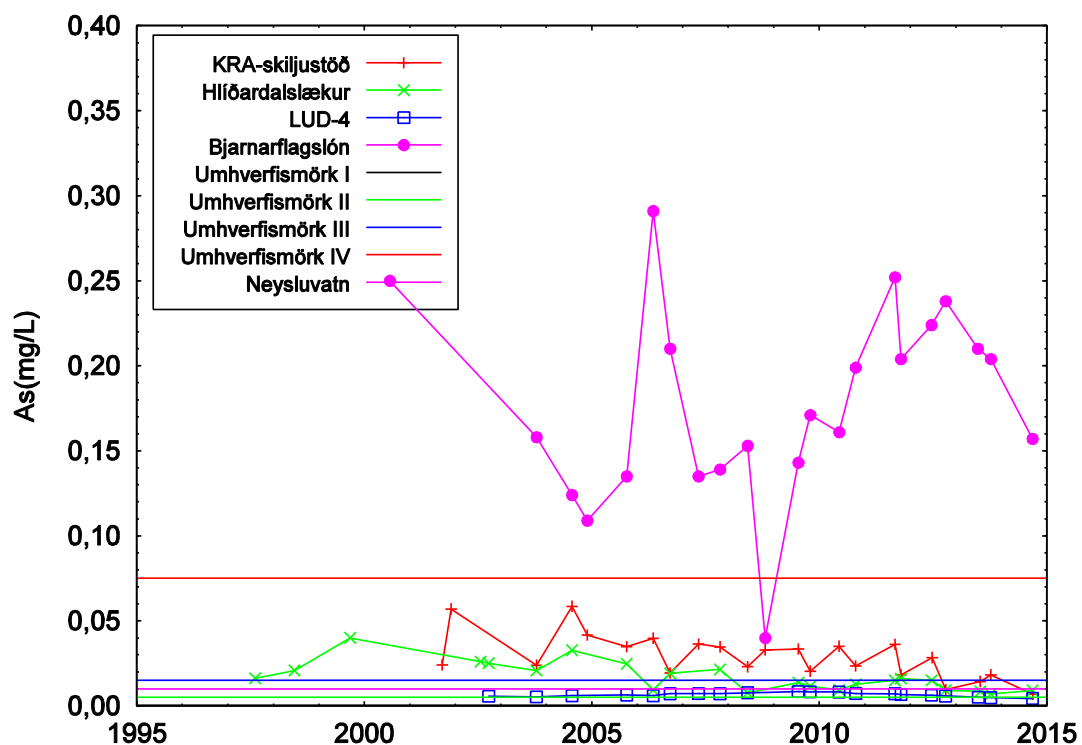
Umhverfismörk III: Áhrifa að vænta á viðkvæmt lífríki.

Umhverfismörk IV: Áhrifa að vænta.

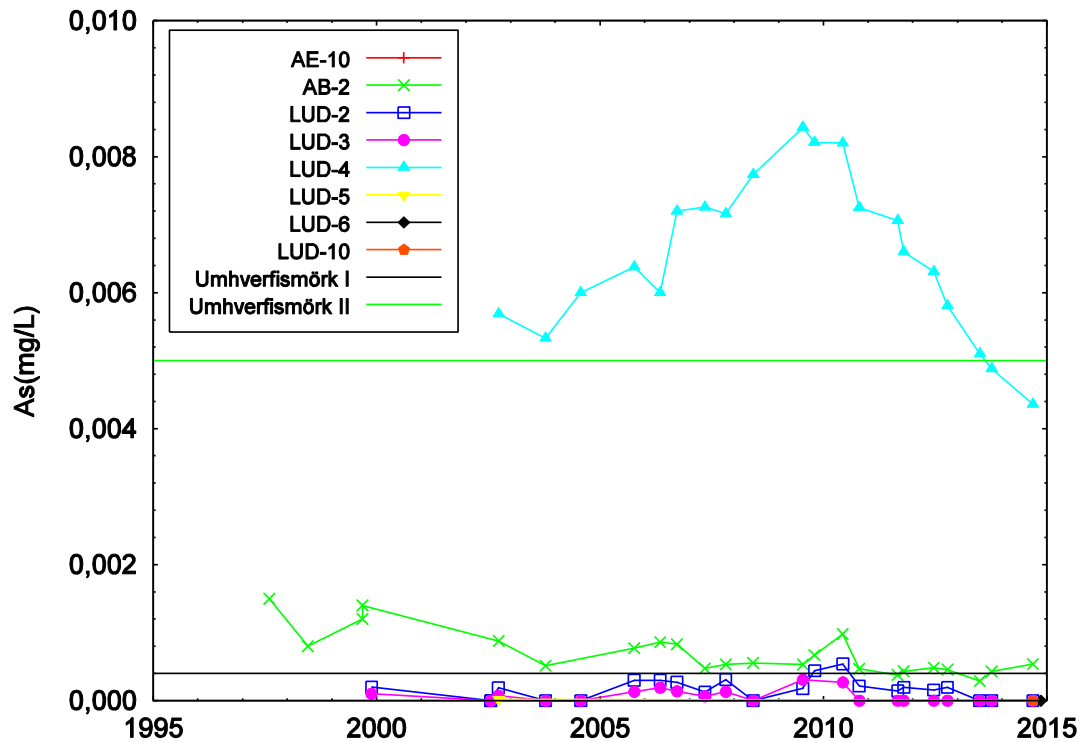
Umhverfismörk V: Ávallt ófullnægjandi ástand vatns fyrir lífríki/þynningarsvæði.

Á myndum 112–114 kemur fram að heilt yfir eru ekki sýnilegar miklar breytingar í styrk arsens milli áranna 2013 og 2014. Líkt og áður er styrkur arsens hæstur og mjög sveiflukenndur í affallsvatni frá Bjarnarflagsvirkjun (mynd 112) og hefur hann á undanförunum 15 árum mælst á bilinu 0,1–0,3 mg/L og að meðaltali 0,18 mg/L. Styrkur arsens er sem fyrr mun lægri í affalli frá skiljustöð Kröfluvirkjunar og mældist 0,0068 mg/L haustið 2014 og hefur farið lækkaði

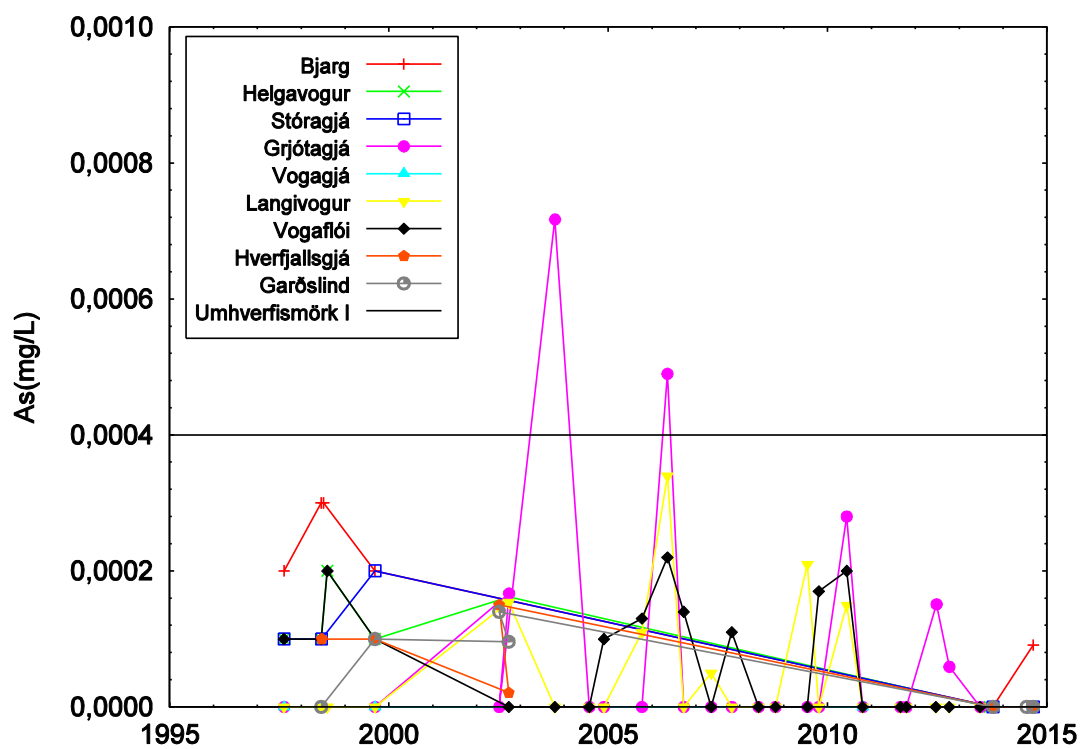
undanfarin ár. Meðalstyrkur þess síðastliðin tæplega 15 ár er um 0,029 mg/L. Mynd 113 sýnir styrk arsens í öllum vöktunarholunum í Mývatnssveit. Þar sést vel að vatn úr þeim öllum liggur núna innan við umhverfismörk II (0,005 mg/L) og í flestum tilvikum innan við umhverfismörk I (0,0004 mg/L). Vatn úr holu AB-2 liggur nánast á línunni sem sýnir umhverfismörk I en vatn úr holu LUD-4 er við umhverfismörk II. Þar sést einnig vel að styrkur arsens náði ákveðnu hámarki í vatni úr holu LUD-4 á árunum 2008–2010 en er nú kominn niður fyrir það sem hann var þegar mælingar hófust árið 2003. Talið er líklegt að breyting þessi geti stafað af breytingu í því magni affallsvatns sem farið hefur í Hlíðardalslækinn. Magn þess jókst nokkuð á árunum 2004–2008 en er mun minna nú (Magnús Ólafsson o.fl., 2013). Þennan mun má líka sjá í lækkuðum styrk arsens í skiljuvatni frá Kröflustöð eins og nefnt var hér að framan. Styrkur arsens í vatni úr öðrum holum hefur ekki breyst markvert. Mynd 114 sýnir styrk arsens í heitum og köldum lindum í Mývatnssveit. Styrkurinn fellur neðan umhverfismarkna I í þeim öllum, og hefur alltaf gert, ef frá eru talin tvö „hágildi“ í Grjótagjá, sem ekki er auðvelt að skýra. Í mörgum lindanna er styrkur arsens innan greiningarmarkna þeirra aðferða sem notuð er (0,00005 mg/L). Engin merki sjást um hækkaðan styrk arsens í lindum við Mývatn. Um þetta var fjallað ítarlega í nýlegri skýrslu um áhrif jarðhitanytingar í Bjarnarflagi á grunnvatn við Mývatn (Magnús Ólafsson o.fl., 2013) og var niðurstaða vöktunar á styrk arsens undanfarinn u.þ.b. einn og hálfan áratug sú að ekki er unnt að greina neina langtímaleitni í átt að hækkandi styrk arsens í grunnvatni við austanvert Mývatn. Sýnin sem safnað var haustið 2014 styðja þá niðurstöðu.



Mynd 112. Styrkur arsens í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni á árunum 1995–2014 ásamt umhverfismörkum I, II, III og IV og mörkum fyrir neysluvatn.

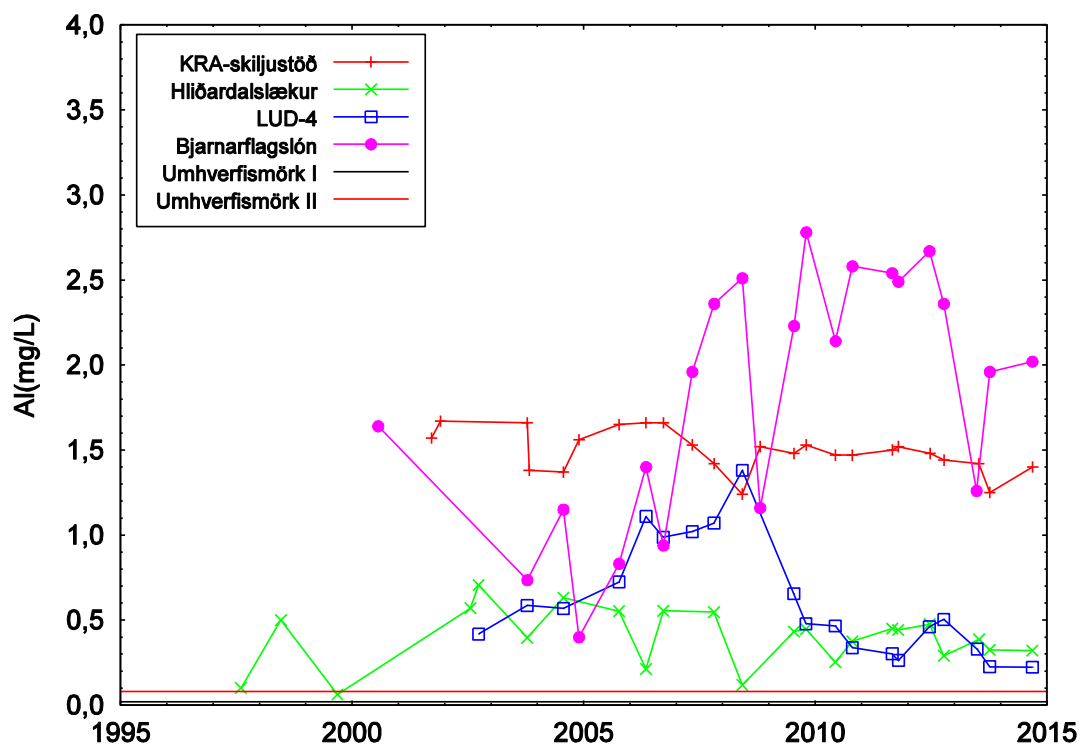


Mynd 113. Styrkur arsens í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni á árunum 1995–2014 ásamt umhverfismörkum I, II, III og IV og mörkum fyrir neysluvatn.

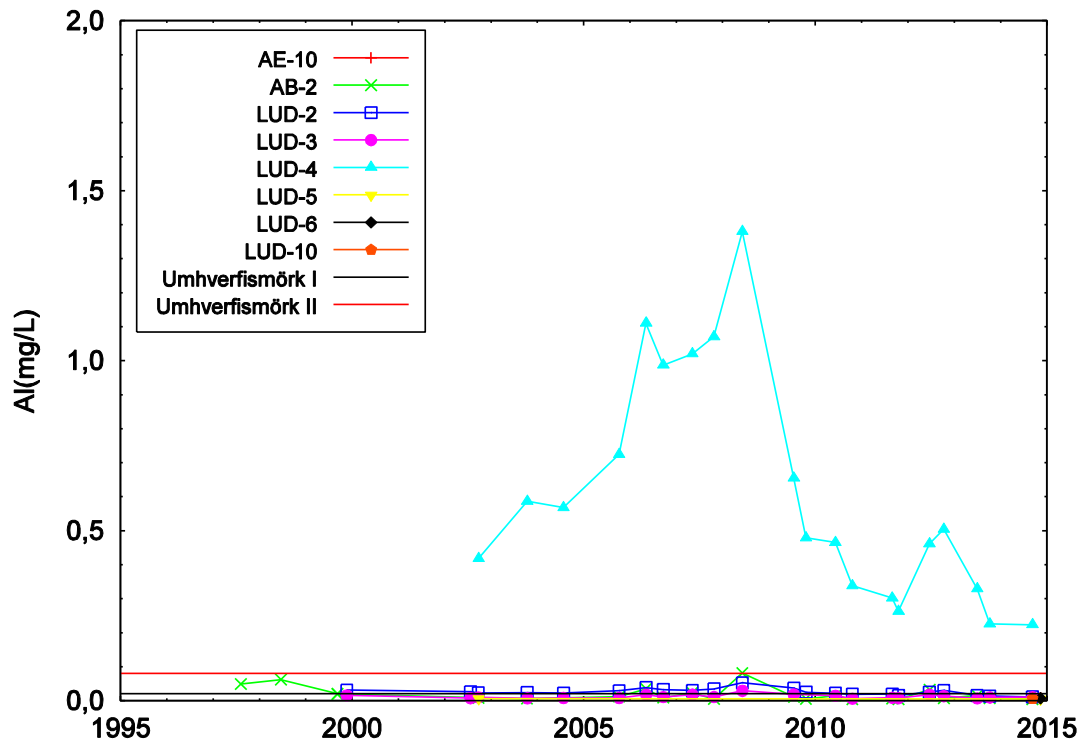


Mynd 114. Styrkur arsens í lindum við Mývatn á árunum 1995–2014 ásamt umhverfismörkum I.

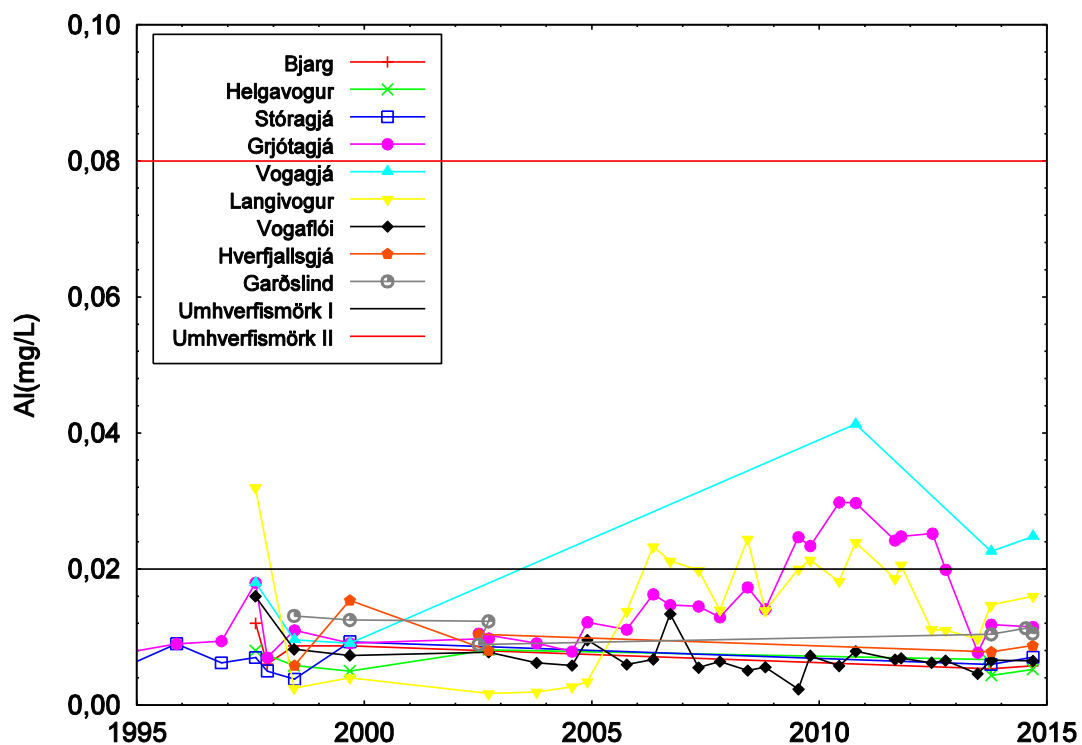
Á myndum 115–117 er sýndur styrkur áls í vatni frá öllum vöktunarstöðum. Þar eru einnig sýnd umhverfismörk I (0,02 mg/L) og II (0,08 mg/L) eins og þau eru tilgreind fyrir grunnvatn í Noregi (Löfgren og Lydersen, 2002). Á fjórum vöktunarstöðum; skiljustöð Kröfluvirkjunar, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni, mælist styrkur áls yfir umhverfismörkum II. Myndin sýnir að styrkur áls í vatni úr Bjarnarflagslóni er að jafnaði hærri en á öðrum stöðum líkt og verið hefur og einnig sést að hann hefur verið nokkuð sveiflukenndur í gegnum tíðina. Styrkur þess mældist 2,02 mg/L haustið 2014 en hefur að meðaltali verið um 1,82 mg/L síðastliðinn einn og hálfan áratug. Minni sveiflur koma fram í styrk áls í affallsvatni Kröflustöðvar. Hann mældist 1,40 mg/L haustið 2014 og hefur verið að meðaltali 1,49 mg/L síðastliðin tæp 15 ár. Á mynd 115 sést einnig að styrkur áls í vatni úr holu LUD-4 hefur lækkað umtalsvert frá hámarki áranna 2006–2008, eins og sjá má betur á mynd 116. Myndin sýnir styrk áls í vatni úr öllum vöktunarholunum og á öllum stöðum er hann innan við umhverfismörk II (0,08 mg/L) og í flestum tilvikum nánast við umhverfismörk I (0,02 mg/L). Mynd 117 sýnir styrk áls í heitum og köldum lindum í Mývatnssveit og er styrkur þess í flestum tilvika innan við umhverfismörk I. Vatn úr lind í Langavogi hefur stundum haft álstyrk rétt við umhverfismörk II, eins og Grjótagjá og Vogagjá. Styrkur áls er vel innan við neysluvatnsmörk (0,2 mg/L) í holunum, nema í holu LUD-4.



Mynd 115. Styrkur áls í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk LUD-4 og Bjarnarflagslóni á árunum 1995–2014 ásamt umhverfismörkum I og II.



Mynd 116. Styrkur áls í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk og Bjarnarflagslóni á árunum 1995–2014 ásamt norskum umhverfismörkum I og II.



Mynd 117. Styrkur áls í vatni linda við Mývatn á árunum 1995–2014 ásamt norskum umhverfismörkum I og II.

Skoðun á niðurstöðum efnagreininga fyrir aðra málma en arsen og umhverfismörk þeirra samkvæmt reglugerð um varnir gegn mengun vatns nr. 796/1999 (tafla 13) sýnir að í flestum tilfellum fellur vatnið á eftirlitsstöðum í Mývatnssveit í flokk I eða II. Á þessu eru þó undantekningar, einkum hvað varðar kopar og króm, en þá ber að hafa í huga að frá náttúrunnar hendi er styrkur þessara efna frekar hár í vatni á eldvirkum svæðum hér á landi. Aftur á móti falla efni eins og kadmíum og blý öll í flokk I og sama má segja um nikkel að frátöldum sýnum úr Hlíðardalslæk. Sýni úr holum falla í flokk II.

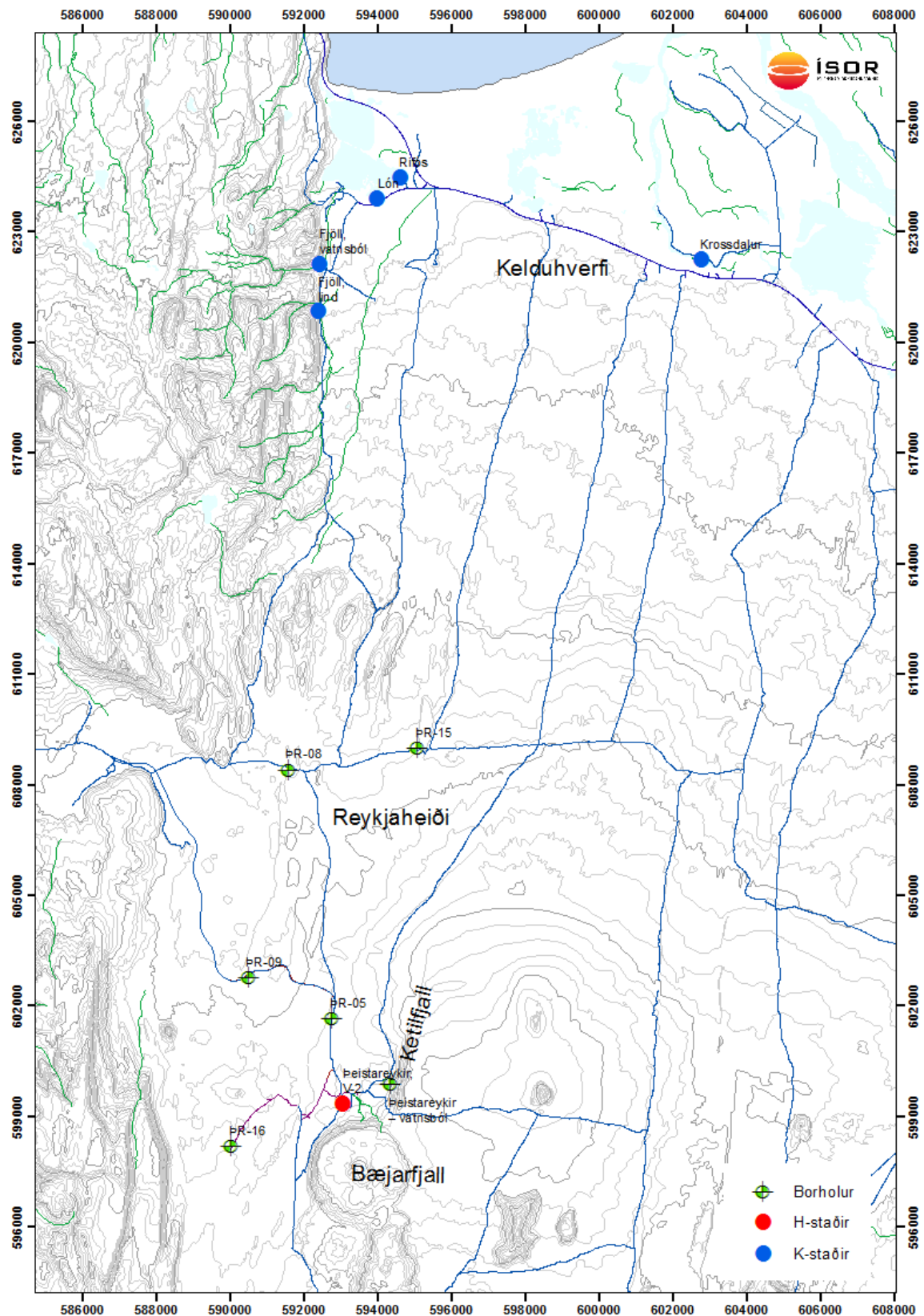
Tiltæk gögn um efnasamsetningu grunnvatns, heits og kalds, í lindum við austanvert Mývatn sýna óveruleg áhrif sem rekja má til jarðhitanytingar í Bjarnarflagi, eða Kröflu. Helst má merkja áhrif í eftirlitsholum í „Búrfellshrauni“ austan Námafjalls en þar hefur hækkun í styrk arsens og áls að mestu gengið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

5.2 Þeistareykir og Kelduhverfi

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

Haustið 2014 fór sýnataka á Þeistareykjum fram í fyrri hluta september og nóvember, líkt og í Mývatnssveit. Í síðara úthaldinu var búið að bora viðbótarholur til vöktunar og setja í þær djúpdælur. Yfirlit um sýnatökustaðina er gefið í töflu 14 og þeir eru einnig sýndir á mynd 118.

Sýnataka fór fram samkvæmt verklagi ÍSOR (Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson, 2006b). Hiti vatnsins og styrkur brennisteinsvetnis var mældur við sýnatöku svo og rennsli úr þeim holum sem dælt var úr (tafla 11). Reikul efni voru mæld innan tveggja sólarhringa. Nánari upplýsingar um efnagreiningaraðferðir eru gefnar í viðauka 1.



Mynd 118. Sýnatökustaðir í Kelduhverfi og á Peistareykjum 2014. Borholur eru sýndar grænar með krossi. Volgar lindir eru rauðar og kaldar lindir bláar.

Tafla 14. *Sýnatökustaðir á Þeistareykjum og í Kelduhverfi 2014.*

Staður	Staðarnr.	Sýni nr.	Dags.	Hiti (°C)	X	Y
Þeistareykir-vatnsból	M-20409	20140307	11.9.2014 14:00	15,7	594285	599848
Þeistareykir-Skáli	H-10124	20140308	11.9.2014 15:00	11,6	593046	599344
ÞR-5	B-60365	20140309	11.9.2014 16:30	26,6	592706	601623
ÞR-8	B-60368	20140404	13.11.2014 16:50	2,5	591519	608366
ÞR-9	B-60369	20140406	13.11.2014 23:30	6,6	590436	602733
ÞR-15	B-60376	20140403	13.11.2014 13:35	15,3	595016	608951
ÞR-16	B-60377	20140405	13.11.2014 20:10	5,2	589985	598152
Krossdalur	K-2745	20140313	13.9.2014 10:30	3,4	602765	622250
Rífós - Tangabrunnur	K-2743	20140314	13.9.2014 12:00	10,2	594606	624481
Lón	K-2744	20140315	13.9.2014 13:30	4,4	593990	623909
Fjöll - vatnsból	K-568	20140316	13.9.2014 15:00	2,8	592404	622118
Fjöll - lind	K-2742	20140317	13.9.2014 16:30	2,6	592391	620833

Djúpdælur eru nú í 5 vöktunarholum á Þeistareykjum og í töflu 15 er yfirlit um þær og hve miklu var dælt úr hverri holu við sýnatöku haustið 2014.

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

Hola	Staðarnr.	Sýni nr.	Dags.	Hiti (°C)	Magn (L)
ÞR-5	B-60365	20140309	11.9.2014	26,6	Borvatnsveita
ÞR-8	B-60368	20140404	13.11.2014	2,5	3600
ÞR-9	B-60369	20140406	13.11.2014	6,6	4370
ÞR-15	B-60376	20140403	13.11.2014	15,3	3560
ÞR-16	B-60377	20140405	13.11.2014	5,2	2175

Niðurstöður efnagreininga eru sýndar í töflu 16.

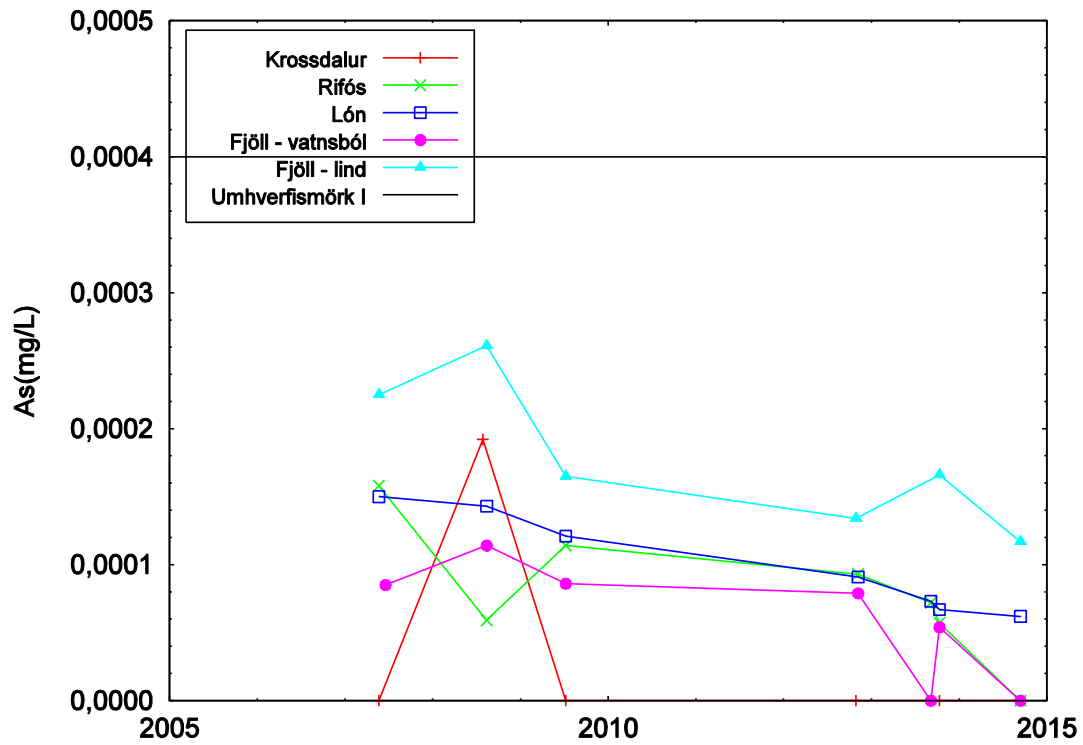
Tafla 16. Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum á Þeistareykjum og í Kelduhverfi haustið 2014.
Styrkur efna er gefinn sem mg/L.

Staðarnafn	Þeistareykir vatnsból	Þeistareykir sæluhús	ÞR-5	ÞR-8	ÞR-9	ÞR-15
Sýnanúmer	20140307	20140308	20140309	20140404	20140406	20140403
Staður	M-20409	H-10124	B-60365	B-60368	B-60369	B-60376
Dagsetning	11.9.2014	11.9.2014	11.9.2014	13.11.2014	13.11.2014	13.11.2014
Hitastig (°C)	15,7	11,6	26,6	2,5	6,6	15,3
Sýrustig (pH / °C)	7,11 / 21,8	8,05 / 22,0	8,14 / 21,2	8,18 / 22,2	8,11 / 21,6	7,98 / 21,9
Leiðni við 25°C (µS/cm)	212	202	201	73,4	121	158
Karbonsat (CO ₂)	82,4	51,8	51,4	18,6	31,5	44,0
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,06	0,08	0,09	0,11	0,09	0,13
Kísill (SiO ₂)	49,3	52,0	51,9	17,5	23,7	35,5
Natríum (Na)	15,2	20,8	20,8	6,86	10,0	13,0
Kalíum (K)	1,61	1,48	1,48	0,54	1,01	1,18
Magnesíum (Mg)	5,68	3,69	3,68	1,95	3,49	3,91
Kalsíum (Ca)	17,5	12,2	12,2	3,60	6,99	11,0
Flúoríð (F)	0,06	0,10	0,10	0,05	0,10	0,07
Klóríð (Cl)	5,81	7,41	7,45	6,95	6,05	7,50
Súlfat (SO ₄)	14,2	26,1	26,2	1,71	10,7	14,0
Ál (Al)	0,00151	0,00510	0,00562	0,0115	0,00337	0,00315
Arsen (As)	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005	<0,00005
Baríum (Ba)	0,000481	0,000186	0,000236	0,000087	0,000078	0,000219
Kadmíum (Cd)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	0,000003
Kóbalt (Co)	0,000007	0,000011	0,000012	<0,000005	0,000007	0,000006
Króm (Cr)	0,000372	0,000976	0,000894	0,000377	0,00128	0,000584
Kopar (Cu)	0,000121	0,000515	0,000385	0,000294	0,00104	0,000655
Járn (Fe)	0,00975	0,00528	0,0336	0,00329	0,00325	0,00413
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Mangan (Mn)	0,00100	0,000130	0,000298	0,000080	0,000109	0,000221
Mólybden (Mo)	0,000176	0,000235	0,000283	0,000097	0,000191	0,000171
Nikkel (Ni)	0,000207	0,000258	0,000916	0,000158	0,000561	0,000410
Blý (Pb)	<0,00001	0,000025	0,000032	0,000014	<0,00001	0,000023
Strontíum (Sr)	0,0192	0,0154	0,0160	0,00587	0,00810	0,0132
Sink (Zn)	0,000857	0,00289	0,00660	0,00170	0,00152	0,00266
Uppleyst steinefni (UE)	160	159	150	66	86	129
Tvígilt járn (Fe ²⁺)	<0,001	<0,001	<0,001	-	-	-
Þrígilt járn (Fe ³⁺)	0,0254	0,0178	0,0414	-	-	-

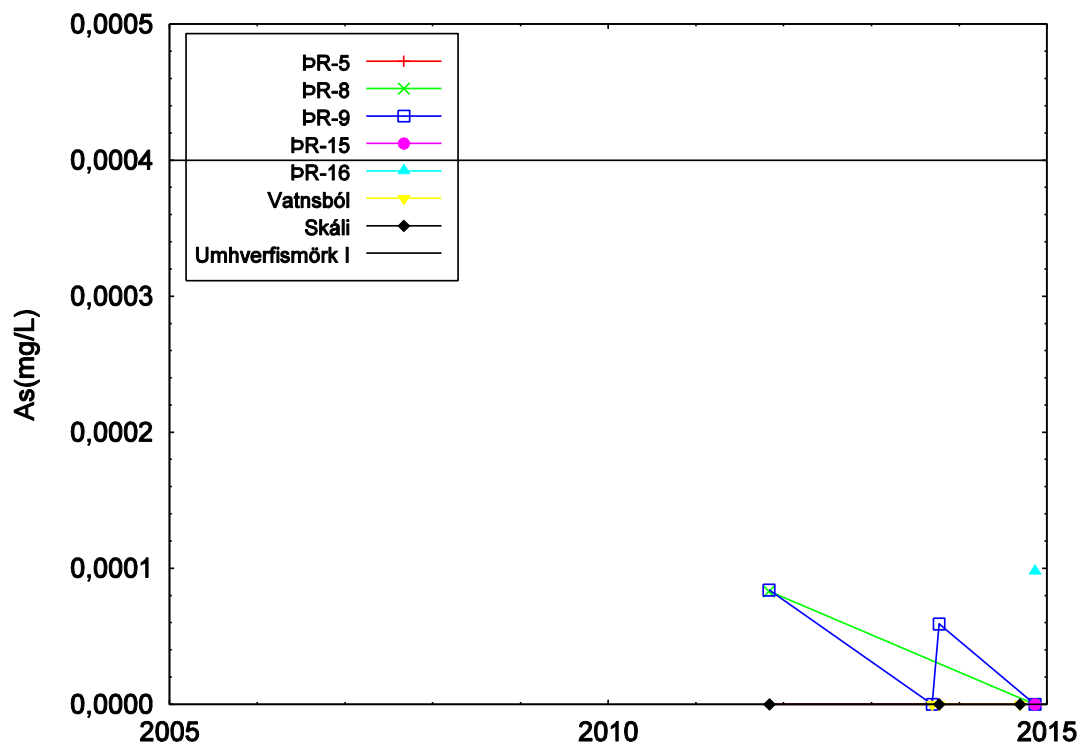
Tafla 16. (Frh.) Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum á Þeistareykjum og í Kelduhverfi haustið 2014. Styrkur efna er gefinn sem mg/L.

Staðarnafn	ÞR-16	Krossdalur	Rifós	Lón	Fjöll vatnsból	Fjöll lind
Sýnanúmer	20140405	20140313	20140314	20140315	20140316	20140317
Staður	B-60377	K-2745	K-2743	K-2744	K-568	K-2742
Dagsetning	13.11.2014	13.9.2014	13.9.2014	13.9.2014	13.9.2014	13.9.2014
Hitastig (°C)	5,2	3,4	10,2	4,4	2,8	2,6
Sýrustig (pH / °C)	8,73 / 21,3	8,45 / 22,5	8,11 / 22,2	7,84 / 22,0	8,91 / 21,2	9,65 / 21,5
Leiðni við 25°C (µS/cm)	94,8	103	139	92,3	104	102
Karbonsat (CO ₂)	29,3	25,6	38,6	27,7	23,6	17,2
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,10	0,09	0,09	0,08	0,07	0,06
Kísill (SiO ₂)	22,4	21,9	31,3	20,9	12,3	9,9
Natríum (Na)	8,57	9,25	14,8	8,74	11,9	16,3
Kalíum (K)	1,14	0,81	1,28	0,90	0,11	0,03
Magnesíum (Mg)	3,37	2,67	3,41	2,59	0,42	0,05
Kalsíum (Ca)	4,25	5,70	6,28	4,33	7,12	2,70
Flúoríð (F)	0,10	0,10	0,11	0,08	0,03	0,03
Klóríð (Cl)	5,45	8,73	10,0	7,68	10,4	7,84
Súlfat (SO ₄)	1,84	3,50	8,73	2,91	2,76	4,26
Ál (Al)	0,00770	0,00568	0,00585	0,00531	0,00483	0,0167
Arsen (As)	0,000098	<0,00005	<0,00005	0,000062	<0,00005	0,000117
Baríum (Ba)	0,000079	0,000073	0,000126	0,000121	0,000022	0,000027
Kadmíum (Cd)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	<0,000005	0,000005	0,000008	0,000006	0,000006	0,000009
Krómi (Cr)	0,000784	0,000677	0,000940	0,000572	0,000321	0,000168
Kopar (Cu)	0,000661	0,000304	0,000348	0,000483	<0,0001	<0,0001
Járn (Fe)	0,00575	0,000920	0,00109	0,00104	0,00103	0,00103
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Mangan (Mn)	0,000118	0,000153	<0,00003	0,000072	0,000035	0,000046
Mólybden (Mo)	0,000189	0,000181	0,000269	0,000255	0,000103	0,000209
Nikkel (Ni)	0,000254	0,000277	0,000222	0,000373	0,000253	0,000321
Blý (Pb)	0,000029	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Strontíum (Sr)	0,00474	0,00810	0,0105	0,00593	0,000632	0,000603
Sink (Zn)	0,00104	0,000571	0,000754	0,000387	0,000754	0,000493
Uppleyst steinefni (UE)	81	79	102	69	66	61
Tvígilt járn (Fe ²⁺)	-	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001
Þrígilt járn (Fe ³⁺)	-	0,0307	0,7435	0,0421	0,0202	0,0142

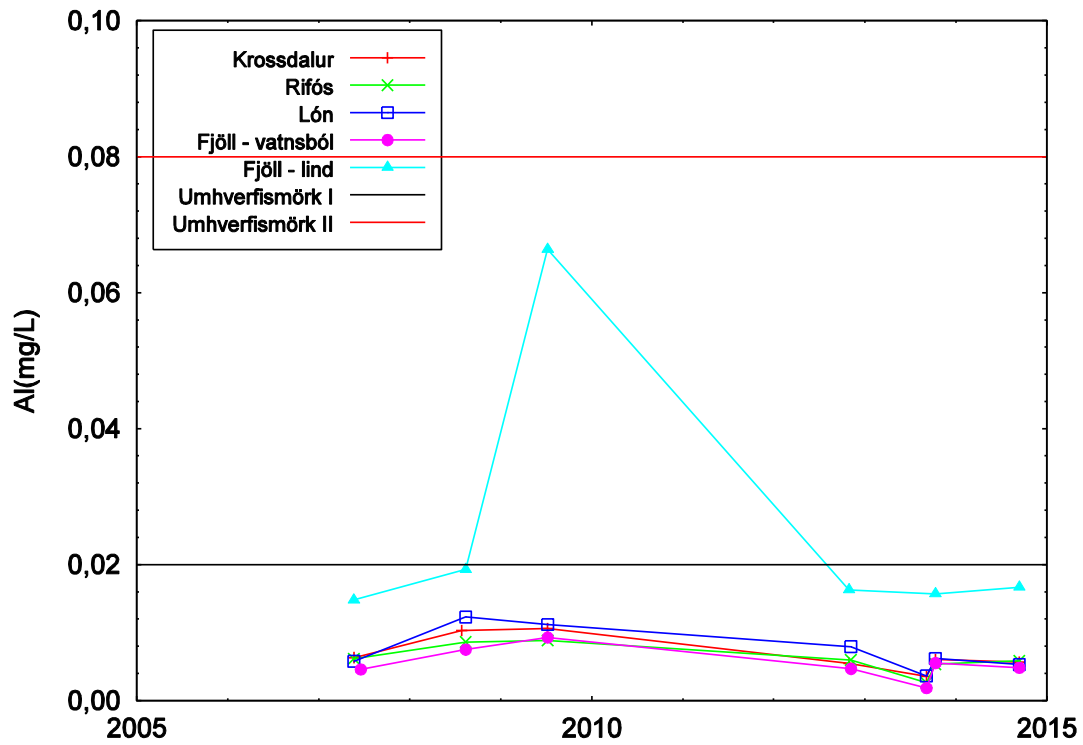
Á myndum 119–122 eru sýndar niðurstöður fyrir styrk arsens og áls og er þeim þannig upp skipt að annars vegar eru sýndar niðurstöður í lindum í Kelduhverfi (myndir 119 og 121) og hins vegar í borholum og lindum á Þeistareykjum (myndir 120 og 122).



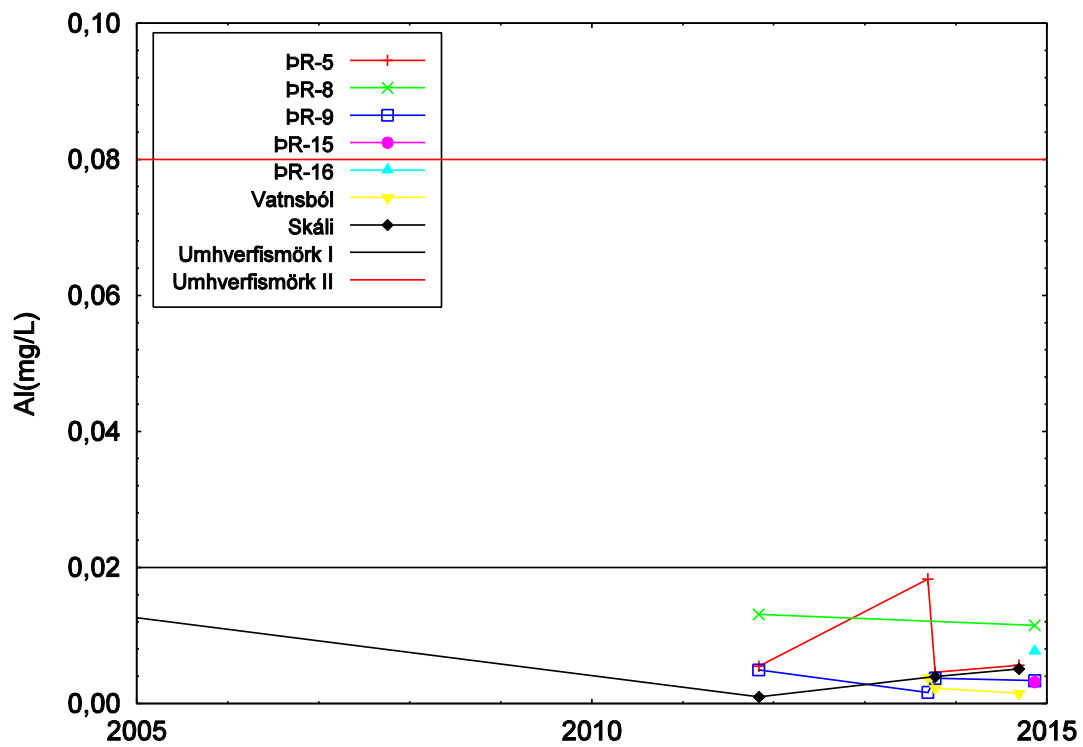
Mynd 119. Styrkur arsens í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I.



Mynd 120. Styrkur arsens í vatni úr borholum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I.



Mynd 121. Styrkur áls í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I og II.



Mynd 122. Styrkur áls í vatni úr borholum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I og II.

Myndir 119 og 120 sýna niðurstöður efnagreininga á arseni. Þar eru einnig sýndar niðurstöður úr fyrri mælingum frá Háskólanum á Akureyri (Hrefna Kristmannsdóttir, 2010). Inn á myndirnar eru dregin umhverfismörk I fyrir arsen (sjá töflu 13 hér að ofan) og sést þá vel að styrkur arsens er á öllum vöktunarstöðunum vel innan við umhverfismörk I (0,0004 mg/L). Á myndum 121 og 122 er sýndur styrkur áls og umhverfismörk I og II. Þar sést að styrkur áls er innan við umhverfismörk I (0,02 mg/L) fyrir utan eitt sýni frá 2009 úr lind við Fjöll, sem þó er innan við umhverfismörk II.

Á myndum V-13 til V-20 í viðauka 3 eru sýndar niðurstöður á mælingum hitastigs og allra tiltækra efna og samsætuhlutfalls vetnis og súrefnis fyrir vöktunarstaði á Þeistareykjum og í Kelduhverfi. Hafa ber í huga við skoðun myndanna í viðauka 3 að þau eru ekki yfirfarin með tilliti aðstæðna við sýnatöku eða greiningaraðferða, sem hafa breyst í gegnum tíðina.

Styrkur kvikasilfurs er mældur í öllum eftirlitssýnum í Kelduhverfi og á Þeistareykjum (sjá viðauka 3). Niðurstöður sýna að styrkur þess er í öllum tilvikum <0,000002 mg/L sem eru greiningarmörk þess með þeim aðferðum sem notaðar eru (sjá viðauka 1). Samkvæmt reglugerð 800/1999 um losunarmörk, umhverfismörk og gæðamarkmið fyrir losun á kvikasilfri í yfirborðsvatn má heildarstyrkur kvikasilfurs í yfirborðsvatni á landi, þar sem áhrifa fráveituvatns gætir ekki, fara yfir 0,001 mg/L.

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

6 Greiningar á gassamsætum

Samhliða sýnatöku úr gufuaugum var sýnum safnað til greininga á nokkrum stöðugum gassamsætum, nefnilega ^3He , ^4He , ^{36}Ar , ^{40}Ar , ^{13}C í CO_2 og ^{15}N í N_2 . Jafnframt var greindur heildarstyrkur eðalgasanna He og Ne. Tilgangurinn með þessu var einkum að afla bakgrunnsgilda fyrir jarðhitakerfið á Þeistareykjum, enda hafa sambærilegar greiningar á sýnum frá Reykjanesi árin 2007, 2009 og 2013 sýnt að umtalsverðar breytingar hafa orðið á styrk og samsætuhlutföllum eðalgasanna, aðallega helíums, síðan Reykjanesvirkjun var gangsett árið 2006 (Finnbogi Óskarsson, 2014a). Gufusýnum til samsætugreininga var safnað úr þremur gufuaugum á Þeistareykjum (G-101, G-102 og G-103) og jafnframt úr sitthvoru gufuauganu í suðurhlíðum Kröflu (G-106) og í Bjarnarflagi (G-105). Samsætu- og eðalgasgreiningarnar fóru fram á rannsóknarstofum ítölsku eldfjallastöðvarinnar (INGV) í Palermo og Napólí. Niðurstöðurnar má sjá í töflu 17.

Ekki skal fjölýrt hér um niðurstöður fyrir styrk eðalgasa, nema til að benda á að helíum greinist við hæstan styrk í Kröflu en lægstan í Bjarnarflagi. Aftur á móti er styrkur neons heldur hærri í Þeistareykjasýnunum.

Þegar litið er á niðurstöður greininga á gassamsætum vekur strax athygli hversu stöðugt hlutfallið $^3\text{He}/^4\text{He}$ (venjulega táknað R) mælist en í Kröflu og Bjarnarflagi er það rúmlega nífalt hærra en sama hlutfall í andrúmslofti (Ra) en heldur hærra á Þeistareykjum, nærri 11 Ra. Hlutfallið He/Ne er oft notað til að leiðrétta mælda R-hlutfallið fyrir hugsanlegri loftmengun þar eð styrkur Ne er hverfandi í djúpvatninu (Sano o.fl., 1985). Þessi leiðrétting hækkar mældu hlutföllin lítillega, um 0,1–0,3 einingar. Þessum gildum ber ágætlega saman við niðurstöður

Poreda og félaga (1992), sem mældu leiðrétt R-hlutfall 10,66 Ra í gufuauga á Þeistareykjum og hlutföll á bilinu 9,4–9,9 Ra í gufuaugum og holum í Kröflu og Námafjalli. Því virðist vinnsla þar á undanförunum árum ekki hafa haft mikil áhrif á samsætu hlutföll He. Viðtekin R-hlutföll fyrir basalt á úthafshryggjum (MORB) eru 8 ± 1 Ra svo ljóst er að hlutfall ^3He er lítillega herra hér en dæmigert getur talist fyrir slík kerfi. Þetta eru þó mun lægri gildi en mælt hafa á Reykjanesi og í Austurgosbeltinu (Finnbogi Óskarsson, 2014a; 2014b; Poreda o.fl., 1992). Mólhlutfallið $^3\text{He}/\text{CO}_2$ mælist á bilinu 3×10^8 – 3×10^9 sem er sjónarmun lægra en hlutföllin sem Poreda og félagar (1992) mældu í Norðurgosbeltinu.

Tafla 17. Niðurstöður greininga á styrk eðalgasa og stöðugum gassamsætum. Í efri hluta töflunnar eru óunnar niðurstöður en niðurstöður í neðri hluta eru afleiddar.

Sýni Staður	20140259 KG-106	20140260 NG-105	20140265 ÞG-102	20140266 ÞG-101	20140267 ÞG-103
He (ppmV)	221	76,6	23,0	14,7	115
Ne (ppmV)	1,26	8,13	1,07	1,34	3,97
$^3\text{He}/^4\text{He}$	9,75 Ra	9,48 Ra	10,84 Ra	10,41 Ra	10,64 Ra
$^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$	301,2	295,6	296,1	294,7	293,8
$\text{N}_2/^{36}\text{Ar}$	13863	12365	15714	14016	14303
$\delta^{15}\text{N}$ (‰ATM)	-1,427	-0,319	-0,593	-1,968	-0,487
$\delta^{13}\text{C}$ (‰PDB)	-3,98	-4,51	-2,45	-2,57	-2,79
He ($\mu\text{mol/kg}$)	2,83	0,232	1,95	1,16	2,05
Ne ($\mu\text{mol/kg}$)	0,0161	0,0246	0,0904	0,105	0,0707
$^3\text{He}/^4\text{He}$ (leiðrétt)	9,76 Ra	9,78 Ra	10,98 Ra	10,69 Ra	10,75 Ra

Hlutfallið $^{40}\text{Ar}/^{36}\text{Ar}$ mælist á bilinu 294–296 í sýnunum frá Þeistareykjum og úr Bjarnarflagi en eilítið herra (301) í Kröflu. Gildin eru öll mjög nærri því sem mælist í lofti og loftmettuðu vatni (295,5) en dæmigerð gildi fyrir úthafshryggjabasalt eru > 30000 (Ozima, 1994; Burnard o.fl., 1997). Hlutfallið $\text{N}_2/^{36}\text{Ar}$ mælist á bilinu 12300–15700, þ.e. milli viðtekinna gilda fyrir andrúmsloft (24684) og loftmettað vatn (10864), en rúmlega hundraðfalt lægri en viðtekin gildi fyrir möttulinn ($\sim 6 \times 10^6$; Sano o.fl., 1998). Lægsta $\text{N}_2/^{36}\text{Ar}$ hlutfallið mældist í sýninu úr Bjarnarflagi en sýnið úr Ketilfjalli mældist umtalsvert herra en hin sýnin. Þar eð sýnin voru ekki merkjanlega loftmenguð kann þetta að benda til að nokkur hluti köfnunarefnisins komi frá hitagjafanum þótt allt argonið virðist upprunalega ættað úr andrúmsloftinu.

Samsætuvikið $\delta^{15}\text{N}$ mælist á bilinu -0,3 til -2,0‰ í sýnunum, miðað við andrúmsloft sem hefur samkvæmt skilgreiningu $\delta^{15}\text{N} = 0$ ‰. Köfnunarefni úr möttlinum er hins vegar léttara en í andrúmslofti þótt samsætuspekinga greini á um hversu létt það er. Þannig hafa Marty og Humbert (1997) fært rök fyrir því að $\delta^{15}\text{N}$ sé nálega -5‰ fyrir MORB en Mohapatra og Murty (2004) telja að möttulþátturinn hafi $\delta^{15}\text{N}$ á bilinu -15 til -20‰.

Sýnin frá Þeistareykjum hafa öll svipað hlutfall kolefnissamsætna, hér um bil -2,5‰ frá PDB viðmiðunarstaðlinum (*e. Pee Dee Belemnite*) sem byggður er á steingerðum álfasmokki sem fannst í Pee Dee jarðlögunum í S-Karólínu. Sýnin úr Kröflu og Bjarnarflagi eru enn léttari, með samsætuvik -4,0 og -4,5‰. Poreda og félagar (1992) fengu samsætuvik á bilinu -3,4 til -6,0‰ í sýnum úr gufuaugum í Austur- og Norðurgosbeltunum, þar af mældist -5,7‰ í sýni úr gufuauga við Námafjall. Öll sýnin frá ágúst 2014 eru þyngri en dæmigert þykir fyrir koldíoxíð úr möttlinum, sem hefur samsætuhiðrun á bilinu -5 til -8‰ (Javoy o.fl., 1986).

7 Helstu niðurstöður

Gerð er grein fyrir niðurstöðum einstakra þátta í viðkomandi undirköflum fyrir hvert svæði en markmið þessa kafla hér er að draga saman helstu niðurstöður. Hér er einkum leitast við að greina frá þeim breytingum sem hafa sést frá fyrri athugunum en nákvæmar lýsingar á aðstæðum á svæðinu 2014 er að finna í undirköflum.

7.1 Krafla

7.1.1 Yfirborðsvirkni

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

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

7.1.2 Efnasamsetning gufu

Gufan sem stígur upp af Suðurhlíðum Kröflu og Vítissvæðinu er mun gasríkari en gufan í Leirhnjúk. Samanlagður gasstyrkur er 130–180 mmól/kg í Leirhnjúk en um 400 mmól/kg við Víti og 500–570 mmól/kg í Suðurhlíðum. Hæstur gasstyrkur er þó í Vesturhlíðum, samtals um 1270 mmól/kg. Þar er jafnframt hæsta $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ hlutfallið, um 24, en hlutfallið reiknast á bilinu 11–15 í Suðurhlíðum og lægra en 10 við Leirhnjúk og Víti. Sögulega virðist gasstyrkur flökta meira í Suðurhlíðum en á hinum svæðunum. Gashiti reiknast heldur lægri í Leirhnjúk en í kringum Kröflu, þ.e. 290–297°C í stað 300–315°C. Styrkur Cl mælist nú 0,04–0,2 mg/kg í þéttivatni en var iðulega hærri en 1 mg/kg á árunum um og eftir Kröfluelda. Styrkur B í þéttivatni mælist undir 0,1 mg/kg í öllum sýnum.

7.1.3 Gasflæði um jarðveg

Mælingar frá árinu 2014 sýna að koldíoxíðflæði gegnum jarðveg í Kröflu er víða nokkuð líflegt og í um 80% 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 Kröflu-fjalls án þess að því fylgi hækkað hitastig og stundum voru ekki heldur áberandi jarðhitummerki 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

viðast hvar fram litlar breytingar. Þó skáru tvö svæði sig úr, á mælinúmerum B og E, bæði hvað varðar hækkun á jarðvegshitastigi og á koldíoxíðflæði. Nýrra jarðhitaummerkja hefur ekki orðið vart á þessu svæði en eiga hugsanlega eftir að koma fram.

7.2 Námafjall

7.2.1 Yfirborðsvirkni

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

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

7.2.2 Efnasamsetning gufu

Styrkur vetnis hækkar talsvert milli ára, og reyndar gasstyrkur almennt, bæði í gílinu í Námafjalli og á Hverum. Minni breytingar er að sjá á hrygg Námafjalls og í Bjarnarflagi þótt skipt hafi verið um sýnatökustaði á milli ára. Efnahitamælar gefa djúphitastig um 230°C í Bjarnarflagi, 304°C á hrygg Námafjalls og rúmar 330°C bæði í gílinu í Námafjalli og á Hverum. Mólhlutfallið CO₂/H₂S er í öllum tilfellum á bilinu 1,1–1,5. Styrkur Cl er á bilinu 0,1–0,3 mg/kg en styrkur B lægri; hér um bil 0,06–0,11 mg/kg. Lægstu gildin eru í Bjarnarflagi.

7.3 Þeistareykir

7.3.1 Yfirborðsvirkni

Dreifing jarðhitans sem kortlagður var á Þeistareykjum sumarið 2012 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a) var áþekkt því sem áður hefur verið lýst (Kristján Sæmundsson, 2007). Þetta á einnig við um athuganir sumarsins 2014. Almennt virtist meiri gufuvirkni núna í sumar en 2013 en það gæti stafað af logni meðan athuganir fóru fram. Helstu ásyndarbreytingar frá 2012 lágu í meira vatni í hverum (leirhverum) og gufu í misgengjum sem liggja upp á Bæjarfjall. Þar sást engin gufa 2012 en var nokkur sumarið 2014. Þessar breytingar stafa vafalaust af meiri rigningu og kaldara veðurfari sumarið 2014 en sumarið 2012 sem var frekar þurrt og heitt.

7.3.2 Efnasamsetning gufu

Greinilegt er að talsverðar breytingar hafa orðið á virkni og gassamsetningu í gufuaugum á Þeistareykjum á 10. áratug síðustu aldar. Samanburður við árið 1981 bendir hins vegar til þess að kerfið sé í svipuðu ástandi nú og þá. Sýni ársins 2014 úr Ketilfjalli virðist hafa þést talsvert á leið til yfirborðs og er gasstyrkur nú 1,5–3,2 sinnum hærri en árið 2013.

Sjá má á gassamsetningunni, einkum styrk H_2 og N_2 , að svæðið í Röndum reiknast mun kaldara en hin svæðin, eða um 270–280°C að meðaltali, samanborið við 300°C í Tjarnarási og um 310°C í Ketilfjalli. Sýnið úr gílinu við sæluhúsið gefur gashita nærri 295°C. Þetta virðist lítið breytast milli síðustu ára en hjá Halldóri Ármannssyni (2004) kemur fram að Tjarnarás og Randasvæðið hafi kólnað talsvert (yfirborðshiti < 90°C) á árunum 1991 og 1995–1997.

Mólhlutfallið CO_2/H_2S reiknast á bilinu 3,3–3,8 í öllum sýnum nema á Röndum þar sem hlutfallið er 5,0. Styrkur Cl í gufunni er á bilinu 0,07–0,45 mg/kg, hæst við sæluhúsið, en styrkur B er um eða undir 0,1 mg/kg. Ekki er til samfelld saga greininga á þessum efnum til samanburðar.

7.4 Eftirlit með grunnvatni

7.4.1 Mývatnssveit

Á árinu 2014 var varð sú breyting á vöktun grunnvatns á svæðinu að vöktunarstöðum var fjölgað úr 10 í 19 og sýnataka fer nú fram einu sinni á ári en undanfarin áratug voru sýni tekin tvisvar á ári. Auk þessara 19 staða var sýni tekið úr holu AE-10 í Hlíðardal.

Niðurstöður vöktunar á uppleystum efnum í grunnvatni sýna að vatn í lindum við Mývatn og í grunnvatni vestan Námfjalls hefur ekki orðið fyrir áhrifum frá jarðhitavatni frá Bjarnarflags- eða Kröfluvirkjunum hvað varðar styrk arsens og áls. Þó má greina lítils háttar hækkun í styrk áls í Grjótagjá og Langavogi á tímabilinu 2005–2012 og í einu sýni úr Vogagjá 2010, en hún sýnist gengin til baka. Ekki er ljóst hvað olli þessari hækkun. Hækkaður styrkur arsens og áls kom fram í eftirlitsholu LUD-4 austan Námafjalls, nærri þeim stað sem affallsvatn í Hlíðardalslæk sígur í hraunið. Hækkun þessi náði hámarki árin 2009 og 2010 en virðist nú gengin til baka. Talið er líklegt að hún hafi stafað af auknu magni affallsvatns í Hlíðardalslæk á árunum 2004–2008.

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

Yfirlit um efnasamsetningu vatns á öllum vöktunarstöðum er sýnt í viðauka 3. Er það gert í þeim tilgangi að sýna að umfangsmikil efnavöktun hefur farið fram á grunnvatni í Mývatnssveit um langa hrið. Ekki er fjallað nánar um þessi gögn hér enda utan umfangs þess verks sem hér er gerð grein fyrir.

7.4.2 Þeistareykir og Kelduhverfi

Tilgangur vöktunar á efnasamsetningu grunnvatns í Kelduhverfi og á Þeistareykjum er að safna bakgrunnsupplýsingum áður en jarðhitanyting hefst á Þeistareykjum, þ.e. gögnum sem sýna efnasamsetningu grunnvatnsins við náttúrulegar aðstæður fyrir virkjun. Á árinu 2014 voru boraðar viðbótareftirlitsholur og djúpdælum komið fyrir í þeim. Styrkur arsens er á öllum vöktunarstöðum innan við umhverfismörk I og sama má segja um styrk áls utan eins sýnis úr lind við Fjöll frá árinu 2009. Líklegt er að um mengun við sýnatöku eða efnagreiningu sé að ræða. Styrkur kvikasilfur er á öllum stöðum innan greiningarmarka. Önnur efni sem

heyra undir reglugerð um varnir gegn mengun vatns (Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn) liggja undir umhverfismörkum I í öllum sýnum úr Kelduhverfi, nema króm sem fellur í flokk II, en á Þeistareykjum er vatn úr ÞR-5 og ÞR-9 í flokki II með tilliti til nikkels og sinks.

Yfirlit um efnasamsetningu vatns á öllum eftirlitsstöðum er sýnt í viðauka 3. Þar sést að jarðhitaáhrifa gætir á öllum sýnatökustöðum á Þeistareykjum. Það sést t.d. vel í hækkuðum styrk kísils í vatni á vöktunarstöðum. Að öðru leyti er ekki fjallað nánar um þessar niðurstöður, enda fellur slík umfjöllun utan þessa verkefnis.

8 Heimildir

- 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). CO₂ budget of the Krafla geothermal system NE-Iceland. Í Bullen, P. D. og Wang, Y. (ritstj.) *Water Rock Interaction*, 189–192.
- Burnard, P., Graham, D. og Turner, G. (1997). Vesicle-specific noble gas analyses of Popping Rock: Implications for primordial noble gases in Earth. *Science*, 276, 568–571.
- Cardellini C., Chiodini G., og Frondini F. (2003). Application of stochastic simulations to CO₂ flux from soil: Mapping and quantifying gas release. *J. Geophys. Res.*, 108, 2425.
- Finnbogi Óskarsson (2014a). *Stable isotope characterisation of the gas in the Reykjanes system*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/031, 18 bls.
- Finnbogi Óskarsson (2014b). *Gufusýnataka við Hágöngur. Niðurstöður efnagreininga*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-14065, 12 bls.
- Gestur Gíslason, Gunnar Johnsen, Halldór Ármannsson, Helgi Torfason og Knútur Árnason (1984). *Þeystareykir – Yfirborðsrannsóknir á háhitasvæðinu*. Orkustofnun, OS-84089/JHD-16. 134 bls. + 3 kort.
- Granieri, D., Chiodini G., Marzocchi W. og Avino, R. (2003) Continuous monitoring of CO₂ 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, 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 Ármannsson, 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.
- 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.
- Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson (2005). *Flokkun jarðhitafyrirbæra á háhitasvæðum*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2005/023, 21 bls.
- Hrefna Kristmannsdóttir (2010). *Grunnvatnsrannsóknir í Norðurþingi 2007–2009*. Landsvirkjun, LV-2011/074, 50 bls.
- Jarðboranir ríkisins (1951). *Efnagreiningar á hverum og laugum*. Jarðboranir Ríkisins, Reykjavík, 88 bls.
- Javoy, M., Pineau, F. og Delorme, H. (1986). Carbon and nitrogen isotopes in the mantle. *Chemical Geology*, 57, 41–62.
- 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. Umhverfissvöktun 2001. Landsvirkjun – Kröflustöð*, 41 bls.
- Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2004). *Kröflusvæði og Bjarnarflag. Umhverfissvöktun 2004. Landsvirkjun – Kröflustöð*, 27 bls.
- Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2008). *Kröflusvæði og Bjarnarflag. Umhverfissvöktun árið 2007. Landsvirkjun – Kröflustöð*, 33 bls.
- Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2009). *Kröflusvæði og Bjarnarflag. Umhverfissvöktun árið 2008. Landsvirkjun – Kröflustöð, LV-2009/141*, 39 bls.
- Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2010). *Kröflusvæði og Bjarnarflag. Umhverfissvöktun árið 2009. Landsvirkjun – Kröflustöð, LV-2010/110*, 39 bls.
- Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2011). *Kröflusvæði og Bjarnarflag. Umhverfissvöktun 2011. Landsvirkjun, LV-2011/119*, 37 bls.
- Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2012). *Kröflusvæði og Bjarnarflag. Umhverfissvöktun 2011. Landsvirkjun, LV-2012/120*, 43 bls.
- Kristján Sæmundsson (2007). *Jarðfræðin á Þeistareykjum. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-07270*, 23 bls.
- Kristján Sæmundsson (2008). *Krafla. Jarðhitakort, 1:25.000. Landsvirkjun og Íslenskar orkurannsóknir.*
- Kristján Sæmundsson (2010). *Námafjall. Jarðfræði og jarðhitakort, 1:25000. Landsvirkjun og Íslenskar orkurannsóknir.*
- Löfgren, S. og Lydersen, E. (2002). *Heavy metal concentrations in the Nordic lakes in relation to presently used Critical Limits – a state of the art review.* Proc. Workshop on Heavy Metals (Pb, Cd and Hg) in Surface Water Monitoring and Biological Impact, March 18–20, Lillehammer, Norway. ICP-WATERS Report 67/2002. Trans Boundary Air Pollution

- Programme on Assessment and Monitoring of Acidification of Rivers and Lakes. Norwegian Institute for Water Research, 26–27.
- Magnús Ólafsson og Þórólfur H. Hafstað (2012). *Þeistareykir – Tillaga um grunnvatnsvöktun*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-12064, 9 bls.
- Magnús Ólafsson, Práinn Friðriksson, Þórólfur H. Hafstað, Sigríður Sif Gylfadóttir, Finnbogi Óskarsson og Halldór Ármannsson (2013). *Áhrif jarðhitanytingar í Bjarnarflagi á volga grunnvatnsstrauminn til Mývatns*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2013/038, Landsvirkjun, LV-2013-096, 42 bls.
- Marty, B. og Humbert, F. (1997). Nitrogen and argon isotopes in oceanic basalts. *Earth and planetary science letters*, 152, 101–112.
- Mohapatra, R. K. og Murty, S. V. S. (2004). Nitrogen isotopic composition of the MORB mantle: A reevaluation. *Geochemistry Geophysics Geosystems*, 5, Q01001.
- Ozima, M. (1994). Noble gas state in the mantle. *Reviews of Geophysics*, 32, 405–426.
- Poreda, R. J., Craig, H., Arnórsson, S. og Welhan J. A. (1992). Helium isotopes in Icelandic geothermal systems: I. ^3He , gas chemistry and ^{13}C relations. *Geochimica et cosmochimica acta*, 56, 4221–4228.
- Reglugerð um losunarmörk, umhverfismörk og gæðamarkmið fyrir losun á kvikasilfri í yfirborðsvatn nr. 800/1999.*
- Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001.*
- Reglugerð um varnir gegn mengun vatns nr. 796/1999.*
- Sano, Y., Urabe, A., Wakita, H., Chiba, H. og Sakai, H. (1985). Chemical and isotopic compositions of gases in geothermal fluids in Iceland. *Geochemical journal*, 19, 135–148.
- Sano, Y., Takahata, N., Nishio, Y. og Marty, B. (1998). Nitrogen recycling in subduction zones. *Geophysical research letters*, 25, 2289–2292.
- Sigurður G. Kristinsson, Práinn Friðriksson, Magnús Ólafsson, Sveinborg Hlíf Gunnarsdóttir og Steinþór Níelsson (2013a). *Háhitavæðin 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 Práinn Friðriksson (2013b). *Háhitavæðin í Námafjalli, Kröflu og á Þeistareykjum. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2013*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2013/060, 160 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, Práinn Friðriksson og Andri Stefánsson (1995). *Krafla og Námafjall. Gas í borholum og gufuaugum*. Raunvísindastofnun Háskólans, RH 18-95, 14 bls.

- Stefán Arnórsson, Práinn 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, Práinn 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/döhp
- Práinn Friðriksson (2009). *Gasflæði í Kröfluhlíðum. Fyrstu niðurstöður*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð ÍSOR-09019, 5 bls.
- Práinn 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: Sýnataka og efnagreiningaraðferðir

Gufusýni

Gufusýnum er safnað með því að leggja trekt yfir gufuaugað og þetta vel að með leir. Við trektina er svo tengt títanrör eða slanga, og gufunni safnað þar í gegn. Gassýnum er safnað í lofttæmdar glerflöskur sem innihalda 50 mL af 10 M NaOH. Við söfnunina þéttist gufan, súru gösin CO₂ og H₂S leysast í lútnum en önnur gös safnast fyrir í flöskunni.

Gas (H₂, CH₄, N₂, O₂, Ar): Sýnum er safnað yfir lút í lofttæmdar glerflöskur og þau greind með gasskilju með varmaleiðninema (GC-TCD). Gasstyrkur er reiknaður út frá þrýstingi sýnis, flatarmáli toppa á rófinu og flatarmáli tilsvarende toppa fyrir róf staðalgasi.

Koldíoxíð (CO₂): Sýnum er safnað í lút í lofttæmdar glerflöskur og þau greind með títrun frá pH 8,2 niður í pH 3,8. Leiðrétt er fyrir styrk CO₂ í blindsýnum og styrk H₂S.

Brennisteinsvetni (H₂S): Sýnum er safnað í lút í lofttæmdar glerflöskur og þau títruð með kvikasilfursasetati þar sem dithizone í acetoni er notað sem litvísir.

Eðalgös og gassamsætur (He, Ne, ³He, ⁴He, ³⁶Ar, ⁴⁰Ar, ¹⁵N í N₂): Sýnum er safnað í lút í lofttæmdar glerflöskur og þau greind á gasskilju með massagreinisnema (GC-MS). Framkvæmt á rannsóknastofum INGV í Palermo og Napólí.

Kolefnissamsætur (¹³C í CO₂): Kældu gasi er safnað í loftþétt glerglös og sýnin greind á massagreini á rannsóknarstofu INGV í Palermo.

Vatns- og þéttivatnssýni

Vatnssýnum er safnað með aðstoð dælu, með djúpdælu úr borholum en lítilli „peristaltískri“ dælu úr lindum, gjám og öðrum stöðum þar sem ekki er þrýstingur á vatninu. Sýni sem eru heitari en 30°C eru leidd gegnum kælispiral og kæld niður fyrir 30°C. Sýnum er safnað ýmist á gler- eða plastflöskur eftir því hvaða efnaþætti á að mæla í sýnunum, og þau eru síuð, sýrð eða meðhöndluð á annan hátt eftir þörfum. Þeirri meðhöndlun er lýst hér að neðan.

Þéttivatnssýnum úr gufuaugum er safnað um sýnatökutrekt, líkt og lýst er í gufusýna-kaflanum hér að ofan. Gufan er svo leidd gegnum kælispiral þar sem hún þéttist og sýnum safnað í 25 mL plastglös („sinturglös“) og meðhöndluð eftir því sem við á. Handdæla er notuð til að sjúga þéttivatnið gegnum spirálinn dugi kraftur gufuaugans ekki til þess.

Sýrustig (pH): Sýrustig er mælt með spennumælingu yfir sambyggt rafskaut, annaðhvort strax við söfnun eða að sýnum er safnað á loftþéttar glerflöskur og sýrustig þeirra mælt eigi síðar en 48 klst. eftir söfnun.

Karbónat (CO₂): Sýnum er safnað á loftþéttar glerflöskur og þau greind með títrun frá pH 8,2 niður í pH 3,8 og baktítrun frá pH 3,8 upp í pH 8,2 eigi síðar en 48 klst. eftir söfnun. Leiðrétt er fyrir klofnun H₂S, H₂O og fleiri daufra sýrna.

Brennisteinsvetni (H₂S): 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 48 klst. eftir söfnun.

Aðalmálmar (Na, K, Mg, Ca): Sýni síuð við söfnun, þau sett á sýruþvegnar plastflöskur og þau sýrð með saltpéturssýru (*suprapur*). Greining ýmist með atómisogsmælingum (AAS) á rannsóknastofu ÍSOR, jónaskiljun (IC) á rannsóknastofu Landsvirkjunar eða rafgasgreiningum (ICP-AES) á rannsóknarstofu ALS í Svíþjóð. Sýni ársins 2014 voru öll greind á rannsóknarstofu ÍSOR.

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

Kvikasilfur (Hg): Sýni eru síuð við söfnun, þau sett á sýruþvegnar plastflöskur og þau sýrð með saltpéturssýru (*suprapur*). Í sumum tilfellum (haustsýni 2013) var mettuð KMnO_4 -lausn einnig notuð til að hindra afoxun kvikasilfursjónanna. Greining með atómflúrljómunarmælingum (AFS) á rannsóknarstofu ALS í Svíþjóð.

Anjónir (F , Cl , SO_4): Sýni eru síuð við söfnun og geymd á plastflöskum. Þar sem styrkur H_2S er hærri en 1 mg/L er ZnS fellt úr lausninni strax eftir söfnun. Greining með jónaskiljun (IC) á rannsóknarstofum ÍSOR eða Landsvirkjunar (á aðeins við um vorsýni 2012 og 2013).

Bór (B): Sýni eru síuð 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 (1:1 eða 1:10 þynning með eimuðu vatni) sýnum safnað á plastflöskur og kísilstyrkur greindur með mælingu á ljósgleypni kísilmólybdat komplex í súrri lausn við 410 nm bylgjulengd.
- (ii) Rannsóknarstofa ALS: Sýni síuð við söfnun, þau sett á sýruþvegnar plastflöskur og þau sýrð með saltpéturssýru (*suprapur*). Greining á Si með rafgasgreiningum (ICP-AES) á rannsóknastofu ALS í Svíþjóð.

Kísilstyrkur í sýnum ársins 2014 var í öllum tilfellum greindur á rannsóknarstofu ÍSOR.

Uppleyst steinefni (TDS): Sýni eru síuð 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 $\delta^{18}\text{O}$): Sýnum er safnað á loftþéttar glerflöskur og hlutfall þungra og léttara samsætna ákvarðað á massagreini hjá Raunvísindastofnun Háskóla Íslands. Samsætuhlutföll eru gefin upp sem ‰-vik frá sömu hlutföllum í staðalsjó (SMOW). Vegna bilunar í massagreini Raunvísindastofnunar er greiningum á sýnum ársins 2014 enn ekki lokið.

Viðauki 2: 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 ₂ S	Ar	CH ₄	H ₂	N ₂	O ₂
20.08.2013	ÍSÖR 13b	20130248	120	13,5	0,078	1,32	16,6	2,48	<0,01
13.08.2012	ÍSÖR 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 úr Leirhnjúk (K G-109) í mmól/kg.

Tími	Heimild	Númer	CO ₂	H ₂ S	Ar	CH ₄	H ₂	N ₂	O ₂
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 Suðurhlíðum (K G-102, G-106, G-5, G-7) í mmól/kg.

Tími	Heimild	Númer	CO ₂	H ₂ S	Ar	CH ₄	H ₂	N ₂	O ₂
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-4. Efnasamsetning eldri gufusýna úr Vesturhlíðum (G-38) í mmól/kg.

Tími	Heimild	Númer	CO ₂	H ₂ S	Ar	CH ₄	H ₂	N ₂	O ₂
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-5. Efnasamsetning eldri gufusýna af Vitissvæði (K G-103, G-105, G-12) í mmól/kg.

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

Tafla V-6. Efnasamsetning eldri gufusýna af Vitissvæði (G-1) í mmól/kg.

Tími	Heimild	Númer	CO ₂	H ₂ S	Ar	CH ₄	H ₂	N ₂	O ₂
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-7. Efnasamsetning eldri sýna af hrygg Námafjalls (N G-101) í mmól/kg.

Tími	Heimild	Númer	CO ₂	H ₂ S	Ar	CH ₄	H ₂	N ₂	O ₂
22.08.2013	ÍSÖR 13b	20130258	53,4	77,8	2,74	1,49	151	209	20,4
14.08.2012	ÍSÖR 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-8. Efnasamsetning eldri sýna úr gili í Námafjalli (N G-102, NG-1) í mmól/kg.

Tími	Heimild	Númer	CO ₂	H ₂ S	Ar	CH ₄	H ₂	N ₂	O ₂
22.08.2013	ÍSÖR 13b	20130259	60,7	77,8	0,087	1,37	68,7	1,45	<0,01
14.08.2012	ÍSÖR 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-9. Efnasamsetning eldri sýna úr Bjarnarflagi (N G-103) í mmól/kg.

Tími	Heimild	Númer	CO ₂	H ₂ S	Ar	CH ₄	H ₂	N ₂	O ₂
22.08.2013	ÍSÖR 13b	20130257	14,5	10,0	0,061	1,35	3,19	2,18	<0,01
14.08.2012	ÍSÖR 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-10. Efnasamsetning eldri sýna af Hverum (N G-104) í mmól/kg.

Tími	Heimild	Númer	CO ₂	H ₂ S	Ar	CH ₄	H ₂	N ₂	O ₂
22.08.2013	ÍSÖR 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

Peistareykir

Tafla V-11. Efnasamsetning eldri gufusýna úr Þ G-101 (áður G-1) í mmól/kg.

Tími	Númer	CO ₂	H ₂ S	Ar	CH ₄	H ₂	N ₂	O ₂
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-12. Efnasamsetning eldri gufusýna úr Þ G-102 (áður G-3) í mmól/kg.

Tími	Númer	CO ₂	H ₂ S	Ar	CH ₄	H ₂	N ₂	O ₂
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-13. Efnasamsetning eldri gufusýna úr Þ G-103 (áður G-6) í mmól/kg.

Tími	Númer	CO ₂	H ₂ S	Ar	CH ₄	H ₂	N ₂	O ₂
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-14. Efnasamsetning eldri gufusýna úr Þ G-104 (áður G-12) í mmól/kg.

Tími	Númer	CO ₂	H ₂ S	Ar	CH ₄	H ₂	N ₂	O ₂
21.08.2013	20130252	62,3	29,6	0,032	0,238	25,0	0,58	<0,01
12.08.2012	20120185	56,7	23,7	0,012	0,064	14,7	0,73	<0,01
09.08.1981	19811072	47,2	19,0		0,078	6,3	0,48	0,28

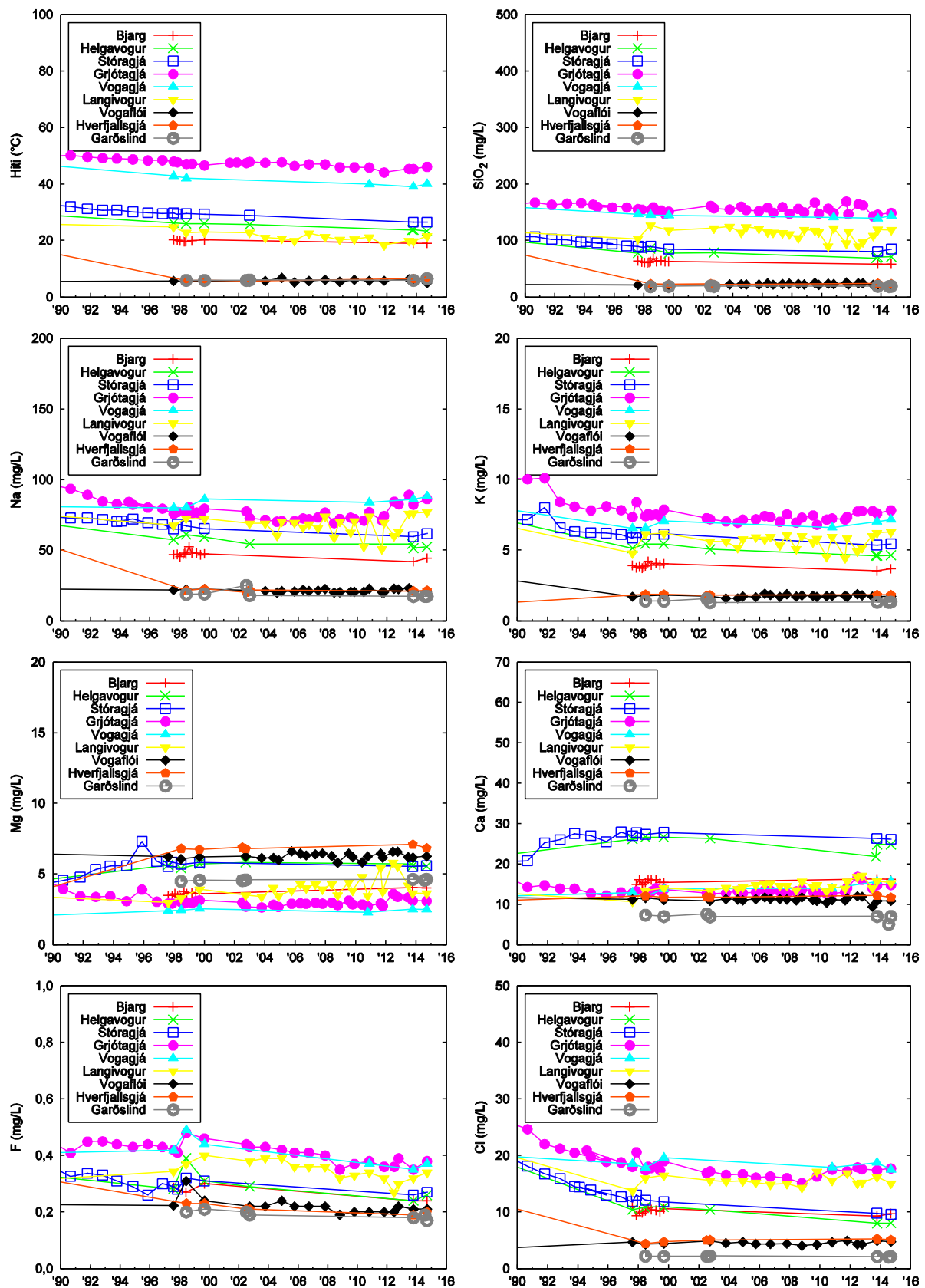
Tafla V-15. Efnasamsetning eldri gufusýna úr Þ G-105 (áður G-17) í mmól/kg.

Tími	Númer	CO ₂	H ₂ S	Ar	CH ₄	H ₂	N ₂	O ₂
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	

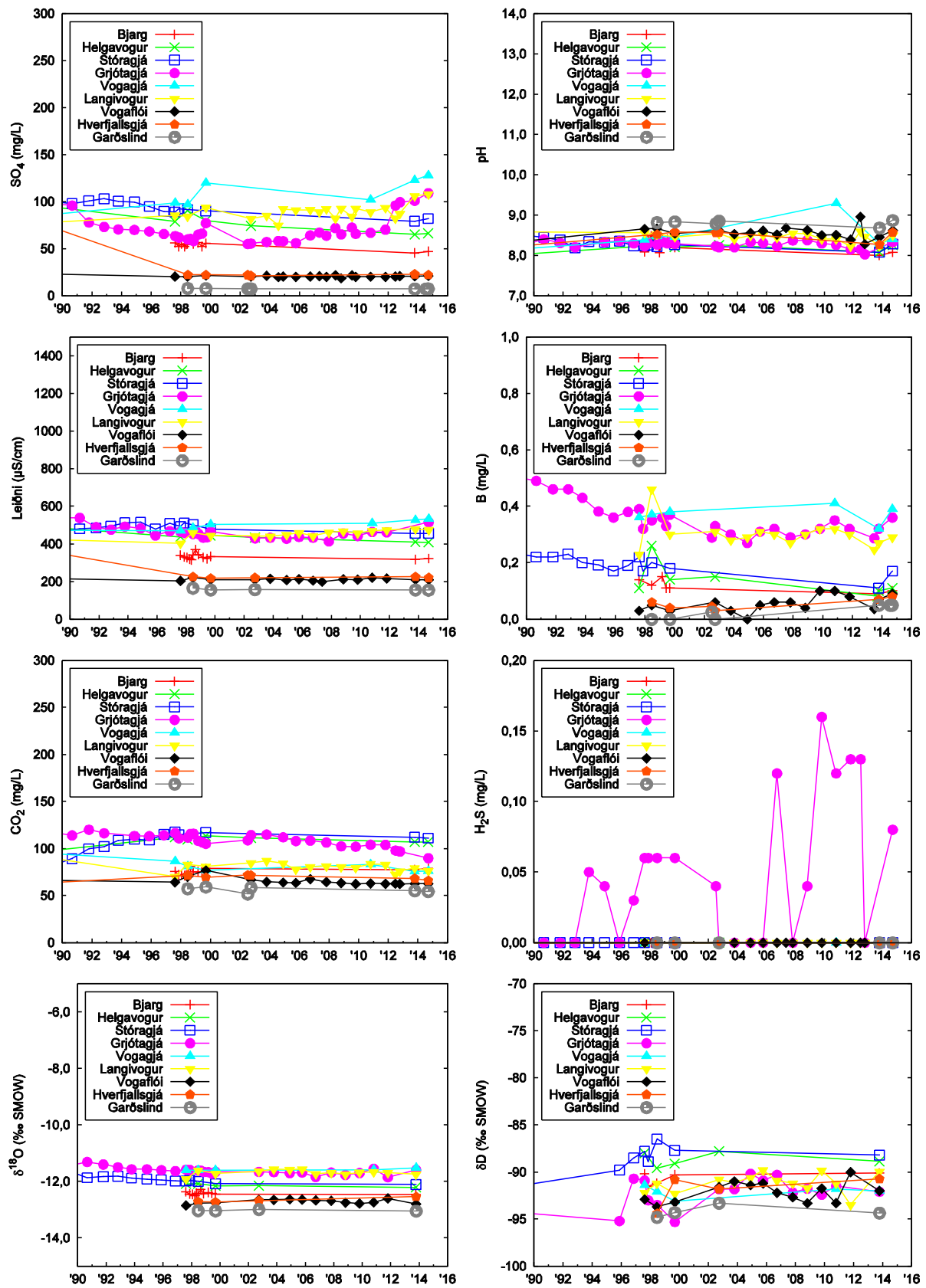
Tafla V-16. Efnasamsetning eldri gufusýna úr Þ G-106 (áður G-10) í mmól/kg.

Tími	Númer	CO ₂	H ₂ S	Ar	CH ₄	H ₂	N ₂	O ₂
21.08.2013	20130256	58,4	14,7	0,028	0,382	6,51	1,13	<0,01
12.08.2012	20120187	60,7	15,6	0,019	0,175	7,56	1,26	<0,01
14.08.1981	19811061	99,3	20,0		0,740	2,33	35,1	

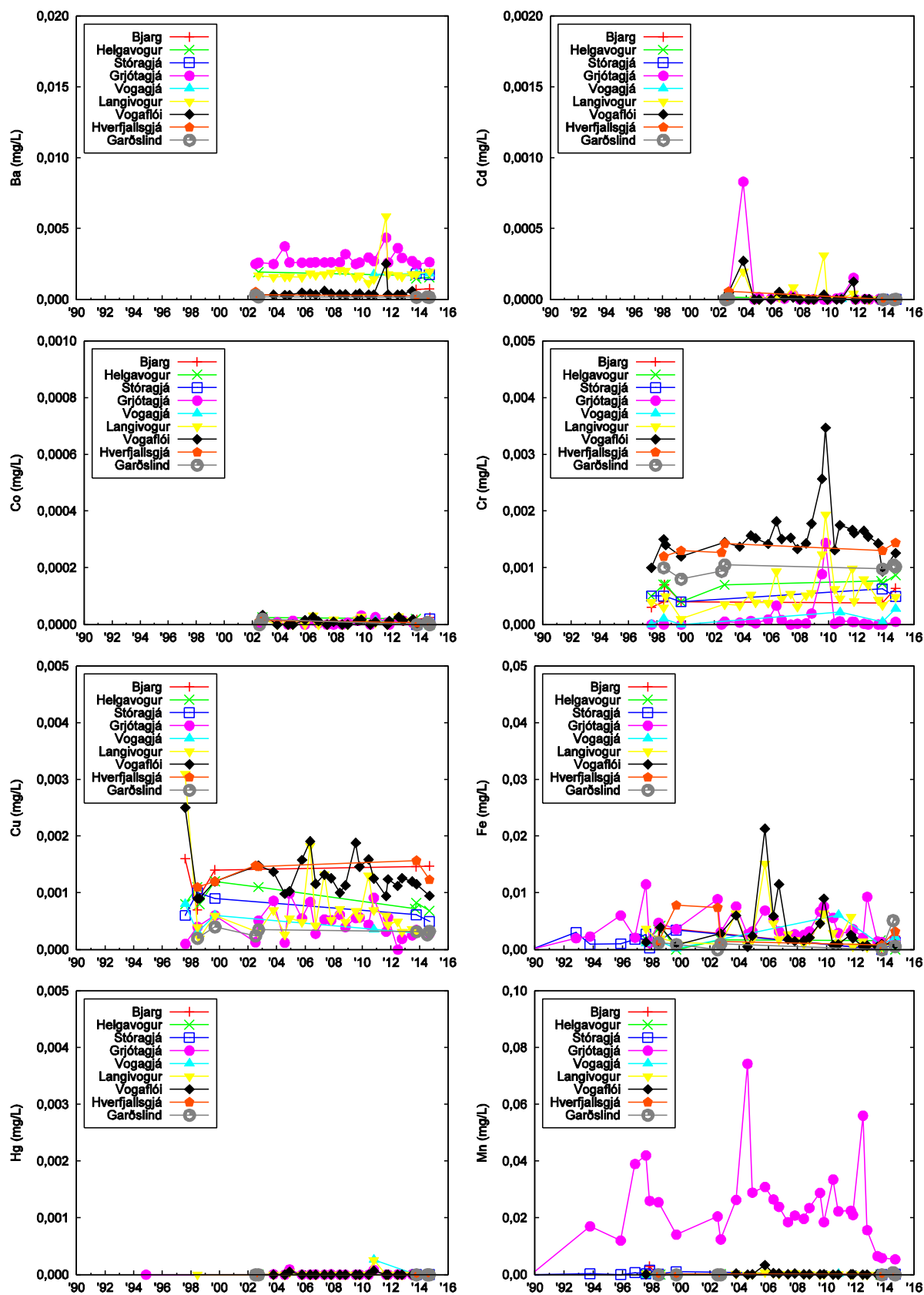
Viðauki 3: Efnastyrkurur í grunnvatnssýnum - myndir



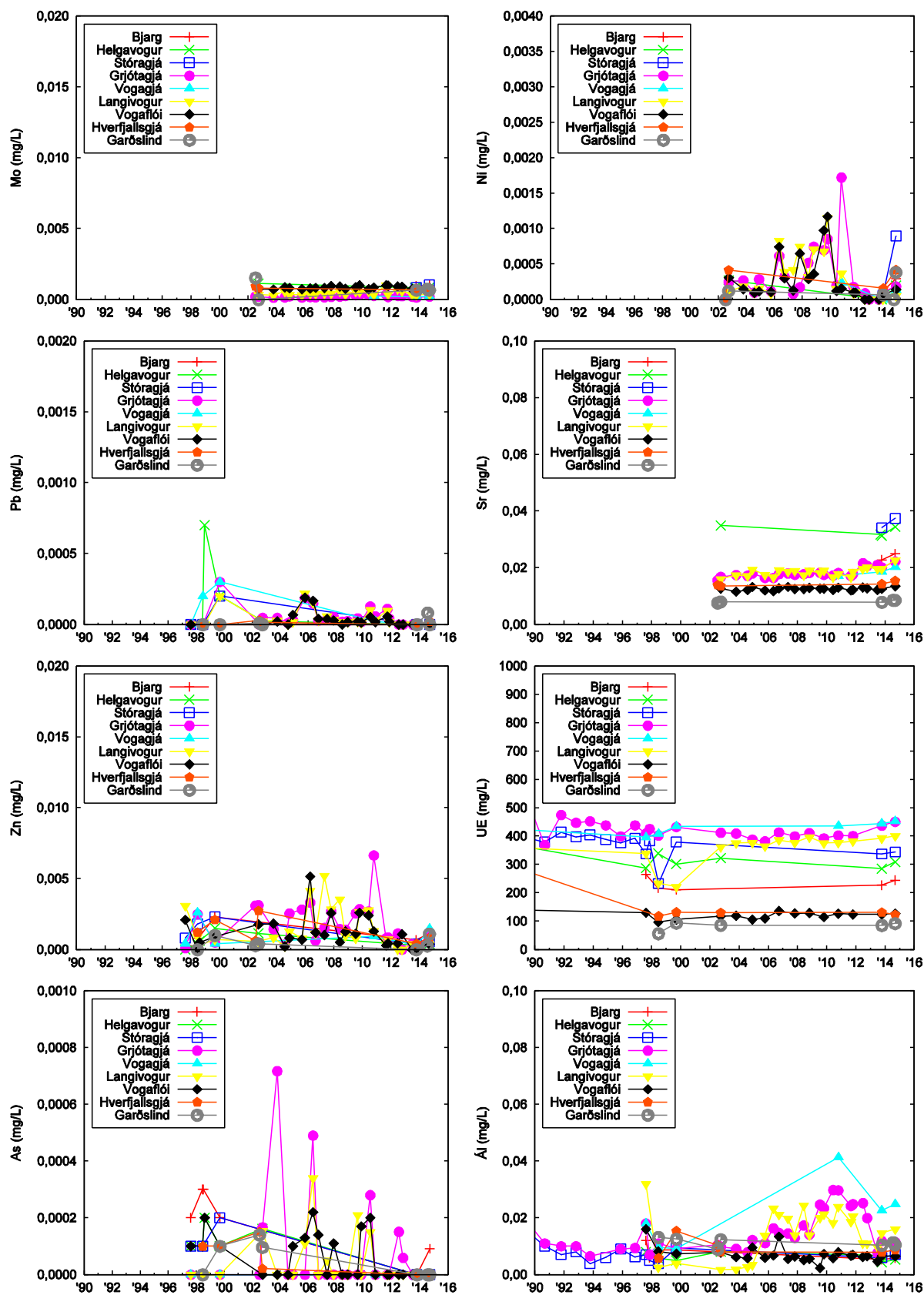
Mynd V-1. Lindir í Mývatnssveit.



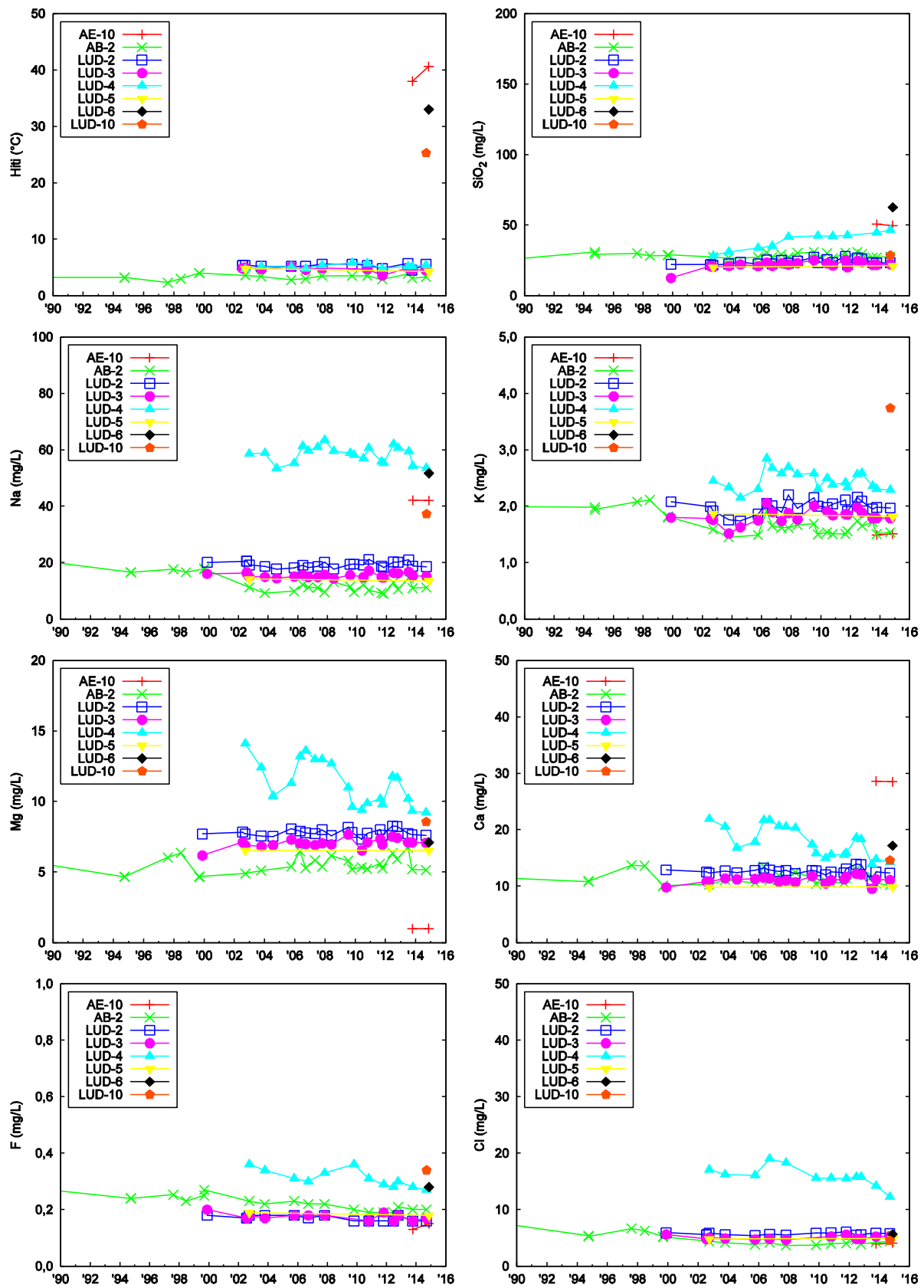
Mynd V-2. Lindir í Mývatnssveit.



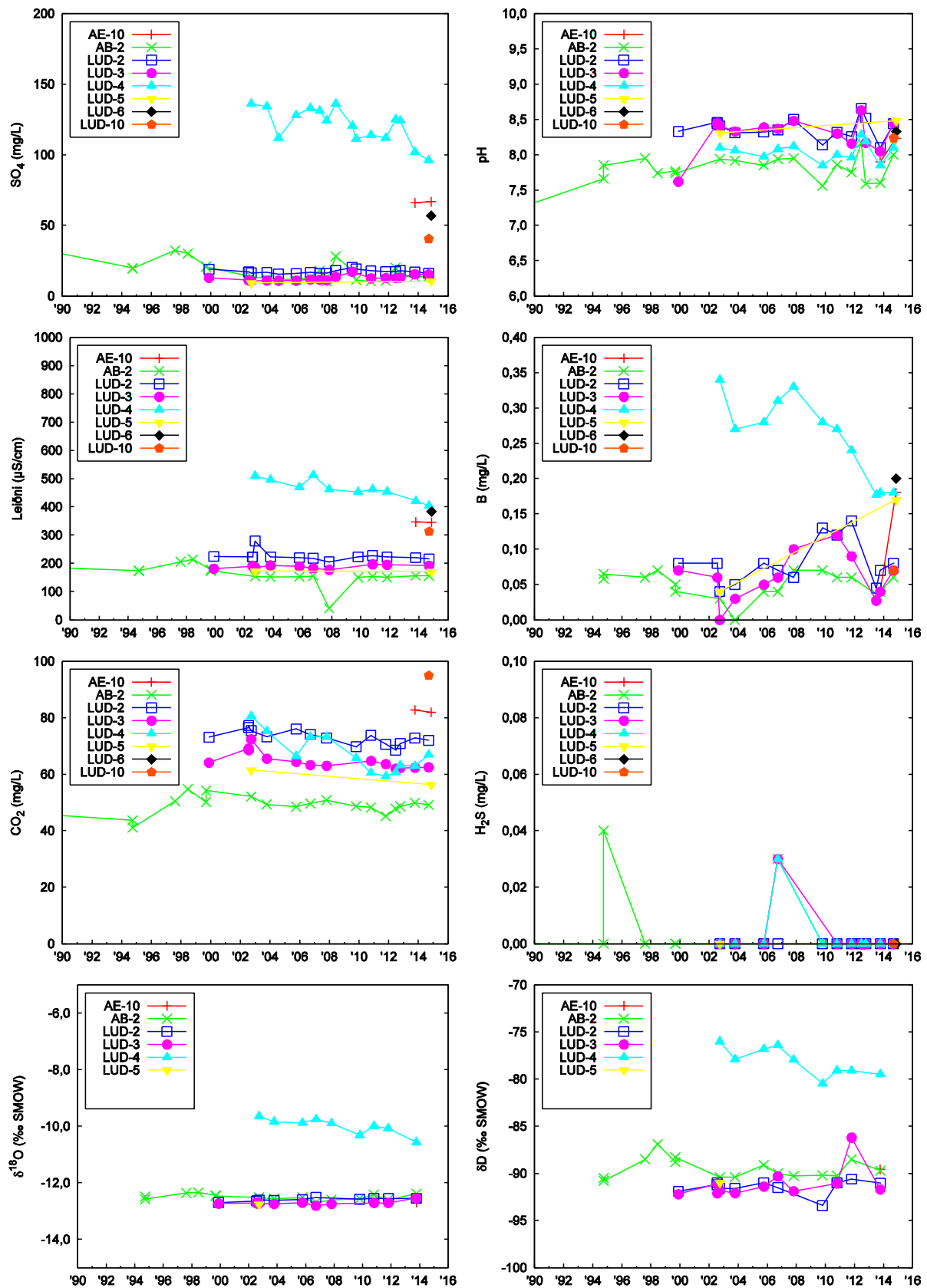
Mynd V-3. Lindir í Mývatnssveit.



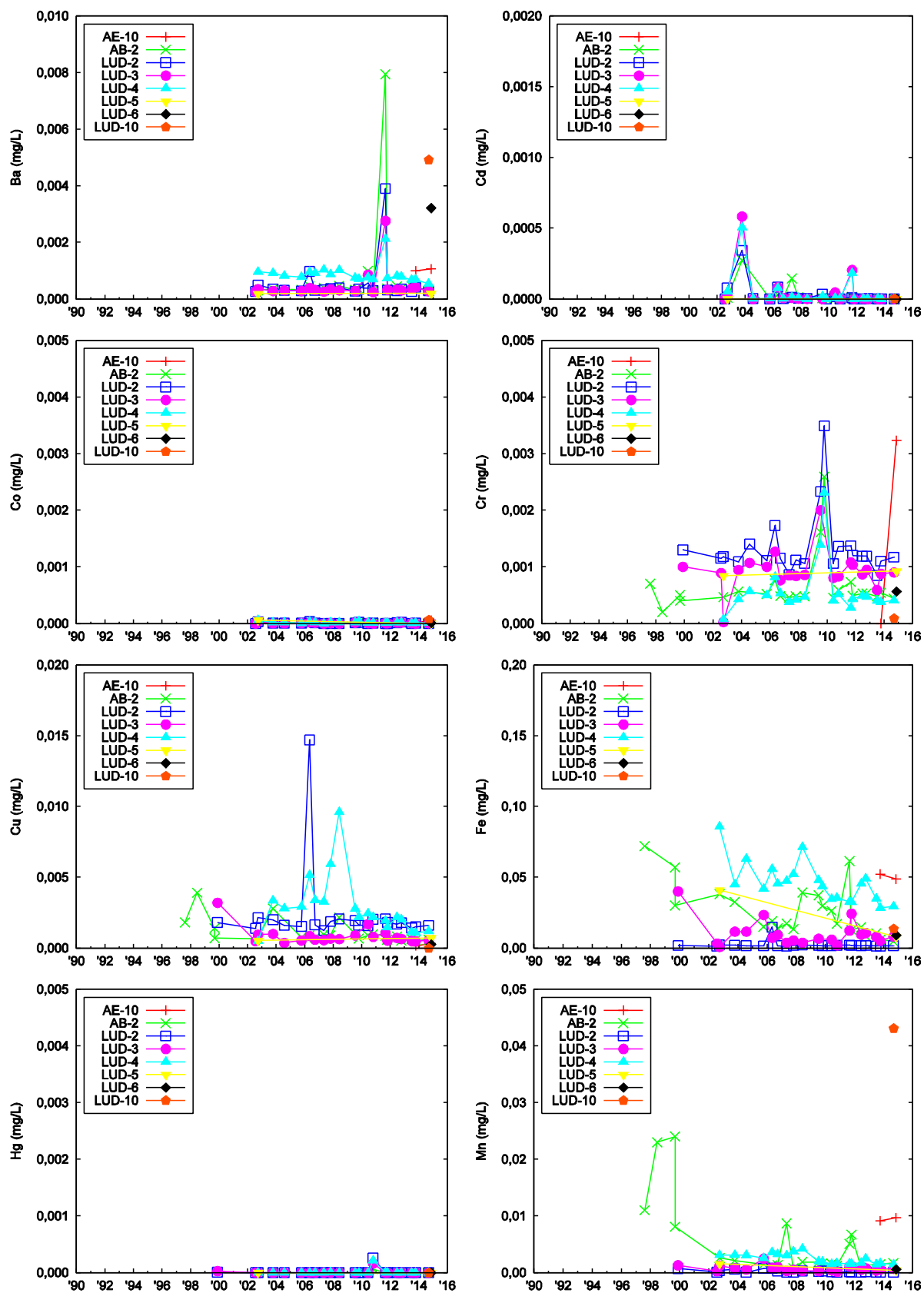
Mynd V-4. Lindir í Mývatnssveit.



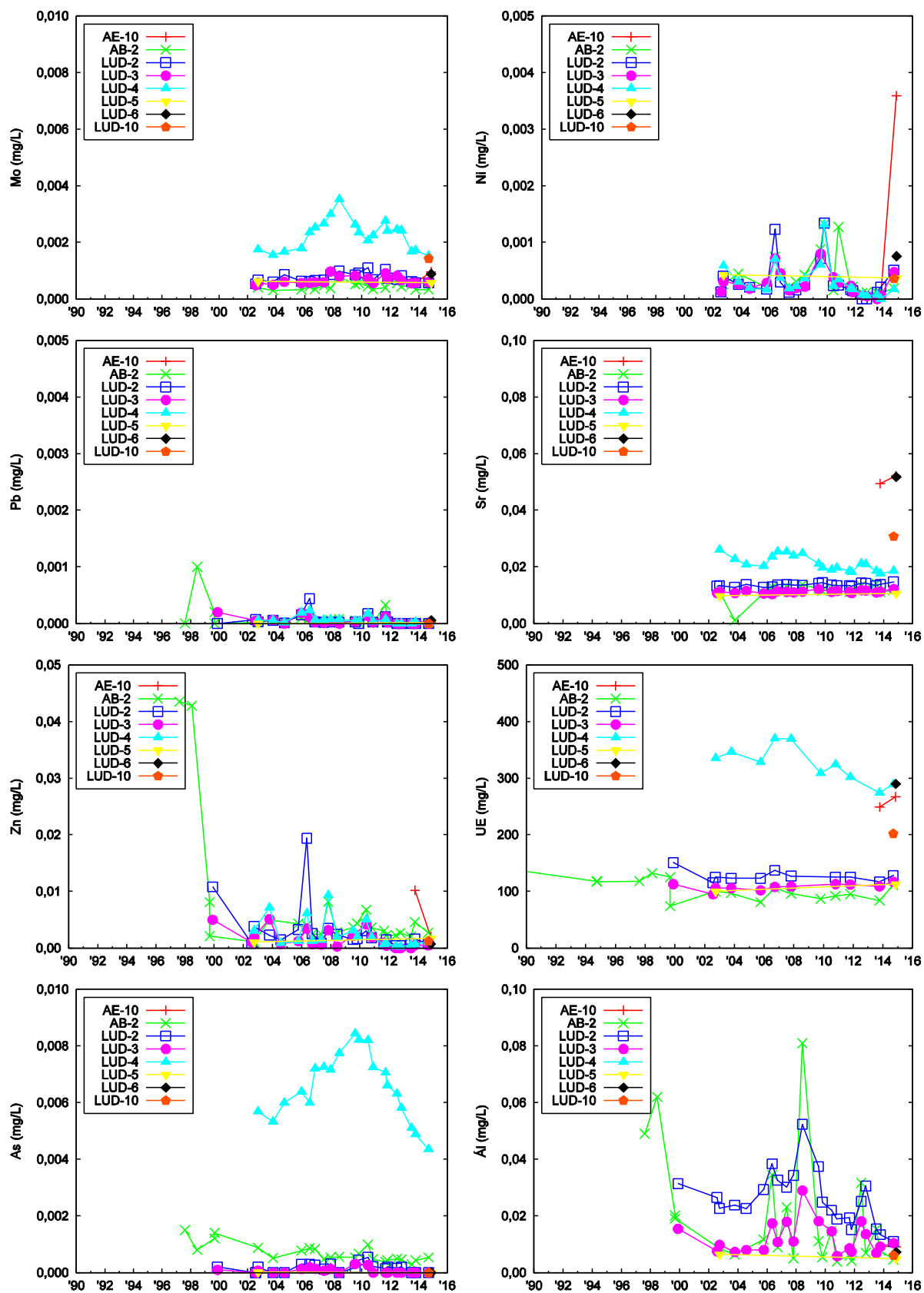
Mynd V-5. Borholur í Mývatnssveit.



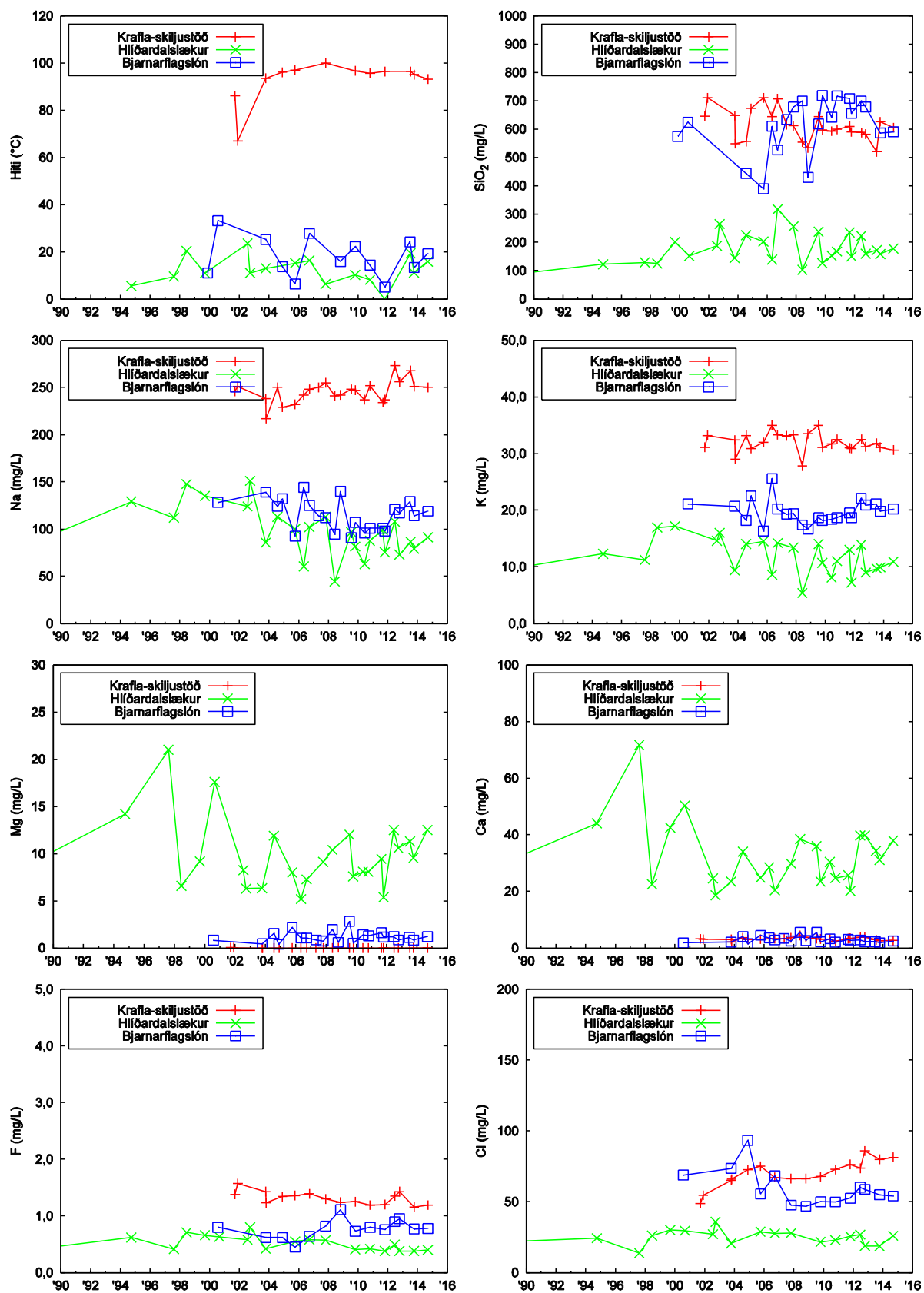
Mynd V-6. Borholur í Mývatnssveit.



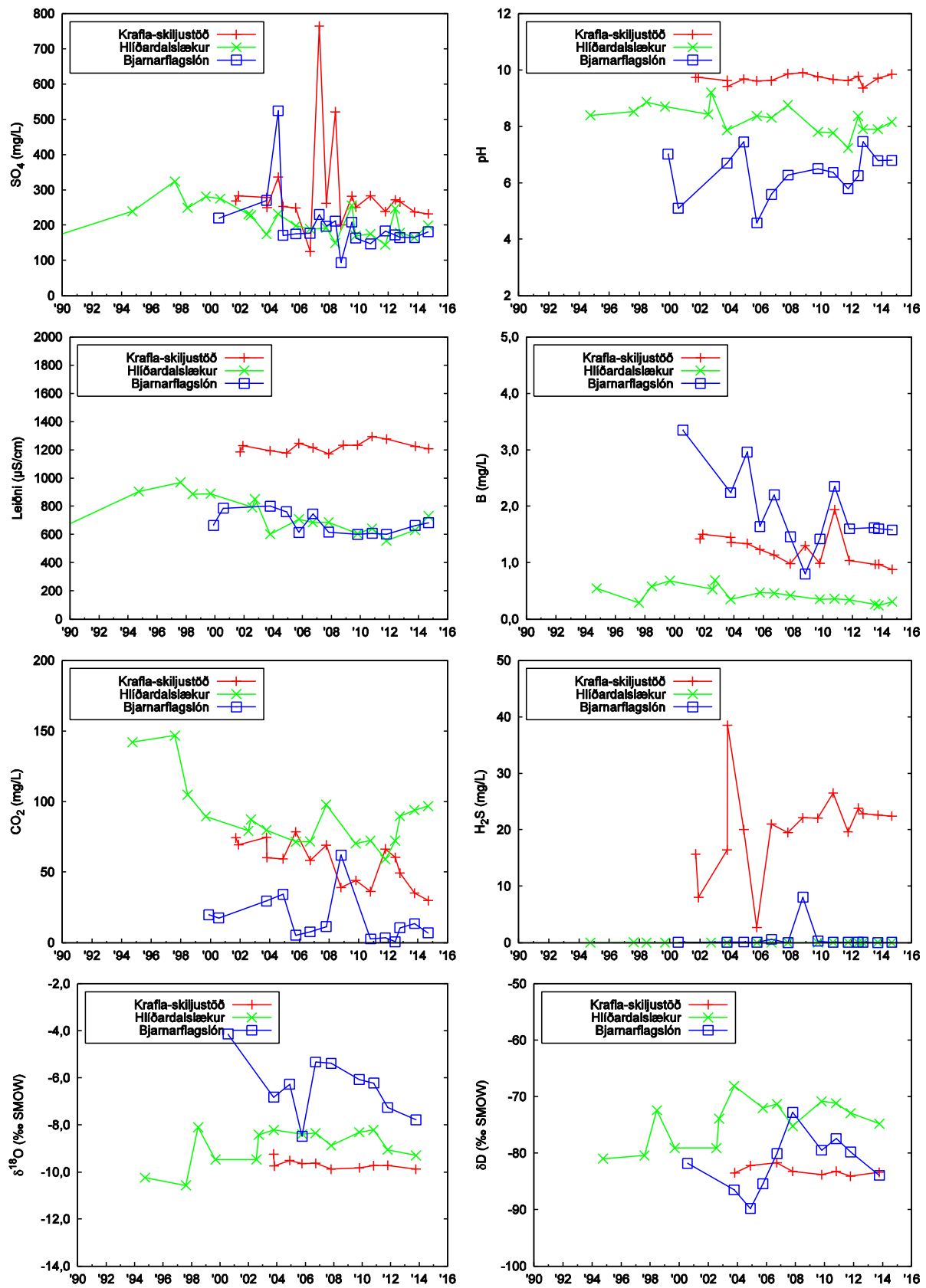
Mynd V-7. Borholur í Mývatnssveit.



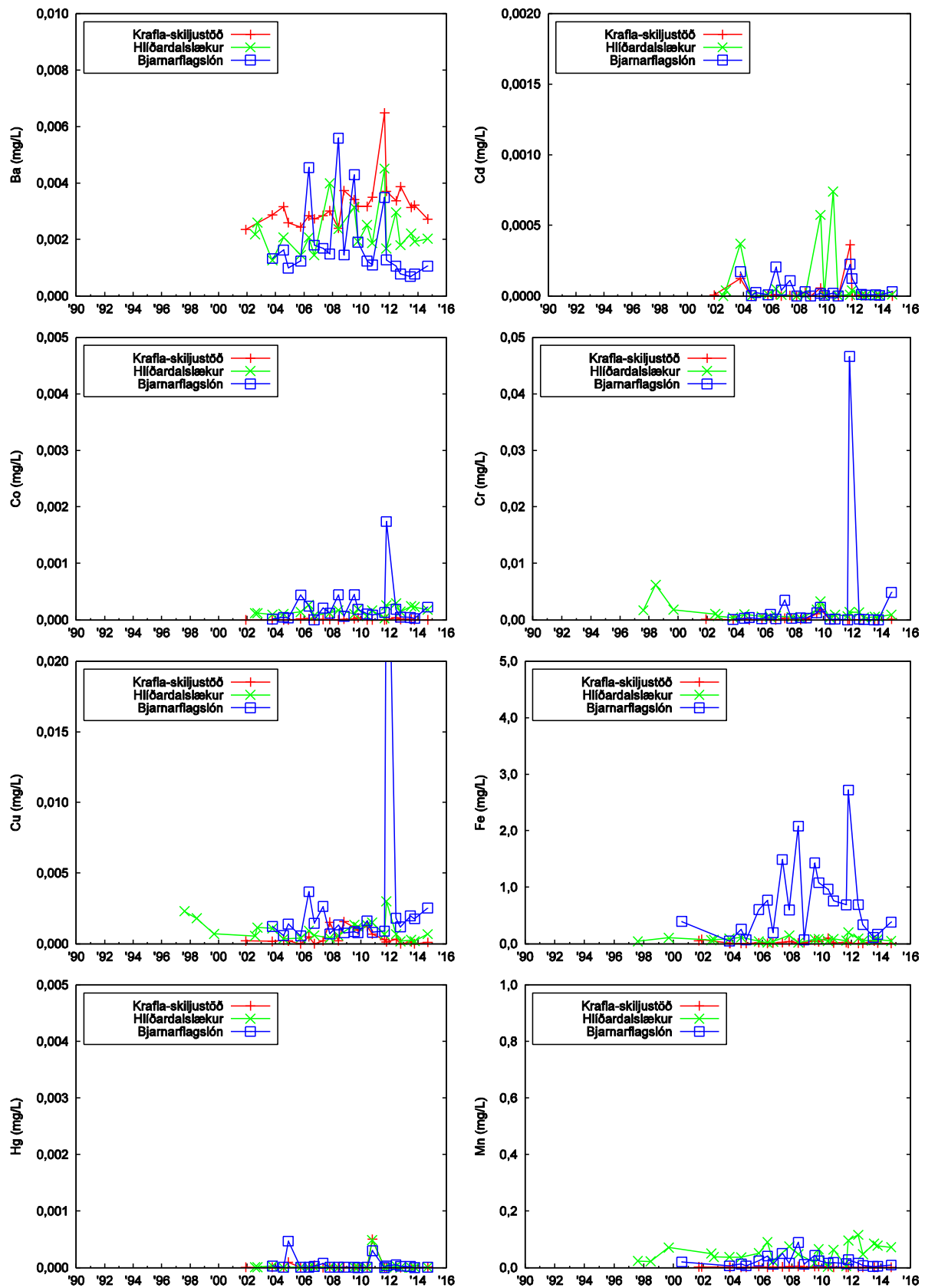
Mynd V-8. Borholur í Mývatnssveit.



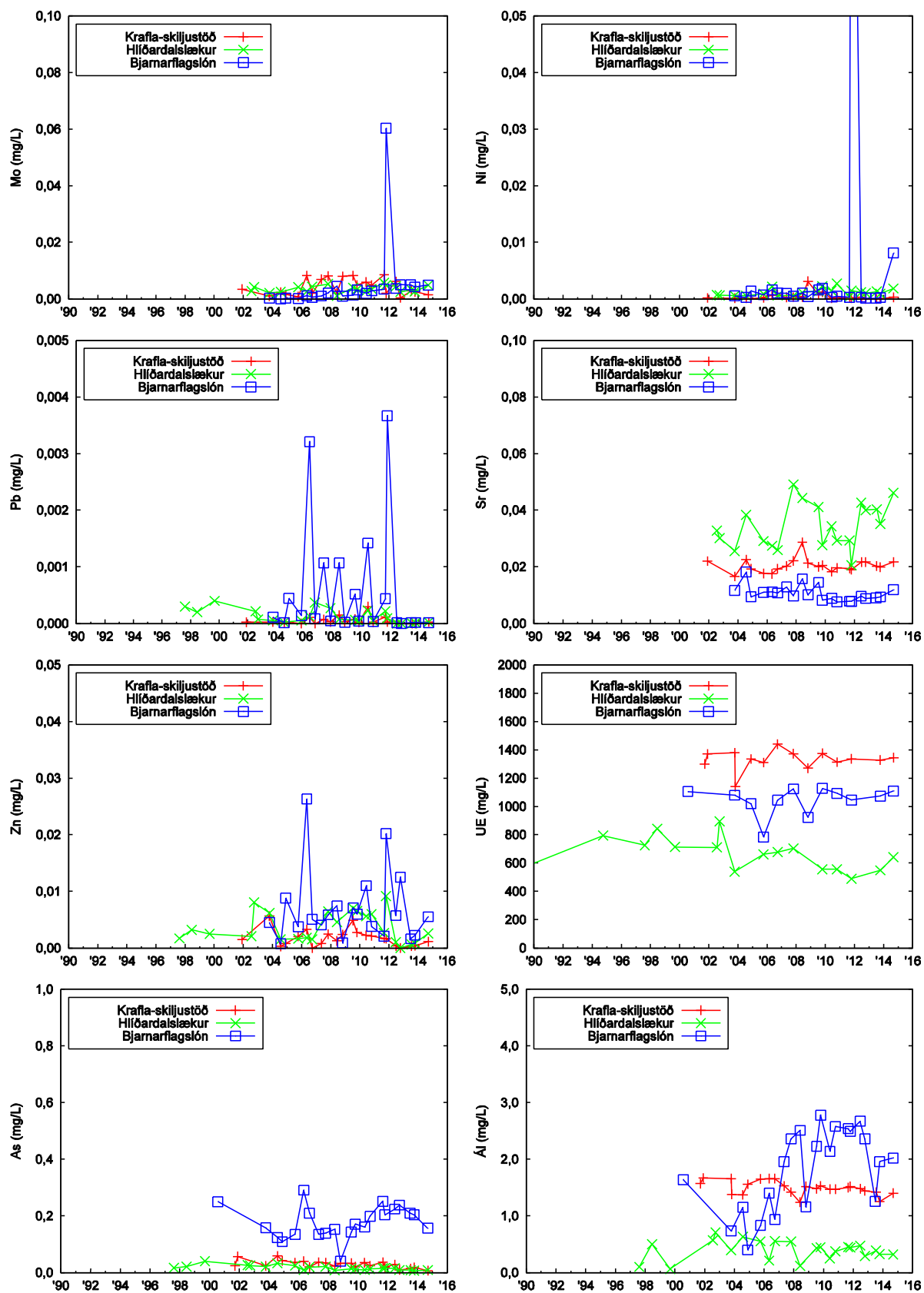
Mynd V-9. Affall í Mývatnssveit.



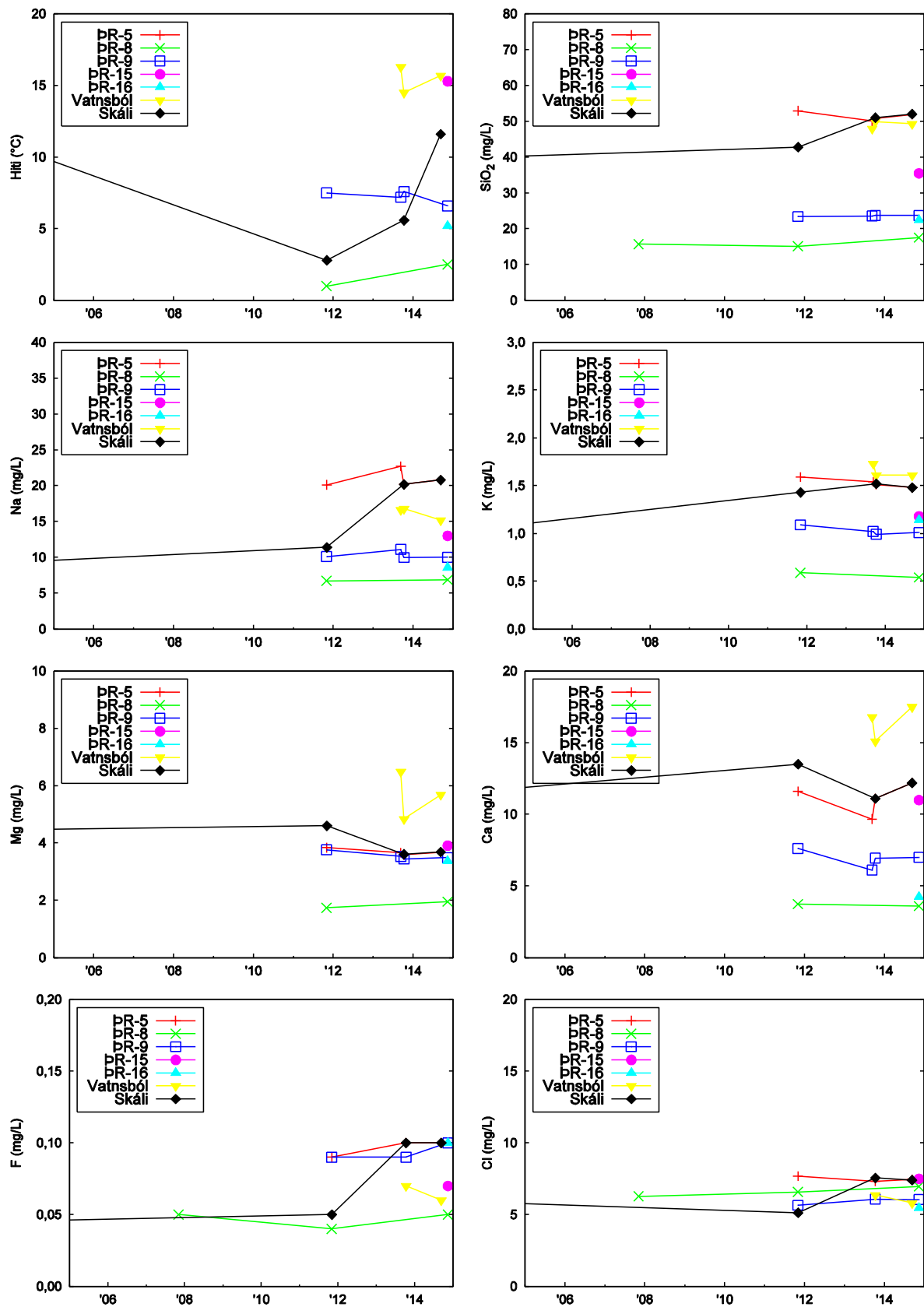
Mynd V-10. Affall í Mývatnssveit.



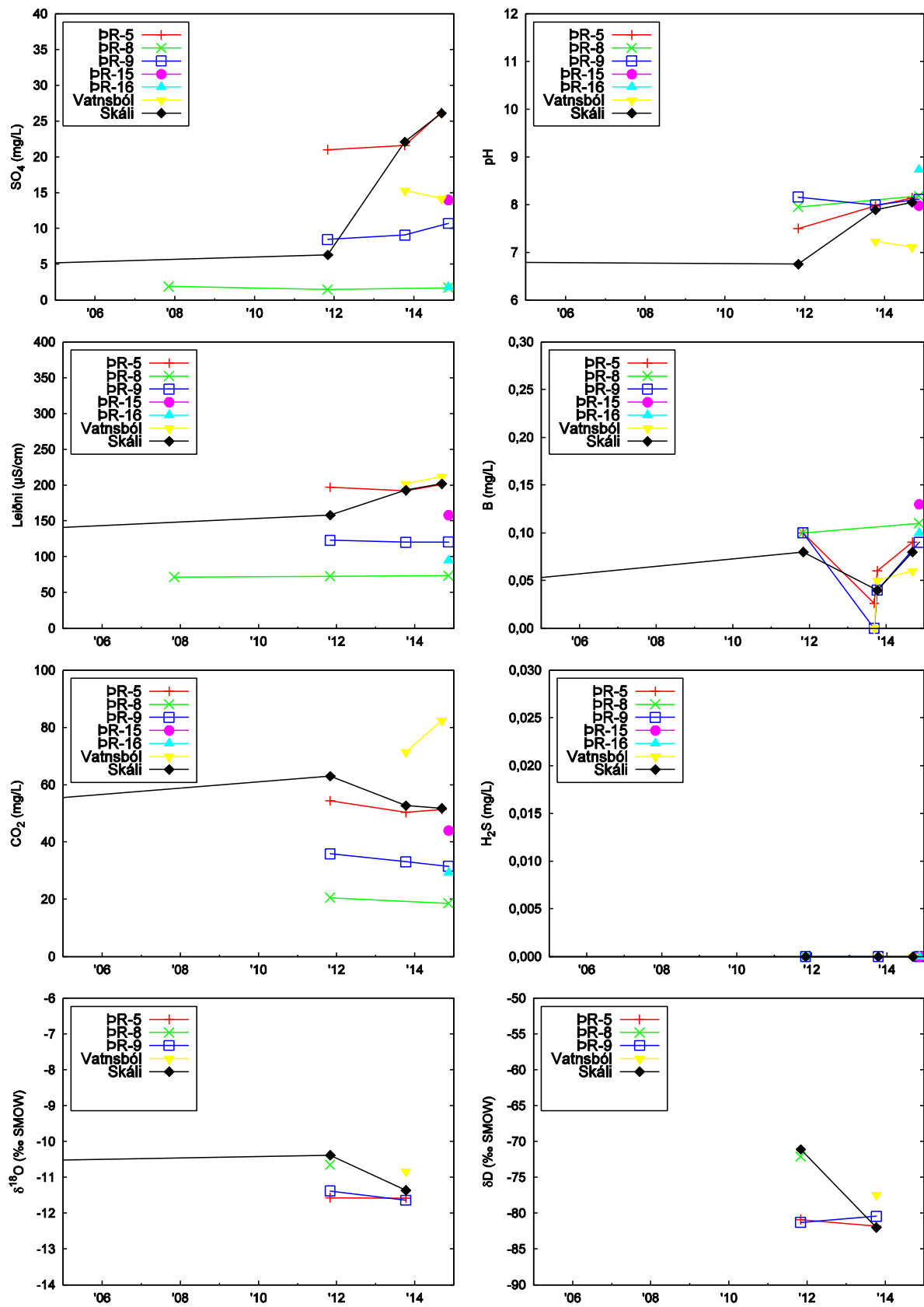
Mynd V-11. Affall í Mývatnssveit.



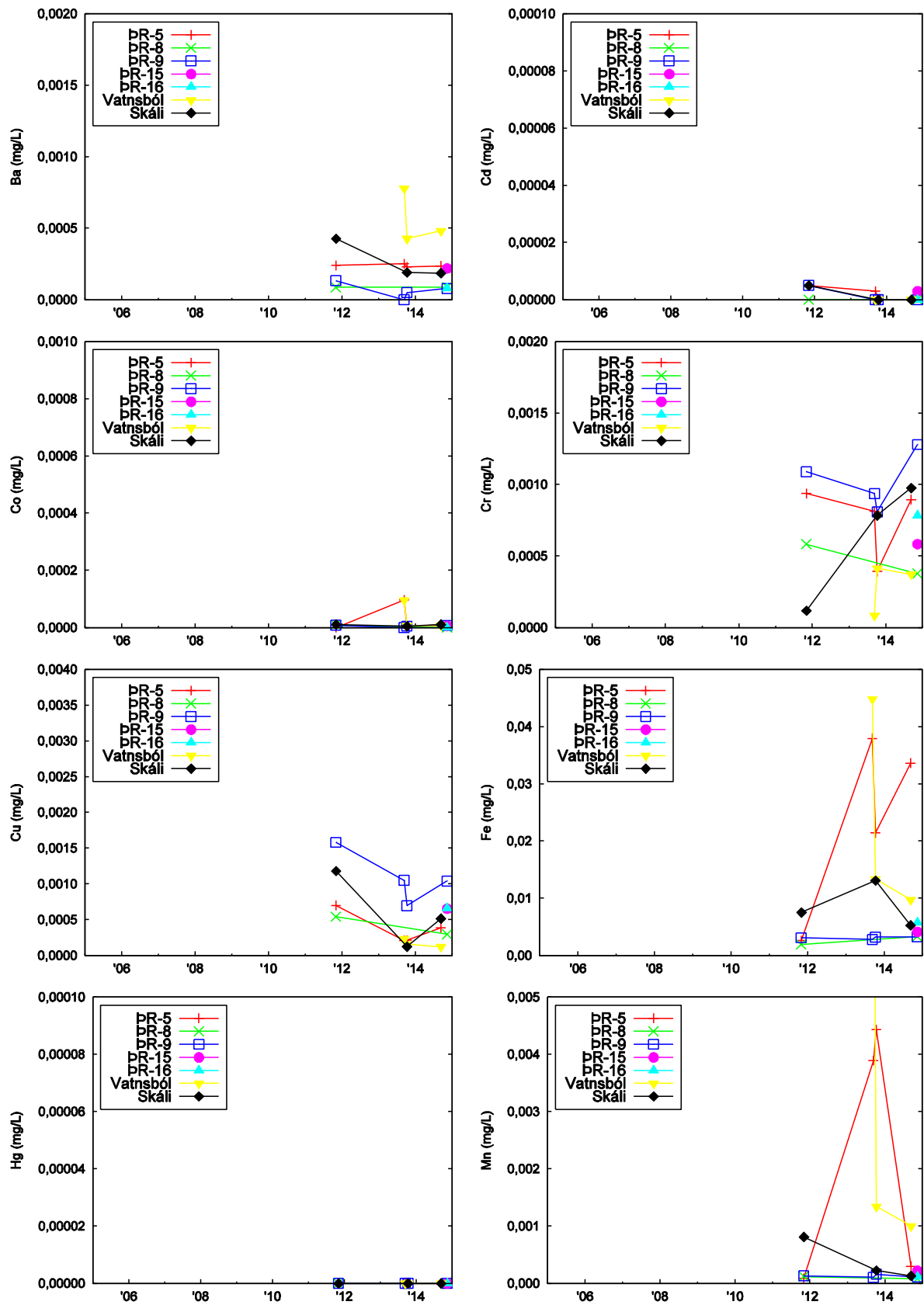
Mynd V-12. Affall í Mývatnssveit.



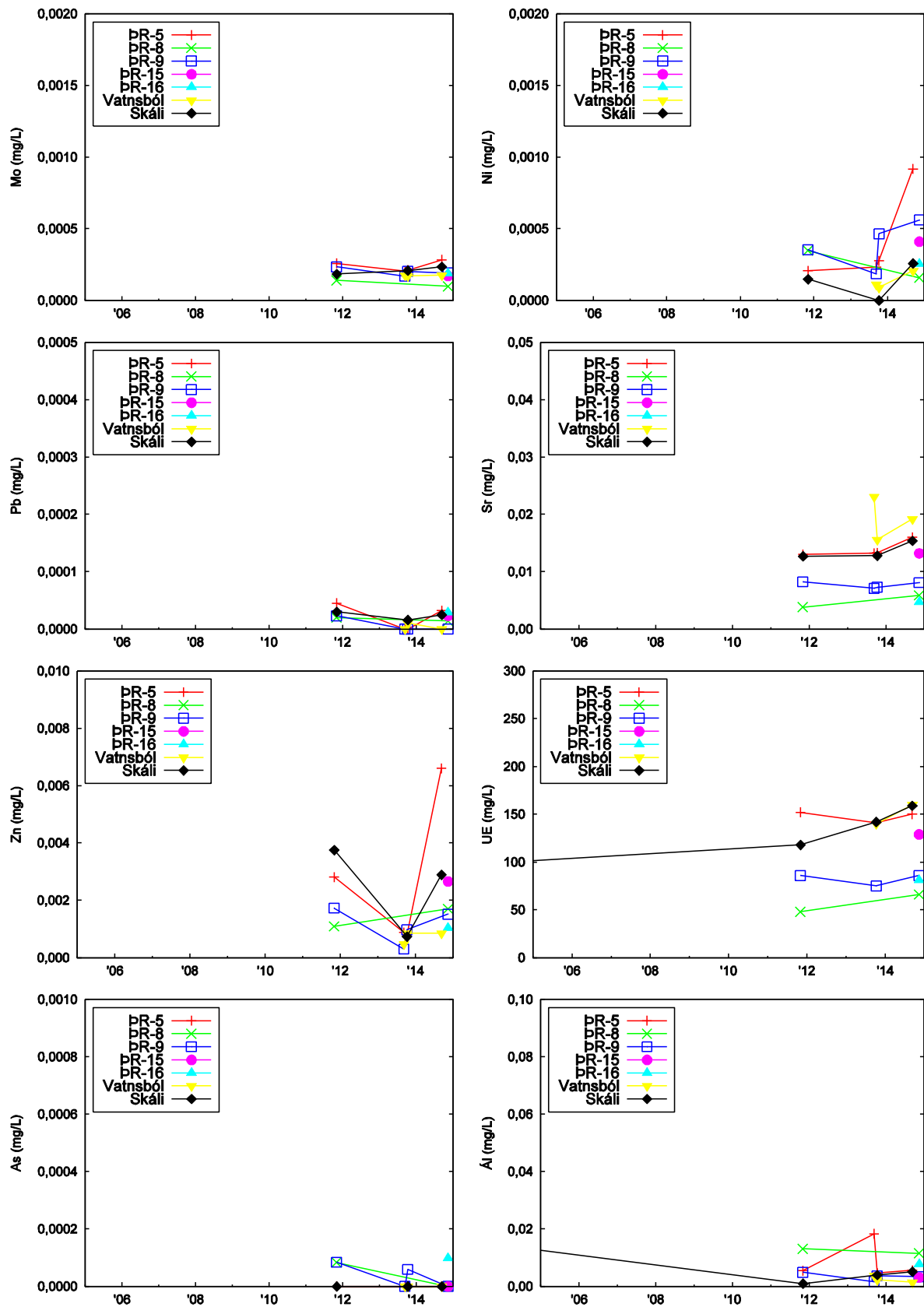
Mynd V-13. Borholur og lindir á Peistareykjum.



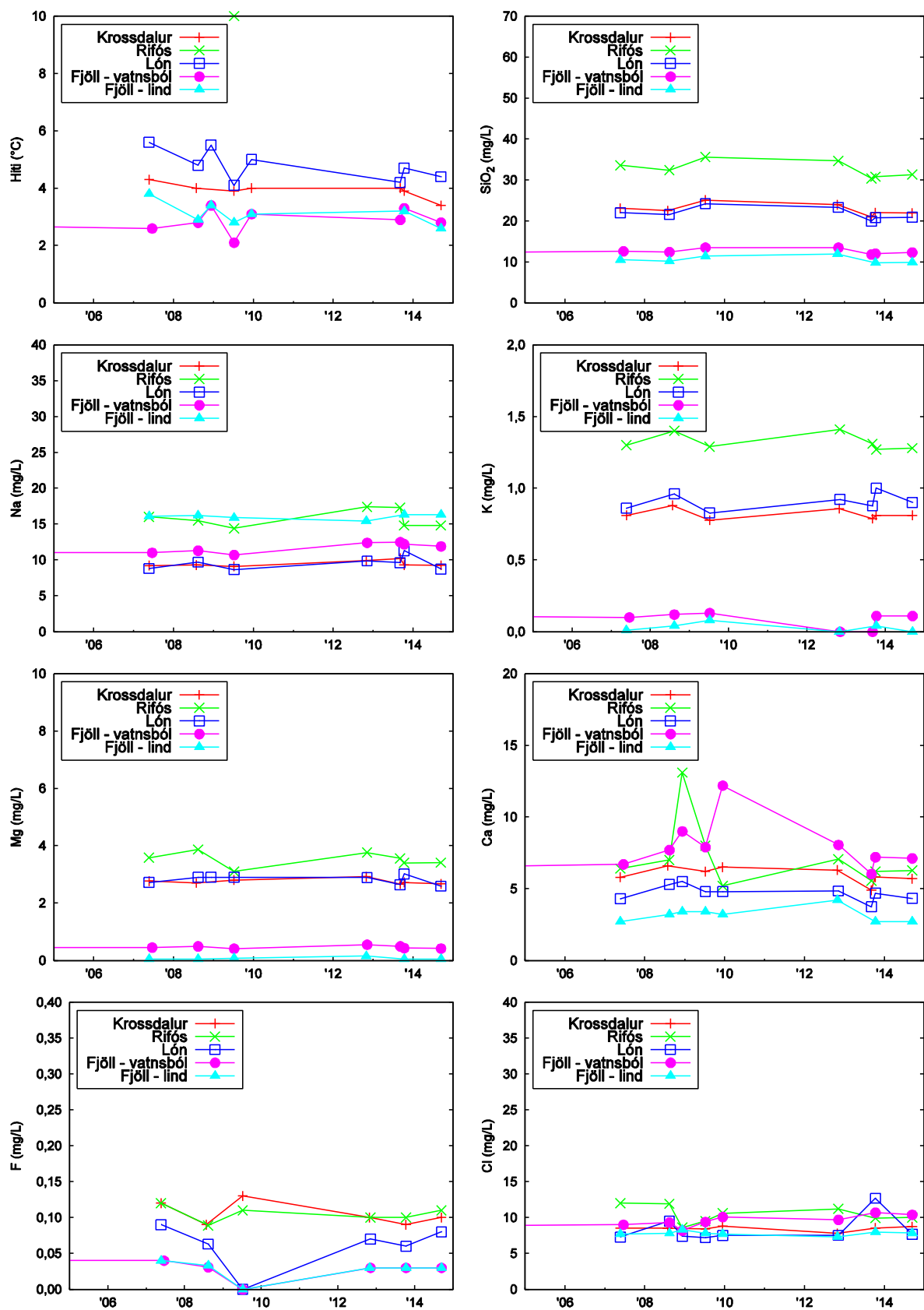
Mynd V-14. Borholur og lindir á Peistareykjum.



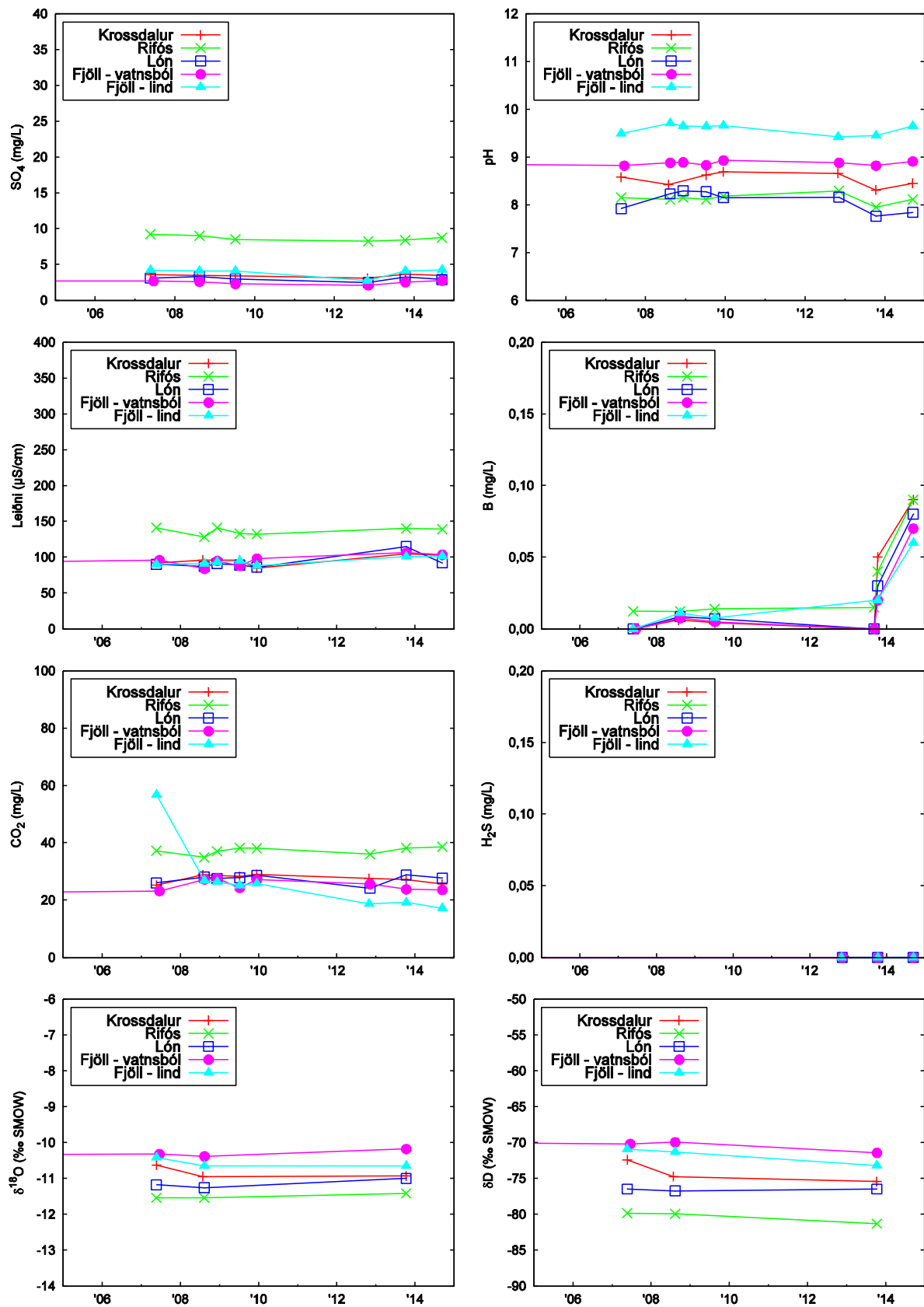
Mynd V-15. Borholur og lindir á Þeistareykjum.



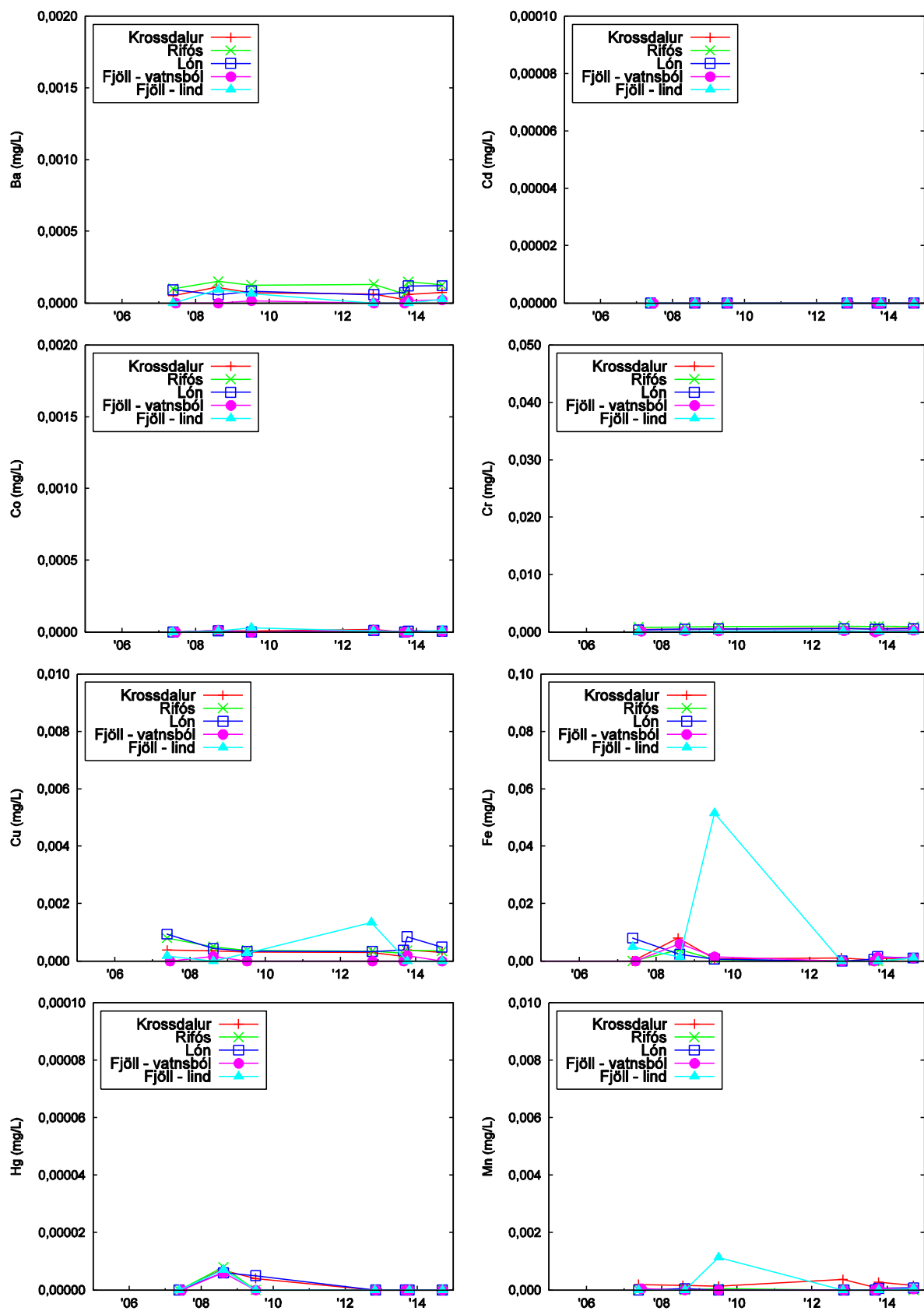
Mynd V-16. Borholur og lindir á Peistareykjum.



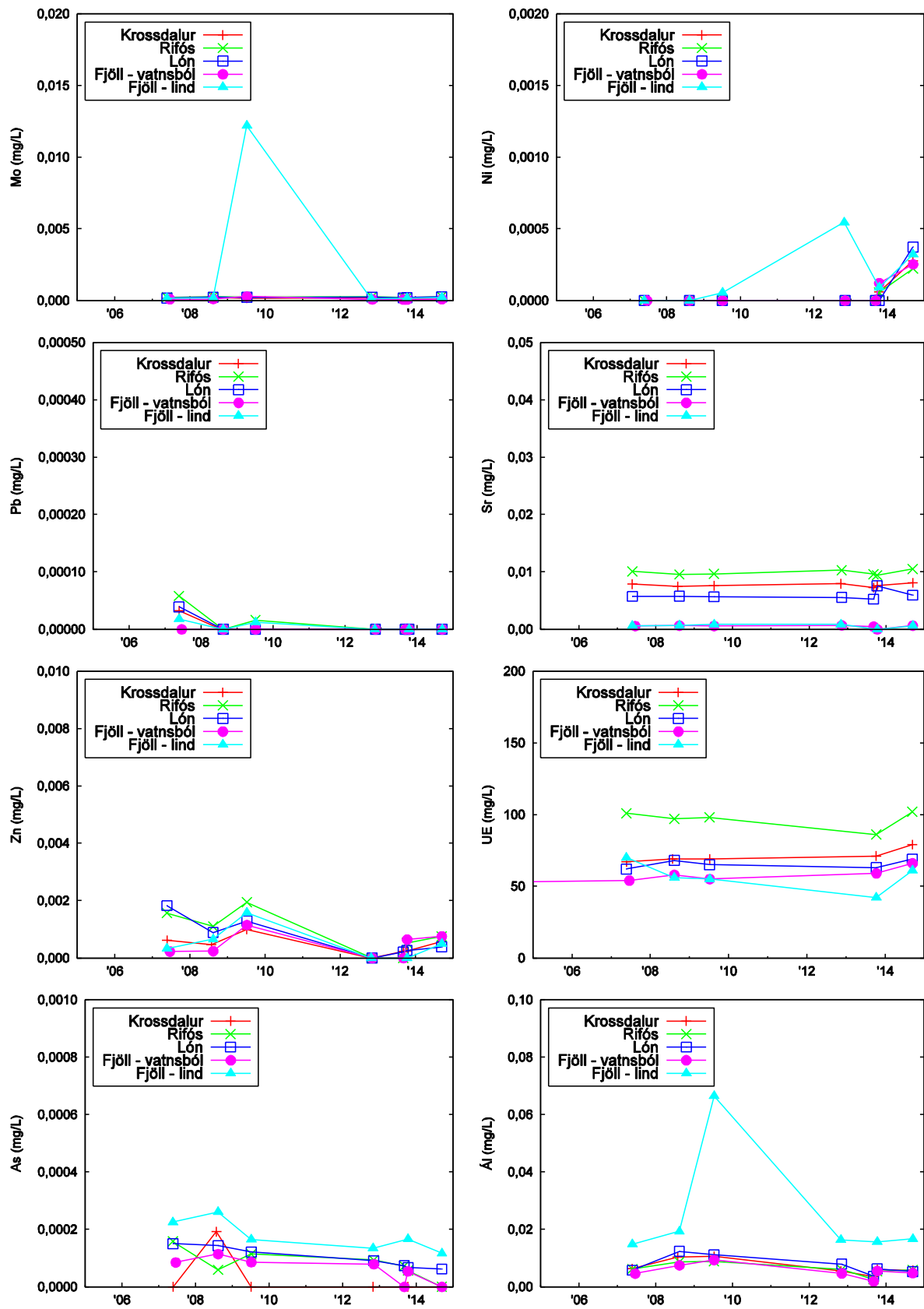
Mynd V-17. Lindir í Kelduhverfi.



Mynd V-18. Lindir í Kelduhverfi.



Mynd V-19. Lindir í Kelduhverfi.



Mynd V-20. Lindir í Kelduhverfi.



Landsvirkjun

Háaleitisbraut 68
103 Reykjavík
landsvirkjun.is

landsvirkjun@lv.is
Sími: 515 90 00

