

# Háhitasvæðin á Þeistareykjum, í Kröflu og Námafjalli

Vöktun á yfirborðsvirkni

og grunnvatni árið 2022





# Háhitasvæðin á Þeistareykjum, í Kröflu og Námafjalli

## Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2022

Finnbogi Óskarsson, Sigurður G. Kristinsson,  
Gunnlaugur M. Einarsson, Auður Agla Óladóttir,  
Deirdre Clark og Dagur Sigurðarson



ÍSOR-2022/053  
Project no.: 22-0100

Desember 2022

# Lykilsíða

Skýrsla LV nr.	LV-2022-059	Dagsetning	Desember 2022
Fjöldi Síðna	137	Upplag	1
Dreifing	<input checked="" type="checkbox"/> Birt á vef LV	<input checked="" type="checkbox"/> Opin	<input type="checkbox"/> Takmörkuð til [Dags.]
Titill	Háhitasvæðin á Þeistareykjum, í Kröflu og Námafjalli. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2022		
Höfundar/fyrirtæki	Finnbogi Óskarsson, Sigurður Garðar Kristinsson, Gunnlaugur M. Einarsson, Auður Agla Óladóttir, Deirdre Clark og Dagur Sigurðarson		
Verkefnisstjóri	Anette K. Mortensen f.h. LV	Steinþór Níelsson f.h. ÍSOR	
Unnið fyrir	Unnið af Íslenskum orkurannsóknnum fyrir Landsvirkjun		
Samvinnuaðilar	—		
Útdráttur	<p>Tilgangurinn með umhverfisvöktuninni er að fylgjast með þeim breytingum sem virkjun jarðhita hefur á yfirborðsvirkni. Árið 2022 voru breytingar á yfirborðsvirkni á Þeistareykjum, Kröflu og Námafjalli kannaðar. Niðurstöður eftirlits á Þeistareykjum sýna að enn eykst jarðhitavirkni í norðurhlíðum Bæjarfjalls og hefur aukist frá árinu 2016. Efnasamsetning gufu úr gufuaugum breytist óverulega milli ára. Helst er að nefna að nokkurrar gufupéttingar varð vart í báðum augunum sem safnað var úr á Námafjallssvæðinu og einnig í gufuauga við sæluhúsið á Þeistareykjum. Líklega er þar um að kenna miklum rigningum dagana fyrir sýnatöku. Jarðvegshitastig og koldíoxíðflæði var mælt í 652 mælipunktum á Þeistareykjum sumarið 2022. Samanburður á koldíoxíðflæði eldri mælinga (frá 2020, 2018, 2015 og 2012) og mælinga frá 2022 sýndu að nokkur aukning hefur orðið í koldíoxíðflæði á norðurhluta Randa og í norðurhlíðum Bæjarfjalls. Virknin meðfram Ketilfjalli hefur haldið áfram að teygja sig til norðurs frá því mælt var 2020. Sjáanleg og mælanleg aukning hefur orðið í jarðhitavirkni á yfirborði, þ.e. bæði jarðvegshita og koldíoxíðflæði sunnan við borteig C og í átt að Bóndhólsskarði. Grunnvatnssýnum var safnað á tuttugu stöðum í Mývatnssveit, fimm stöðum á Þeistareykjum og fimm í Kelduhverfi, líkt og undanfarin ár. Markmiðið með vöktuninni er að meta áhrif affallsvatns frá virkjununum. Niðurstöður vöktunar 2021 sýndu nokkrar breytingar frá fyrri árum og halda þær áfram árið 2022. Þar er aðallega um að ræða hækkaðan styrk áls á þremur stöðum, í Grjótagjá, Vogagjá og Langavogi, og er rétt að fylgjast með því. Einnig hefur styrkur síns hækkað upp að umhverfismörkum I (<math>5 \mu\text{g} / \text{L}</math>) í volgum lindum við Bjarg og Helgavog. Engin ummerki um affallsvatn frá Þeistareykjavirkjun sjást á vöktunarstöðum á Þeistareykjum og í Kelduhverfi.</p>		
Lykilorð	Þeistareykir, Krafla, Námafjall, Bjarnarflag, Mývatnssveit, Kelduhverfi, yfirborðsvirkni,, hitamyndir, gasflæðimælingar, grunnvatn, Landsvirkjun, ÍSOR		

Undirskrift verkefnisstjóra

Steinþór Níelsson

Yfirfarið

Steinunn Hauksdóttir

Samþykki verkefnisstjóra

Landsvirkjunar

Axeyður K. Sigurður döttir



# Efnisyfirlit

<b>1</b>	<b>Inngangur</b> .....	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>Þeistareykir</b> .....	<b>13</b>
2.1	Yfirborðsvirkni á Þeistareykjum .....	13
2.1.1	Misgengi suðvestan Randa og jarðhitinn við Hitur.....	15
2.1.2	Randir .....	15
2.1.3	Tjarnarás.....	18
2.1.4	Bæjarfjall.....	20
2.1.5	Ketilfjall .....	27
2.1.6	Niðurstöður .....	30
2.2	Efnasamsetning gufu úr gufuaugum á Þeistareykjum .....	31
2.2.1	Sýnatökustaðir á Þeistareykjum .....	31
2.2.2	Niðurstöður gufuefnagreininga .....	35
2.2.3	Samantekt.....	39
2.3	Gasflæði um jarðveg á Þeistareykjum.....	41
2.3.1	Fyrri gasflæðimælingar á Þeistareykjum.....	41
2.3.2	Almennt um gasflæðimælingar .....	41
2.3.3	Gasflæðimælingar á Þeistareykjum sumarið 2022 .....	43
2.3.4	Niðurstöður .....	45
2.3.5	Samantekt.....	51
<b>3</b>	<b>Krafla</b> .....	<b>52</b>
3.1	Yfirborðsvirkni í Kröflu.....	52
3.2	Leirbotnar .....	54
3.2.1	Leirhnjúkur .....	56
3.2.2	Vítissvæðið.....	60
3.2.3	Hveragil.....	61
3.2.4	Vesturhlíðar .....	61
3.2.5	Suðurhlíðar .....	63
3.2.6	Hvíthólar .....	65
3.2.7	Niðurstöður .....	67
3.3	Efnasamsetning gufu úr gufuaugum í Kröflu.....	67
3.2.8	Sýnatökustaðir í Kröflu .....	67
3.2.9	Niðurstöður gufuefnagreininga .....	70
3.2.10	Samantekt.....	74
<b>4</b>	<b>Námafjall</b> .....	<b>76</b>
4.1	Yfirborðsvirkni í Námafjalli.....	76
4.1.1	Austurgrundir .....	77
4.1.2	Hverir .....	79
4.1.3	Námafjall.....	84
4.1.4	Bjarnaflag .....	85
4.1.5	Jarðbaðshólar .....	90

4.1.6	Niðurstöður .....	90
4.2	Efnasamsetning gufu úr gufuaugum í Námafjalli .....	90
4.2.1	Sýnatökustaðir.....	90
4.2.2	Niðurstöður gufuefnagreininga .....	93
4.2.3	Samantekt.....	96
<b>5</b>	<b>Vöktun á efnasamsetningu grunnvatns.....</b>	<b>98</b>
5.1	Mývatnssveit.....	98
5.1.1	Næringarefni í sýnum úr Mývatnssveit .....	116
5.1.2	Ferilefni í sýnum úr Mývatnssveit .....	117
5.2	Þeistareykir og Kelduhverfi.....	118
5.2.1	Ferilefni í sýnum frá Þeistareykjum og Kelduhverfi .....	127
5.3	Vísar og sjálfbærni .....	127
5.4	Helstu niðurstöður grunnvatnssýnatöku .....	131
5.4.1	Mývatnssveit .....	131
5.4.2	Þeistareykir og Kelduhverfi .....	131
<b>6</b>	<b>Heimildaskrá.....</b>	<b>132</b>
	<b>Viðauki: Sýnameðhöndlun og efnagreiningaraðferðir.....</b>	<b>136</b>

## Töflur

Tafla 1.	Sýnatökustaðir á Þeistareykjum sumarið 2022.....	31
Tafla 2.	Efnasamsetning gufusýna frá Þeistareykjum sumarið 2022 .....	35
Tafla 3.	Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áráanna 2012–2022 úr G-101, G-102, G-103, G-111 og skyldum stöðum á Þeistareykjum .....	37
Tafla 4.	Sýnatökustaðir í Kröflu sumarið 2022 .....	67
Tafla 5.	Efnasamsetning gufusýna úr Kröflu sumarið 2022.....	71
Tafla 6.	Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áráanna 2012 til 2022 úr G-104, G-106, G-107 og skyldum sýnatökustöðum á Kröflusvæðinu .....	73
Tafla 7.	Sýnatökustaðir í Námafjalli sumarið 2021 .....	90
Tafla 8.	Efnasamsetning gufusýna frá Námafjallssvæðinu sumarið 2022.....	93
Tafla 9.	Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áráanna 2012–2022 úr G-105 og G-106 og skyldum stöðum á Námafjallssvæðinu .....	94
Tafla 10.	Vöktunarstaðir og yfirlit um dælt magn úr vöktunarholum í Mývatnssveit 2022 .....	100
Tafla 11.	Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum haustið 2022. Styrkur efna í mg/L .....	101
Tafla 12.	Umhverfismörk fyrir málma í yfirborðsvatni til verndar lífríki (styrkur efna í µg/L).....	105
Tafla 13.	Vinnsla vökva í Bjarnarflagi (í þúsundum tonna) frá 2016 til 2022 .....	105
Tafla 14.	Niðurdæling og vinnsla vökva í Kröflu (í þúsundum tonna) frá 2015 til 2022 .....	106
Tafla 15.	Niðurstöður efnagreininga á næringarefnum í sýnum úr Mývatnssveit (mg/L).....	116
Tafla 16.	Niðurstöður greininga á ferilefnum í sýnum úr Mývatnssveit (µg/L).....	118
Tafla 17.	Vöktunarstaðir og yfirlit um dælt magn úr vöktunarholum á Þeistareykjum og í Kelduhverfi 2022 .....	119
Tafla 18.	Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum á Þeistareykjum 2022. ....	122

Tafla 19. Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum í Kelduhverfi 2022.....	123
Tafla 20. Niðurstöður greininga á ferilefnum í sýnum frá Þeistareykjum og Kelduhverfi.....	127

## Myndir

Mynd 1. Yfirlitskort af þeim svæðum sem fjallað er um í skýrslunni.....	12
Mynd 2. Jarðhitakort af Þeistareykjum .....	14
Mynd 3. Gufustreymi við Hitur .....	15
Mynd 4. Suðri hluti Randa .....	16
Mynd 5. Norðurhluti Randa .....	16
Mynd 6. Hitamyndir teknar ofan af Bæjarfjalli vestanverðu.....	17
Mynd 7. Framhald hitamynda (á mynd 5).....	18
Mynd 8. Virkni á Tjarnarási teygir sig að Bæjarfjalli í suðri en þar er meginvirkni .....	18
Mynd 9. Jarðhitaskellan við sýnatökustað ÞG-103 .....	19
Mynd 10. Hitamyndir. Myndatökustaður 2 á mynd 2 .....	19
Mynd 11. Stykkið sem skreið fram árið 2018 og brotnaði meira síðar .....	20
Mynd 12. Jarðhitavirkni neðan við sæluhúsið .....	21
Mynd 13. Jarðhitinn á sléttunni neðan við Bæjarfjall norðanvert.....	22
Mynd 14. Framhald til austurs af mynd 13. Neðri-Bóndhóll er á miðri mynd .....	22
Mynd 15. Ný virkni í norðurhlíð Bæjarfjalls á miðri mynd .....	23
Mynd 16. Jarðhitinn við norðanvert Bæjarfjall.....	25
Mynd 17. Hitamyndir af norðurhlíð Bæjarfjalls.....	26
Mynd 18. Jarðhitaskálin í miðjum hlíðum Ketilfjalls.....	27
Mynd 19. Jarðhitinn norðan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7 .....	28
Mynd 20. Ketilfjall. Þar sem var gufuauga 2019 er kominn leirhver og heit skella .....	29
Mynd 21. Ketilfjall. Sölnaður gróður, ný niðurföll, bullandi leirhverir, heit jörð og gufur .....	29
Mynd 22. Svæðið sunnan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7 .....	30
Mynd 23. Gufuauga á Þeistareykjum.....	32
Mynd 24. Gufuaugað G-102 í suðri enda skálar í hlíðum Ketilfjalls .....	33
Mynd 25. Undirbúningur sýnatöku úr G-103 í flagi við suðurenda Tjarnaráss .....	33
Mynd 26. Gufuaugað G-104 í brennisteinsflagi undir Neðri-Bóndhól .....	34
Mynd 27. Gufuauga G-111 fyrir sunnan lækinn við sæluhúsið .....	34
Mynd 28. Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum á Þeistareykjum 2012– 2022.....	36
Mynd 29. Samsætuvík sýna árána 2012–2022 úr gufuaugum á Þeistareykjum .....	39
Mynd 30. Annar af gasflæðimælunum sem notaðir voru til mælinga á Þeistareykjum 2020.....	42
Mynd 31. Mælingar á jarðvegshitastigi og koldíoxíðgasflæði um jarðveg á Þeistareykjum sem gerðar voru í ágúst 2022 .....	44
Mynd 32. Niðurstöður gasflæðimælinga um jarðveg á Þeistareykjum.....	46
Mynd 33. Gasflæðimælingar á Þeistareykjum, 2020 og 2022 .....	47
Mynd 34. Niðurstöður jarðvegshitamælinga á 15 cm dýpi í jarðvegi sem gerðar voru samtímis mælingum á koldíoxíðflæði .....	48

Mynd 35. Hiti á 15 cm dýpi samkvæmt jarðvegshitamælingum frá 2020 og 2022.....	49
Mynd 36. Tíðnirit hita- og koldíoxíðmælinga á Þeistareykjum árið 2022 .....	50
Mynd 37. Gasflæði um jarðveg og jarðvegshiti á Þeistareykjum 2018, 2020 og 2022. ....	51
Mynd 38. Jarðhitakort af Kröflu .....	53
Mynd 39. Myndir teknar ofan af Rauðhól .....	55
Mynd 40. Austurhlíð Leirhnjúks .....	56
Mynd 41. Hverasvæðið við Leirhnjúk.....	57
Mynd 42. Jarðhitinn í brotinu sem liggur meðfram austurhlíðinni með NNA-læga stefnu .....	57
Mynd 43. Gígar og hraun í norðanverðum Leirhnjúki. Gufa var minni en árið 2018. ....	58
Mynd 44. Jarðhitinn í Leirhnjúki frá borteig IDDP-1 og Rauðhól. Hitamyndir.....	59
Mynd 45. Svæðið norðan við Víti (G-1).....	60
Mynd 46. Við Tvíburavötn. Mest allur jarðhitinn er bundinn við þennan stað .....	61
Mynd 47. Hitamyndir af Vesturhlíðum Kröflu .....	62
Mynd 48. Nokkuð stór skella neðarlega í sama gili neðan við K-19 og K-30.....	63
Mynd 49. Hitamyndir af Suðurhlíðum.....	64
Mynd 50. Hitamyndir frá Hvíthólum.....	66
Mynd 51. Gufuaugu í Kröflu .....	68
Mynd 52. Gufuaugað G-104 í austurhlíð Leirhnjúks .....	69
Mynd 53. Undirbúningur sýnatöku úr gufuauganu G-106 í gili vestan við holu K-14.....	69
Mynd 54. Sýnataka úr gufuauganu G-107 í gígskál norðan Vítis .....	70
Mynd 55. Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum í Kröflu 2012–2022 .....	72
Mynd 56. Samsætuvið sýna árunna 2012–2022 úr gufuaugum á Kröflusvæðinu.....	74
Mynd 57. Jarðhitakort af Námafjalli með athugunum árið 2016.....	76
Mynd 58. Yfirlitsmynd af Austurgrundum tekin ofan af Námafjalli.....	77
Mynd 59. Hitamynd af Austurgrundum.....	78
Mynd 60. Yfirlitsmynd af Hverarönd .....	79
Mynd 61. Við hraunkantinn sunnarlega í Hverum.....	80
Mynd 62. Austurhlíð Námafjalls .....	81
Mynd 63. Hitamyndir af Hverum séð ofan af Mið-Kollu .....	82
Mynd 64. Hitamyndir af Hverum og austurhlíðum Námafjalls .....	83
Mynd 65. Jarðhitinn á toppi Námafjalls við Mið-Kollu.....	84
Mynd 66. Hitamyndir af vesturhlíðum Námafjalls .....	85
Mynd 67. Séð upp gilið við holu B-9.....	86
Mynd 68. Séð niður gilið við holu B-9 .....	86
Mynd 69. GB-4. Í framhaldi af gílinu austan við B-9.....	87
Mynd 70. Virknin við holu B-4, brennisteinn og myndlaus kísill .....	88
Mynd 71. GB-5. Virkni við Gamla bakaríð er svipuð og síðustu ár .....	88
Mynd 72. Hitamyndir í Bjarnarflagi .....	89
Mynd 73. Gufuaugu í Námafjalli og Bjarnarflagi .....	91
Mynd 74. Sýnataka í Námafjalli úr sýni G-105 .....	91
Mynd 75. Undirbúningur sýnatöku úr G-105 í gili upp af holu B-9 í Bjarnarflagi .....	92
Mynd 76. Sýnataka úr gufuauga G-106 í flagi vestan holu H-9 á Hverum.....	92



Mynd 77. Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum á Námafjallsvæðinu 2012–2022 .....	95
Mynd 78. Samsætuvík sýna árunna 2012–2022 úr gufuaugum á Námafjallssvæðinu.....	96
Mynd 79. Sýnatökustaðir í Mývatnssveit.....	99
Mynd 80. (A) Styrkur arsens í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt umhverfismörkum I, II, III og IV og mörkum fyrir neysluvatn (10 µg/L). (B) Sama mynd með smærri kvarða til betri aðgreiningar á niðurstöðum .....	108
Mynd 81. Styrkur áls í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt viðmiðunarmörkum fyrir neysluvatn (200 µg/L) .....	108
Mynd 82. Styrkur kopars (A), síns (B), kadmíums (C), blýs (D), króms (E) og nikkels (F) í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni og umhverfismörk I, II og III.....	109
Mynd 83. Styrkur arsens (A), klóríðs (B), kísils (C), natríums (D), bórs (E) og brómíðs (F) í vatni frá Bjarnarflagslóni. Aðeins arsens hefur skilgreind umhverfismörk .....	110
Mynd 84. (A) Styrkur arsens í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I og II. ....	111
Mynd 85. (A) Styrkur áls í vatni úr borholum ásamt viðmiðunarmörkum fyrir neysluvatn. (B) Niðurstöðum fyrir LUD-4 hefur verið sleppt til betri aðgreiningar á niðurstöðum. ....	111
Mynd 86. Styrkur kopars (A), síns (B), kadmíums (C), blýs (D), króms (E) og nikkels (F) í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I, II, og III.....	112
Mynd 87. Styrkur arsens (A) og áls (B) í lindum við Mývatn ásamt umhverfismörkum I (0,4 µg/L) fyrir arsen.....	113
Mynd 88. Styrkur kopars (A), síns (B), kadmíums (C), blýs (D), króms (E) og nikkels (F) í vatni úr lindum ásamt umhverfismörkum I, II og III .....	114
Mynd 89. Styrkur áls (A), pH (B), kísils (C), natríums (D), bórs (E) og flúors (F) í vatni frá Grjótagjá, Vogagjá og Langavogi .....	115
Mynd 90. Styrkur köfnunarefnis og fosfórs í sýnum úr Mývatnssveit .....	117
Mynd 91. Sýnatökustaðir í Kelduhverfi og á Þeistareykjum .....	120
Mynd 92. Sementshola við Lón þar sem að jafnaði eru tekin vatnssýni .....	121
Mynd 93. Styrkur arsens (A) og áls (B) í vatni úr lindum í Kelduhverfi og umhverfismörk I.....	124
Mynd 94. Styrkur arsens (A) og áls (B) í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum og umhverfismörk I .....	124
Mynd 95. Styrkur kopars (A), síns (B), kadmíums (C), blýs (D), króms (E) og nikkels (F) í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I og II .....	125
Mynd 96. Styrkur kopars (A), síns (B), kadmíums (C), blýs (D), króms (E) og nikkels (F) í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I, II og III.....	126
Mynd 97. Styrkur arsens (A), króms (B), kísils (C), hitastig (D) og rafleiðni (E) á völdum stöðum í Mývatnssveit .....	129
Mynd 98. Styrkur arsens (A), króms (B), kísils (C), hitastig (D) og rafleiðni (E) á völdum stöðum í Kelduhverfi og á Þeistareykjum .....	130



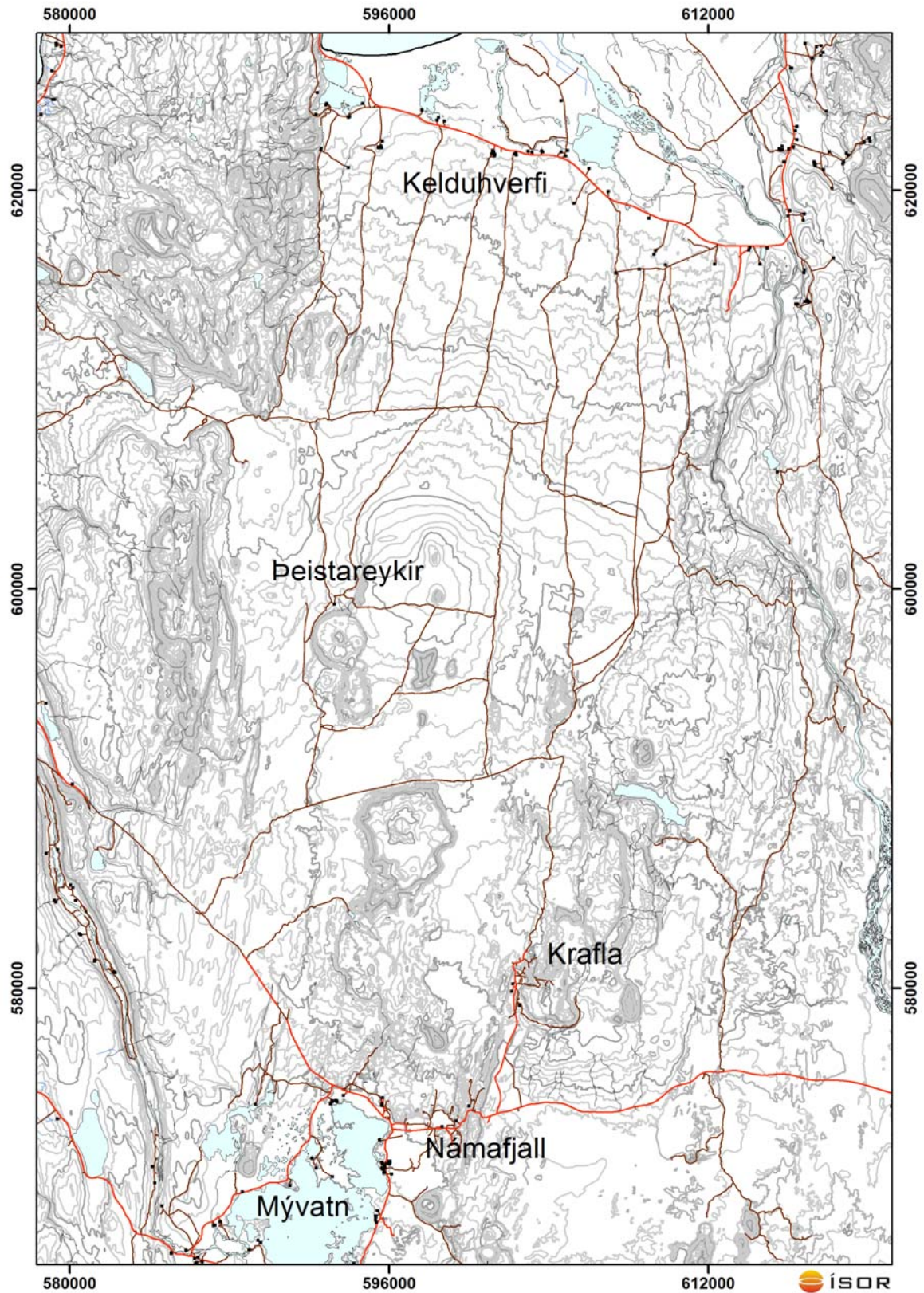
# 1 Inngangur

Í þessari skýrslu er greint frá athugunum á yfirborðsvirkni jarðhitans á Þeistareykjum, í Kröflu og Bjarnarflagi ásamt niðurstöðum efnagreininga úr gufuaugum á sömu stöðum. Fjallað er um vöktun grunnvatns í Mývatnssveit og Kelduhverfi á árinu 2022 (mynd 1). Niðurstöður ársins eru bornar saman við eldri athuganir á svæðunum sem ná mislangt aftur í tímann eftir atvikum; ýmist ár eða áratugi

Tilgangurinn með rannsóknum á yfirborðsvirkni er að kortleggja virknina og fylgjast með þeim breytingum sem hafa orðið á jarðhitavirkni á svæðinu undanfarin ár hvort heldur sem er af náttúrulegum orsökum eða af völdum jarðhitanytingar. Árin 2012–2018 var fyrirkomulag vöktunar á yfirborðsvirkni á háhitasvæðum á Norðausturlandi í nokkuð föstum skorðum en þá voru ítarlegar athuganir, m.a. kortlagning jarðhita, sýnataka úr gufuaugum og gasflæðimælingar, gerðar á einu háhitasvæðanna þriggja (Þeistareykjum, Kröflu og Námafjalli) ár hvert en yfirferðin var þá lauslegri á hinum tveimur svæðunum (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a; 2013b; 2014; 2015, 2016, 2017, 2018). Árið 2019 var ekki lögð sérstök áhersla á eitt þessara þriggja svæða heldur umfang eftirlitsins minnkað og að mestu einskorðað við gufusýnatöku. Yfirborðsvirkni var aðeins skoðuð á Þeistareykjum og sjónum aðallega beint að nýlegri virkni á svæðinu við Bæjarfjall og Ketilfjall (Finnbogi Óskarsson o.fl., 2019). Árið 2020 var notast við flygildi til að taka hita- og ljósmyndir af Þeistareykjum ásamt því að gasflæði var mælt í gegnum jarðveg en engin gufusýni voru tekin og ekki var farið í Námafjall eða Kröflu en grunnvatnseftirlit fór fram samkvæmt áætlun (Albert Þorbergsson o.fl., 2020). Tekin voru gufusýni af öllum háhitasvæðunum árið 2021, athugun var gerð á yfirborðsvirkni, gasflæði var ekki mælt en grunnvatnseftirlit fór fram samkvæmt áætlun (Finnbogi Óskarsson o.fl., 2021).

Í ár voru breytingar á yfirborðsvirkni á öllum svæðum kannaðar ásamt því að gufusýni voru tekin. Á Þeistareykjum var gasflæði í gegnum jarðveg mælt. Hluti af umhverfiseftirliti ársins 2022 voru mælingar á segulsviði með flygildi frá ÍSOR. Gögnum var safnað bæði í Kröflu og á Þeistareykjum dagana 10.–23. ágúst 2022. Úrvinnsla þessara gagna er í höndum Claire Bouligand frá Grenoble-háskóla í Frakklandi og er ekki gerð frekari grein fyrir þeim hér.

Reglubundið eftirlit er haft með efnasamsetningu grunnvatns í nágrenni jarðhitavirkjana Landsvirkjunar á Norðausturlandi til að kanna áhrif affallsvatns frá virkjununum á grunnvatnið í nágrenni þeirra. 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. Haustið 2022 var grunnvatnssýnum safnað á tuttugu stöðum í Mývatnssveit. Sams konar árleg vöktun á grunnvatni í Kelduhverfi hefur farið fram frá árinu 2007 en sýnatökustöðum á Þeistareykjum var bætt við árið 2013. Haustið 2022 var fimm grunnvatnssýnum safnað í Kelduhverfi og fimm á Þeistareykjum.



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

## 2 Peistareykir

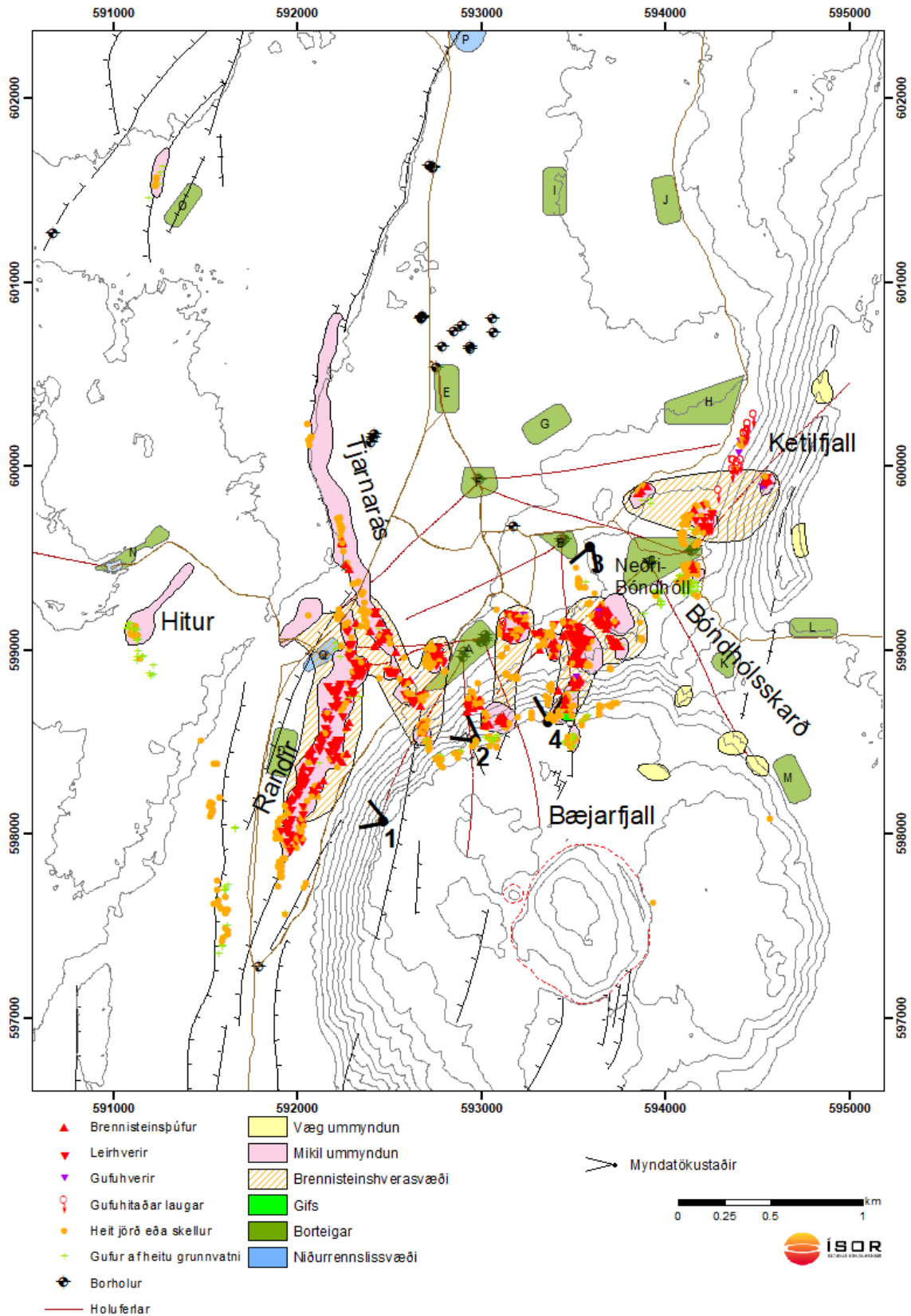
### 2.1 Yfirborðsvirkni á Peistareykjum

Fyrir tæplega 40 árum var gerð úttekt á yfirborðsvirkni á Peistareykjum og birtust niðurstöðurnar í skýrslu Orkustofnunar (Gestur Gíslason o.fl., 1984). Þá vann Kristján Sæmundsson jarðfræðiyfirlit árið 2007 þar sem jarðhitakort af svæðinu var uppfært frá 1984 (Kristján Sæmundsson, 2007) og er kort Kristjáns notað sem grunnur í þessari skýrslu. Jarðhitasvæðinu á Peistareykjum er þar skipt upp í undirsvæðin Hitur, Randir, Tjarnarás, Bæjarfjall og Ketilfjall (mynd 2). Árin 2012, 2015 og 2018 var gerð ítarleg úttekt á yfirborðsvirkninni og teknar hitamyndir og ljósmyndir. Einnig voru tekin sýni úr gufuaugum og gerðar gasflæðimælingar (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013b; 2015, 2018; Albert Þorbergsson o.fl., 2020).

Þessum upphaflegu athugunum hefur síðan verið fylgt eftir með árlegri yfirferð um svæðið og niðurstöður bornar saman við úttektina frá 2012 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a; 2014, 2015, 2016, 2017, 2018). Lauslegri athuganir voru gerðar árið 2019 og sjónum var þá aðallega beint að svæðinu neðan Ketilfjalls og norðan Bæjarfjalls en þar hefur ný og aukin jarðhitavirkni komið fram síðan vinnsla hófst á Peistareykjum (Finnbogi Óskarsson o.fl., 2019).

Árið 2020 var breytt um aðferðafræði við kortlagningu jarðhitans og flygildi notað til að skrásetja útbreiðslu jarðhitavirkinnar, bæði með ljósmyndum og hitamyndum af svæðinu. Einnig voru gasflæðimælingar gerðar á allþéttu mælineti til samanburðar við fyrri mælingar frá 2015 og 2018. Nú, árið 2022, var farið yfir svæðið, eins og gert hefur verið í fyrri athugunum, og niðurstöður bornar saman við þær eldri og þá aðallega skoðaðar þær breytingar sem hafa orðið á virkninni frá 2018.

Megináhersla eftirlitsins á jarðhitasvæðinu á Peistareykjum (mynd 2) var lögð á þau svæði þar sem ný og aukin jarðhitavirkni hefur komið fram eftir að vinnsla hófst á Peistareykjum en öll svæði voruð skoðuð. Einnig var farið upp á Bæjarfjall og gengið umhverfis gíginn og leitað eftir ummerkjum sem bentu til gufuvirkni.



**Mynd 2.** Jarðhitakort af Deistareykjum. Ummyndun frá 2007 með kortlagningu frá 2022, 2019 og 2018 (tákn). Nokkrar breytingar hafa orðið á yfirborðsjarðhitunum frá fyrri athugun, sér í lagi umhverfis borholurnar vestan við Bóndhólsskarð og undir Ketilfjalli.

### 2.1.1 Misgengi suðvestan Randa og jarðhitinn við Hítur

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 hins vegar að holum ÞG-2 og ÞG-8 (mynd 2). Gufustreymið var áþekkt því sem hefur verið undanfarin ár. Til norðurs má fylgja misgenginu og hitanum eftir. Eftir því sem norðar dregur lækkar misgengisstallurinn en ummyndun eykst og hitinn hækkar. Þessi virkni fjarar út á móts við virknina í Röndum sem er undir norðvestanverðu Bæjarfjalli. Á kafla er nokkur leirumyndun með hita yfir 95°C. Á einum stað gufar og fylgja brennisteinsútfellingar gufunni.

Norðvestar, eða sunnan við borholu ÞG-8, eru hitasvæði í hrauninu, kennd við Hítur. Þar streymir lyktarlaus gufa (án brennisteinsvetnis) upp til yfirborðs (mynd 3). Sumarið 2022 var óvenju mikil gufuvirkni í hrauninu en hiti mældist svipaður milli ára í föstum mælipunktum. Jarðhitavirknin var almennt dreifð um hraunið á kafla, mun meira en áður hefur sést, eða síðan 2012.



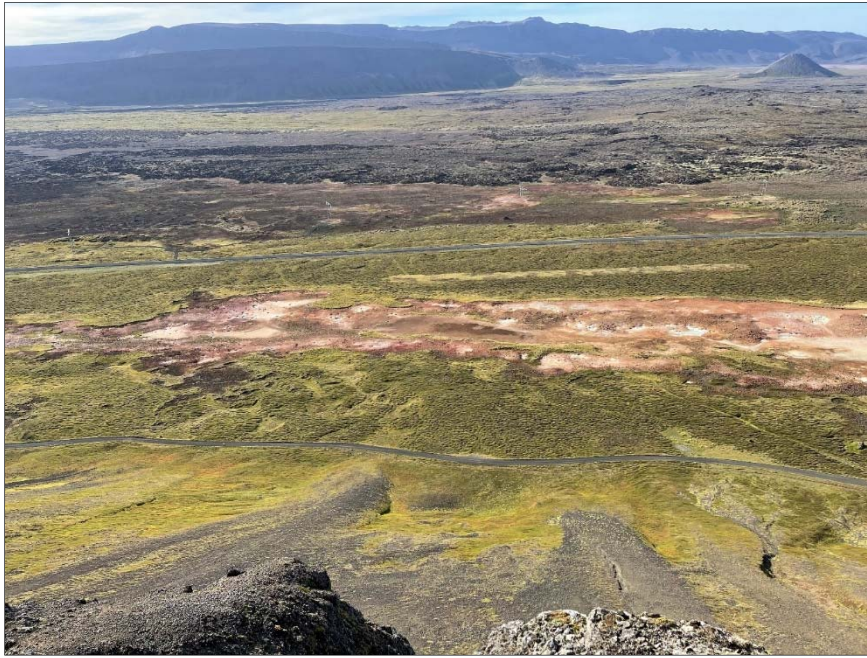
Mynd 3. Gufustreymi við Hítur.

### 2.1.2 Randir

Jarðhitavirknin á Röndum virðist tengjast misgengi með NNA-lægri stefnu og falli til vesturs. Jarðhitinn og gufueimurinn sem kemur upp suðvestan og vestan við Randir, og lýst er í kafla 2.1.1, er á misgengi með falli til austurs og myndast smá sigdæld þarna á milli misgengjanna sem þrengist til suðurs (mynd 4). 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 30–70 m bili. Inni á milli er köld leirumyndun en á línunum er nánast samfelld virkni sem þó myndar hveraþyrpingar með meiri virkni (myndir 5 og 6). Hitinn í virkum leir- og brennisteinshverum er yfir 95°C í flestum tilfellum. Gufuaugu

voru ekki aflmikil 2022 frekar en undanfarin sumur. Frá gufunni er brennisteinslykt en í leirhverunum bullar mismikið.

Hitamyndir af jarðhitnum á Röndum eru sýndar á myndum 6 og 7. Þær eru teknar ofan af Bæjarfjalli (mynd 2, myndatökustaður 1). Jarðhitastaðirnir og volg jörð koma vel fram á myndunum. Brennisteinsþúfur, gufu- og leirhverir skera sig vel út sem litlir punktar (rauðir) í volgri jörð. Litlar breytingar er að sjá á milli ára en þó er eins og svæðið syðst sé eilítið að hitna.

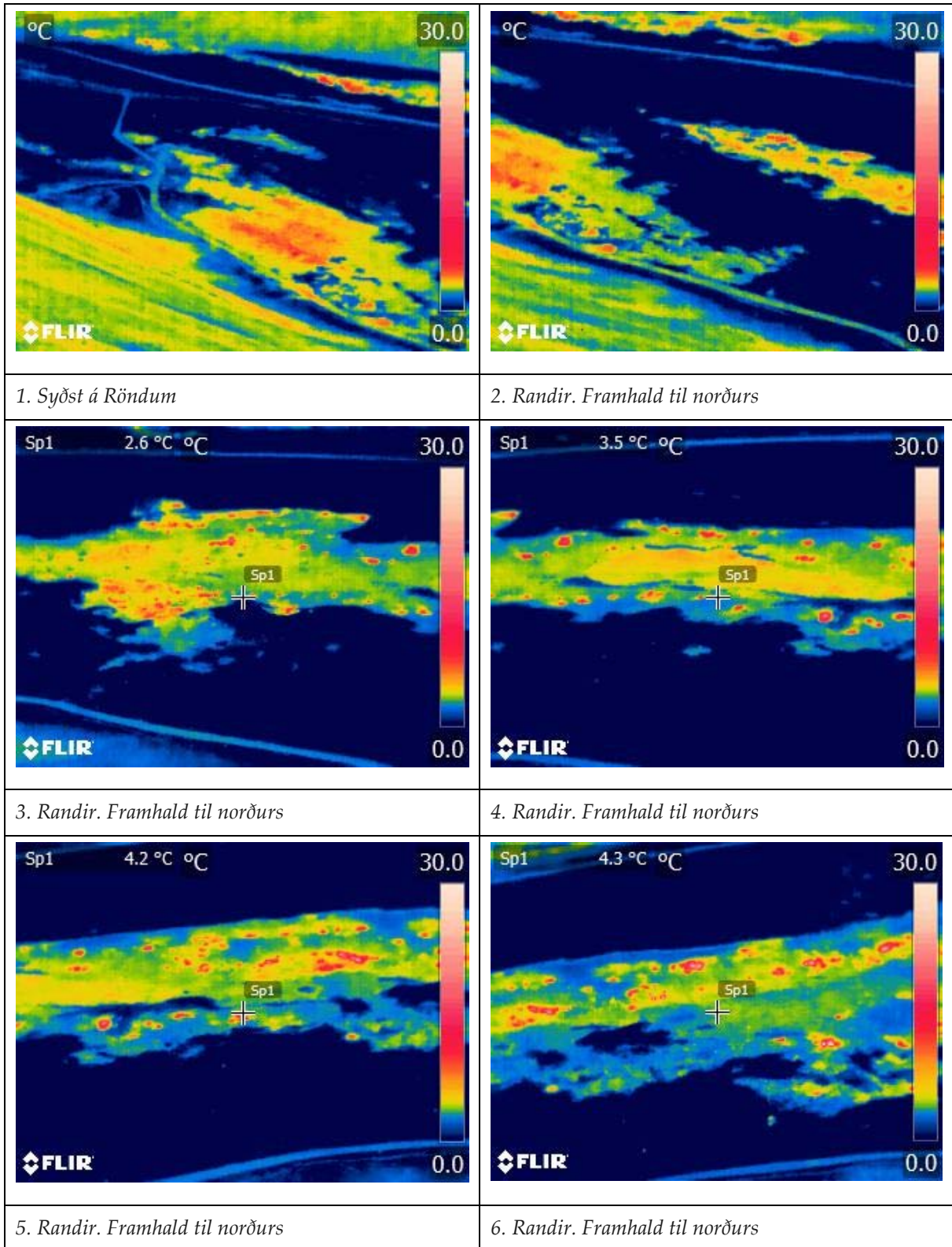


**Mynd 4.** Syðri hluti Randa. Meginvirknin er á tveimur misgengisbrotum og aðallega leirhverir.

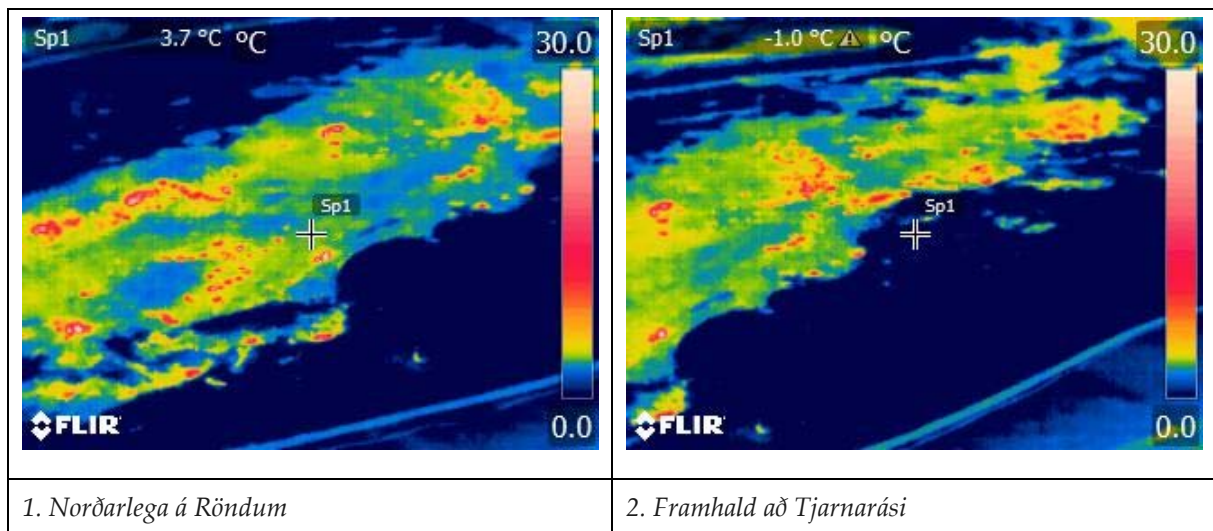


**Mynd 5.** Norðurhluti Randa. Myndin er tekin ofan af Bæjarfjalli. Meginvirknin eru bullandi leirhverir.





**Mynd 6.** Hitamyndir teknar ofan af Bæjarfjalli vestanverðu (myndatökustaður 1 á mynd 2). Jarðhita-  
staðirnir og volg jörð koma vel fram á myndunum. Breytingar eru litlar sem engar frá fyrra ári.



**Mynd 7.** Framhald hitamynda (á mynd 5). Jarðhitinn á Röndum er tengdur tveimur misgengjum með NNA-læga stefnu (hitamynd 1). Syðri hluti Tjarnaráss sker virknina á Röndum með NNV-stefnu (hitamynd 2).

### 2.1.3 Tjarnarás

Jarðhitinn í Tjarnarási kemur í beinu framhaldi norður af Röndum en þó með annarri stefnu syðst. Tjarnarás liggur í sveigðu misgengi þar sem suðurendinn stefnir frá Bæjarfjalli til NNV en sveigir síðan til norðurs og loks til NNA. 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 2 km norður fyrir Bæjarfjall. Ummyndunin einkennist af ljósum og rauðum leir meðfram misgengisbrúninni. Ljósmynd (mynd 8) af Tjarnarási er tekin ofan af Bæjarfjalli. Mynd 9 sýnir hveraskellu á Tjarnarási og hvernig virknin teygir sig upp í hlíðar Bæjarfjalls en hitamyndir af Tjarnarási eru sýndar á mynd 10.

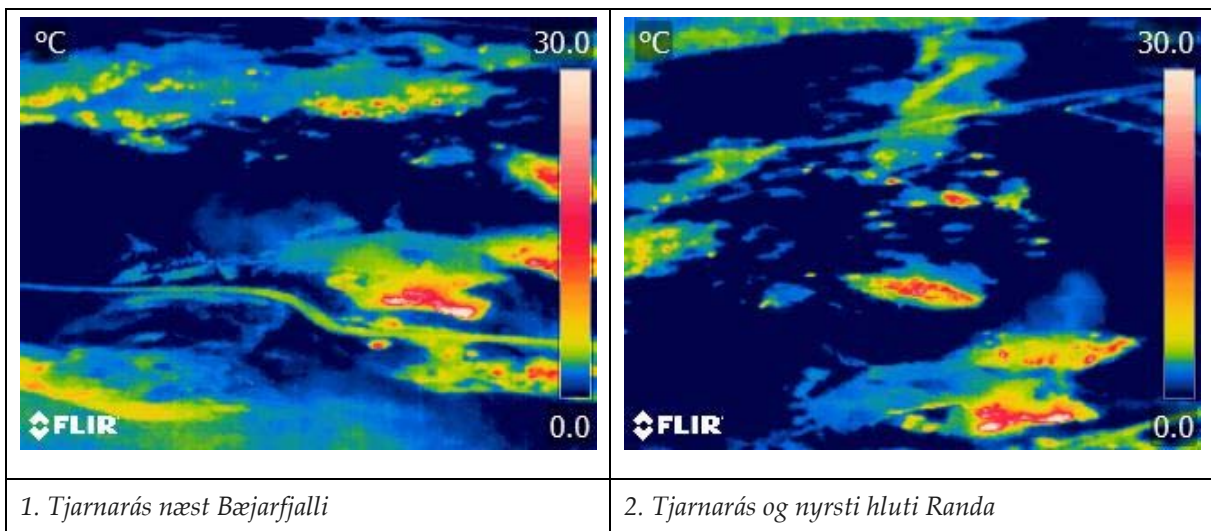


**Mynd 8.** Virknin á Tjarnarási teygir sig að Bæjarfjalli í suðri en þar er meginvirknin, séð niður að borteig A.

Gengið var eftir Tjarnarás og hitamælingar gerðar á nokkrum stöðum þar sem jarðhiti hefur verið áður. Jarðhitinn reynist svipaður á svæðinu eins og verið hefur undanfarin ár. Jarðhitavirkni syðst við Bæjarfjallið og upp í hlíðar þess hefur þó heldur verið að aukast frá árinu 2017 en hiti norðar á ásnum er nánast enginn.



**Mynd 9.** Jarðhitaskellan við sýnatökustað ÞG-103. Horft til suðurs. Virkni Tjarnaráss teygir sig upp í miðjar hlíðar Bæjarfjalls.



**Mynd 10.** Hitamyndir. Myndatökustaður 2 á mynd 2. Myndirnar sýna hvar misgengið á Röndum gengur inn í Tjarnarásmissgengið. Virkni á Tjarnarási er mest næst Bæjarfjalli.

### 2.1.4 Bæjarfjall

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

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. Neðarlega í þessu gili skreið hlíðin fram vorið 2018 og virðist sem brotsárið liggi meðfram jarðhitavirkninni (mynd 11). Brotnað hefur meira úr þessu stykki og sést vel sprunga með VNV-stefnu þar sem nýja brotsárið er. Virkni hvera er svo meiri neðar þegar komið er niður á sléttuna. Hinn staðurinn er í gilskorningnum hjá skálanum og þar um kring (mynd 10). Þar eru aðallega hvissandi gufuaugu og bullandi leirhverir, brennisteinslykt er af gufu. Á milli þessara svæða er töluverður hiti í jörðu í stöku skellum (<95°C). Virknin núna í ár var mjög svipuð því sem hefur verið en þó var erfitt að taka sýni þar sem töluverður bullandi leir var kominn á fyrri sýnatökustað neðan við skálann (sæluhúsið).



**Mynd 11.** Stykkið sem skreið fram árið 2018 og brotnaði meira síðar. Sprunga sker brotsárið með NV-stefnu og tengist jarðhiti því beggja vegna gilsins.



**Mynd 12.** Jarðhitavirknin neðan við sæluhúsið. Þarna er þó nokkurt gufustreymi og heitar leirskellur og eru leirhverir ráðandi á þessu svæði. Sýnatökustaður ÞG-101.

Jarðhitinn á eystri línunni er mun umfangsmeiri og breiðir hann töluvert úr sér þegar niður á sléttuna er komið (500x300 m) og myndar þar nánast samfellt svæði með heitri jörð og skellum (myndir 13 og 14). Miðað við undanfarin ár er svæðið svipað að umfangi, virkni er mikil í leirbrennisteins- og gufuhverum.



**Mynd 13.** Jarðhitinn á sléttunni neðan við Bæjarfjall norðanvert. Fyrir miðju er mesta jarðhitavirknin niður hlíðina og út á sléttuna.



**Mynd 14.** Framhald til austurs af mynd 13. Neðri-Bóndhóll er á miðri mynd.

Á milli vestari og austari jarðhitalínanna í Bæjarfjalli er svæði (100x60 m) niðri á sléttunni sem tengir þessi svæði saman í nánast einn samfelldan gufu- og leirhveraflekk með A-V læga stefnu (myndir 2 og 13). Virknin á þessu svæði hefur ekki verið mikil, aðallega leirhverir og heitar skellur. Virknin í hverunum virtist vera heldur meiri á þessu svæði síðustu ár en hún var 2012 en litlar breytingar frá 2019.

Hin mikla virkni norðan við Bæjarfjall (þ.e. í hlíðarfætinum) og suðurenda Tjarnaráss gæti bent til þess að jarðhitavirknin þarna tengist hliðrun (sniðgengi) með VNV-ASA stefnu (Maryam Khodayar o.fl., 2015). Þessi hliðrun tengist aðalsiginu á sprungusveiminum sem myndar belti með stefnu frá Þeistareykjum yfir Stórahver og að ummyndarskellum við Mælifell (Kristján Sæmundsson, 2007). Einnig má sjá VNV-, NV- og NA-lægar stefnur þegar dreifing jarðhitans er skoðuð í norðanverðu Bæjarfjalli og á sléttunni norðan fjalls. Þetta er í góðu samræmi við kortlagningu Maryam Khodayar o.fl. (2015) sem bendir meðal annars til að VNV- og NA-læg sniðgengisbrot þveri svæðið í norðurenda fjallsins. Nýr jarðhitablettur er að myndast neðarlega í hlíðinni sunnan Neðri-Bóndhóls (myndir **Error! Reference source not found.** og 17 (hitamynd 2)) þar sem breyting sést í gróðri og hiti er kominn rétt yfir 50°C.



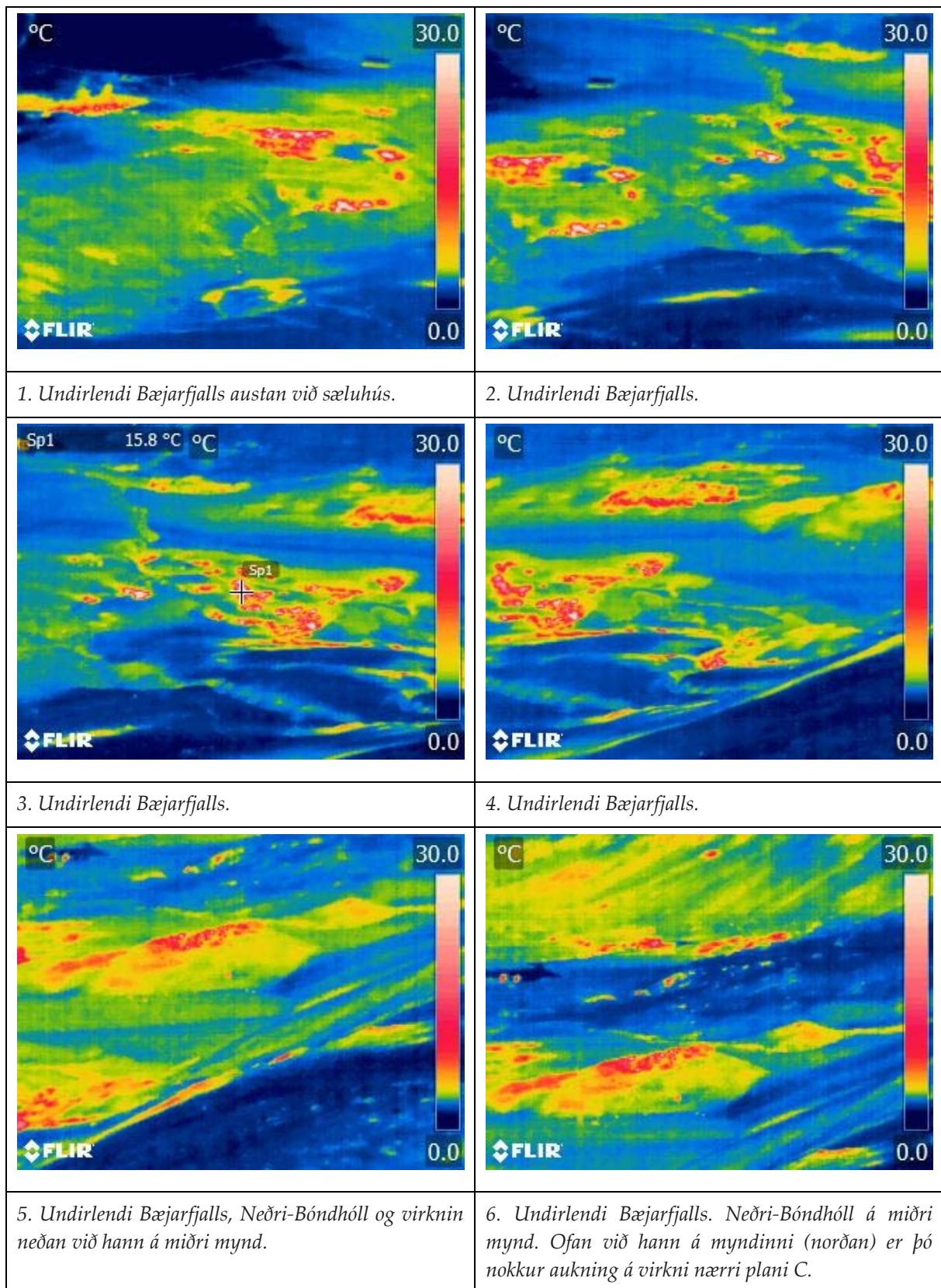
**Mynd 15.** Ný virkni í norðurhlíð Bæjarfjalls á miðri mynd. Jörðin er heit.

Sumarið 2022 var farið í nánari athugun ofan á norðanverðu Bæjarfjalli og gengið hringinn umhverfis gíginn og ofan í hann. Engar verulegar breytingar eru á jarðhitavirkni á fjallinu sjálfu þótt mögulega hafi hún aukist í vesturhluta þess. Engin virkni er umhverfis gíginn sjálfan né ofan í honum. Kortlagðar voru sprungur og misgengi sem sjást á fjallinu en að öðru leyti er ekki gerð sérstaklega grein fyrir þeim í þessari skýrslu.

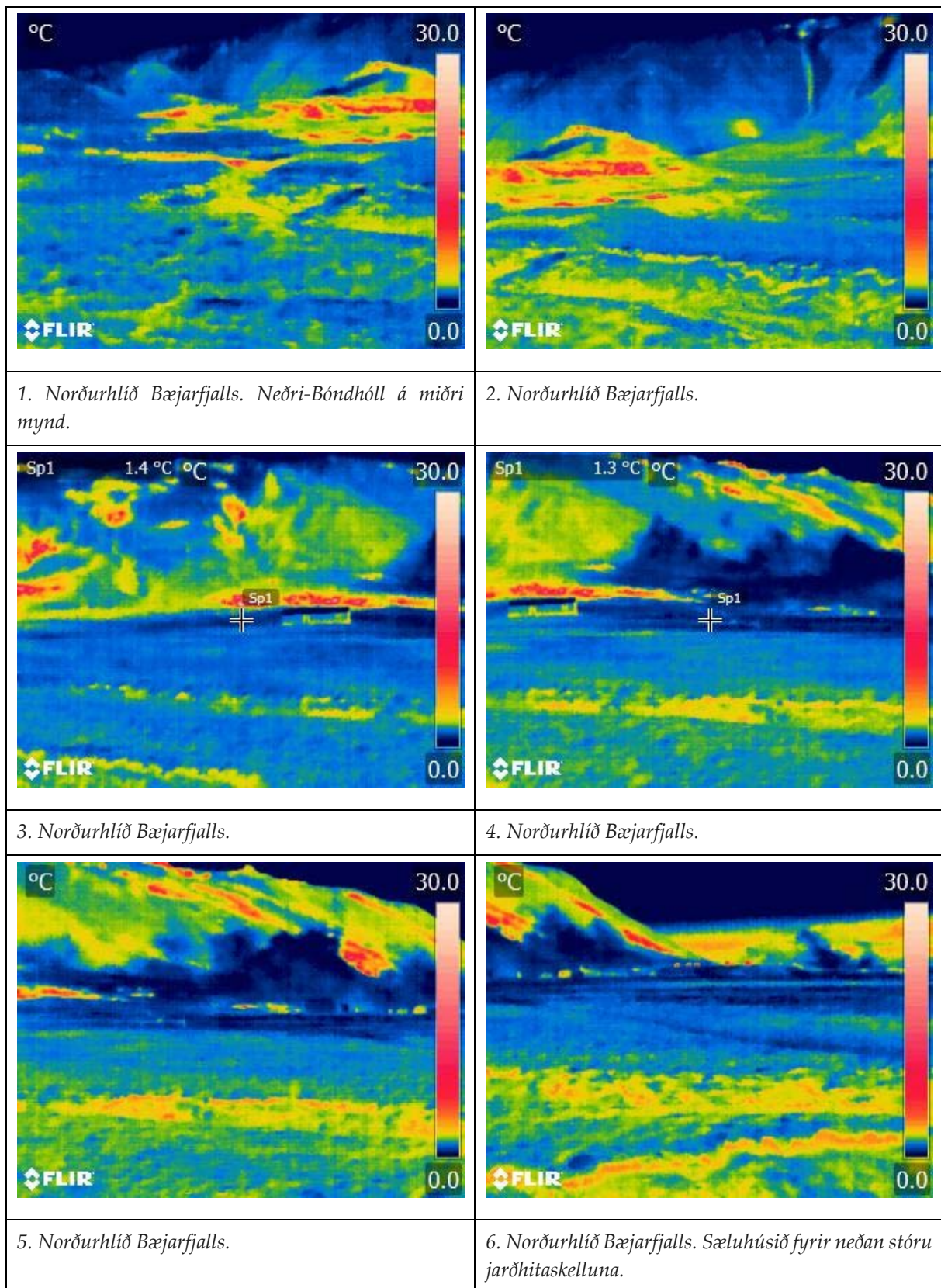
Á milli Bæjarfjalls og Ketilfjalls er jarðhiti neðst í brekkunni neðan við Bóndhólsskarð. Þarna kemur upp nokkur gufa úr hrauni og í jarðvegi er hitinn á gufunni allt að 70°C. Svæðið er að mestu gróið (gras og mosi). Stærð þess er um 50x30 m. Svæðið kemur fram á mynd 16 (hitamynd 6, ljósari blettur hægra megin og ofan við Neðri-Bóndhól). Nær borteig C (sunnan við), við borholur ÞG-3, ÞG-6, ÞG-7, ÞG-12 og ÞG-16, hefur virkni aukist mjög frá 2017 en þá bar fyrst á þó nokkurri aukningu á þessum stað. Svæðið hefur ekki mikið stækkað frá 2019 en verður alltaf meira áberandi vegna þess að gróður er að sölna kringum jarðhitann. Hann kemur vel fram á hitamyndinni (mynd 16, hitamynd 6) en fjallað verður um aukninguna í kaflanum um Ketilfjall.

Hitamyndir teknar ofan af Bæjarfjalli (myndatökustaður 4) og frá borholu ÞG-9 (sjá mynd 2, myndatökustaður 3) sýna dreifingu jarðhitans vel. Á mynd 16 sést undirlendi Bæjarfjalls og hvernig jarðhitastaðirnir raða sér upp. Sama er á mynd 17 en þar má sjá dreifingu jarðhitans í norðurhlíð Bæjarfjalls sem og hluta af jarðhitavirkninni á sléttunni neðan við fjallið. Almennu eru litlar breytingar á dreifingu jarðhitans á svæðinu fyrir utan staka bletti. Með samanburði á hitamyndum milli 2018, 2019 og 2022 á norður hlíð fjallsins má greina svipaða virkni.





**Mynd 16.** Jarðhitinn við norðanvert Bæjarfjall. Hitamyndirnar eru teknar ofan af fjallinu á myndatökustað 4 (sjá mynd 2). Myndirnar eru teknar frá vestri til austurs.



**Mynd 17.** Hitamyndir af norðurhlíð Bæjarfjalls. Myndatökustaður 3 á mynd 2. Á myndum 1 og 2 er Neðri-Bóndhóll og heita skellan fyrir neðan hann. Á myndum 3 og 4 er virki jarðhitinn austan til og glittir í jarðhitann á sléttunni sem er nánast samfelldur. Á myndum 5 og 6 kemur vestasti jarðhitinn fram og virknin frá Tjarnarási sem teygir sig upp í Bæjarfjall.

### 2.1.5 Ketilfjall

Við rætur Ketilfjalls eru volgar laugar sem eru afrennsli upphitaðs grunnvatns frá hitagjafa undir fjallinu (mynd 2). Laugarnar koma fram á um 500 m langri línu með NNA-læga stefnu. Hitinn í laugunum hefur verið frá 14 til 34°C síðustu árin, lítið eitt lægri en 2014 þegar hitinn fór mest í 37°C. Í skýrslu Gests Gíslasonar o.fl. (1984) er hitinn í laugunum sagður frá 11,8–41,7°C og Kristján Sæmundsson (2007) nefnir laugarnar með hita frá 30–40°C. Laugarnar nyrst voru ekki hitamældar í ár.

Uppi í miðjum vesturhlíðum Ketilfjalls er mest áberandi jarðhitastaðurinn. Þar eru bæði gufu- og leirhverir og brennisteinsþúfur á um 30x10 m stóru svæði sem myndar nokkurs konar skál í hlíð fjallsins. Nokkurt gufustreymi er á þessum stað, bæði frá gufuaugum og brennisteinsþúfum, og er hiti >95°C (mynd 18). Neðan við þessa virkni (skálina) eru tveir nýir staðir (svæði) báðum megin við lítið framhlaup (gamalt). Sunnan þess er komið gufuauga (mynd 20) og var tekið sýni úr því (G-110). Norðan við framhlaupið er gufusvæði með sölnuðum gróðri og leirbolla sem rann úr (mynd 21). Hiti á þessum nýju stöðum var yfir 95°C.



**Mynd 18.** Jarðhitaskálin í miðjum hlíðum Ketilfjalls. Dreifing jarðhitavirkni þar er svipuð og síðustu ár. Kröftugasta gufustreymið er norðarlega í skálinni neðan við gula brennisteinsskellu (sýnatökustaður Þ G-102). Gufustreymið hefur heldur aukist síðustu árin.

Jarðhiti er norðan og sunnan við borteig holna ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7. Nyrðra svæðið er stærra með brennisteinsþúfum og gufu- og leirhverum með þó nokkru vatni. Virkni er töluverð í gufu- og leirhverunum, bullar mikið og hvín í gufuopum. Virkni á þessu svæði hefur verið vaxandi undanfarin ár og hafa bæst við nýjar, heitar skellur og niðurföll frá kortlagningunni 2015–2018 (myndir 19 og 21).

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



**Mynd 19.** Jarðhitinn norðan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7. Þó nokkur virkni er á svæðinu og hefur hún aukist jafnt og þétt með gufuaugum, leirhverum og stöku brennisteinsummyndun kringum gufuopin (ný virkni frá 2015, aukning frá 2019).



**Mynd 20.** Þar sem var gufuauga 2019 er kominn leirhver og heit skella núna í ár, neðan við skálina í Ketilfjalli.



**Mynd 21.** Sölnaður gróður, ný niðurföll, bullandi leirhverir, heit jörð og gufur eru enn að koma í ljós norðan við skelluna neðst í hlið Ketilfjalls.

Sunnan borteigs holna ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7 er jarðhiti nokkuð áberandi en þarna er heit jörð með gufuaugum (lítil virkni) og leirumyndun. Hiti í miðju flekksins er 95–97°C en þessum háa hita fylgja útfellingar (hverasölt). Í jöðrunum hefur gufustreymi aukist mjög og nær nú töluvert upp í hlíðina meðfram vegslóðanum og upp skarðið. Hiti er 70–95°C. Það vottar fyrir brennisteinslykt af gufunni. Virknin í þessum flekk jókst mikið milli áráanna 2017 og 2019 og heldur áfram. Víða má sjá sölnaðan gróður og finna væga brennisteinslykt (mynd 22).



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

### 2.1.6 Niðurstöður

Dreifing jarðhitans sem kortlagður var á Þeistareykjum sumarið 2012, 2015, 2018 og 2019 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a; 2015, 2018; Finnbogi Óskarsson o.fl., 2019) var áþekkt því sem áður hefur verið lýst (Gestur Gíslason o.fl., 1984; Kristján Sæmundsson, 2007). Þeir staðir þar sem mesta breytingin á yfirborðsvirkni hefur orðið frá 2015 eru norðan og sunnan við holur ÞG-3, ÞG-6 og ÞG-7, vestur af Ketilfjalli. Virkni á þessum svæðum hefur aukist til muna og enn eru að myndast nýir staðir norðan og norðvestan við holurnar. Sunnan við ummyndunarblettinn suður af borteignum hefur virknin aukist til muna frá 2017 og bætist enn við þá virkni. Einnig hefur virkni aukist í norðvesturhlíðinni (niður við rætur Ketilfjalls og í hlíðinni) og er mun meiri virkni í gömlum skellum sem voru lítt áberandi áður. Áframhaldandi ný gufu- og leirhveravirkni er beggja vegna framhlaups sem er neðan við skelluna í hlíð Ketilfjalls. Eins er ný virkni að koma fram í norðurhlíð Bæjarfjalls sem má þó greina á hitamynd frá 2019 en sést mun betur núna í ár.

## 2.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum á Þeistareykjum

### 2.2.1 Sýnatökustaðir á Þeistareykjum

Fjórum sýnum af gufu og þéttivatni var safnað úr gufuaugum á Þeistareykjum laugardaginn 27. ágúst 2022, í björtu og stilltu veðri eftir talsverðar rigningar vikuna á undan. Svæðið var því nokkuð blautt, sérstaklega í giliinu við sæluhúsið og flaginu syðst í Tjarnarási. Sýnatöku- og efnagreiningaraðferðum er lýst í viðauka hér aftast í skýrslunni.

Til stóð að safna sýnum úr þremur gufuaugum; G-101 við sæluhúsið, G-102 í Ketilfjalli og G-103 í sunnanverðum Tjarnarási, en vegna þess hve mikið vatn hafði safnast saman í giliinu við sæluhúsið var auga G-101 á kafi í vatni. Engin álitleg gufuaugu var að finna í giliinu en sýni var safnað af gufu sem blés upp úr stórri leirkeilu sunnan við gilið. Sá staður fékk nafnið G-111. Við sýnatökuna vöknudðu þó grunsemdir um loftmengun og því var ákveðið að safna líka sýni úr auga G-104 í brennisteinsflaginu neðan við Bóndhól. Það gekk ljómandi vel, eins og sýnataka úr G-102 og G-103.

Yfirlit um sýnatökustaði má sjá í töflu 1 og staðsetning þeirra er sýnd á mynd 23 ásamt öðrum gufuaugum sem sýni hafa verið tekin úr á Þeistareykjum. Í gagnagrunni ÍSOR eru sýnatökustaðirnir kallaðir „Þeistareykir G-101“ o.s.frv. en í texta og á myndum hér á eftir eru nöfn gufuaugna yfirleitt styttn í „G-101“ til einföldunar.

Tafla 1. Sýnatökustaðir á Þeistareykjum sumarið 2022.

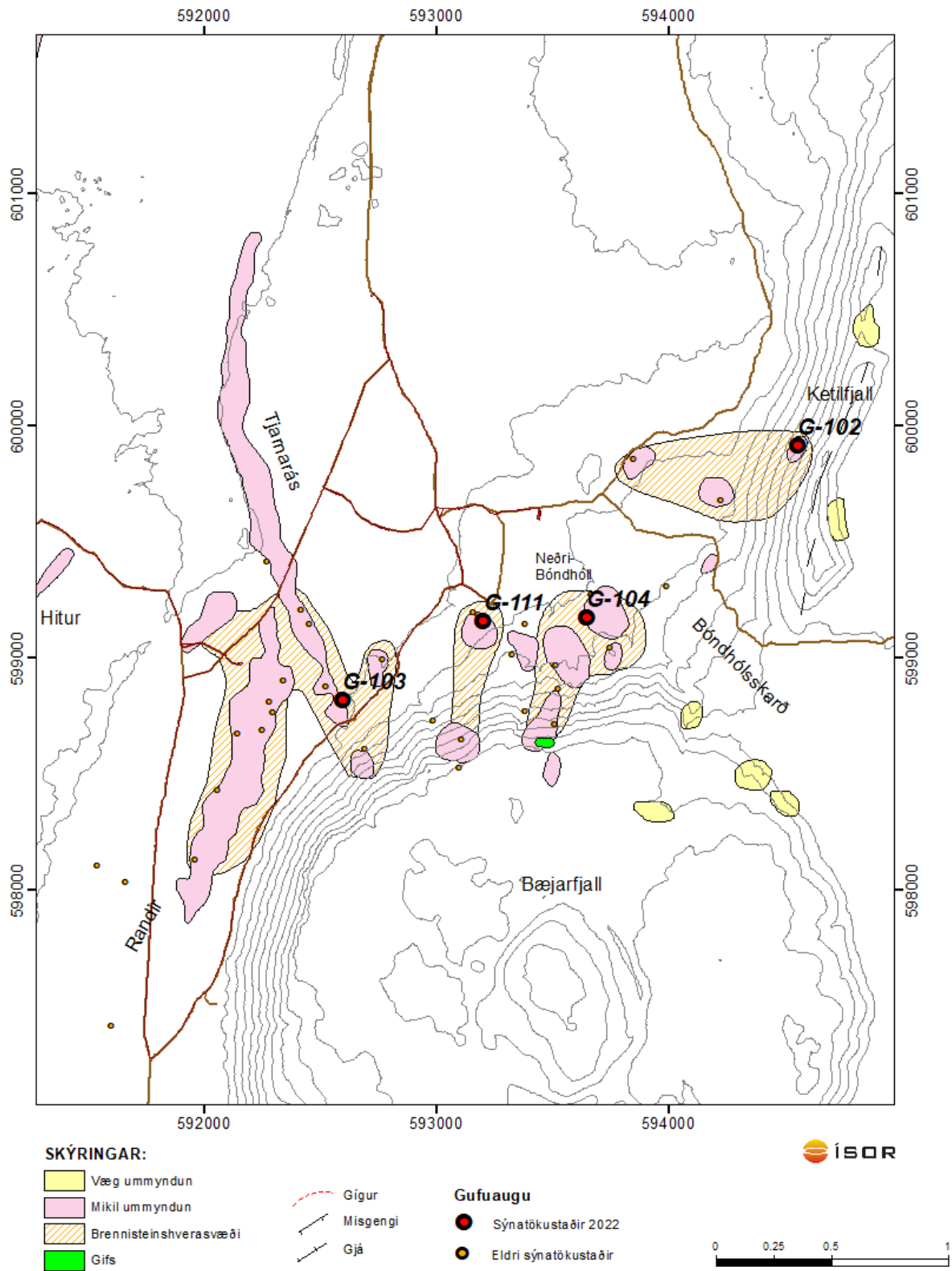
Nafn auga	Staðar-númer	x-hnit	y-hnit	Hæð (m y.s.)	Lýsing
G-102	H 10183	594555	599915	465	Í skál í Ketilfjalli
G-103	H 10184	592595	598816	343	Í leirflagi syðst í Tjarnarási
G-104	H 10185	593646	599170	385	Í brennisteinsflagi neðan Bóndhóls
G-111	H 93701	593200	599156	361	Sunnan lækjarins við sæluhúsið

**G-102:** Mjög öflugt auga í skál í Ketilfjalli á slóðum gamla G-3. Öflug gufuvirkni er bæði sunnan og norðan til í skálinni en flest undanfarin ár hefur sýnum verið safnað úr auga í skálinni norðanverðri. Í ár var augað norðan í skálinni í blautara lagi og því var sýni safnað úr auga sunnan í skálinni þar sem sýnatökustaðurinn G-3 var. Það var einnig gert árin 2018 og 2019. Sjá myndir 23 og 24.

**G-103:** Frekar kraftlítið en skýrt afmarkað og fókuserað auga sunnan til í leirflagi syðst í Tjarnarási, rétt norðan vegarins undir Bæjarfjalli. Undanfarin ár hefur verið safnað úr tveimur augum en að þessu sinni var safnað úr auganu G-103 sem er sunnan til í flaginu. Augað G-107, sem stundum hefur verið safnað úr undanfarin ár, er norðar í sama flagi. Í sama flagi var einnig sýnatökustaðurinn G-6 til forna. Sjá myndir 23 og 25.

**G-104:** Mjög öflugt gufuauga í stóru brennisteinsflagi neðan Neðri-Bóndhóls. Svæðið er að miklu leyti þakið brennisteinshverum og nokkrir þeirra eru nógu öflugir til sýnatöku. Augað sem safnað var úr er vestarlega í flaginu, á sömu slóðum og gamla G-12. Sjá myndir 23 og 26.

**G-111:** Fremur máttlítið gufuauga í toppi stórrar leirkeilu sunnan lækjarfarvegarins við sæluhúsið þar sem auga G-101 hefur verið. Sjá myndir 23 og 27.



Mynd 23. Gufuaugu á Peistareykjum. Gufuaugu sem safnað var úr sumarið 2022 eru sýnd með rauðum táknum.





**Mynd 24.** Gufuaugað G-102 í syðri enda skálar í hliðum Ketilfjalls.



**Mynd 25.** Undirbúningur sýnatöku úr gufuauganu G-103 í flagi við suðurenda Tjarnaráss.



**Mynd 26.** *Gufuaugað G-104 í brennisteinsflagi undir Neðri-Bóndhól.*



**Mynd 27.** *Gufuauga G-111 fyrir sunnan lækinn við sæluhúsið.*

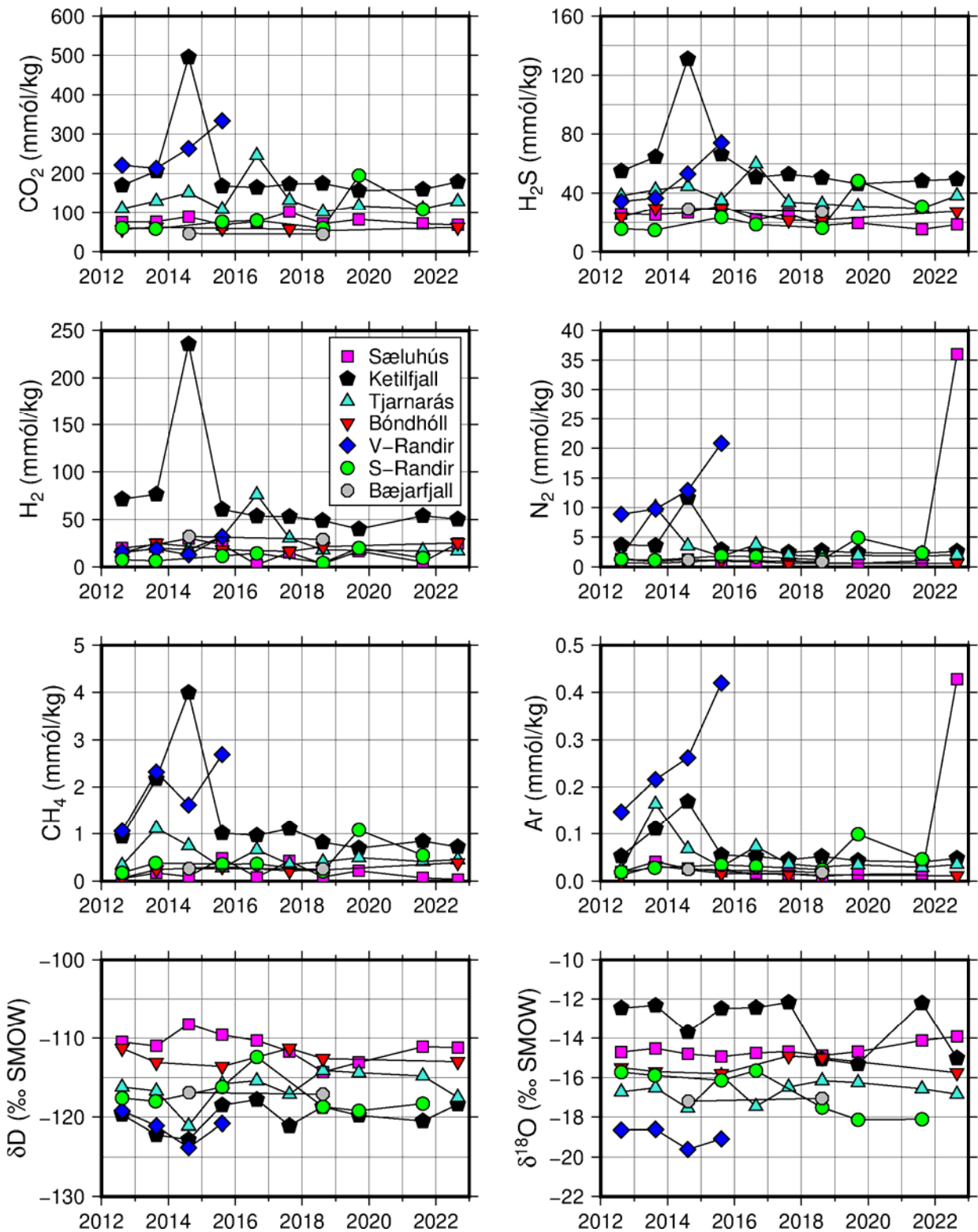
## 2.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga

Niðurstöður efnagreininga sýna sem tekin voru á Þeistareykjum sumarið 2022 eru skráðar í töflu 2 og á mynd 28 er sýndur styrkur gastegunda og hlutföll stöðugra samsætna vetnis og súrefnis í gufu frá Þeistareykjum með tíma. Samsætuvik í sýnunum er teiknað á mynd 29, ásamt úrkomulínu Craigs (1961) og suðuferlum fyrir grunnvatn og djúpvökva borholna (Finnbogi Óskarsson, 2019).

Í töflu 3 er sýndur áætlaður djúphiti sýna úr þeim fjórum gufuaugum sem safnað var úr að þessu sinni, reiknaður 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<sub>2</sub>) og pýrít-pýrrhótít-prehnít-epidót (H<sub>2</sub>S og H<sub>2</sub>). Fyrir Þeistareyki er notuð sú kvörðun CO<sub>2</sub>-hitamælisins sem gerir ekki ráð fyrir miklu CO<sub>2</sub>-flæði frá kviku.

Tafla 2. Efnasamsetning gufusýna frá Þeistareykjum sumarið 2022.

Sýni	20220190	20220191	20220192	20220193
Dagsetning	27.08.2022	27.08.2022	27.08.2022	27.08.2022
Staður	Þ G-102	Þ G-111	Þ G-104	Þ G-103
Hitastig (°C)	98,1	98,5	98,6	99,1
<b>Gasstyrkur í gufu (mmól/kg)</b>				
CO <sub>2</sub>	179	68,2	62,0	129
H <sub>2</sub> S	49,6	18,4	27,6	38,3
H <sub>2</sub>	50,2	24,7	25,3	16,8
CH <sub>4</sub>	0,723	0,034	0,388	0,452
N <sub>2</sub>	2,61	36,0	0,559	2,02
O <sub>2</sub>	<0,02	0,535	<0,01	<0,01
Ar	0,048	0,428	0,011	0,035
<b>Steinefni í þéttivatni (mg/kg)</b>				
Cl	0,029	0,033	0,024	0,014
B	<0,004	<0,004	<0,004	<0,004
Na	0,0148	<0,002	<0,002	<0,002
<b>Samsætur í þéttivatni (‰SMOW)</b>				
δ <sup>18</sup> O	-15,02	-13,92	-15,76	-16,84
δD	-118,4	-111,2	-113,0	-117,5



Mynd 28. Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttivatni úr gufuaugum á Þeistareykjum 2012–2022.

**Tafla 3.** Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áráanna 2012–2022 úr G-101, G-102, G-103, G-111 og skyldum stöðum á Þeistareykjum. Notast er við kvarðanir Stefáns Arnórssonar o.fl. (1998). Tölum í sviga er sleppt við útreikninga á meðaltali ( $\bar{x}$ ) og staðalfrávikum ( $\sigma$ ).

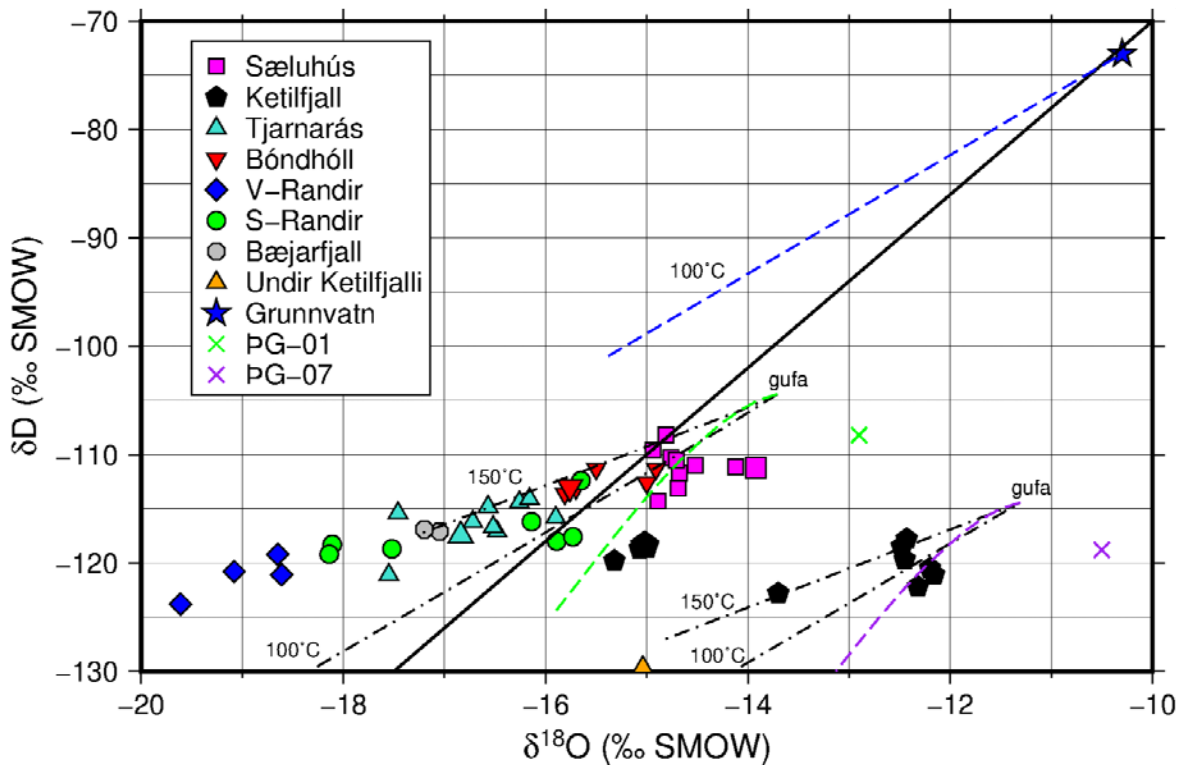
Sýni	Auga	T <sub>CO2</sub>	T <sub>H2S</sub>	T <sub>H2</sub>	T <sub>CO2/N2</sub>	T <sub>H2S/Ar</sub>	T <sub>H2/Ar</sub>	$\bar{x}$	$\sigma$
20220191	G-111	280	269	(335)	(187)	(218)	(248)	274	7
20210276	G-101	282	262	272	301	302	284	284	15
20190181	G-101	289	271	316	327	311	309	304	20
20180181	G-101	282	268	257	317	318	282	287	25
20170176	G-101	300	281	313	316	318	306	306	14
20160245	G-101	285	275	(248)	310	311	306	289	20
20150247	G-101	280	287	(332)	301	313	308	298	14
20140266	G-101	293	282	(344)	300	302	308	297	10
20130253	G-101	285	280	(332)	310	287	294	291	12
20120182	G-101	284	280	(325)	293	309	306	294	13
20220190	G-102	332	304	(372)	299	302	306	309	13
20210279	G-102	325	303	(376)	300	307	312	309	10
20190184	G-102	324	301	(359)	297	304	304	306	10
20180177	G-102	331	304	(370)	297	300	304	307	14
20170175	G-102	330	306	(375)	300	306	309	310	11
20160244	G-102	327	305	(376)	296	301	306	307	12
20150248	G-102	328	314	(383)	293	307	307	310	13
20140265	G-102	(409)	(339)	(482)	280	294	312	296	16
20130251	G-102	341	313	(398)	292	286	298	306	22
20120183	G-102	329	307	(394)	283	302	312	307	16
20220195	G-103	313	294	317	296	304	291	303	11
20190182	G-103	307	287	318	294	299	292	300	11
20180180	G-103	300	289	320	292	304	295	300	11
20170177	G-107	314	290	(345)	299	300	302	301	9
20160246	G-107	(353)	(310)	(398)	297	296	306	300	6
20150250	G-107	303	291	(346)	294	306	306	300	7
20140267	G-103	322	300	321	280	289	279	299	19
20130254	G-103	313	298	323	(239)	(263)	(262)	312	13
20120184	G-103	304	294	312	295	315	296	303	9
20220194	G-104	275	283	336	320	330	324	311	26
20180182	G-104	268	274	328	309	316	315	302	24
20170178	G-104	272	274	316	313	314	309	300	20
20150249	G-104	273	285	320	288	320	308	299	20
20130252	G-104	275	285	335	318	299	300	302	22
20120185	G-104	271	278	311	305	321	310	299	20

**G-102:** Gasstyrkur sýna sem safnað hefur verið úr G-102 í Ketilfjalli frá 2012 hefur verið fremur svipaður, að undanskildu sýni ársins 2014 en það hafði þést að nokkru leyti á leið sinni til yfirborðs og sá þess greinileg merki í gas- og samsætunistöðunum. Gasstyrkur í sýni ársins 2022 er áþekkt fyrri sýnum. Styrkur CO<sub>2</sub> í sýninu mælist 179 mmól/kg, H<sub>2</sub>S 50 mmól/kg og H<sub>2</sub> einnig 50 mmól/kg. Styrkur H<sub>2</sub> er hærri en jafnvægi við steindir spá fyrir um, sem bendir til þess að hærri hitastig gæti verið að finna neðar í kerfinu. Af þessum sökum reiknast óeðlilega hár H<sub>2</sub>-gashiti, eða um 370°C. Meðalgashiti að H<sub>2</sub>-mælinum slepptum reiknast 309°C sem er svipað og verið hefur. Gufan úr G-102 sker sig úr á gufuaugunum á Þeistareykjum hvað varðar súrefnishliðrun, sem er dæmigert um 4‰ í G-102 en óveruleg eða neikvæð í öðrum gufuaugum. Þetta bendir til þess að vökvinn sem gufan sýður upp af hafi haft umtalsverð efnaskipti við berg. Athyglisvert er að í sýni ársins 2022 virðist gufan innihalda mun minna af <sup>18</sup>O en áður (þ.e. hefur neikvæðara δ<sup>18</sup>O og fellur hún því nær sýnum frá Þeistareykjagrundum (sjá mynd 29)) en hið sama var uppi á teningnum árin 2018 og 2019. Þessi þrjú ár var sýnum safnað úr gufuauga sunnan til í skálinni en annars hefur yfirleitt verið safnað úr nyrðra auganu. Þetta má teljast merkilegt enda eru aðeins um 25 m á milli sýnatökustaðanna og efnasamsetning gufunnar hin sama, nema hvað varðar súrefnissamsætur.

**G-103:** Gasstyrkur í Tjarnarási (augu G-103 og G-107) er svolítið hærri en á Þeistareykjagrundum (sbr. G-101 og G-104) og hefur verið fremur stöðugur undanfarin ár, að sýninu frá 2016 undanskildu en það hafði þést á leið til yfirborðs. Styrkur CO<sub>2</sub> mælist nú 129 mmól/kg en H<sub>2</sub>S og H<sub>2</sub> mælast um 38 og 17 mmól/kg, sem allt lítið eitt hærri en árið 2021. Gashitagildum ber ágætlega saman og reiknast meðalgashiti 303°C, sem ber prýðilega saman við síðustu ár (að teknu tilliti til þéttingar sýnisins frá 2016). Samsætuhlutföllin lækka örlítið milli ára; δD mælist nú um -118‰ og sýnið hefur svolitla neikvæða hliðrun frá úrkomulínunni.

**G-104:** Þetta er sjötta sýnið sem safnað var úr G-104 í flaginu neðan Bóndhóls. Gasstyrkur hefur lítið breyst gegnum árin og er áþekkt sýnum úr G-101, sem er í næsta nágrenni. Gasstyrkur í sýninu frá 2022 er þó sjónarmun hærri en í flestum eldri sýnunum og líkist mest sýninu frá 2013. Styrkur CO<sub>2</sub> mælist 62 mmól/kg og styrkur H<sub>2</sub>S og H<sub>2</sub> 28 og 25 mmól/kg. Meðalgashiti reiknast einnig um 10°C hærri en fyrir eldri sýni, eða 311°C. Samsætuhlutföllin eru einnig alla jafna svipuð og í G-101 en í sýni ársins 2022 mælist tvívætnisvíkið -113‰ og súrefnissamsætur sýnisins gefa svolitla neikvæða hliðrun frá úrkomulínunni.

**G-111:** Sýnið er augljóslega mengað andrúmslofti, það sést bæði á því að súrefni mælist í því og að styrkur köfnunarefnis og argons er 30–40 sinnum hærri en í dæmigerðum gufusýnum frá Þeistareykjum (36 og 0,43 mmól/kg)). Að öðru leyti svipar gufunni merkilega mikið til dæmigerðra sýna úr auga G-101 þótt reyndar sýni það meiri súrefnishliðrun en vant er. Sýnið er því teiknað með sams konar táknum og eldri sýni af sæluhússvæðinu á myndum 28 og 29. Styrkur CO<sub>2</sub> mælist 68 mmól/kg, styrkur H<sub>2</sub>S 18 mmól/kg og styrkur H<sub>2</sub> um 25 mmól/kg. Líklegt má telja að styrkur H<sub>2</sub>S hafi lækkað eftir sýnatöku vegna efnahvarfa við súrefnið í sýninu. Vegna andrúmsloftsmengunarinnar eru gashitamælar sem nota hlutföll við N<sub>2</sub> eða Ar ómarktækir hér, og H<sub>2</sub>-hitamælirinn sýnir ótrúlega há gildi. Þess vegna er meðalgashiti hér aðeins reiknaður út frá CO<sub>2</sub>- og H<sub>2</sub>S-hitamælunum, sem gefa að meðaltali 274°C. Það er mun lægra gildi en hefur fengist fyrir G-101 gegnum tíðina en þau gildi hafa að jafnaði verið 290–300°C. Eins og áður segir er tvívætnisvíki svipað og í sýnum úr G-101, eða -111‰, en svolítið meira mælist af <sup>18</sup>O í sýninu en flestum sýnum úr G-101.



**Mynd 29.** Samsætuvið sýna áráanna 2012–2022 úr gufuaugum á Þeistareykjum ásamt úrkomulínu Craigs (1961). Sýnin frá 2022 eru sýnd með stærri táknum. Einnig eru sýndir ferlar fyrir suðu grunnvatns við 100°C (blár), gufu sem myndast við þrýstifallssuðu djúpvatns úr ÞG-1 (grænn) og ÞG-7 (fjólublár), svo og þéttingu frumgufu úr ÞG-1 og ÞG-7 við 100°C og 150°C (svartir). Samsætugögn fyrir djúpvatn eru frá Finnboga Óskarssyni (2019).

### 2.2.3 Samantekt

Talsverðar breytingar urðu á virkni og gassamsetningu í gufuaugum á Þeistareykjum á 10. áratug síðustu aldar, eins og Halldór Ármannsson (2004) hefur rakið. Síðan 2012 hefur hins vegar ekki verið að sjá verulegar breytingar milli ára þótt stöku sýni skeri sig úr vegna þéttingar gufu eða loftmengunar. Árið 2022 bar það til að gufuaugað með einna lengstu, samfelldu tímaröðina (G-101 og forveri þess, G-3) var á kafi í vatni þegar sýnatökumenn bar að garði. Ekki var þó annað að sjá en að mikil virkni væri á svæðinu og breytingin má að líkindum skrifast á miklar rigningar vikuna fyrir sýnatöku. Í staðinn var safnað sýni úr toppi leirkeilu (G-111) sunnan lækjar og það reyndist mengað andrúmslofti en bar að öðru leyti ágætlega saman við sýnaröðina úr G-101.

Sjá má á gassamsetningunni, einkum styrk  $H_2$  og  $N_2$ , að svæðið í Röndum (þar sem ekki voru tekin sýni í ár) reiknast heldur kaldara en hin svæðin, eða um 250–280°C, en var 300°C í Tjarnarási (augu G-103 og G-107) og á Þeistareykjagrundum (augu G-101 og G-104) og um 310°C í Ketilfjalli (G-102). Mólhlutfallið  $CO_2/H_2S$  reiknast á bilinu 2,3–3,7 í sýnum ársins 2022, áberandi lægst í G-104. Styrkur vetnis í gufunni er almennt frekar hár á austanverðu svæðinu, hærrí en sem nemur jafnvægi við steindir í djúpkerfinu, en í Tjarnarási og á Röndum fellur vetnishiti ágætlega saman við aðra gashitamæla. Þessi háí vetnisstyrkur bendir til djúpgufu í kerfinu, þ.e. að vökvinn í jarðhitageyminum sé tvífasa, og bendir til nálægðar við uppstreymi.

Styrkur Cl og Na í þéttivatni er lægri en 0,1 mg/kg í öllum sýnum og styrkur B er lægri en 0,004 mg/kg. Þetta bendir til þess að lítil kvikuáhrif eða meðburður vatns sé til staðar.

Tvívætnisgildi gufunnar í sýnum árána 2012–2022 spanna bilið -108 til -130% en allra lægstu gildin eru fyrir sýni sem greinilega hafa þétt á leið til yfirborðs. Tvívætnisgildin eru almennt hæst á Þeistareykjagrundum (G-101 og G-104) en lægst í Ketilfjalli (G-102).

Samsættugildi fyrir sýni frá Þeistareykjagrundum og óþétt sýni frá sunnanverðum Röndum falla á úrkomulínuna, sýni úr Ketilfjalli hafa jákvæða súrefnishliðrun en sýni úr Tjarnarási, Bæjarfjalli og vestanverðum Röndum sýna neikvæða súrefnishliðrun (mynd 29). Það töldu Darling og Ármannsson (1989) til marks um að gufan í Ketilfjalli væri hér um bil ótrufluð djúpgufa en að gufa vestan Tjarnaráss hefði þétt verulega (niður í 15–25% af upphaflegu rúmmáli) við hitastig nærri eða neðan 200°C. Athygli vekur að sýni árána 2018, 2019 og 2022 úr G-102 sýna miklu minni súrefnishliðrun en eldri sýni, og falla nær sýnum af Þeistareykjagrundum en eldri sýni og sýnið frá 2021 (mynd 29). Rétt er að minna á að þessi þrjú ár var sýnum safnað úr suðurhluta skálarinnar í Ketilfjalli en ekki norðurhlutanum líkt og flest undangengin ár og bendir það til þess að kerfisbundinn munur sé á gufunni úr þessum tveimur sýnatökustöðum þótt aðeins um 25 metrar skilji þá að.

Varðandi uppruna vatnsins bendir tvívætni ótvírætt til þess að hans sé ekki að leita í köldu eða volgu grunnvatni nærri yfirborði þar eð það hefur mun hærra tvívætnishlutfall en jarðhitavökvinn. Þannig eru samsættuhlutföll vatnsins úr vatnsbóli Þeistareykja undir Ketilfjalli  $\delta D \approx -71,4\%$  og  $\delta^{18}O \approx -10,2\%$  meðan samsættuhlutföll djúpvatns í holu ÞG-1 eru  $\delta D \approx -108\%$  og  $\delta^{18}O \approx -12,7\%$ , og djúpvatn í holu ÞG-7 hefur  $\delta D \approx -119\%$  og  $\delta^{18}O \approx -10,5\%$  (Finnbogi Óskars-son, 2019). Þessir gagnapunktur eru sýndir á mynd 29 og þar eru jafnframt sýnd með blárri, slitróttri línu samsættuhlutföll gufu sem myndast við suðu vatnsins úr vatnsbólunni við 100°C, reiknuð út frá jöfnum Horita og Wesolowski (1994).

Hins vegar má hugsa sér að tvívætnisgildi vatnsins sem fæðir jarðhitakerfið sé á bilinu -110 til -105% og að gufan sem stígur upp af Þeistareykjagrundum, Tjarnarási og Röndum sé mynduð við suðu slíks vökva, sem gæti verið sami vökvi og finnst í holu ÞG-1. Gufan í nyrðra auganu í skálinni í Ketilfjalli virðist hins vegar vera sömu ættar og vökvinn í holu ÞG-7 og gæti verið mynduð við suðu á honum. Á mynd 29 eru sýnd samsættuhlutföll gufu sem myndast við suðu djúpvatns úr ÞG-1 (grænn ferill) og ÞG-7 (fjólublár ferill) frá djúphita niður í 100°C, auk þétt-ingar frumgufunnar sem myndast við suðu holuvökvans, annars vegar við 100°C og hins vegar 150°C, allt reiknað út frá jöfnum Horita og Wesolowski (1994).



## 2.3 Gasflæði um jarðveg á Þeistareykjum

### 2.3.1 Fyrri gasflæðimælingar á Þeistareykjum

Hluti umhverfiseftirlits á jarðhitasvæðunum þremur á NA-landi, Þeistareykjum, Kröflu og Námafjalli, hefur falist í að mæla flæði koldíoxíðs um jarðveg og hitastig í jarðvegi. Í fyrstu voru gasflæðimælingarnar á svæðunum þremur gerðar á mælilínunum sem liggja víða um jarðhitasvæðin en ekki í samfelldu mælineti, fyrst og fremst vegna þess hve jarðhitasvæðin eru víðfeðm.

Fyrstu koldíoxíðflæðimælingar voru gerðar á Þeistareykjum sumarið 2012 og var markmið þeirra að fá hugmynd um náttúrulegt gasflæði um jarðveg og útbreiðslu þess á svæðinu. Mælingarnar voru gerðar á mælilínunum en ókostir mælilínanna eru að út frá slíkum mælingum er ekki hægt að kortleggja gasflæði- og hitastigsfrávik og ekki er heldur mögulegt að leggja mat á heildargaslosun um jarðveg. Út frá niðurstöðunum frá 2012 lá fyrir að koldíoxíðflæði er ekki einskorðað við afmarkað svæði á Þeistareykjum heldur kom fram koldíoxíðflæði vítt og breitt á þeim mælilínunum sem mældar voru þá.

Í ljósi fyrirhugaðrar vinnslu á Þeistareykjum var lagt upp með að kortleggja betur útbreiðslu koldíoxíðsflæðis um jarðveg á svæðinu með því að mæla stóran hluta svæðisins sumarið 2015 á mælineti ásamt því að endurtaka mælingar á mælilínunum frá því 2012. Mælingarnar 2015 voru mjög ítarlegar og nokkuð tímafrekar en gáfu skýra mynd af gasflæðinu um jarðveg á svæðinu. Sumarið 2018 var áhugi á að endurtaka mælingarnar og mæla aftur á mælineti en ákveðið var að stækka möskvastærðina á mælinetinu og fækka þannig mælipunktum án þess að það kæmi um of niður á niðurstöðunum. Sumarið 2020 var mælt á sama svæði og mælt var sumarið 2018 og í sömu möskvastærð en þar sem auðsýnt var að yfirborðsvirkni hafði aukist til norðurs meðfram Ketilfjalli var einnig mælt þar.

### 2.3.2 Almennt um gasflæðimælingar

Gasflæðimælingar byggjast á því að í jarðhitavökva er ávallt að finna nokkurt magn upp-leystra gastegunda sem berast inn í kerfið, t.d. með kviku í rótum kerfisins. Yfirleitt er CO<sub>2</sub> í mestum styrk en H<sub>2</sub>S og H<sub>2</sub> eru einnig algengar jarðhitagastegundir. Koldíoxíð getur borist út úr jarðhitakerfinu, t.d. með útfellingu kalsíts og blöndun jarðhitavatns og gufu við kalt grunnvatn en þegar gufa myndast við náttúrulega suðu í kerfinu leita gastegundirnar í gufufasann og fylgja gufunni þegar hún leitar upp á við. Á yfirborði koma fram gufuaugu og leirpyttir þar sem gufan hefur náð til yfirborðs og er hún þá yfirleitt vel sýnileg en stór hluti gufunnar berst ekki til yfirborðs. Sá hluti þéttist á leið sinni áður en hann nær til yfirborðs, t.d. þegar gufan kemst í snertingu við kalt grunnvatn eða þar sem gufan streymir um gropinn berggrunn og streymið er ekki nægjanlegt til að hita umhverfið að suðu. Við þær aðstæður þar sem vatnsgufan þéttist getur hluti gassins sem henni fylgdi komist áfram til yfirborðs. Þannig getur talsvert magn af CO<sub>2</sub> streymt upp í gegnum jarðveg og jarðhitaskellur án þess að þess sjáist nein ummerki á yfirborði. Rannsóknir á jarðhitasvæðum víða um heim, og einnig á Reykjanesi og í Kröflu, hafa sýnt að það magn sem kemur um jarðveg er yfirgnæfandi miðað við gufuaugu og leirpytti (Favara o.fl., 2001; Chiodini o.fl., 2005; Fridriksson o.fl., 2006) og má gera ráð fyrir að svipað eigi við um Þeistareyki.

Þar sem gufan sem flytur koldíoxíð til yfirborðs myndast vegna suðu í jarðhitakerfinu geta breytingar á koldíoxíðflæði um jarðveg gefið góðar vísbendingar um suðuástand í kerfinu. Við orkuvinnslu úr jarðhitakerfum er jarðhitavökvi numinn úr kerfinu og þar með breytist þrýsti-ástand kerfisins. Kerfisbundnar gasflæðimælingar á jarðhitasvæðinu á Reykjanesi í rúmlega

áratug hafa glögglega sýnt hvernig suða í jarðhitakerfinu hefur aukist samfara þrýstilækkun vegna vinnslu fyrir Reykjanesvirkjun (Auður Agla Óladóttir, 2012; Auður Agla Óladóttir o.fl., 2015).

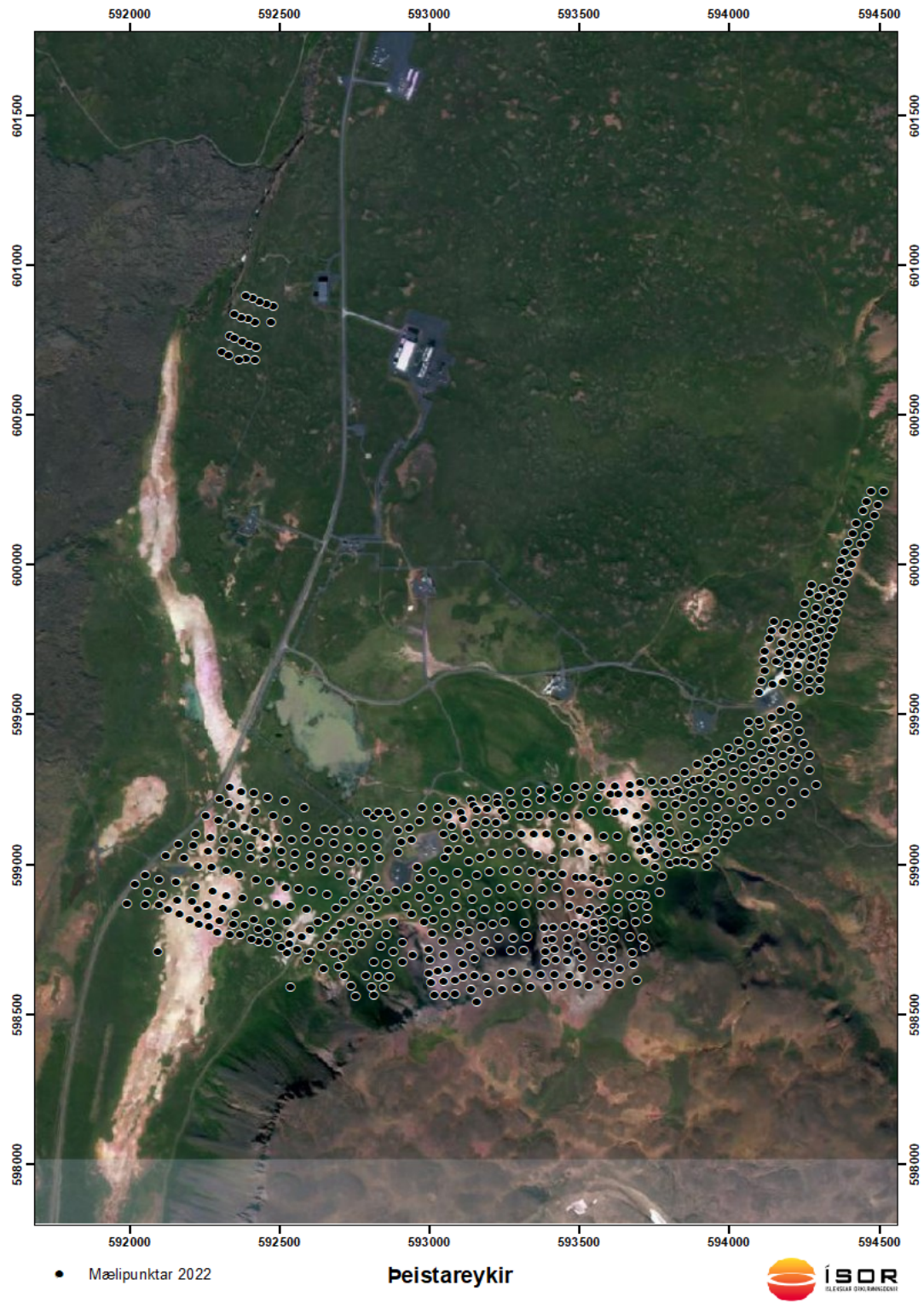
Við gasflæðimælingar á Íslandi og víða um heim á jarðhitasvæðum og eldfjallasvæðum er algengast að notast sé við svokallaðar pottmælingar (e. *closed chamber method*) þar sem mældur er hraði uppsöfnunar koldíoxíðs í lokuðu rými eða potti sem lagður er þétt ofan á jörðina (Cardellini o.fl., 2003). Hallatalan á styrk koldíoxíðs í pottinum með tíma á meðan á mælingu stendur (þ.e. uppsöfnunarhraði koldíoxíðs) er mælikvarði á gasflæðið. Tekur það um 1–3 mínútur í hverri mælingu að ná stöðugu gildi. Rannsóknir hafa sýnt að þessi aðferð er ábyggileg og endurteknar mælingar gefa sambærilegar niðurstöður frá einum degi til annars nema þegar jarðvegur er mjög blautur eftir mikla úrkomu en þá getur flæðið minnkað tímabundið (Granieri o.fl., 2003; Auður Agla Óladóttir, 2012). Sömu aðferðir og tækjabúnaður hefur verið notaður í öllum mælingum sem gerðar hafa verið í Kröflu, Námafjalli og á Þeistareykjum síðasta áratuginn, eða fram til ársins 2019 en þá var tekinn í notkun nýr mælir, sömu gerðar, sem hefur verið notaður upp frá því samhliða eldri mælinum. Gasflæðimælarnir er frá WestSystems og eldri mælinn má sjá á mynd 30.



**Mynd 30.** Annar af gasflæðimælunum sem notaðir voru til mælinga á Þeistareykjum sumarið 2020.

### 2.3.3 Gasflæðimælingar á Þeistareykjum sumarið 2022

Gasflæðimælingarnar voru gerðar á Þeistareykjum í lok ágúst 2022. Að þessu sinni voru mælingarnar gerðar á mælineti með um 40–50 m möskva eins og árin 2018 og 2020. Mælinetið nær yfir þann hluta Þeistareykja þar sem yfirborðsvirkni er mest áberandi. Svæðið nær upp á brúnir Bæjarfjalls, yfir virknina við sæluhúsið og umhverfis Neðri-Bóndhól og einnig var mælt á svæðinu á grundunum vestan Ketilfjalls. Árið 2022 var ekki mælt á syðri hluta Randa en 4 stuttar mælinúr voru mældar á svæði vestan við nyrsta hluta Tjarnaráss á móts við Þeistareykjavirkjun vegna fyrirhugaðrar niðurdælingar. Ekki er mælt í sömu mælipunktum frá ári til árs en mælinetið nær yfir nokkurn veginn sama svæði. Helstu breytingar á mælisvæðum milli árana 2022 og 2020 eru annars vegar Randir, þar sem mælt var 2020 en ekki 2022, og hins vegar til norðurs meðfram Ketilfjalli sem mælt var 2022 en ekki 2020. Ástæðan fyrir því að Röndum var sleppt nú er að þar hafa engar sjáanlegar breytingar orðið á virkni á yfirborði og þar er mjög breytileg grunnvatnsstaða frá ári til árs. Stundum er jarðvegurinn skraufþurr, og þá mælast hækkuð CO<sub>2</sub>-gildi nokkuð víða, en stundum liggur vatn yfir stórum hluta svæðisins og kæfir koldíoxíðflæði til yfirborðs um jarðveg. Einnig má benda á að engar vinnsluholur eru á suðurhluta Randa. Mælt var meðfram Ketilfjalli í ár en þar hefur yfirborðs-jarðhitavirkni aukist og á þessu svæði eru vinnsluholur. Gasflæði var alls mælt í 652 punktum á Þeistareykjum og hitastig mælt á 15 cm dýpi í hverjum punkti. Að þessu sinni voru tvö mælitæki tiltæk svo tveir starfsmenn mældu samhliða koldíoxíðflæði á svæðinu. Allir mælitæðir eru sýndir á mynd 31. Veður var þurr og gott þegar mælt var og ekki ástæða til að ætla að jarðvegsraki hafi haft áhrif á niðurstöðurnar.



*Mynd 31. Mælingar á jarðvegshitastigi og koldíoxíðgasflæði um jarðveg á Peistareykjum sem gerðar voru í ágúst 2022.*

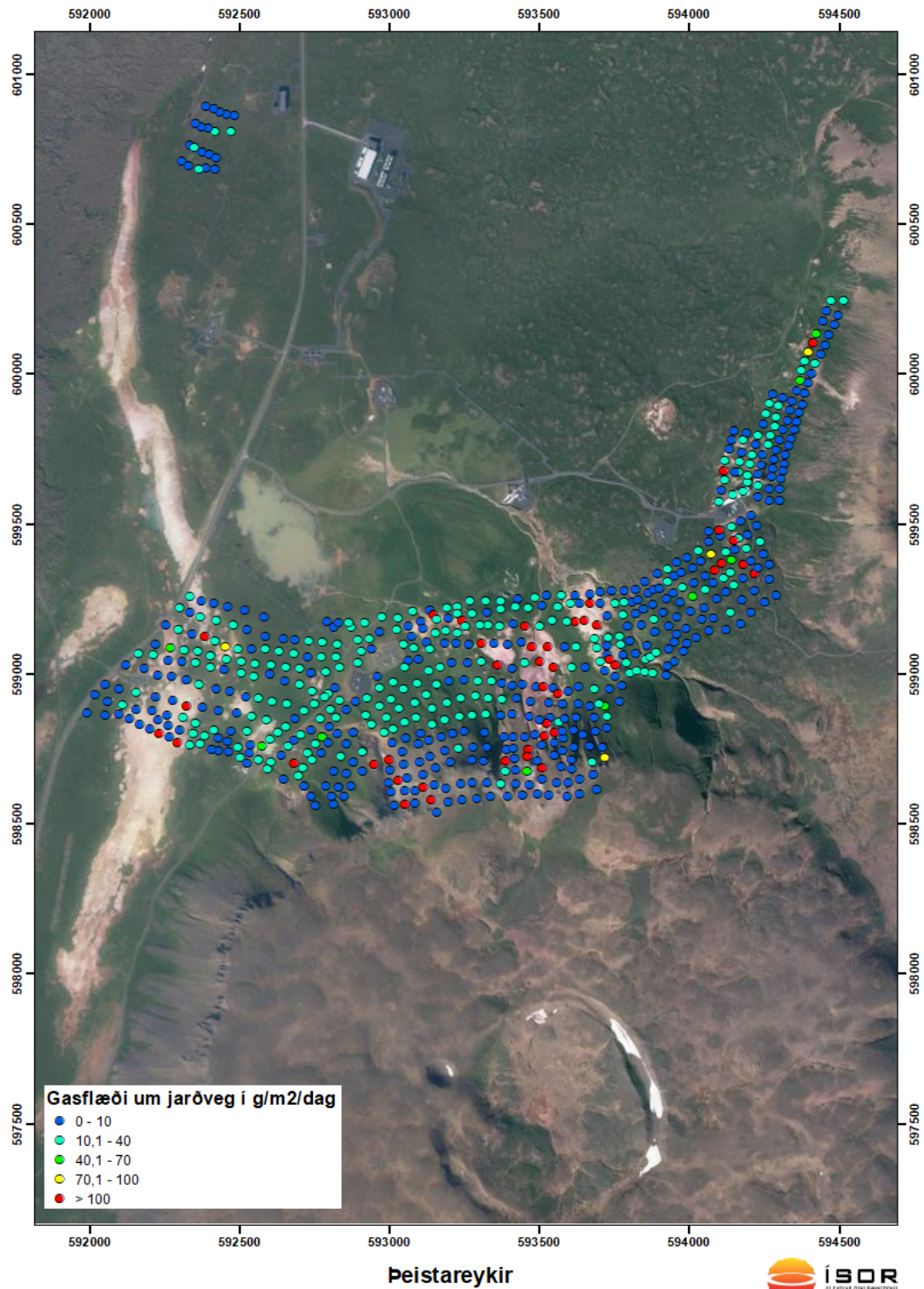
### 2.3.4 Niðurstöður

Niðurstöður mælinganna eru settar fram myndrænt á kortum, annars vegar koldíoxíðflæði (á myndum 32 og 33) og hins vegar jarðvegshitastig (á myndum 34 og 35). Bæði koldíoxíðgasflæði og heit jörð koma víða fram á Þeistareykjum en um er að ræða afmarkaða bletti þar sem jarðvegshiti og koldíoxíðgildi mælast há, sem er fremur frábrugðið því sem þekktist t.d. á Reykjanesi þar sem há gildi koma fyrir á frekar stórum, samfelldum svæðum en lítið utan þeirra (Auður Agla Óladóttir o.fl., 2015; Albert Þorbergsson o.fl., 2020).

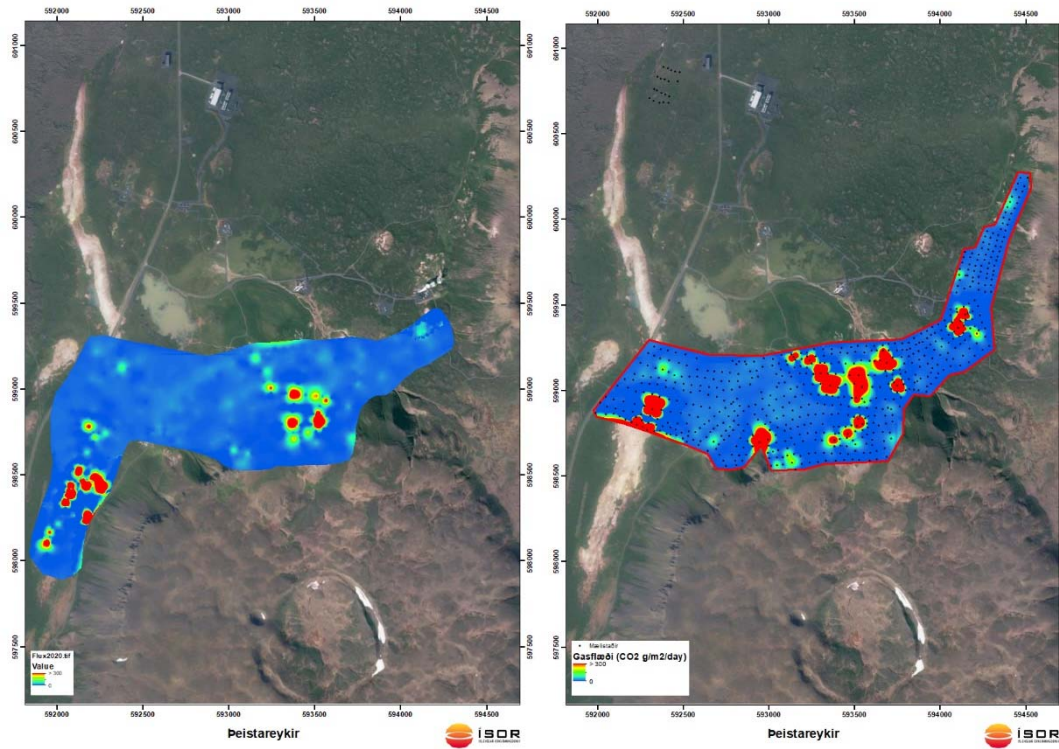
Í Kröflu og á Reykjanesi hefur tölfræðilegum aðferðum verið beitt til að greina á milli gasflæðis frá jarðhita annars vegar og bakgrunnsgildis, þ.e. gasflæðis frá líffræðilegri virkni af völdum gróðurþekju eða lífvera (Ármannsson o.fl., 2007). Bakgrunnsgildin á þeim svæðum hafa verið á bilinu 1,6–6,0 (g/m<sup>2</sup>)/dag en tölfræðileg skoðun á gagnasettinu frá Þeistareykjum bendir til að bakgrunnsgildi þess sé ívið hærra, eða allt að 10 (g/m<sup>2</sup>)/dag. Í 6% tilvika voru mæligildin yfir bakgrunnsgildum og í stöku punktum mældist mjög mikið koldíoxíðflæði og er þetta mjög svipað niðurstöðunum frá fyrri árum. Í 12 punktum mældist koldíoxíðflæði mjög hátt, eða yfir 100 (g/m<sup>2</sup>)/dag sem er svipað og 2020 þegar gildi yfir 100 ((g/m<sup>2</sup>)/dag) voru 43 talsins.

Þegar unnið er með mælingar sem gerðar eru á mælineti er unnt að nota tölfræðilegar aðferðir til að brúa á milli þeirra punkta sem mældir eru. Hér er farin sú leið að nota svokallaða „kriging-aðferð“ til að brúa á milli gilda hvers mælipunkts en það er fremur einföld brúunar-aðferð. Á myndum 32 og 33 má sjá að hækkað koldíoxíð kemur fram vítt og breitt um svæðið á Þeistareykjum en myndar hvergi stórar, samfelldar breiður. Svo virðist sem hærri gildi komi fram austan yfirborðsvirkinnar við Sæluhúsið og ofarlega í Bæjarfjalli virðast vera hærri gildi á afmörkuðu svæði nú en árið 2020. Einnig má sjá hærri gildi í nágrenni C-teigs en áður.

Flestir blettirnir eru á svæðum þar sem jarðhitavirkni er sjáanleg á yfirborði. Þetta kom skýrt fram í fyrri mælingum á Þeistareykjum árin 2015, 2018 og 2020 og mælingarnar nú sýna sömu niðurstöðu. Þessi blettótta virkni er einkennandi fyrir koldíoxíðflæðið á Þeistareykjum og stafar hugsanlega af öflugum grunnvatnsstreymi á Þeistareykjum sem torveldar koldíoxíði að berast til yfirborðs nema þar sem uppstreymið er nógu öflugt. Þó má benda á að svo virðist sem gildin í næstlægsta flokknum í flokkuninni sem hér er stuðst við virðast vera fleiri en áður, þ.e. gildi sem eru rétt aðeins yfir bakgrunnsgildum. Kann þetta að stafa af því að þó að áður hafi bakgrunnsvirkni fyrir Þeistareyki verið skilgreind upp að 10 (g/m<sup>2</sup>)/dag út frá mælingum og flokkunarkerfið hér miðað við það, er vel hugsanlegt að bakgrunnsgildið liggi örlítið hærra og því sé ekki ástæða til að veita þeim sérstaka eftirtekt. Þó kann einnig að vera að þetta bendi til lítilla aukinnar útbreiðslu koldíoxíðsflæðis sem hugsanlega mætti tengja breyttu þrýsti-ástandi í kerfinu.

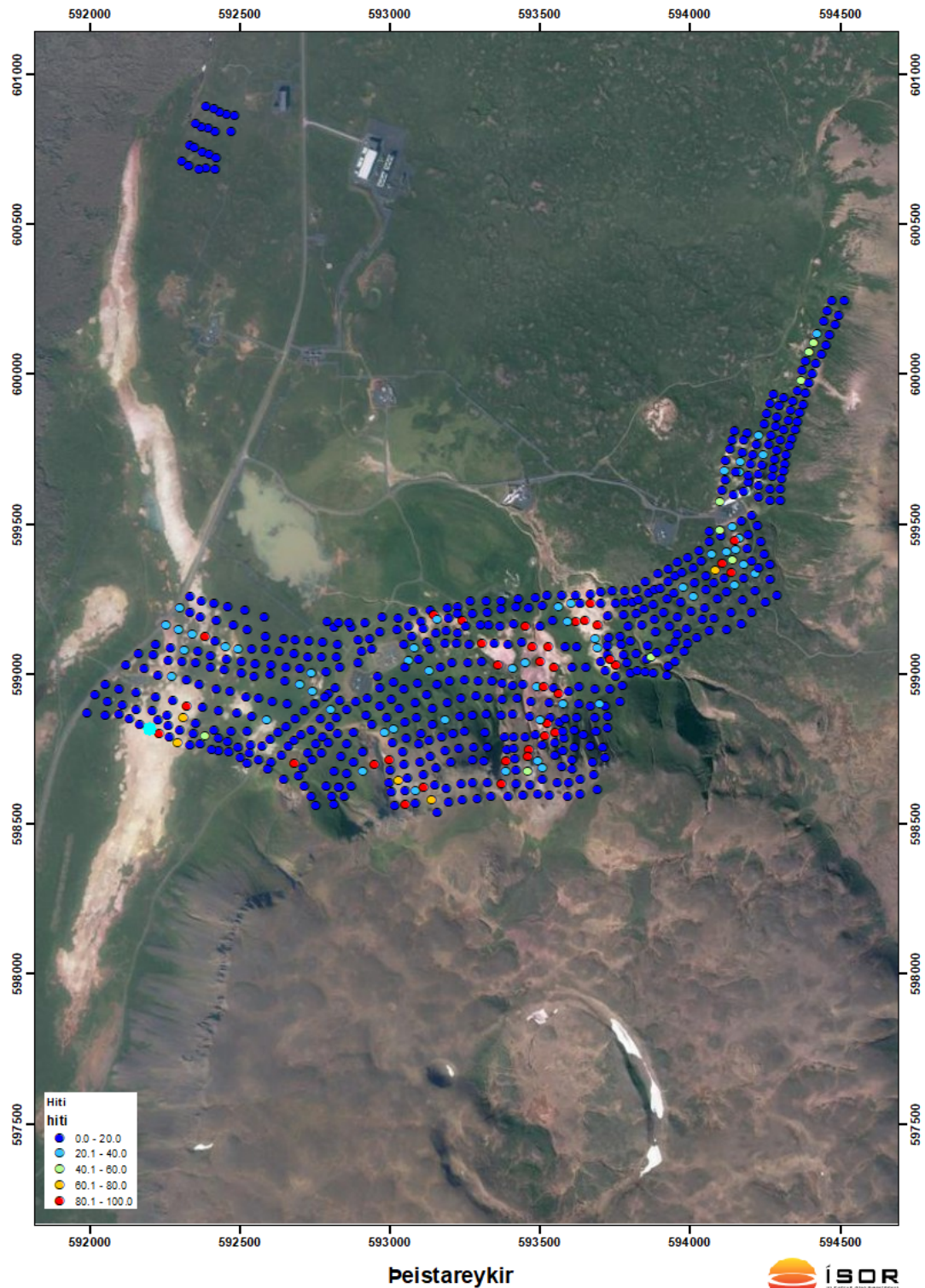


Mynd 32. Niðurstöður gasflæðimælinga um jarðveg á Peistareykjum.



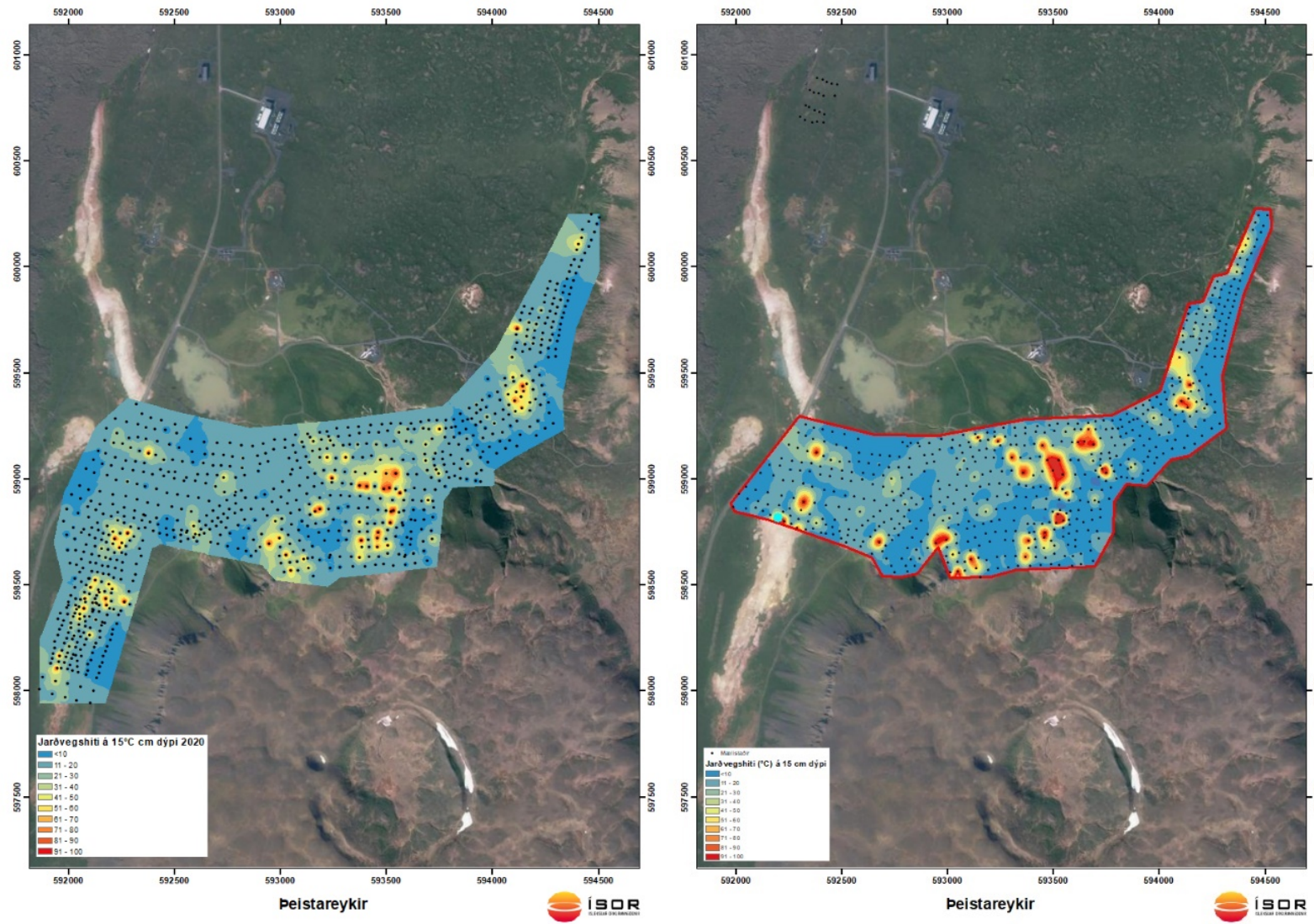
**Mynd 33.** Gasflæðimælingar á Peistareykjum, 2020 vinstra megin og 2022 hægra megin. Niðurstöður punktmælinga sem brúaðar eru með „kriging-aðferð“. Svartir punktar sýna mælipunktana.

Á mynd 34 má sjá niðurstöður hitamælinga sem gerðar voru á 15 cm dýpi í sömu mælipunktum og koldíoxíðmælingarnar. Hitastig var lágt í flestum mælipunktum, í um 84% tilvika mældist hiti undir 20°C en 85% árið 2018 og 80% árið 2020. Mælipunktar þar sem hiti var á bilinu 20–100°C voru samtals 102 og dreifast þeir nokkuð um svæðið eins og sjá má á myndinni. Mynd 36 sýnir tíðnirit fyrir hitastig (hægra megin) og gasflæði vinstra megin. Flestir mælipunktarnir sýna lág gildi bæði fyrir hita og CO<sub>2</sub>-gasflæði.



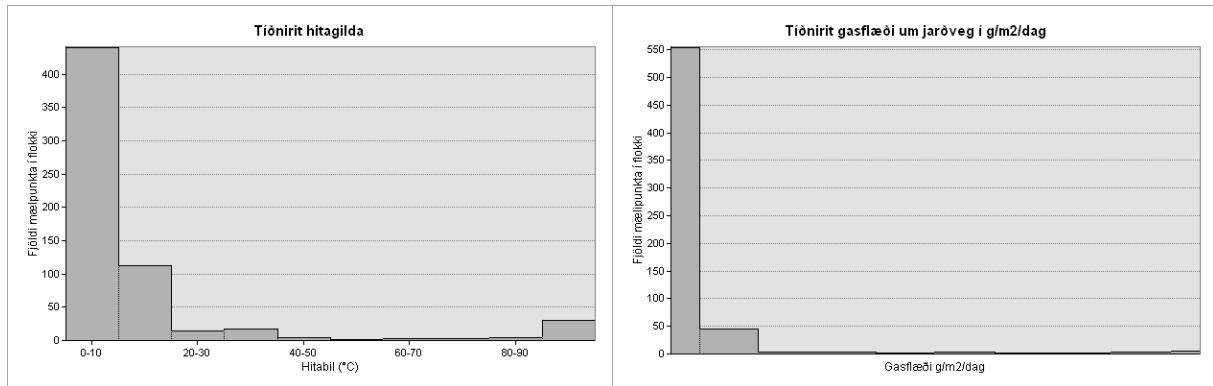
**Mynd 34.** Niðurstöður jarðvegshitamælinga á 15 cm dýpi í jarðvegi sem gerðar voru samtímis mælingum á koldíoxíðflæði.





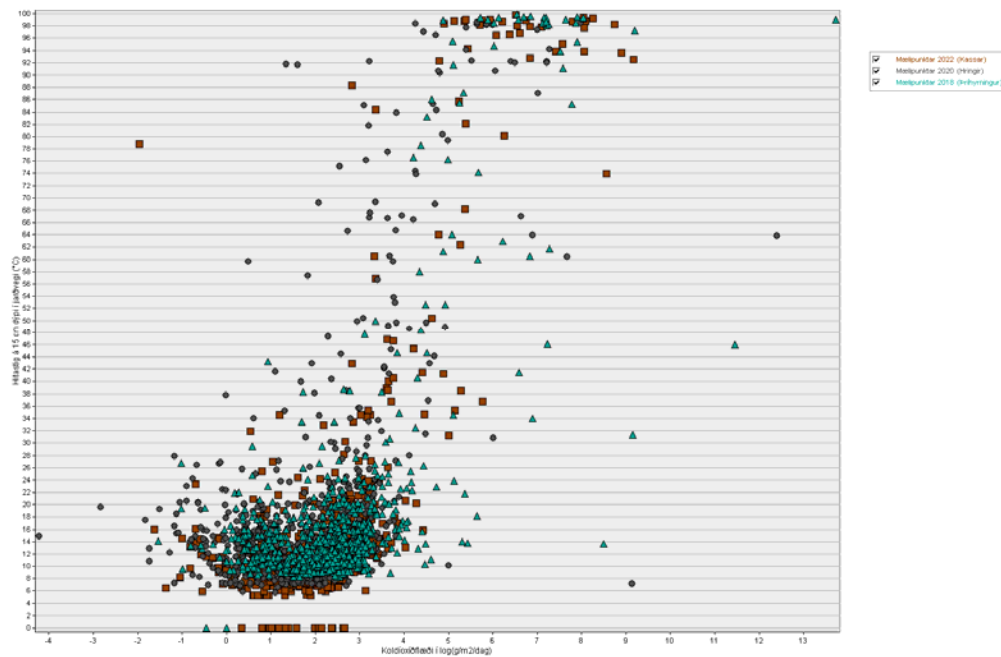
Mynd 35. Hiti á 15 cm dýpi samkvæmt jarðvegshitamælingum, vinstra megin frá 2020 og hægra megin frá 2022.

Samanburður milli ára 2020 og 2022 á hitastigsmælingunum sýna svipaða niðurstöðu og koldíoxíðmælingarnar. Í megindráttum er staðan svipuð en ívið hærri gildi koma fram víða, sérstaklega á svæðinu milli Bónðhóls og Sæluhússins og einnig upp hlíðar Bæjarfjalls.



**Mynd 36.** Tíðnirit hita- og koldíoxíðmælinga á Þeistareykjum árið 2022.

Á mynd 37 má sjá koldíoxíðgildi borin saman við jarðvegshitagildi í sömu mælipunktum. Þegar gögn um hitastig á 15 cm dýpi í jarðvegi eru borin saman við koldíoxíðflæði í sömu mælipunktum kemur í ljós að þetta tvennt fer ekki saman í öllum tilvikum þótt viss fylgni sé milli þessara þátta. Í langflestum mælipunktum var hitastig lágt, eða undir 20°C. Í þeim punktum mældist koldíoxíðflæði langoftast líka lágt en í einstaka punktum nær CO<sub>2</sub>-flæðið mjög háum gildum þótt jarðvegshitastig sé lágt. Þetta var þó mest áberandi árið 2015 en minna árin 2018, 2020 og 2022. Í slíkum punktum getur koldíoxíðflæðið orðið verulega hátt, eða yfir 1000 ((g/m<sup>2</sup>)/dag) þrátt fyrir að hiti sé undir 20°C. Slíkar niðurstöður hafa einnig komið fram í mælingum í Kröflu og þar stafar það líklega af því að gufan þéttist frekar djúpt þannig að varminn skilar sér ekki til yfirborðs. Einnig má sjá að þar sem hiti er yfir 20°C fylgir hækkað koldíoxíð nær alltaf, eða í yfir 90% tilvika.



**Mynd 37.** Gasflæði um jarðveg og jarðvegshiti á Þeistareykjum 2018, 2020 og 2022. Koldíoxíðflæði er á log-skala.

Eins og fyrri mælingarár á Þeistareykjum vekur athygli að mælipunktur, þar sem hitastig er á bilinu 30–80°C, eru mjög fáir, eða aðeins < 7%. Hugsanleg skýring á þessu gæti verið að öflugur grunnvatnsstraumurinn í Þeistareykjasprungusveimnum komi í veg fyrir að stór hluti varmans geti borist til yfirborðs. Varmi sem kemur frá varmagjafanum í Þeistareykjakerfinu lendir í grunnvatninu og berst burt úr kerfinu. Áætlað hefur verið að grunnvatnsstraumurinn beri þannig með sér um 300 MW af varma frá Þeistareykjum niður í Lón í Kelduhverfi (Halldór Ármannsson, 2001). Aðeins þar sem uppstreymi gufu og koldíoxíðs er verulegt nær það til yfirborðs og mælist hiti þá yfirleitt yfir 80°C og CO<sub>2</sub>-flæði vel yfir bakgrunnsgildum.

Mælingarnar frá sumrinu 2020 bentu til að koldíoxíðflæði hefði frekar dregist saman á virkustu jarðhitablettunum á Þeistareykjum en mælingarnar frá 2022 benda heldur til þess að virkni í öflugum blettum hafi aukist. Mest áberandi er aukningin á jarðhitavirkni sem áður var nefnd, austan við Sæluhúsið og upp í hlíðar Bæjarfjalls. Einnig má nefna að líflegt er yfir jarðhitavirkninni á sléttunni meðfram Ketilfjalli. Ekki er um neina verulega aukningu að ræða á þessum svæðum og of snemmt að draga miklar ályktanir að svo stöddu.

### 2.3.5 Samantekt

Viðamiklar mælingar á jarðvegshitastigi og koldíoxíðflæði um jarðveg voru gerðar á Þeistareykjum sumarið 2022 og var þar um að ræða endurtekningu á mælingum frá fyrri árum (2020, 2018, 2015 og 2012). Mælingarnar voru gerðar í 652 mælipunktum, á mælineti yfir virkasta hluta svæðisins. Niðurstöðurnar sýna að virkni á Þeistareykjum er mjög skellótt eða blettótt, þ.e. háan hita og mikið koldíoxíð er oftast að finna á mjög afmörkuðum blettum sem aðeins koma fram á stökum mælipunktum. Slíkar skellur er að finna víða um svæðið, fyrst og fremst þar sem einnig er jarðhitavirkni á yfirborði. Hitamælingarnar sýndu einnig blettótta virkni og fátítt að heit svæði næðu mikilli stærð.

Samanburður eldri mælinga á koldíoxíðflæði og mælinga frá því sumarið 2022 sýndu að aukning hefur orðið í koldíoxíðflæði við yfirborðsvirknina við norðaustanvert Bæjarfjall nálægt Sæluhúsi og austan þess. Einnig má sjá aukið gasflæði við norðanverða brún Bæjarfjalls (mynd 12). Þar er bæði aukning á jarðvegshita og koldíoxíðflæði. Virknin meðfram Ketilfjalli hefur haldið áfram að teygja sig til norðurs frá því mælt var 2018 og 2020. Sjáanleg og mælanleg aukning hefur orðið í jarðhitavirkni á yfirborði, þ.e. bæði jarðvegshita og koldíoxíðflæði sunnan við borteig C sem teygir sig í átt að Bóndhólsskarði og varð þessara breytinga fyrst vart sumarið 2018. Ljóst er á samanburði mælinganna milli árána 2012 og 2015 að í náttúrulegu ástandi jarðhitasvæðisins á Þeistareykjum getur breytileiki í koldíoxíðflæði um yfirborð verið töluverður og ekki er ljóst hvort sú litla aukning sem nú hefur komið fram milli árána 2020 og 2022 er byrjun á þróun sem mun halda áfram og tengist þá vinnslu frá svæðinu eða hvort einungis er um að ræða eðlilegar sveiflur í náttúrulegri yfirborðsvirkni svæðisins. Slíkar sveiflur geta verið umtalsverðar, eins og Ármannsson o.fl. (2000) hafa rakið.

## 3 Krafla

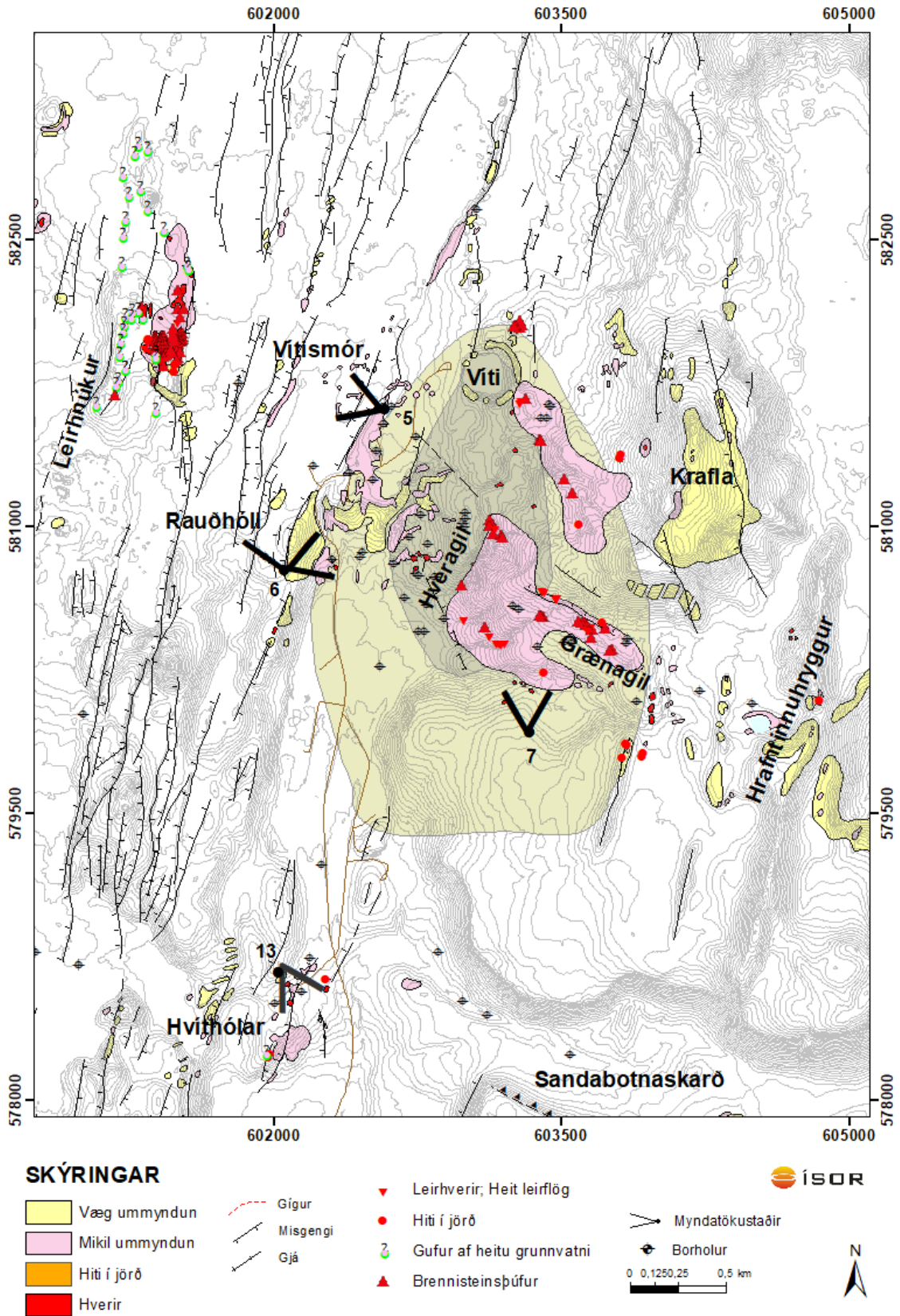
### 3.1 Yfirborðsvirkni í Kröflu

Skipting svæða á Kröflusvæðinu í gegnum tíðina hefur verið í nokkuð föstum skorðum. Skipting svæðanna er eftirfarandi: Leirbotnar, Leirhnjúkur, Vítissvæðið, Hveragil, Vesturhlíðar og Suðurhlíðar. Þessum svæðum hefur verið lýst áður í ýmsum eftirlitsskýrslum (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2011; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a; 2013b; 2014; 2015, 2016, 2017).

Í ár voru aðeins teknar hitamyndir og farið á þá staði þar sem sýni eru tekin og aðeins litið yfir svæðið. Staðsetning og stefna hitamyndatökustaða er sýnd á jarðhitakorti (mynd 38). Kortið byggist á jarðhitakorti Kristjáns Sæmundssonar (2007) að viðbættum gjóskugeira Vítis frá 1724 og nákvæmari afmörkun á ummyndun umhverfis Hveragil.

Hitakvarðinn á hitamyndum er afstæður, þ.e. ekki er um réttan hita að ræða enda er einungis kannað hvort jarðhitinn sé að breytast á milli ára með því að nota sama hitamun í myndarammanum.

Í köflunum sem hér koma á eftir er farið lauslega yfir þau svæði sem skoðuð voru í ár meðfram hitamyndatökunni.

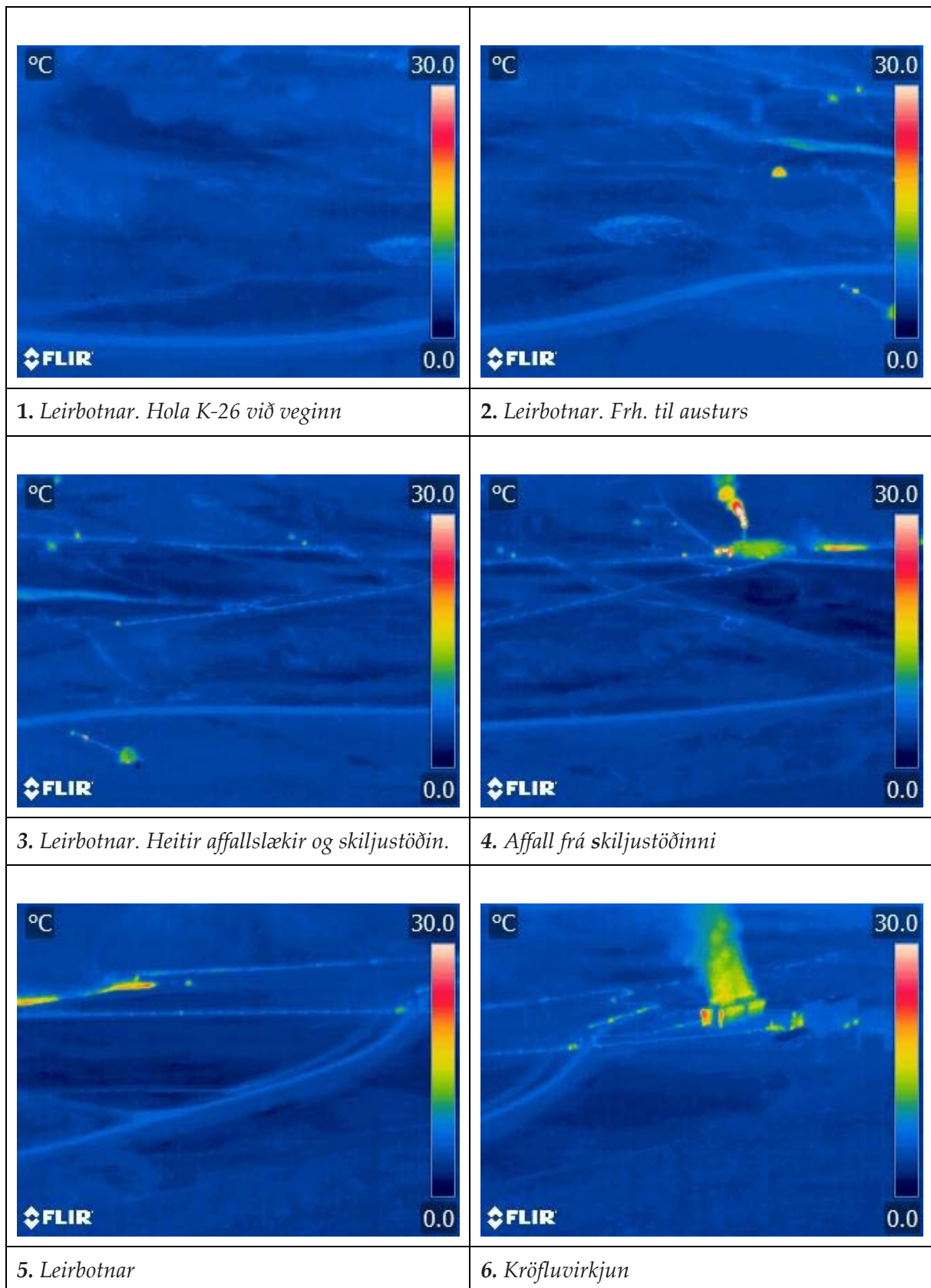


Mynd 38. Jarðhitakort af Kröflu. Athuganir 2022 sýndu óverulegar breytingar frá undanförunum árum. Kortið sýnir kortlagða punkta 2017.

## 3.2 Leirbotnar

Í ár var litið yfir svæðið en ekkert gufustreymi var sjáanlegt frekar en undanfarin ár. Í skýrslu Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2011) er þess getið að árið 2010 hafi engin gufa verið sjáanleg í Leirbotnum. Beinar mælingar voru ekki gerðar en annars var notast við hitamyndavél að kvöldlagi og myndað frá Rauðhól (myndatökustað 6 á mynd 38) (mynd 39).

Velgjur og uppsprettur eru í gilskorningi sem gengur upp á milli borholna K-11 og K-27. Lítil merki sást um hitaútreymi frá svæðinu á hitamyndunum (mynd 39) 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.

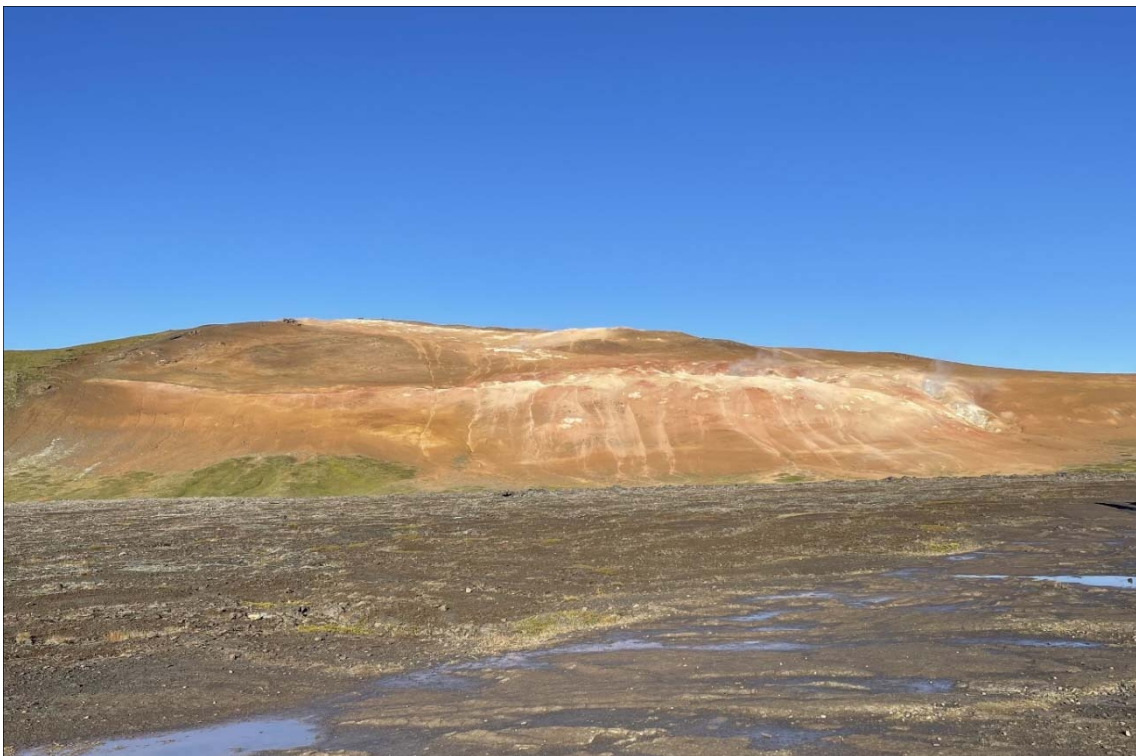


**Mynd 39.** Myndir teknar ofan af Rauðhól (mynd 38, myndatökustaður 6), horft til austurs á Leirbotna og svo til suðurs. Engin virkni sjáanleg nema á mynd 1 og 2. Heitar laugar eru í gili milli holna K-11 og K-27.

### 3.2.1 Leirhnjúkur

Jarðhiti á Leirhnjúkssvæðinu einkennist af leirhverum, gufuaugum og brennisteinsþúfum (mynd 38). Leirummyndun og brennisteinn er víða áberandi en jarðhiti er einnig greinilega undir nýjum hraunum þótt vart sjáist ummyndun.

Jarðhiti og ummyndun í Leirhnjúk sjálfum er mikil og eru margir leirhverir utan í hnjúknum eins og sést frá göngustígnum að honum (mynd 40) sem og ofan af toppi hans. Svólítill gufa kemur upp úr kolli Leirhnjúks en þó nokkur virkni er í austuröxl hans, heit jörð með brennisteinsþúfum og leirhverum. Svæðið við útsýnispallinn í norðaustanverðum Leirhnjúk var með rólegra móti og ekki mikil gufa. Virkni í leirskálinni er lítil enda skálin vatnsfyllt (mynd 41) 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 42). Í austurhlíðinni og eftir endilöngum toppi Leirhnjúks eru brennisteinsþúfur mest áberandi. Tengjast þær misgengjum sem liggja eftir honum með NNA-læga stefnu. Gufuvirkni var minni á þessu svæði í ár en undanfarin ár, grunnvatnsstaða sem og veðurskilyrði hafa einnig mikið að segja.



**Mynd 40.** Austurhlíð Leirhnjúks. Gufuvirkni var lítil í ár en hlíðin ofan til er þó öll heit, brennisteinn og heitar leirskellur, eins og kemur vel í ljós á hitamyndum (mynd 44).





**Mynd 41.** Hverasvæðið við Leirhnjúk. Gufuvirkni sumarið 2022 var minni en undanfarin ár.



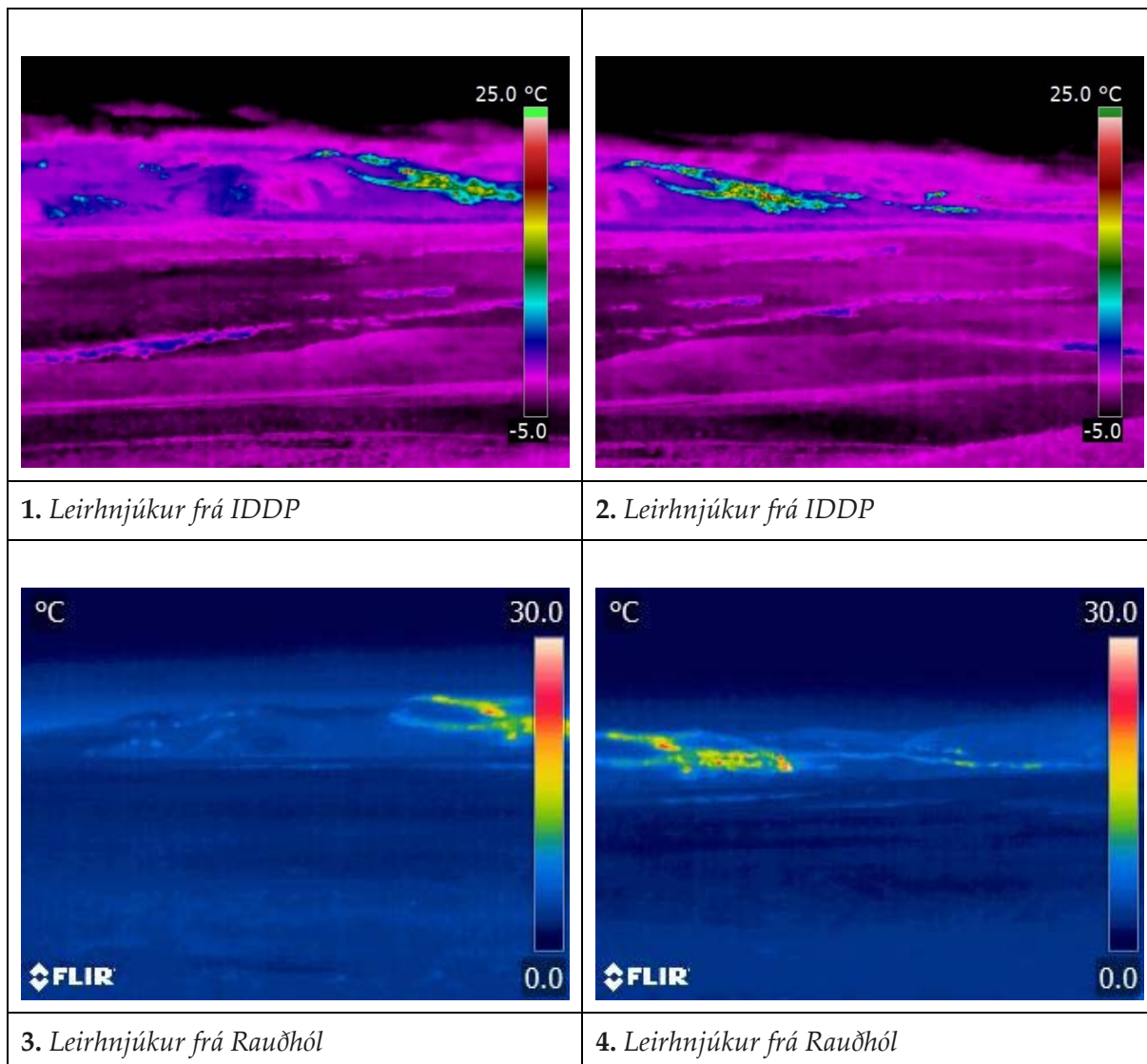
**Mynd 42.** Jarðhitinn í brotinu sem liggur meðfram austurhlíðinni með NNA-læga stefnu. Jarðhitinn hefur verið að aukast smám saman á þessu svæði en ekki eru þó miklar breytingar frá 2018. Heitar skellur með leirhverum og brennisteinsþúfum.

Í stórum gíg frá Kröflueldum norðanvert í Leirhnjúk stíga gufur upp (mynd 43) og mældist hitinn í gufuaugunum 97–99°C, auk þess voru brennisteinsblettir áberandi. Í gígaröðinni suðvestan í Leirhnjúk var ekki mikil gufuvirkni. Smá vottur af brennisteinslykt var af gufunni og á nokkrum stöðum sáust brennisteinsútfellingar í hrauninu.

Austurhlíðar Leirhnjúks voru hitamyndaðar frá borteig holu IDDP-1 (myndatökustaður 5 á mynd 38). Samkvæmt hitamyndunum (mynd 44) tengist hæsti hitinn gufuvirkum svæðum um miðja austurhlíðina og upp á topp hnjúksins, teygir sig síðan norður eftir hlíðinni og út á sléttuna. Á þessari línu eru gufu- og leirhverir ríkjandi. Af hitamyndunum að dæma er dreifing jarðhitans við Leirhnjúk (séð frá IDDP-1 og Rauðhól) svipuð og í fyrra, þó kemur jarðhitinn í framhaldi af hnjúknum betur fram 2017 en núna í ár (hitamynd 2, mynd 44).



**Mynd 43.** Gígar og hraun í norðanverðum Leirhnjúki. Gufa var minni en árið 2018.



**Mynd 44.** Myndir 1 og 2 sýna jarðhitann í Leirhnjúki frá borteig IDDP-1 (myndatökustaður 5, mynd 38) en myndir 3 og 4 sýna hann frá Rauðhól (myndatökustaður 6).

### 3.2.2 Vítissvæðið

Allmikil ummyndun (leir) er umhverfis Víti og jarðhitavirkni sumstaðar mikil. Helstu gufuvæðin eru norðan, austan og suðaustan við Víti. Norðan Vítis er þó nokkur gufuvirkni utan í gígskál við sýnatökustaðinn G-1 (mynd 45). Virknin á þessum stað hefur verið svipuð undanfarin ár þótt smávægilegar breytingar séu á milli ára. Heitur leir og brennisteinn ásamt hverasöltum er mest áberandi og hiti í gufuaugum er 97–98,5°C. Gufuvirkni var ekki mikil í ár.



**Mynd 45.** Svæðið norðan við Víti (G-1). Heit leirskella með brennisteinsútfellingum inni á milli.

Tvíburavötn eru suðaustan við Víti og mynda tvær gígskálar. Meginvirknin er í nyrðri skálinni. Gufusýni voru tekin úr gufuaugum við Tvíburavötn 2012 og 2013 en þau hafa ekki verið nægilega kraftmikil til sýnatöku undanfarin ár. Afar lítil virkni var á svæðinu núna í ár (mynd 46).



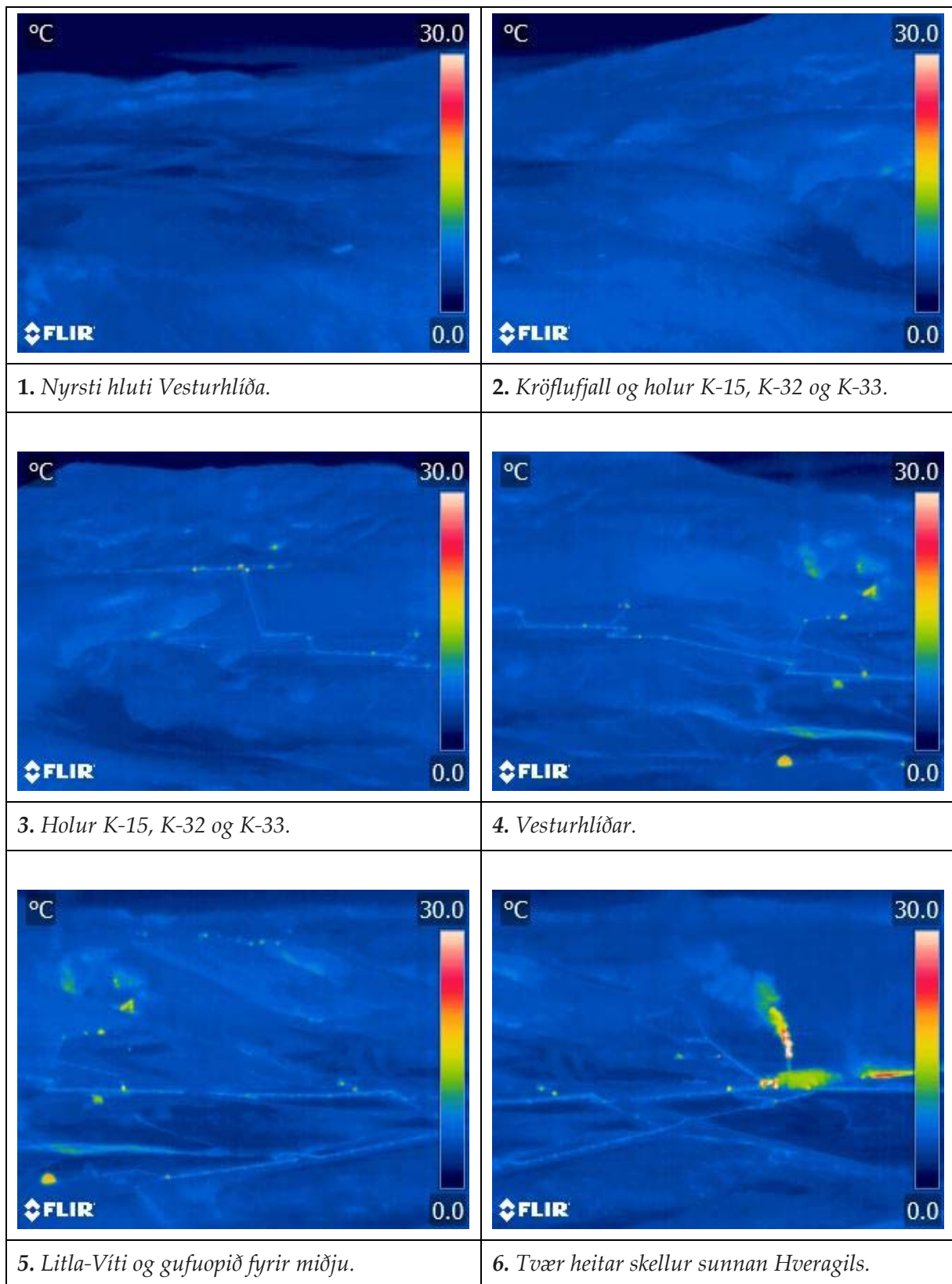
**Mynd 46.** Við Tvíburaavötn. Mest allur jarðhitinn er bundinn við þennan stað. Ekki hefur verið hægt að taka sýni þar frá 2013. Afar lítil virkni var núna í ár.

### 3.2.3 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, leirhveru og brennisteinspúfur. Litla-Víti er mjög öflugur leirhver neðst í Hveragili með kröftugum gufustrók. Rétt neðan við Litla-Víti myndaðist hveraop árið 2009 (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2011). Meiri kraftur hefur verið í og við opið undanfarin fjögur ár. Ofar er svo jarðhiti á nokkrum stöðum (t.d. G-28 og G-38) í gili austur upp af Hveragili. Hveragil var ekkert skoðað í ár en virknin við Litla-Víti kemur fram á hitamyndum (mynd 47).

### 3.2.4 Vesturhlíðar

Á hitamyndum sem teknar eru frá Rauðhól sést ágætlega virkni á nokkrum stöðum en vesturbarmur Hveragils skyggir á neðsta hluta vesturhlíða Kröflu og virkni í öðrum gilskorningum sést ekki. Á hitamyndunum (mynd 47; hitamyndir 1, 2, 3 og 4) má þó sjá staka bletti í fjallinu sem sýna svæðið nærri G-33 niður fyrir G-38 en virkni í gilinum sem gengur þar niður hefur verið að aukast og kemur það ágætlega fram. Einnig ofan við holu K-15 er svæðið við Hækju og laugarnar fyrir neðan Stórahver (G-29). Sunnar með hlíðinni koma svo stöku blettir fram í hitamyndunum (mynd 47, hitamyndir 5 og 6) en það er virknin við mynni Hveragils og þar suður af.



**Mynd 47.** Hitamyndir af Vesturhlíðum Kröflu. Myndirnar eru teknar til austurs frá Rauðhól (mynda-tökustaður 6, mynd 38). Nokkur velgja og heitir staðir eru í gilskorningum neðan til í vesturhlíðum Kröflu en vesturbarmur Hveragils byrgir sýn á neðsta hluta Vesturhlíða. Litla-Víti og gufuopið koma vel fram í Hveragilskjafninum (mynd 5).

### 3.2.5 Suðurhlíðar

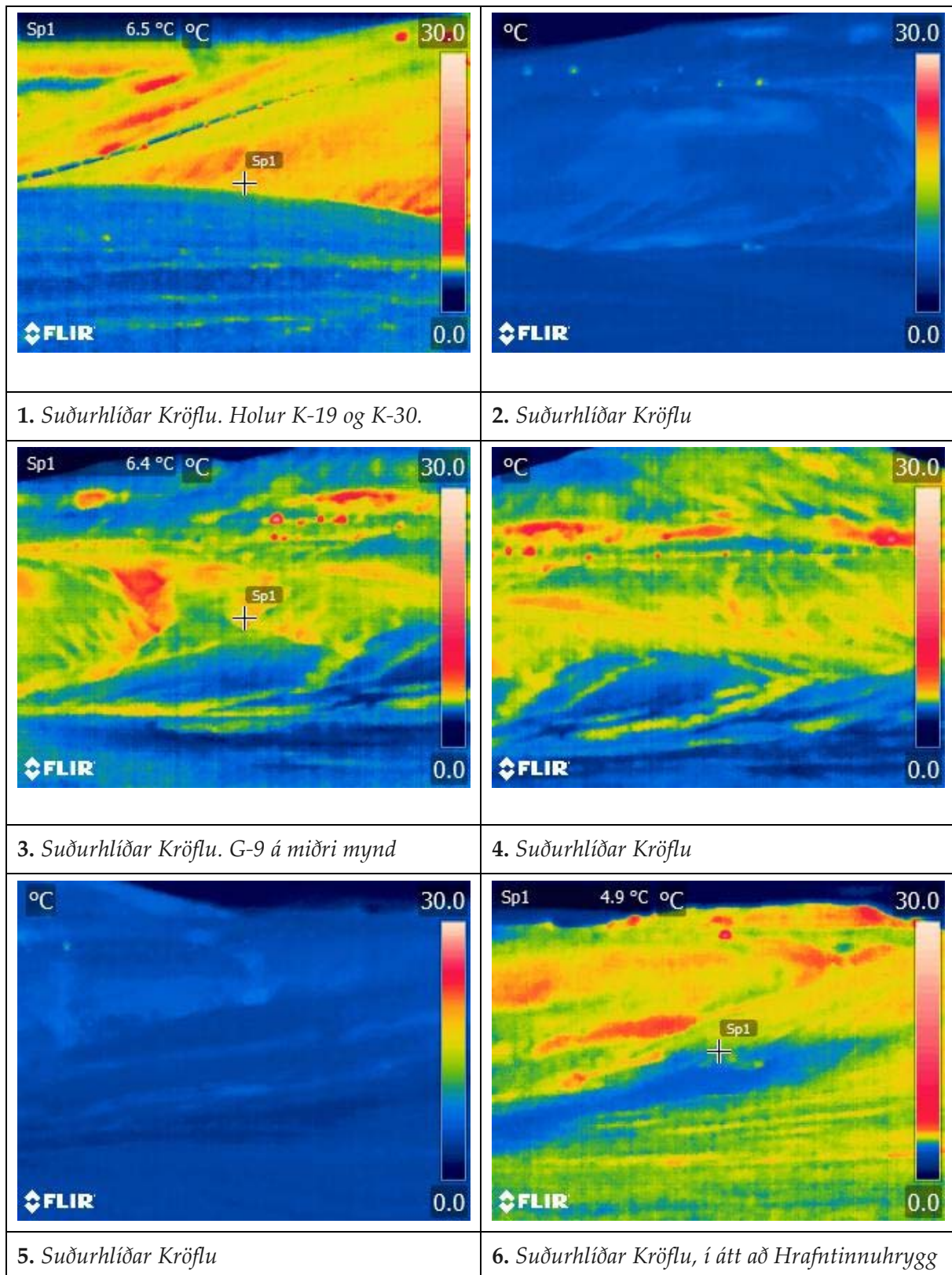
Suðurhlíðar Kröflu eru skornar mörgum giljum og úr fjarska má víða sjá ummyndunarskellur (leir og brennistein). Virkir jarðhitastaðir eru nokkrir. Umhverfis holu K-16 eru talsverðar útfellingar; kísill, hverasölt og brennisteinn, hiti um 98,7°C og svolítill gufa. Neðan við K-16 við gamla sýnatökustaðinn G-5 (mynd 49) gufaði lítið eitt og hiti var um 95°C. 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. Í framhaldinu til norðvesturs er ljósbrúnt leirlag, í miðjum flekknum gufaði lítið eitt og var hitinn frá 87 til 95°C. Vottur af brennisteinsútfellingum var við gufuútreymið. Neðan við þennan stað eru þrír litlir blettir. Sá fyrsti er neðst í gilskorningi; hvítur leir og vottur af brennisteini, hiti 88°C. Annar blettur er fast við veginn (1x1 m). Þar mældist hiti 97,7°C en engin gufa sást. Sá þriðji var neðan vegar, lítið gufuauga rétt ofan við holur K-20 og K-31. Litlar breytingar eru á virkninni á milli ára.

Í gili sem snýr til suðvesturs eru tvær heitar skellur ofan vegar að holum K-19 og K-30. 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 48). Einnig voru brennisteinsútfellingar tengdar gufustreymi enda lyktar gufan þarna af brennisteinsvetni. Sýni var tekið á þessum stað í ár líkt og undanfarin ár en um er að ræða gamlan sýnatökustað, G-7.



**Mynd 48.** Nokkuð stór skella neðarlega í sama gili neðan við K-19 og K-30 (G-106, áður G-7). Mikill hiti og nokkurt gufustreymi. Önnur heit leirskella er hér fyrir neðan en þar er ekkert gufustreymi. Hér var tekið sýni í ár eins og undanfarin ár.

Á hitamyndum (mynd 49) sem teknar voru af Suðurhlíðunum koma fram virkar hitaskellur, nema þær sem eru ofan í giljum. Hitamyndir voru frekar óskýrar í ár.



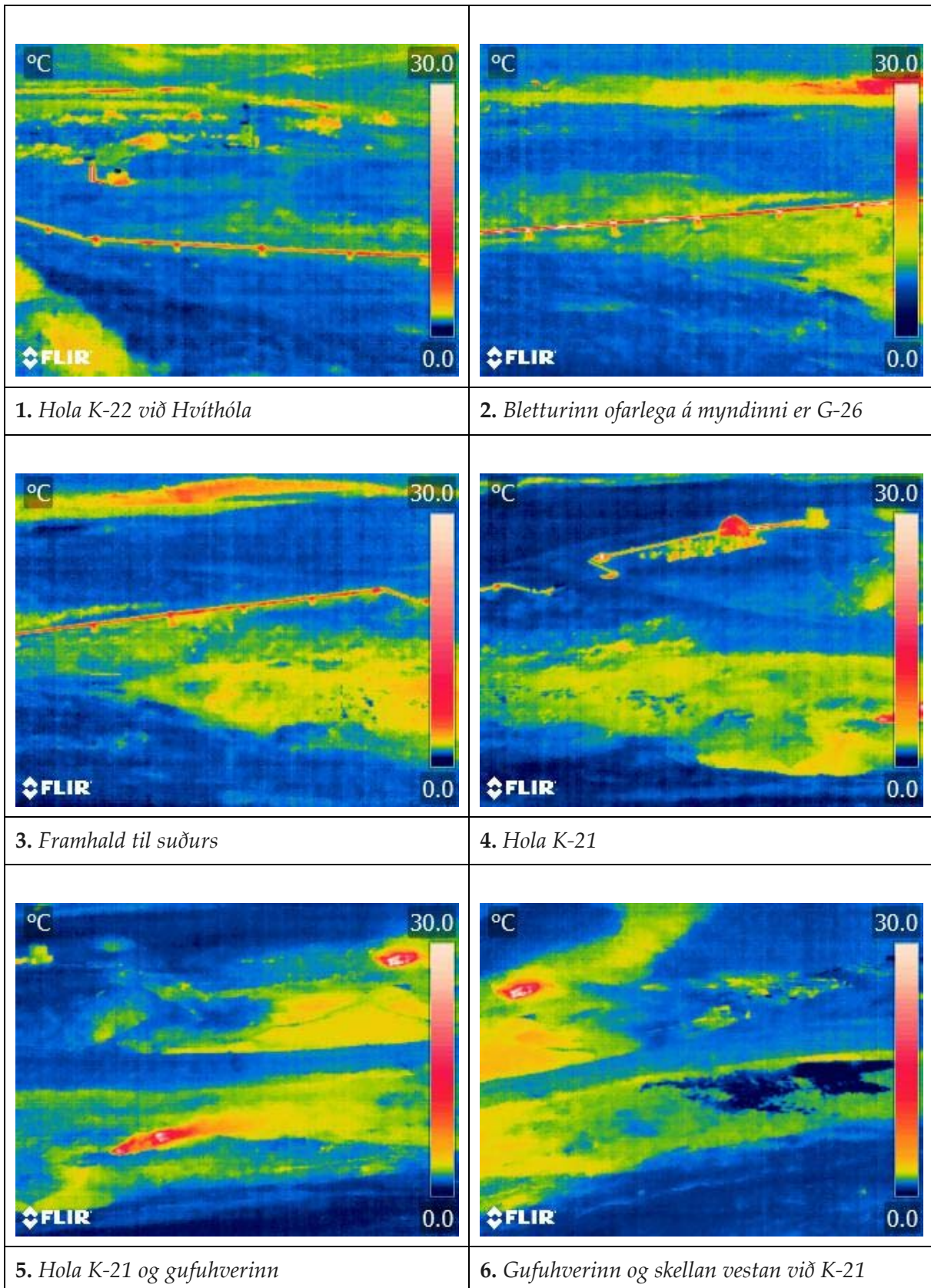
**Mynd 49.** Hitamyndir af Suðurhlíðum frá myndatökustað 7 á mynd 38. Á hitamynd 2 koma fram tæær heitar leirskellur. Austar, á myndum 3 og 4, er síðan ílanga skellan (G-9). Austar á mynd 5 sést glitta í skelluna neðan við holu K-16 (sýnatökustaður G-5).



### 3.2.6 Hvíthólar

Farið var að Hvíthólum og hitamyndir teknar ofan af hólnum norðan við svæðið á myndatökustað 13 (mynd 38).

Jarðhitaskellan (10x3 m) sem liggur í misgenginu milli holna K-21 og K-23 var virk og kemur vel fram á hitamyndum. Austan við holu K-21 og sunnan vegarins að holunum er hringlaga ummyndunarblettur (ljós og rauður leir ásamt brennisteini). Þessi ummyndunarskella hefur númerið G-26 í skýrslum Jóns og Trausta (1998, 2009, 2010, 2011) og kemur vel fram í hitamyndum núna í ár. Gufuhverinn á milli holna K-22 og K-23 blés gufu upp um tvö op. Þessi gufuhver myndaðist 1987 og hefur verið nokkuð virkur síðan þá með litlum breytingum milli ára. Hitamyndirnar frá Hvíthólum má sjá á mynd 50.



**Mynd 50.** Hitamyndir frá Hvíthólum (myndatökustaður 13, mynd 38). Virki jarðhitinn kemur vel fram. Ekki verður vart við annan hita á svæðinu á myndunum.

### 3.2.7 Niðurstöður

Sumarið 2022 fólst umhverfiseftirlit í Kröflu eingöngu í að teknar voru hitamyndir og yfirborðsvirkni lýst. Virkni í Kröflu út frá þessari stuttu yfirferð er sú að á þeim stöðum sem skoðaðir voru er hún svipuð frá síðustu athugun 2018. Almennt gildir fyrir Kröflusvæðið að þar hafa ekki orðið verulegar breytingar á yfirborðsvirkni frá því sem kemur fram í lýsingu Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2011) og athugunum ÍSOR undanfarin ár (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a; 2013b; 2014; 2015, 2016, 2017, 2018).

## 3.3 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum í Kröflu

### 3.2.8 Sýnatökustaðir í Kröflu

Þremur gufusýnum var safnað í Kröflu dagana 27. og 29. ágúst í sól og sumaryl. Yfirlit um sýnatökustaði er í töflu 4 og staðsetning þeirra sýnd á mynd 51 ásamt öðrum gufuaugum í Kröflu sem sýni hafa verið tekin úr gegnum tíðina.

Sýnum var safnað úr þremur gufuaugnanna sem oftast hefur verið safnað úr undanfarin sumur; G-104 í hlíðum Leirhnjúks, G-107 í gígskál norðan Vítis og G-106 í gili neðan holu K-14. Sýnatöku- og efnagreiningaraðferðum er lýst í viðauka aftast í skýrslunni.

Sýnatökustöðunum þremur sem safnað var úr 2022 er lýst nánar hér á eftir. Í gagnagrunni ÍSOR eru sýnatökuaugu árána 2012 til 2022 í Kröflu kölluð „Krafla 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 Kröflu sumarið 2022.

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

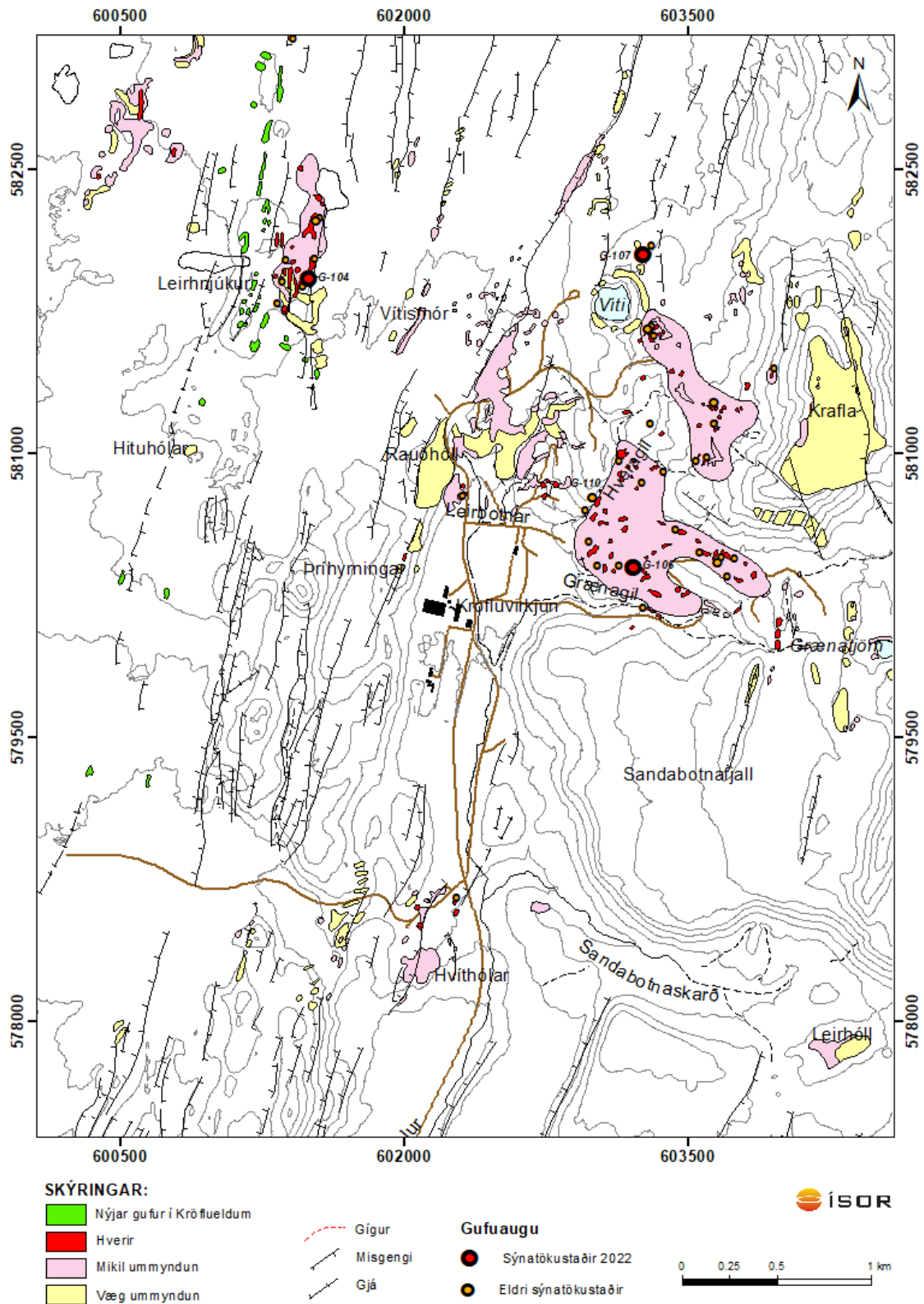
\* Nöfn gufuaugna eru stýtt. Fullt nafn í gagnagrunni ÍSOR er „Krafla G-104“ o.s.frv.

**G-104:** Öflugt gufuauga ofarlega í stóru leirflagi í austurhlíð Leirhnjúks (myndir 51 og 52). 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, og svolítið norðar en auga G-101 sem safnað var úr árið 2012. Talsverð virkni var í flaginu og gnótt góðra sýnatökustaða.

**G-106:** Kröftugt gufuauga í neðri hluta allstórrar leirskellu ofarlega í gili sem liggur niður frá holu K-14. Augað er nærri gamla G-7 (myndir 51 og 53). Áður voru fleiri álitleg auga í þessari skellu en þau hafa að mestu runnið saman í eitt. Skellan er orðin nokkuð mikið sundursoðin og farin að mynda skýrari stall en áður.

**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 að þessu sinni var austarlega í skellunni

allkröftugt, vel fókuserað og aðgengilegt (myndir 51 og 54), á nokkurn veginn sama stað og safnað var árin 2017, 2019 og 2021.



**Mynd 51.** Gufuaugu í Kröflu. Gufuaugu sem safnað var úr sumarið 2022 eru sýnd með rauðum táknum.



**Mynd 52.** Gufuaugað G-104 í austurhlíð Leirhnjúks.



**Mynd 53.** Undirbúningur sýnatöku úr gufuauganu G-106 í gili vestan við holu K-14.



**Mynd 54.** Sýnataka úr gufuauganu G-107 í gígskál norðan Vítis.

### 3.2.9 Niðurstöður gufuefnagreininga

Niðurstöður efnagreininga sýna sem tekin voru á Kröflusvæðinu sumarið 2022 eru skráðar í töflu 5 og teiknaðar á mynd 55 ásamt efnasamsetningu eldri sýna úr gufuaugunum G-104, G-106 og G-107. Á myndinni eru einnig sýnd gögn frá öðrum augum á sömu slóðum. Þar er um að ræða gufuaugun G-101 og G-109 í Leirhnjúki, G-102 í Suðurhlíðum, G-103 við Tvíbura-vötn austan Vítis, G-108 í Vesturhlíðum og G-110 í Hveragili. Samsætuvik í sýnum sem safnað hefur verið síðan 2012 er teiknað á mynd 56, ásamt úrkomulínu Craigs (1961).

Í töflu 6 er sýndur reiknaður djúphiti út frá mældum styrk hinna ýmsu gastegunda. Notast er við kvarðanir Stefáns Arnórssonar o.fl. (1998) sem reiknaðar eru út frá ætluðu jafnvægi við steindafylkin klínózóisít-kalsít-kvars-prehnít ( $\text{CO}_2$ ) og pýrít-pýrrhótít-prehnít-epidót ( $\text{H}_2\text{S}$  og  $\text{H}_2$ ). Fyrir Vítissvæði, Vesturhlíðar og Suðurhlíðar er notuð sú kvörðun  $\text{CO}_2$ -hitamælisins sem gerir ráð fyrir talsverðu  $\text{CO}_2$ -flæði frá kviku, þrátt fyrir að það hafi dregist saman miðað við árin um og eftir Kröfluelda. Þessi kvörðun  $\text{CO}_2$ -hitamælisins á síður við um Leirhnjúkssvæðið enda komu áhrif kvikugass hraðar fram þar og dofnuðu jafnframt hraðar og fyrir sýni úr Leirhnjúk er því hér notast við þá kvörðun gashitamælisins sem gerir ekki ráð fyrir miklu  $\text{CO}_2$ -flæði frá kviku.

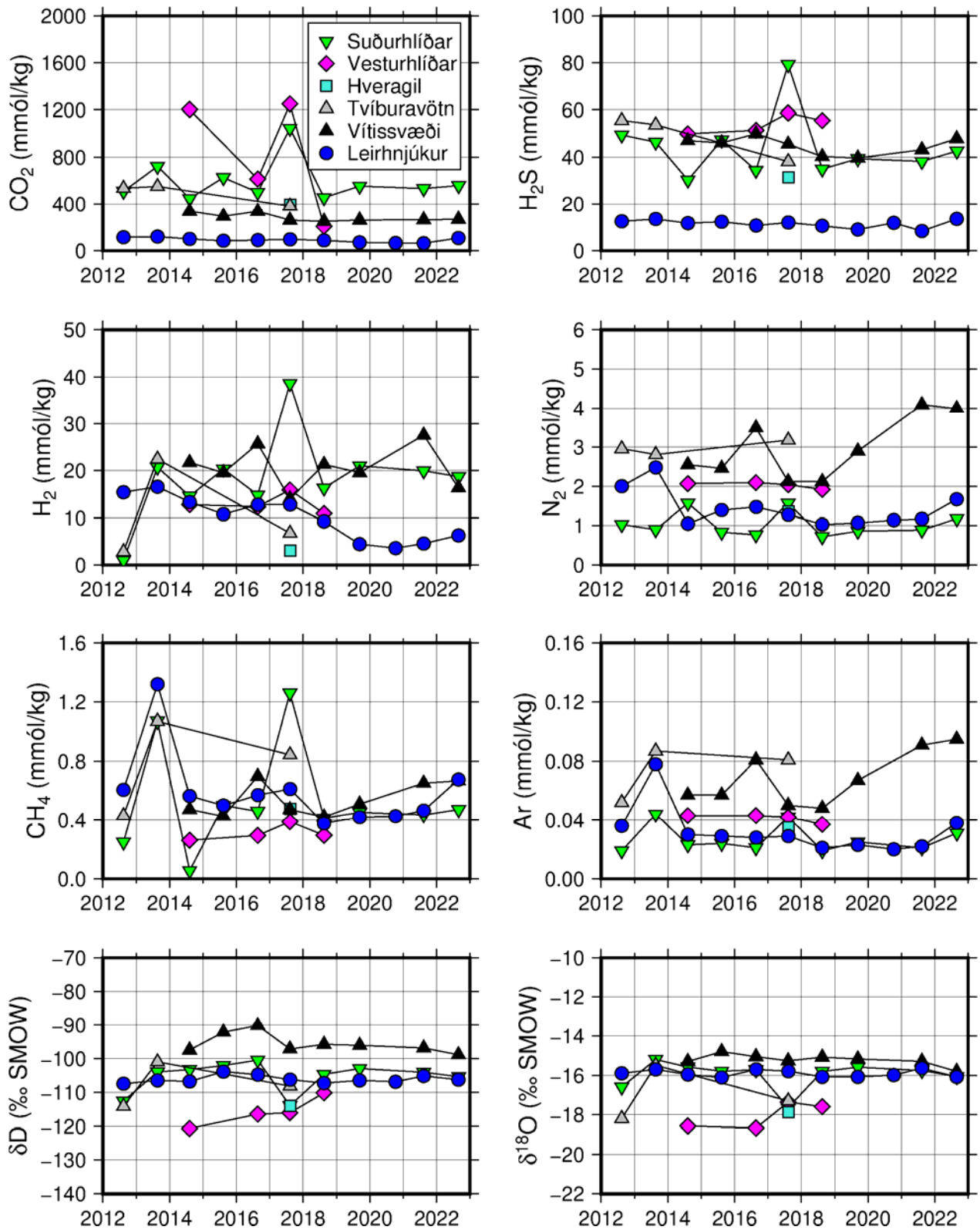
**Tafla 5.** Efnasamsetning gufusýna úr Kröflu sumarið 2022.

Sýni	20220188	20220189	20220194
Dagsetning	27.08.2022	27.08.2022	29.08.2022
Staður	K G-104	K G-107	K G-106
Hitastig (°C)	97,7	97,7	97,9
<b>Gasstyrkur í gufu (mmól/kg)</b>			
CO <sub>2</sub>	108	268	557
H <sub>2</sub> S	13,5	47,8	42,5
H <sub>2</sub>	6,28	16,3	18,7
CH <sub>4</sub>	0,676	0,667	0,471
N <sub>2</sub>	1,67	3,99	1,18
O <sub>2</sub>	<0,01	<0,01	<0,01
Ar	0,038	0,095	0,031
<b>Steinefni í þéttivatni (mg/kg)</b>			
Cl	0,071	0,096	0,049
B	<0,004	<0,004	<0,004
Na	0,126	0,450	<0,002
<b>Samsætur í þéttivatni (‰SMOW)</b>			
δ <sup>18</sup> O	-16,08	-15,80	-16,06
δD	-106,3	-98,9	-105,4

**G-104:** Styrkur CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>S hefur jafnan verið mun lægri í Leirhnjúk en í hlíðum Kröflu og svo er enn. Gasstyrkur í sýnum úr Leirhnjúki hefur raunar farið heldur lækkanði allar götur frá lokum Kröfluelda en nokkuð skýr skil mátti sjá frá árinu 2019. Nú ber svo við að gasstyrkur hefur aftur hækkað og er nú 131 mmól/kg en var aðeins 78 mmól/kg árið 2021. Styrkur CO<sub>2</sub> mælist nú 108 mmól/kg og hefur ekki mælist hærri síðan 2014, H<sub>2</sub>S mælist 13,5 mmól/kg og H<sub>2</sub> 6,3 mmól/kg. Styrkur CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> og Ar er sömuleiðis svolítið hærri en allra síðustu ár, sem gæti bent til gufuþéttingar frekar en að svæðið sé að jafna sig. Reiknaður meðalgashiti fyrir sýnið frá 2022 er 280°C sem er sjónarmun herra en árin 2019–2021 en ennþá 10–15°C lægra en gashiti árána þar á undan. Þetta á einnig við um gashlutfallahitamælanana.

**G-106:** Gasstyrkur í auga G-106 í Suðurhlíðum mælist um 620 mmól/kg sem er svipað og flest undangengin ár. Styrkur CO<sub>2</sub> er hæstur: 557 mmól/kg en þar á eftir koma H<sub>2</sub>S 43 mmól/kg og H<sub>2</sub> 19 mmól/kg. Samsætugildi fyrir sýni ársins 2022 eru á svipuðu róli og vant er, þó e.t.v. í léttara lagi. Meðalefnahiti fyrir nýjasta sýnið reiknast 312°C, sem er nokkurn veginn sama gildi og árin 2021 og 2019, en fram að því hefur meðalhitinn oftast verið svolítið lægri; um 310°C. Í meðaltalinu er H<sub>2</sub>-mælinum alla jafna sleppt þar sem hann gefur ótrúlega hátt gildi.

**G-107:** Svo virðist sem áhrif kvikugass í Kröflueldum hafi verið mest á Vítissvæðinu og þar hefur styrkur CO<sub>2</sub> lengst af verið hæstur, þótt nú mælist gasstyrkur hærri í Suður- og Vesturhlíðum. Heildargasstyrkur í sýni ársins mældist 337 mmól/kg, sem er næstum nákvæmlega sama gildi og árið 2021. Þar af var CO<sub>2</sub> 268 mmól/kg, H<sub>2</sub>S 48 mmól/kg og H<sub>2</sub> 16 mmól/kg. Athygli vekur að styrkur N<sub>2</sub> og Ar hefur nálega tvöfaldast síðan 2018 sem gæti bent til viðvarandi gufuþéttingar. Gashitamælar gefa meðaltalið 295°C fyrir sýnið frá 2021 en það er svolítið lægra en síðustu ár.

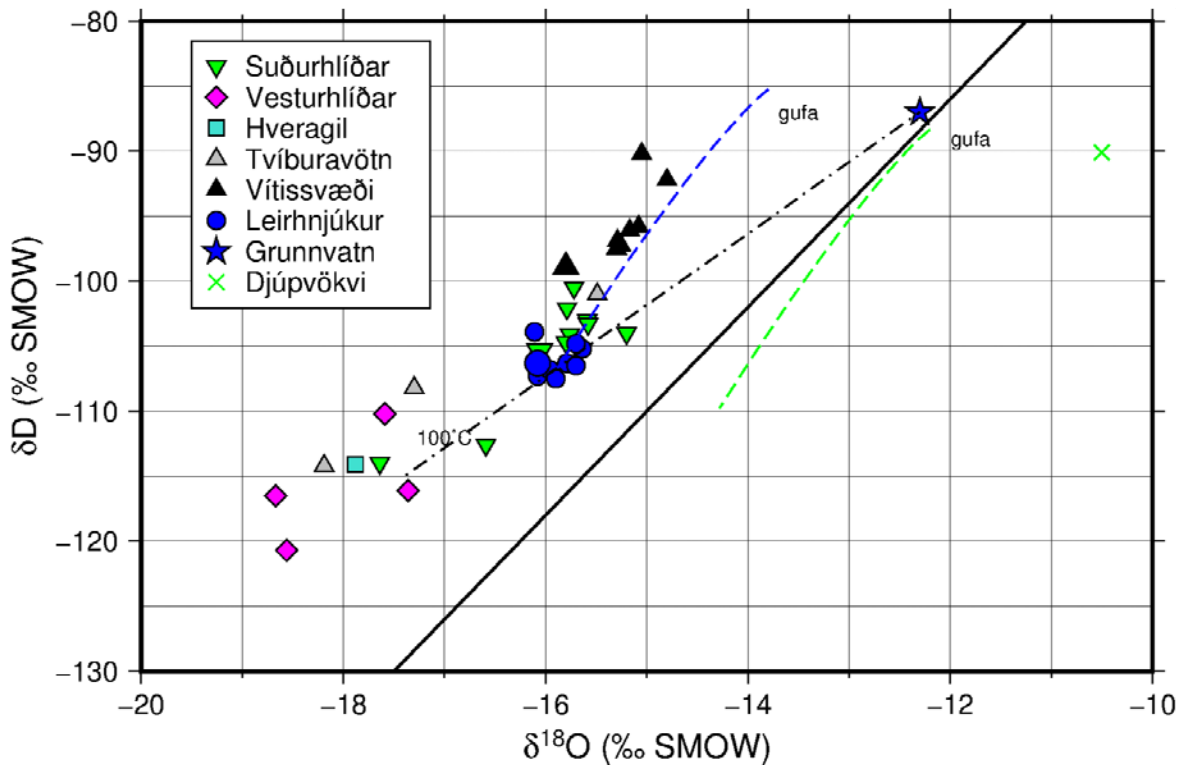


Mynd 55. Gasstyrkur og samsætuhlutföll í þéttvatni úr gufuaugum í Kröflu 2012–2022.



**Tafla 6.** Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áráanna 2012 til 2022 úr G-104, G-106, G-107 og skyldum sýnatökustöðum á Kröflusvæðinu. Notast er við kvarðanir Stefáns Arnórssonar o.fl. (1998). Tölum í sviga er sleppt við útreikninga á meðaltali ( $\bar{x}$ ) og staðalfrávikki ( $\sigma$ ).

Sýni	Auga	T <sub>CO2</sub>	T <sub>H2S</sub>	T <sub>H2</sub>	T <sub>CO2/N2</sub>	T <sub>H2S/Ar</sub>	T <sub>H2/Ar</sub>	$\bar{x}$	$\sigma$
20220188	G-104	303	259	279	297	272	269	280	17
20210280	G-104	276	(243)	268	290	274	273	276	8
20200201	G-104	278	(254)	261	292	285	270	277	12
20190177	G-104	282	(245)	267	298	275	272	279	12
20180183	G-104	293	(250)	293	308	281	289	293	10
20170171	G-104	297	(255)	305	303	276	289	294	12
20160248	G-104	293	(251)	305	294	274	289	291	11
20150257	G-104	290	(255)	298	294	277	285	289	9
20140256	G-109	315	282	323	281	276	281	293	20
20140257	G-104	299	(254)	307	313	275	289	297	15
20130248	G-104	309	(259)	316	285	(253)	274	296	20
20120188	G-101	284	(256)	313	292	272	289	290	15
20220194	G-106	334	298	322	(391)	311	296	312	16
20210282	G-106	332	294	325	(404)	319	304	315	15
20190179	G-106	333	295	327	(408)	315	302	315	16
20180186	G-106	324	291	316	(407)	319	302	310	13
20170165	G-106	368	321	357	(411)	320	304	334	27
20160240	G-106	328	291	311	(409)	316	299	309	15
20150259	G-106	303	301	324	323	295	284	305	16
20140259	G-106	323	286	311	(364)	309	296	305	14
20130250	G-106	(347)	301	326	(422)	303	290	305	15
20140258	G-102	328	301	(228)	261	257	(199)	315	19
20120189	G-102	329	303	(227)	(393)	331	(247)	321	16
20220189	G-107	299	302	316	298	282	270	295	16
20210281	G-107	298	299	340	297	280	281	299	22
20190178	G-107	298	296	324	310	286	281	299	16
20180184	G-107	296	296	328	322	296	289	305	16
20170166	G-107	298	300	309	324	299	280	302	15
20160242	G-107	309	304	336	313	288	282	305	20
20150258	G-107	(340)	302	325	(417)	321	302	313	12
20140254	G-107	309	302	329	327	296	286	308	17



**Mynd 56.** Samsætuvið sýna áráanna 2012–2022 úr gufuaugum á Kröflusvæðinu ásamt úrkomulínu Craigs (1961). Sýnin frá 2022 eru sýnd með stærri táknum. Einnig eru sýndir ferlar fyrir gufu myndaða við suðu grunnvatns við 100°C (svartur), svo og þrýstifallssuðu djúpvökva úr Kröflu (grænn) og gufuhitaðs grunnvatns (blár) frá 250°C í 100°C. Samsætuögn fyrir djúpvökva og grunnvatn eru frá Pope o.fl. (2016).

### 3.2.10 Samantekt

Gufan sem stígur upp af hlíðum Kröflu og Vítissvæðinu er mun gasríkari en gufan í Leirhnjúki. Samanlagður gasstyrkur í sýnum ársins er um 131 mmól/kg í Leirhnjúki, 337 mmól/kg við Víti, og 620 mmól/kg í Suðurhlíðum. Gasstyrkur í gufu í Leirhnjúki hefur lækkað nokkuð greinilega síðan 2018, einkum „jarðhitagösin“ CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S og H<sub>2</sub>, en styrkur CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> og Ar helst fremur stöðugur milli ára. Eins og rakið hefur verið er sennilegasta skýring þessa sú að niðurdæling í holu K-35 hafi valdið staðbundinni kólnun jarðhitakerfisins undir Leirhnjúki (Finnbogi Óskarsson og Auður Agla Óladóttir, 2020). Í sýni ársins 2022 úr Leirhnjúki hækka gasstyrkur aftur, og á það við um allar gastegundirnar. Það gæti bent til þess að svæðið sé að jafna sig eftir kælinguna en annar möguleiki er að um gufuþéttingu sé að ræða. Það að gashiti í Leirhnjúki hafi ekki aftur náð fyrri hæðum og að gashlutfallahitamælarnir sýna svipuð gildi og árin 2019–2021 styður heldur við síðari möguleikann. Hið sama gera samsætugildi ársins sem eru í léttari kantinum miðað við fyrri ár. Á hinn bóginn, hefur gasstyrkur farið nokkuð hækka á Vítissvæðinu síðan 2018 og sést það ekki síst á styrk N<sub>2</sub>, Ar og CH<sub>4</sub>. Styrkur þessara gastegundar er þó svipaður nú og 2021.

Mólhlutfallið CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S reiknast 13 í Suðurhlíðum, 5,6 við Víti, og 8,0 í Leirhnjúki. Sögulega virðist gasstyrkur flökta meira í Suðurhlíðum en á hinum svæðunum. Styrkur Cl mælist nú alls staðar lægri en 0,1 mg/kg í þéttvatni en var iðulega hærri en 1 mg/kg á árunum um og eftir Kröflueldu (sjá t.d. samantekt hjá Jóni Benjamínssyni og Trausta Haukssyni, 1998). Styrkur B í þéttvatni mælist lægri en 0,004 mg/kg í öllum sýnum.

Undanfarinn áratug hefur meðalgashiti reiknast 300–315°C í hlíðum Kröflu en heldur lægri í Leirhnjúki, um 290–295°C, en síðan 2019 hefur meðalgashiti í Leirhnjúki verið um eða undir 280°C. Almennt ber gashitamælunum vel saman en helstu frávik eru að H<sub>2</sub>S-hitamælarnir gefa lægri gildi en hinir hitamælarnir fyrir Leirhnjúkssýnin og að CO<sub>2</sub>-hitamælarnir hafa stundum gefið mjög há gildi í Suður- og Vesturhlíðum.

Samsætugildi í gufuaugum við Leirhnjúk eru býsna stöðug, með  $\delta D$  á bilinu -108 til -101‰ í flestum sýnum, og ekki er að sjá breytingu þar þótt gasinnihald gufunnar hafi farið lækkandi. Sýni ársins 2022 er í léttari kantinum, sem gæti bent til svolítillar gufupéttingar. Flest sýnanna úr Suðurhlíðum hafa sömuleiðis verið á því bili, þó með tveimur undantekningum (2012 og 2017) þar sem sýnin mælast talsvert léttari, nær örugglega vegna þéttingar gufu. Sýni úr Vesturhlíðum eru sömuleiðis snauð að tvívetni, almennt með  $\delta D \leq -114\%$ , en sýnin sem safnað er norðan Vítis eru áberandi þyngst, með  $\delta D > -100\%$ .

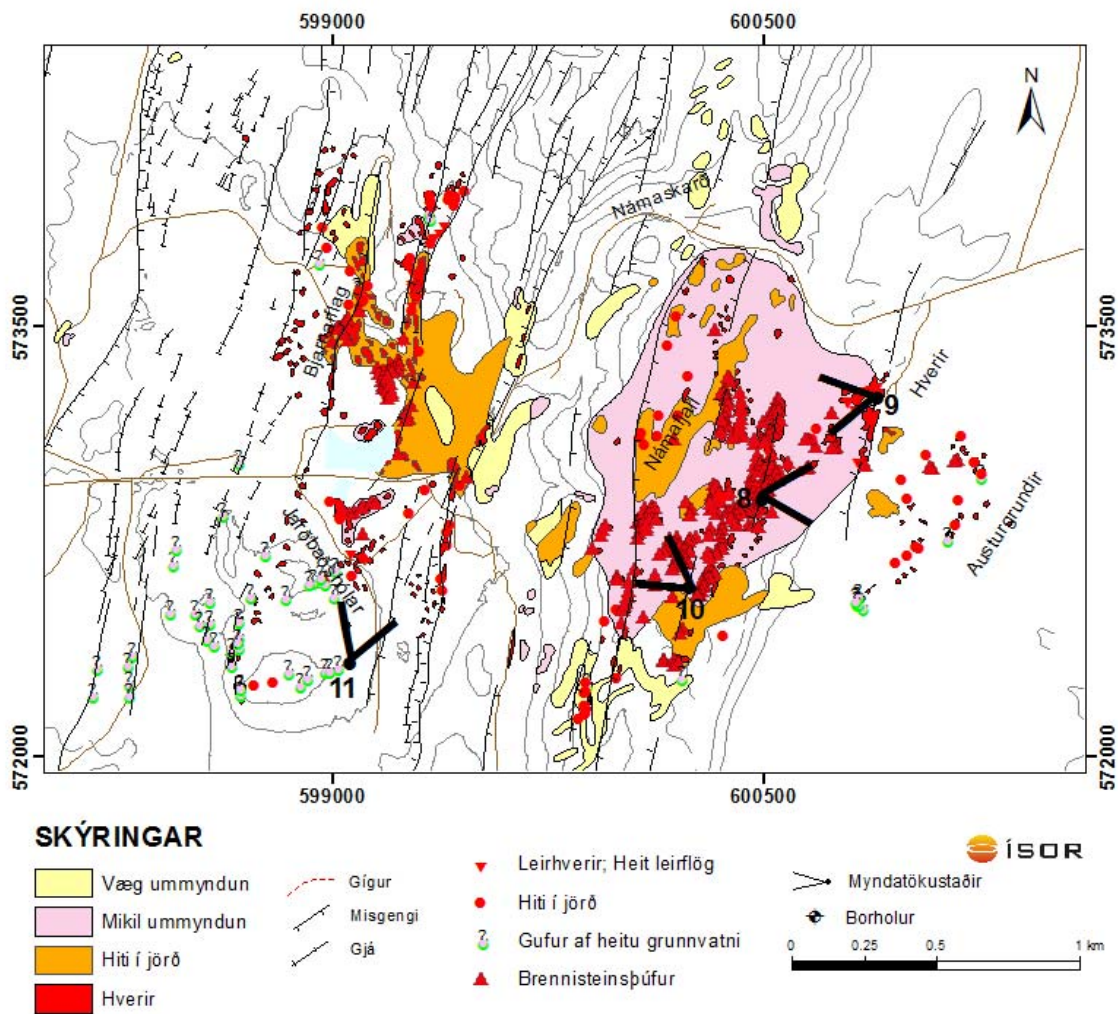
Eins og sjá má á mynd 56 liggja öll sýnin vinstra megin við úrkomulínuna, með súrefnishliðrun sem nemur 1–2‰ til vinstri frá línunni. Þetta gæti bent til þess að gufan sé mynduð við suðu á grunnvatni eða lítt hvörfuðum jarðhitavökva. Reiknaður djúpvökvi í Kröflukerfinu norðan Hvíthóla hefur  $\delta D$  á bilinu -94 til -87‰, að meðaltali -90,1‰ (Pope o.fl., 2016), og er almennt snauðari að tvívetni í Suðurhlíðum en í Leirbotnum þar sem gufan er tvívetnisríkari. Meðal-samsætugildi Pope o.fl. (2016) fyrir djúpvökvann eru sýnd með grænni stjörnu á mynd 56. Samsætugildi gufu sem myndast við suðu þessa djúpvökva frá 250°C í 100°C eru sýnd með grænni brotalínu á myndinni en ekkert sýnanna fellur sérlega nærri henni. Á myndinni eru jafnframt sýnd með blárri stjörnu samsætugildi fyrir grunnvatn frá Hágöngum norðan Kröflufjalls ( $\delta D = -87,0\%$ ;  $\delta^{18}O = -12,3\%$ ; frá Pope o.fl., 2016) og ferlar fyrir gufu sem myndast annars vegar við þrýstifallssuðu gufuhitaðs grunnvatns frá 250°C í 100°C (blá brotalína) og hins vegar við samfellda suðu gufuhitaðs grunnvatns við 100°C (svört brotalína). Suðuferlarnir eru reiknaðir út frá jöfnum Horita og Wesolowski (1994).

Af mynd 56 að dæma virðist sem gufa á Vítissvæðinu sé tilkomin við þrýstifallssuðu gufuhitaðs grunnvatns, gufan í Suðurhlíðum og Leirhnjúki gæti annaðhvort verið mynduð við slíka suðu eða soðin upp af grunnvatni sem sýður við 100°C. Sennilegast er að léttari gufa, t.d. í Vesturhlíðum, sé af sama meiði en að hluti gufunnar hafi þést nærri 100°C.

## 4 Námafjall

### 4.1 Yfirborðsvirkni í Námafjalli

Námafjallssvæðið er notað sem yfirheiti yfir jarðhitasvæðið sem skiptist í eftirfarandi fimm undirsvæði og er þeim lýst nokkurn veginn frá austri til vesturs í þessari röð: Austurgrundir, Hverir (Hverarönd), Námafjall, Bjarnarflag og Jarðbaðshólar (mynd 57). Hér á eftir er stutt lýsing af þeim svæðum sem skoðað var í sumar en það voru aðallega hitamyndir sem lausleg yfirferð. Flokkunin fer að stórum hluta eftir lýsingu Hauks Jóhannessonar og Kristjáns Sæmundssonar (2005) og lýsingum Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2010, 2011), sem og skýrslum Sigurðar G. Kristinssonar o.fl. (2013a; 2013b; 2014; 2015, 2016, 2017, 2018) en þá var farið yfir sömu svæði.



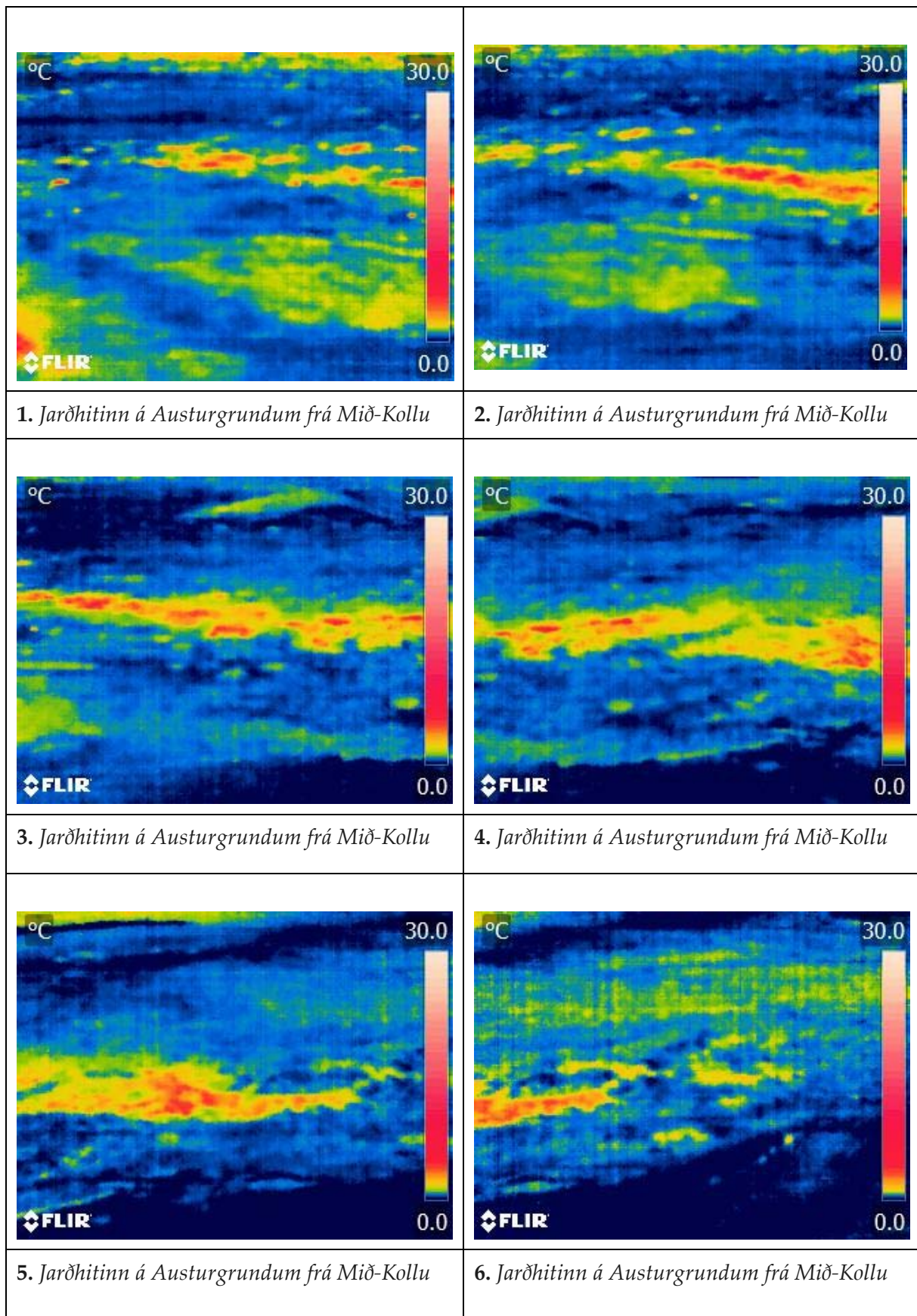
Mynd 57. Jarðhitakort af Námafjalli með athugunum árið 2016.

### 4.1.1 Austurgrundir

Austurgrundir er hraunsléttan austan Námafjalls (mynd 58) 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. Í ár voru aðeins teknar hitamyndir af svæðinu ofan af Námafjalli (mynd 57, myndatökustaður 8).



**Mynd 58.** Yfirlitsmynd af Austurgrundum tekin ofan af Námafjalli. Ljósu skellurnar sýna vel dreifingu ummyndunarskellna sem eru aðallega óvirkar brennisteinsþúfur.



**Mynd 59.** Hitamynd af Austurgrundum frá myndatökustað 8 (sjá mynd 57). Myndirnar eru teknar frá norðausturs (hitamynd 1) og til suðausturs (hitamynd 6).

### 4.1.2 Hverir

Hverir eru austan við Námafjall (mynd 60) og á svæðinu er að finna blásandi borholur, sjóðandi leirhveri, hvissandi gufuop með brennisteinsútfellingum og litskrúðugan leir. Hraunkantur Heiðarsporðshrauns, sem sker svæðið frá norðri til suðurs, skiptir því í tvennt, annars vegar hraunkantinn sjálfan og hins vegar svæðið vestan við hraunið. Í og við hraunkantinn (misgengið) eru brennisteinspúfur, 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 þurr-gufuholum og smá svæði kringum þá austustu (H-8) sem ekki er í línu við hinar. Þó nokkur kraftur var í holunum og virðist gufustreymið frá þeim vera nokkuð stöðugt. Litlar sem engar breytingar hafa verið á þeim frá fyrstu athugunum árið 2012. 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 og liggja flestir á svæðinu nærri hraunbrúninni. Virkni í stóru hverunum einkennist af dökkgráum, bullandi leir í flestum tilfellum. Virkni þeirra er þó mismikil en mest er hún við útsýnispallinn og í næsta flagi þar suður af. Lengra til suðurs taka við brennisteinsþúfur og gufuhverir þar sem gufan lyktar af brennisteini (mynd 61).



**Mynd 61.** Við hraunkantinn sunnarlega í Hverum. Gufuvirkni er áberandi við kantinn, brennisteins-  
hverir syðst og fyrir miðju svæðisins en leirhverir nyrst.

Jarðhitinn teygir sig síðan upp í tvo gilskorninga sem ganga niður úr toppi fjallsins (mynd 62). 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.

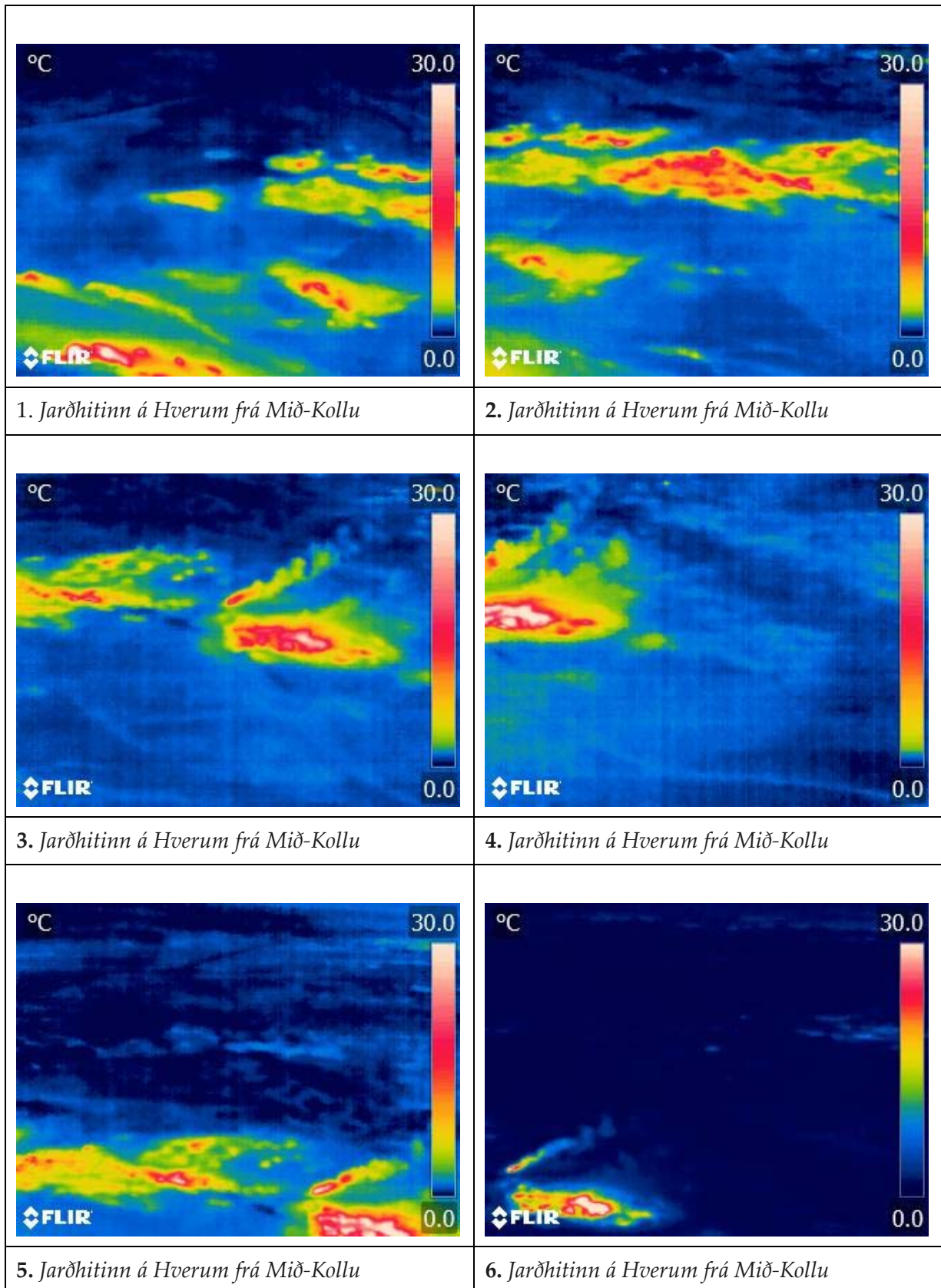
Virki jarðhitinn kemur skýrt fram á hitamyndum (mynd 63) sem teknar voru ofan af Mið-Kollu og sýna jarðhitann á sléttunni, sem og á hitamyndunum (mynd 64) sem teknar voru á útsýnispallinum við Hveri og sýna jarðhitann í austurhlíð fjallsins. Samanburður við hitamyndirnar frá fyrra ári bendir ekki til meiri háttar breytinga. Eins og kemur fram á hitamyndum sem teknar voru ofan af Námafjalli er virknin mest norðarlega á svæðinu en syðst er hún aðallega meðfram hraunstallinum (misgenginu). Myndirnar sýna greinilega að jarðhitinn raðar sér upp á N- til NA-læga stefnu. Sama er uppi á teningnum þegar hitamyndir af austurhlíð fjallsins eru skoðaðar þar sem jarðhitinn myndar línuleg form í hlíðinni með norðlæga stefnu.



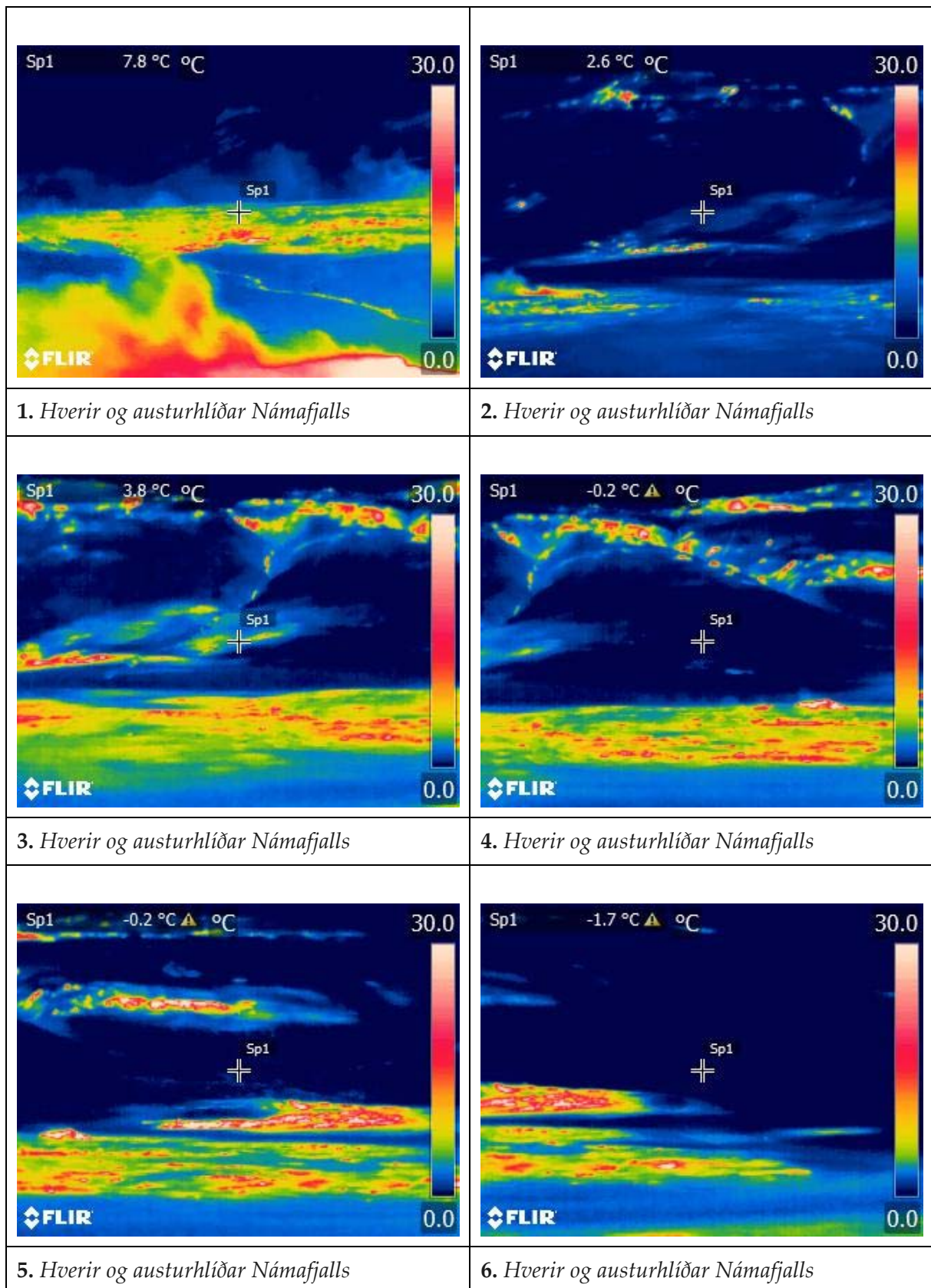
Út frá stuttri yfirferð sumarið 2022 og samanburði við hitamyndir frá undanförunum árum er ljóst að ekki hafa orðið miklar breytingar á milli ára.



**Mynd 62.** Austurhlíð Námafjalls. Gilskorningarnir sem skerast upp í Námafjall eru á miðri mynd.



**Mynd 63.** Hitamyndir af Hverum séð ofan af Mið-Kollu. Myndatökustaður 8 (sjá mynd 57). Mynd 1 er tekin til norðausturs en mynd 5 beint til austurs.



**Mynd 64.** Hitamyndir af Hverum og austurhlíðum Námafjalls. Myndatökustaður 9 (sjá mynd 57). Töluverður hiti er í efri hlíðum fjallsins við misgengi en einnig er sléttan öll volg eða heit.

### 4.1.3 Námafjall

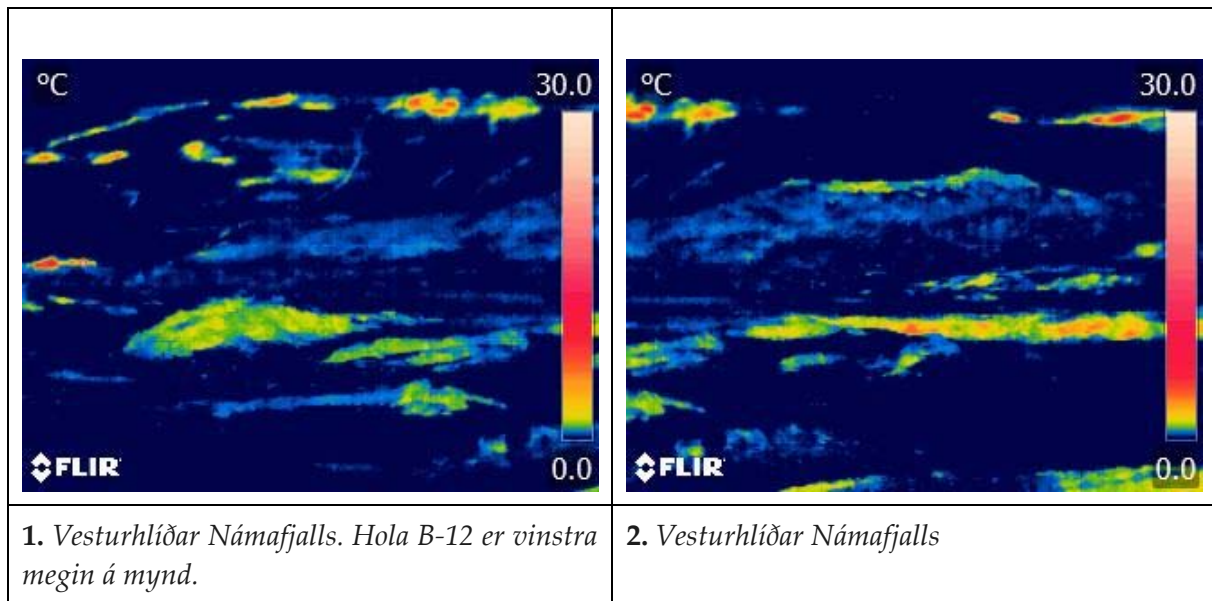
Námafjall er mest allt sundursoðið og ummyndað í ljósan eða rauðlitan leir. Töluverður yfirborðsjarðhiti liggur til norðurs eftir endilöngu fjallinu. Virki jarðhitinn myndar stakar skellur þar sem leir, brennisteinn og hverasölt einkenna jarðhitann. Nokkur gufuvirkni er í jarðhita-skellunum, mest um miðbik fjallsins (Mið-Kollu) en árið 2008 kom upp ný virkni vestan við Kolluna og er þar síðan gufu- og leirhveravirkni. Virknin við Mið-Kollu hefur verið að aukast undanfarin ár, mesta virknin er norðan við hana en einnig hefur virknin verið að aukast vestan og suðvestan við hana. Virknin við hverina sem komu upp 2008 er enn töluverð og hefur gufuvirknin aukist frá því 2012 þegar farið var yfir svæðið og enn meira en þegar myndir voru teknar sumarið 2009. Fjöldi leirhvera fer vaxandi og er svæðið allt bullandi. Svæðið virðist þó vera svipað að stærð (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2009; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a; 2013b; 2014; 2015, 2016, 2017, 2018).

Virknin í toppi fjallsins myndar í raun tvær línur með norðlæga stefnu þar sem jarðhitinn er í skellum með nokkuð samfelldri virkni. Í austanverðu fjallinu er gufuvirkni í heitum skellum og brennisteinn er allsráðandi ásamt ljósum leir (mynd 65). Gilin tvö sem ganga niður úr hlíðinni austanverðri eru með mest áberandi jarðhitavirkni, mest efst í fjallinu (myndir 62 og 65).



**Mynd 65.** Jarðhitinn á toppi Námafjalls við Mið-Kollu. Á þessu svæði eru aðallega virkar brennisteinsþúfur en einnig leirhverir.

Hitamyndatakan gekk vel og kemur jarðhitinn glögg fram á myndunum (mynd 66). Hitadreifingin er áþekkt því sem var í fyrra. Almennt er lítil breyting á milli ára.



**Mynd 66.** Hitamyndir af vesturhliðum Námafjalls teknar frá myndatökustað 11 á mynd 57. Hitamynd 1 er tekin til ANA en myndirnar hliðrast svo til suðausturs.

#### 4.1.4 Bjarnaflag

Á Bjarnarflagssvæðinu er virknin mest í kringum Gamla bakaríið og skiljustöðina en þar er svæðið allt sundursoðið. Rauðlitaður leir ásamt brennisteini og hverasöltum er áberandi. Í litlum gilskorningi ofan við hól B-9 er töluverður og nánast samfelldur jarðhiti upp með austurhliðinni og nær hann um 800 m til norðurs frá holunni (myndir 67 og 68). Einnig er virkni vestan til í gilinu, mest í brúnum þess. Gilið er í raun myndað af tveimur misgengjum sem mynda litla sigdæld. Misgengisstallurinn sem myndar brotið að austanverðu með fall til vesturs nær lengra og er jarðhitavirknin þar töluverð (mynd 69). Framhald vestara brotsins kemur fram með stórri brennisteinsskellu sunnan við veginn að skiljustöðinni (mynd 70) en hún heldur slitrótt áfram til suðurs niður að lóninu.

Virknin er einnig töluverð sunnan við hól B-9 og að hól B-4 og hefur lítið breyst frá 2013. Virknin frá Gamla bakaríinu og til norðurs er svipuð og hefur verið (mynd 71).

Á sléttunni milli Bjarnarflagsvirkjunar og gömlu Kísiliðjunnar liggur lítill sigdalur, þ.e. misgengi með fall til vesturs (Krummaskarðsmisgengi) austast á svæðinu og misgengi með fall til austurs vestast á svæðinu (Grjótagjármisgengi). Inni á milli þessara misgengja eru svo smærri misgengi sem einnig mynda sigdældir. Mest allur jarðhitinn er tengdur þessum brotum (mynd 67).



**Mynd 67.** Séð upp gilið við holu B-9. Virknin nær u.m.b. 800 m upp gilið. Heitar skellur með brennisteini og hverasöltum einkennir jarðhitann.



**Mynd 68.** Séð niður gilið við holu B-9. Virknin er mest austan í því en vestan í því er jarðhitavirknin slitrótt.

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

Hitamyndir af Bjarnarflagi (mynd 72) voru teknar ofan af mön við vinnubúðir Landsvirkjunar (gömlu Kísiliðjuna) vestan Bjarnarflags. Myndirnar eru teknar frá norðri til austurs og sýna ágætlega jarðhitann á svæðinu en ekki þó jarðhitann sem er inni í giljum (t.d. í gílinu inn af holu B-9). Norðan við Gamla bakaríið eru heitir blettir (mynd 72, hitamyndir 1 og 2) sem liggja á sama misgengi og liggur í gegnum Gamla bakaríið. Á hitamynd 3 er svo Gamla bakaríið fyrir miðri mynd en nokkur hiti er fyrir ofan það og er það í samræmi við athuganir í sumar. Rétt austar (hitamynd 4) er svo gufuafstöðin 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 bakaríið og austur fyrir sigspilduna í gílinu við holu B-9. Virkni er svipuð og undanfarin ár (Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson, 2010; Sigurður G. Kristinsson o.fl. 2013a; 2013b; 2014; 2015,2016, 2017, 2018).



**Mynd 69.** GB-4. Í framhaldi af gílinu austan við B-9. Þó nokkur gufuvirgkni, brennisteinn, hverasölt og myndlaus kísill.

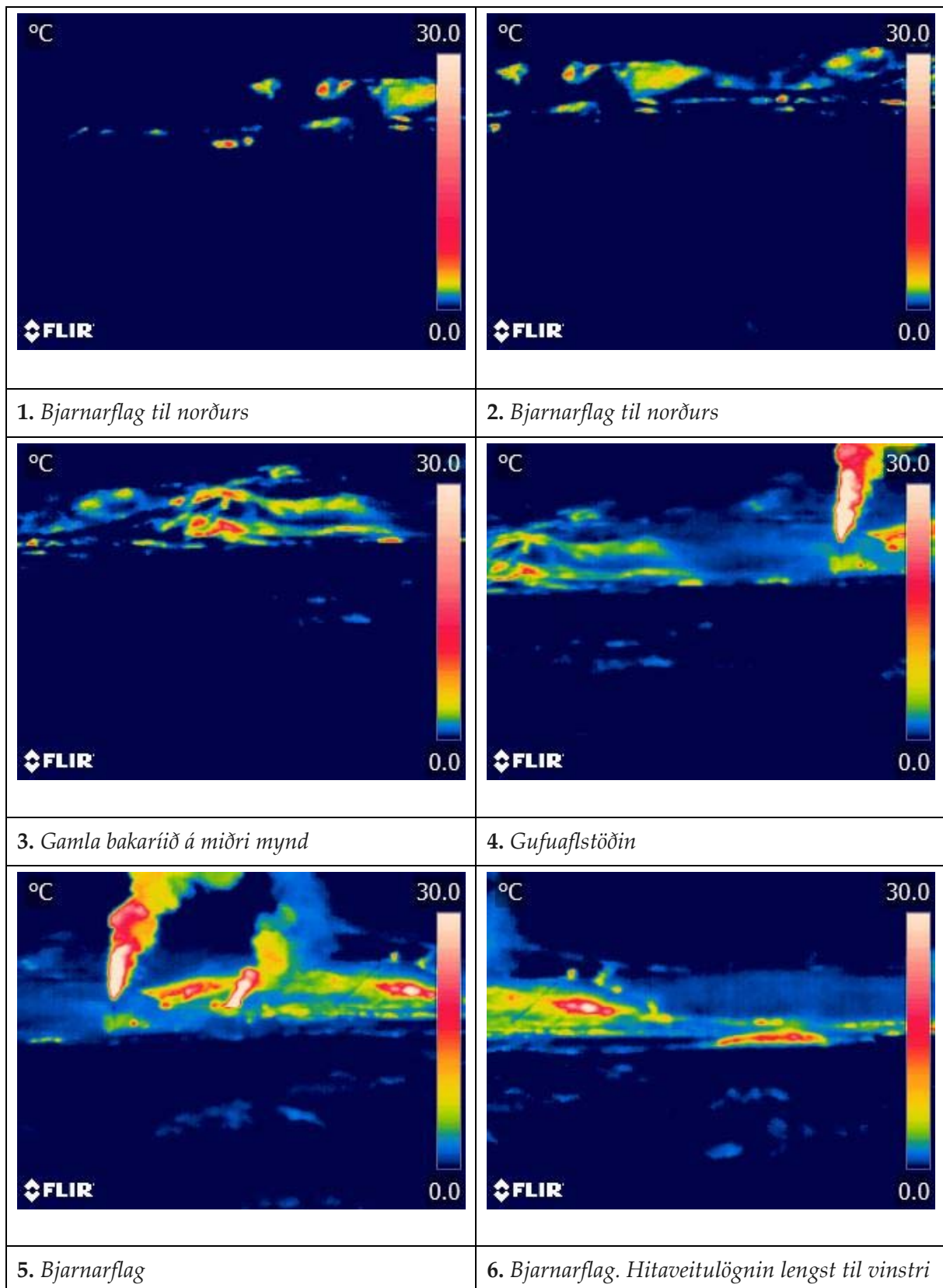


**Mynd 70.** Virkniin við holu B-4, brennisteinn og myndlaus kísill. Svipuð virkni og hefur verið undanfarin ár.



**Mynd 71.** GB-5. Virkni við Gamla bakaríið er svipuð og síðustu ár.





**Mynd 72.** Hitamyndir í Bjarnarflagi. Myndatökustaður (12) við gömlu Kísiliðjuna (sjá mynd 57). Myndir teknar til norðurs (mynd 1) en síðan til austurs (mynd 6). Hitaskellurnar sem ganga áfram inn gilið við holu B-9 (ofan við gufuaflostöðina, myndir 4 og 5) koma vel fram sem og virknin kringum Gamla bakaríið (mynd 3) og þaðan norður eftir (myndir 1 og 2).

#### 4.1.5 Jarðbaðshólar

Gufur má sjá víðast hvar í hrauninu frá Jarðbaðshólum að Reykjahlíð. Mest af gufunni kemur upp um sprungur og misgengi á svæðinu við veginn að Grjótagjá. Virknin er ívið meiri gígmegin við Grjótagjárvegin (austan megin). Á svæðinu frá Námafjalli að gígunum er virkni einna mest meðfram veginum að Jarðböðunum, hár hiti með töluverðri ummyndun, einkum heitum leirskellum, austan vegar og er lýst með Bjarnarflagi. Í gígunum við veginn kemur upp lyktarlaus gufa og eins úr norðlægum sprungum sem ganga þar í gegn. Virknin var ekki skoðuð sérstaklega í ár.

#### 4.1.6 Niðurstöður

Jarðhitastaðirnir virðast ekki hafa breyst mikið frá jarðhitakorti Kristjáns Sæmundssonar (2010) og athugunum Jóns Benjamínssonar og Trausta Haukssonar (2010) og Sigurðar G. Kristinssonar o.fl. (2013a; 2013b; 2014; 2015, 2016, 2017, 2018) að undanskildum aukinnar virkni norðan við Mið-Kollu og nærri Syðstu-Kollu.

### 4.2 Efnasamsetning gufu úr gufuaugum í Námafjalli

#### 4.2.1 Sýnatökustaðir

Tveimur gufusýnum var safnað á Námafjallssvæðinu föstudaginn 26. ágúst í svölu en þurru veðri eftir miklar rigningar dagana á undan. Sýnum var safnað úr tveimur gufuaugum; G-105 í gili upp af holu B-9 og G-106 vestan við H-9 á Hverum, en ekki var safnað sýni á Námafjalli sjálfu að þessu sinni. Sýnatöku- og efnagreiningaraðferðum er lýst í viðauka hér aftast.

Yfirlit um sýnatökustaði er í töflu 7 og staðsetning þeirra er sýnd á mynd 73 ásamt öðrum gufuaugum sem sýni hafa verið tekin úr í Námafjalli og Bjarnarflagi gegnum tíðina.

Sýnatökustöðum ársins 2022 í Námafjalli er lýst frekar hér á eftir. Í gagnagrunni ÍSOR eru sýnatökuaugu árána 2012–2022 í Námafjalli kölluð „Námafjall 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.

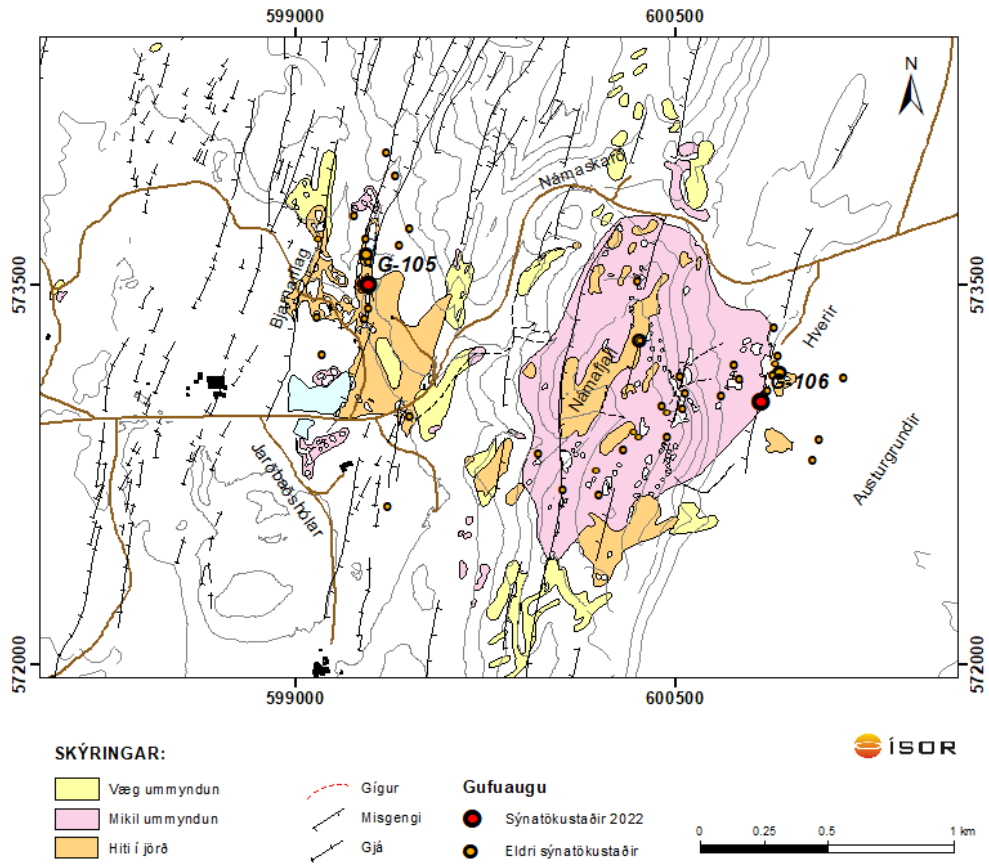
Tafla 7. Sýnatökustaðir í Námafjalli sumarið 2021.

Nafn auga*	Staðarnúmer	x-hnit	y-hnit	Hæð (m y.s.)	Lýsing
G-105	H 93517	599285	573497	347	Í gili norður af holu B-9
G-106	H 93518	600837	573034	364	Vestan syðstu holunnar á Hverum

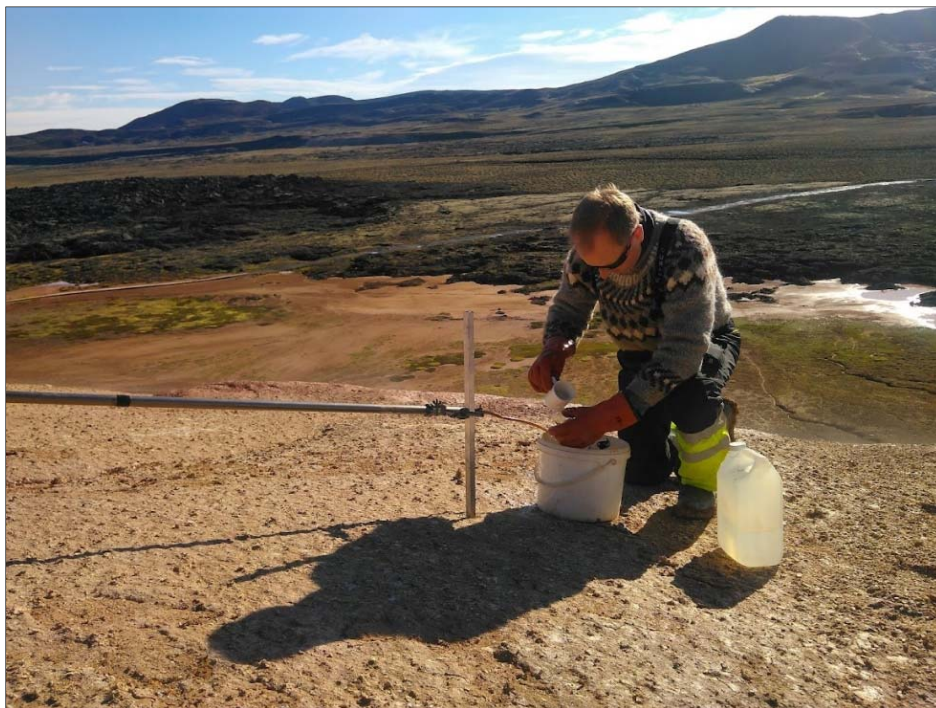
\* Nöfn gufuaugna eru stýtt. Fullt nafn í gagnagrunni ÍSOR er „Námafjall G-101“ o.s.frv.

**G-105:** Ágætlega kraftmikið gufuauga með fókuseruðu streymi framarlega í grunnu gili sem liggur norður frá holu B-9 í Bjarnarflagi (myndir 73 og 75). Talsverð virkni teygir sig upp eftir allri austurhlíð gilsins. Þetta auga er í fremstu ummyndunarskellunni.

**G-106:** Mjög kröftugt gufuop í leirflagi vestan við syðstu borholuna á Hverum (H-9), rétt neðan við göngustíg. Sumrin 2014 og 2015 var sýnum safnað úr auga í miðju flaginu en opið sem safnað hefur verið úr síðan 2017 er svolítið vestar í flaginu (myndir 73 og 76). Talsvert blautt var á Hverum þegar sýninu var safnað, enda hafði, eins og áður segir, rignt mikið dagana á undan.



**Mynd 73.** Gufuaugu í Námafjalli og Bjarnarflagi. Gufuaugu sem safnað var úr sumarið 2022 eru sýnd með rauðum táknum.



**Mynd 74.** Sýnataka í Námafjalli úr sýni G-105.



**Mynd 75.** Undirbúningur sýnatöku úr gufuauganu G-105 í gili upp af holu B-9 í Bjarnarflagi.



**Mynd 76.** Sýnataka úr gufuauga G-106 í flagi vestan holu H-9 á Hverum.

## 4.2.2 Niðurstöður gufuefnagreininga

Niðurstöður efnagreininga sýna sem tekin voru við Námafjall sumarið 2022 eru skráðar í töflu 8. Mynd 77 sýnir styrk CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> og Ar í gufuaugum á Námafjalli, Hverum og í Bjarnarflagi í tímans rás. Á myndunum fyrir N<sub>2</sub> og Ar er þeim sýnum sleppt sem eru greinilega umtalsvert menguð andrúmslofti þar eð styrkur andrúmsloftsgasanna í þeim sýnum er margfalt hærra en gengur og gerist í gufusýnum og skekkir því myndina verulega. Samsætuvið í sýnunum er teiknað á mynd 78, ásamt úrkomulínu Craigs (1961).

Í töflu 9 er sýndur reiknaður djúphiti út frá mældum styrk hinna ýmsu gastegunda í sýnum úr gufuaugunum tveimur (G-105 og G-106) og skyldum sýnatökustöðum. Notast er við kvarðanir Stefáns Arnórssonar o.fl. (1998) sem reiknaðar eru út frá ætluðu jafnvægi við steindafylkin klínózóisít-kalsít-kvars-prehnít (CO<sub>2</sub>) og pýrít-pýrrhótít-prehnít-epidót (H<sub>2</sub>S og H<sub>2</sub>). Fyrir Námafjall er notuð sú kvörðun CO<sub>2</sub>-hitamælisins sem gerir ekki ráð fyrir miklu CO<sub>2</sub>-flæði frá kviku.

**Tafla 8.** Efnasamsetning gufusýna frá Námafjallssvæðinu sumarið 2022.

Sýni	20220186	20220187
Dagsetning	26.08.2022	26.08.2022
Staður	N G-105	N G-106
Hitastig (°C)	98,2	98,6
<b>Gasstyrkur í gufu (mmól/kg)</b>		
CO <sub>2</sub>	8,25	185
H <sub>2</sub> S	11,7	146
H <sub>2</sub>	1,18	128
CH <sub>4</sub>	1,06	1,02
N <sub>2</sub>	2,69	2,27
O <sub>2</sub>	<0,01	<0,05
Ar	0,062	0,039
<b>Steinefni í þéttivatni (mg/kg)</b>		
Cl	0,052	0,051
B	<0,004	0,020
Na	<0,002	265
<b>Samsætur í þéttivatni (‰SMOW)</b>		
δ <sup>18</sup> O	-17,81	-8,69
δD	-122,8	-128,4

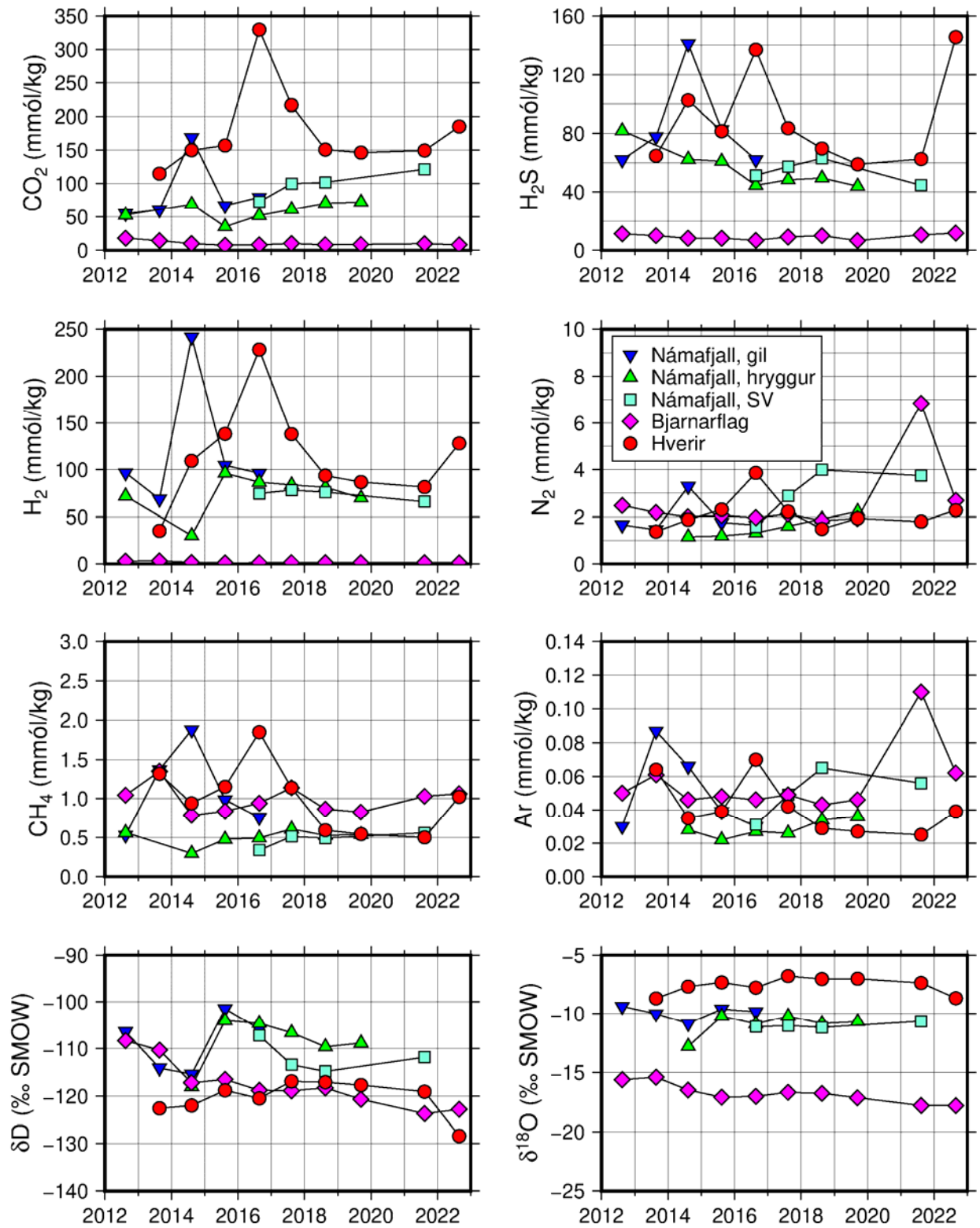
**N G-105:** Gasstyrkur í gílinu ofan B-9 er mjög lágur og hefur heldur lækkað með tímanum; hann var 36 mmól/kg árið 2012 en hefur verið 19–25 mmól/kg síðan 2014, mælist 25 mmól/kg í ár. Þessi lækkun hefur einkum verið áberandi fyrir styrk „jarðhitagasanna“ CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S og H<sub>2</sub> en styrkur annarra gastegunda hefur breyst minna. Í sýni ársins 2021 hækkaði styrkur allra gastegunda verulega, einnig styrkur N<sub>2</sub> og Ar sem hér um bil þrefaldaðist milli ára, væntanlega vegna þéttingar gufu. Í sýni ársins 2022 er þessi hækkun að mestu leyti gengin til baka, en gasstyrkur er þó í efri jaðri þess sem venjulegt getur talist. Efnahitamælum ber þó ágætlega saman milli ára og reiknast efnahiti að meðaltali 227°C í sýninu sem ber mjög vel saman við sýni árána 2019–2021. Gufan úr G-105 hafði δD ≈ -118‰ árin 2014–2018 en síðan 2019 hafa

hlutföll þyngri samsætna lækkað, sem bendir til þéttingar gufu. Samsætugildin fyrir sýnið 2022 eru nánast þau sömu og fyrir sýnið 2021. Gufan úr G-103 í sama gili, sem safnað var úr 2012 og 2013, var heldur ríkari að tvívetni ( $\delta D \approx -110\%$ ).

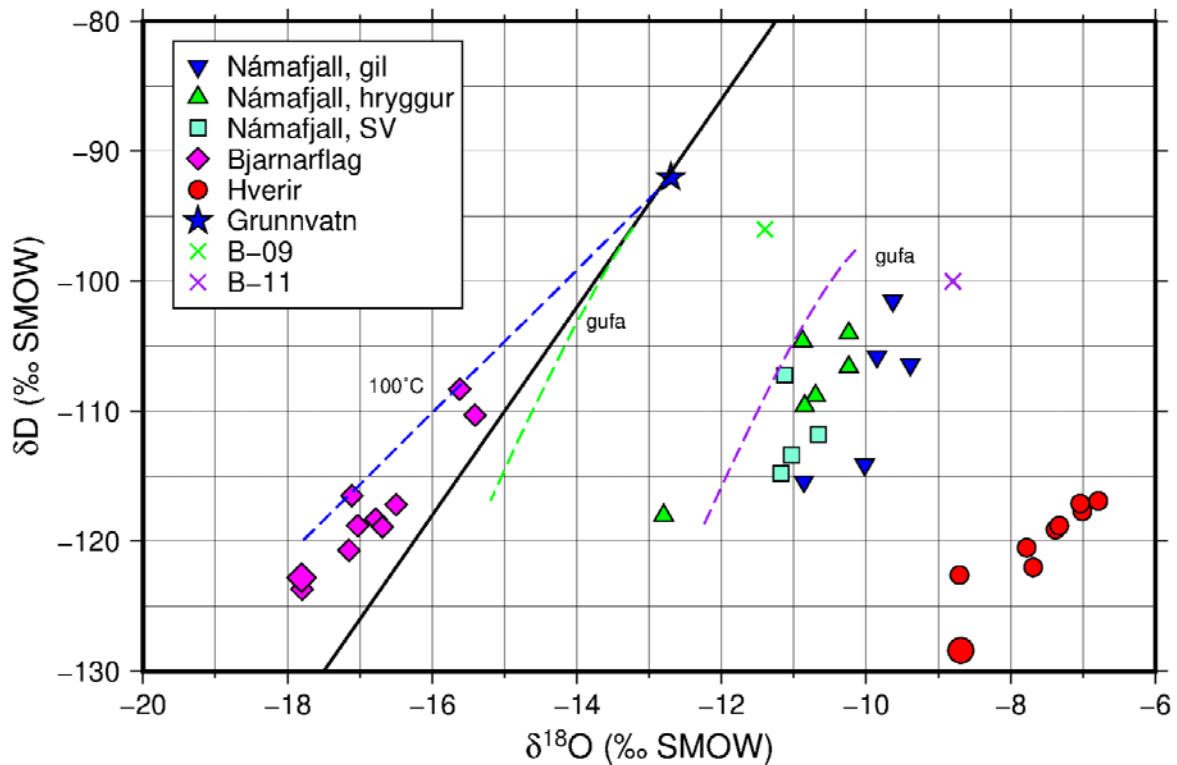
**N G-106:** Gufan úr G-106 er talsvert gasríkari en gufa úr öðrum sýnatökustöðum í Námafjalli; heildargasmagn nú mælist 462 mmól/kg en var 296 mmól/kg árið 2021. Styrkur CO<sub>2</sub> er hæstur, 185 mmól/kg en H<sub>2</sub>S og H<sub>2</sub> hafa einnig háan styrk; 146 og 128 mmól/kg. Þetta eru allt áberandi hærri gildi en undanfarin ár og hið sama á við um styrk hinna gastegundanna; N<sub>2</sub>, Ar og CH<sub>4</sub>. Því má slá því föstu að gufan hafi þést á leið sinni til yfirborðs. Áberandi lækkun á hlutfalli þyngri samsætanna D og <sup>18</sup>O í gufunni rennir frekari stoðum undir þessa ályktun; tvívetni mælist nú  $\delta D = -128\%$  sem er um 10% lægra en dæmigerð gildi og súrefnissamsætugildin eru sömuleiðis óvenju lág ( $\delta^{18}O \approx -8,7\%$  í stað u.þ.b.  $-7\%$ ). Fyrir vikið reiknast meðalgashiti mjög hár, eða 331°C, þótt þar sé sleppt gríðarháu gildi úr vetnishitamælinum, en efnahitamælar sem nota gashlutföll sýna svipuð gildi og undanfarinn áratug.

**Tafla 9.** Reiknaður efnahiti (°C) gufusýna áráanna 2012–2022 úr G-105, G-106 og skyldum stöðum á Námafjallssvæðinu. Notast er við kvarðanir Stefáns Arnórssonar o.fl. (1998). Tölum í sviga er sleppt við útreikninga á meðaltali ( $\bar{x}$ ) og staðalfráviki ( $\sigma$ ).

Sýni	Auga	T <sub>CO2</sub>	T <sub>H2S</sub>	T <sub>H2</sub>	T <sub>CO2/N2</sub>	T <sub>H2S/Ar</sub>	T <sub>H2/Ar</sub>	$\bar{x}$	$\sigma$
20220186	G-105	199	254	231	199	255	226	227	25
20210273	G-105	205	250	233	(181)	238	216	228	18
20190180	G-105	202	235	234	209	248	234	227	18
20180187	G-105	199	248	231	209	261	234	230	23
20170169	G-105	206	245	234	211	255	233	231	19
20160235	G-105	199	236	232	207	248	233	226	19
20150255	G-105	196	242	230	203	252	230	226	22
20140260	G-105	206	242	240	212	254	239	232	19
20130257	G-103	218	248	258	220	251	246	240	17
20120193	G-103	226	253	256	222	259	248	244	16
20220187	G-106	334	343	(433)	306	341	330	331	15
20210275	G-106	321	312	(402)	307	329	330	320	10
20190186	G-106	320	310	(406)	303	325	330	318	11
20180188	G-106	322	316	(411)	316	328	330	322	7
20170170	G-106	345	323	(439)	314	322	330	327	12
20160243	G-106	(374)	(341)	(479)	308	321	330	320	11
20150256	G-106	324	322	(439)	299	323	332	320	12
20140269	G-106	332	330	(422)	306	333	329	324	11
20130260	G-104	306	313	(352)	307	302	293	304	7



Mynd 77. Gasstyrkur í gufu og samsætuhlutföll í þéttvatni úr gufuaugum á Námafjallsvæðinu 2012–2022.



**Mynd 78.** Samsætuvið sýna áráanna 2012–2022 úr gufuaugum á Námafjallssvæðinu ásamt úrkomulínu Craigs (1961). Sýnin frá 2022 eru sýnd með stærri táknum. Einnig eru sýndir ferlar fyrir suðu grunnvatns við 100°C (blár) og fyrir gufu sem myndast við þrýstifallssuðu djúpvatns úr B-9 (grænn) og B-11 (fjólublár).

#### 4.2.3 Samantekt

Talsverður innbyrðis munur er milli þeirra þriggja undirsvæða í Námafjalli þar sem gufuvirkni á yfirborði er nægilega mikil til að ná megi sýnum af gufunni. Djúphiti er lægstur í Bjarnarflagi, nærri 230°C, en hækkar eftir því sem austar dregur, er um 300°C á Námafjalli sjálfu og um 320°C á Hverum og helst þar í hendur við heildargasmagn í gufunni. Þessi hitastigsdreifing er svo til óbreytt frá þeirri sem birt var hjá Halldóri Ármannssyni (1993). Hár vetnisstyrkur gefur til kynna að nokkur djúpgufa sé til staðar undir Námafjalli og Hverum en vetnisstyrkur í Bjarnarflagi er í samræmi við það sem vænta má miðað við að jarðhitavökvinn sé í jafnvægi við berg. Aftur á móti samræmist koldíoxíðstyrkur í Bjarnarflagi og á Hverum jafnvægi milli djúpvökva og bergs en koldíoxíðstyrkur á hrygg Námafjalls er lægri en hann ætti að vera, væri kerfið í slíku jafnvægi. Þetta kann að benda til þess að magn koldíoxíðs sem berst upp gegnum fjallið sé minna en sem nemur því sem þarf til að viðhalda þessu jafnvægi, eða að hluti koldíoxíðsins falli út á leiðinni upp gegnum fjallið, til dæmis sem kalsít. Þetta er í samræmi við lágt gasflæði um jarðveg á Námafjalli sem sást í mælingum árin 2010, 2013 og 2016 (Auður Agla Óladóttir, 2010; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013b; 2016). Mólhlutfallið CO<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>S í sýnum ársins er 0,7 í Bjarnarflagi og 1,3 í Hverum.

Styrkur steinefna í þéttivatni hefur almennt verið mjög lágur en í sýni ársins á Hverum hefur svolítill lútur smitast yfir í þéttivatnið því þar mælist Na 265 mg/kg. Hins vegar mælist styrkur bæði Cl og lægri en 0,1 mg/kg í báðum sýnum.



Afgerandi munur undirsvæðanna þriggja sést einnig í samsætugildunum (mynd 78). Gufan sem kemur upp í Hverum, austast í kerfinu, er mjög létt ( $\delta D \approx -120\%$ ) og sýnir mikla súrefnishliðrun (8–9%) sem bendir til umtalsverðra efnaskipta við berg. Þegar komið er upp á Námafjall sjálf mælist hærra hlutfall tvívætnis og gildi á bilinu -110 til -115% mega teljast dæmigerð þótt reyndar spanni sýnin allt frá -118 til -102%. Súrefnishliðrun á þessu svæði er 3–5% sem bendir til þess að efnaskipti milli bergs og vatns séu ekki gengin jafn langt og í Hverum. Tvívætnisgildi Bjarnarflagsgufunnar eru á bilinu -128 til -108% og hafa farið lækkandi síðan 2019, líkast til vegna þéttingar gufu undir yfirborðinu. Sýni ársins 2022 er þar áberandi lægst. Sýnin úr Bjarnarflagi sýna hins vegar svolitla neikvæða súrefnishliðrun (0,5–1,5%) og liggja því vinstra megin við úrkomulínuna. Það bendir til þess að gufan þar sé mynduð við suðu á grunnvatni eða hugsanlega blöndu djúpvatns og grunnvatns.

Í reiknuðum djúpvökva háhitaholna í Bjarnarflagi er  $\delta D$  á bilinu -100 til -90% (Darling og Ármannsson, 1989; Finnbogi Óskarsson, 2012) en í kalda grunnvatninu í Mývatnssveit eru dæmigerð samsætugildi  $\delta D \approx -92\%$  og  $\delta^{18}O \approx -12,7\%$  (meðaltal fyrir Vogaflóa; K-558; gögn úr efnagagnagrunni ÍSOR). Ferlar sem sýna samsætuhlutföll gufu sem myndast við suðu grunnvatns við 100°C (blár) og þrýstifallssuðu djúpvatns úr holum B-9 (grænn) og B-11 (fjólublár) eru teiknaðir inn á mynd 78, reiknaðir út frá jöfnum Horita og Wesolowski (1994). Þeir renna stöðum undir þá tilgátu að gufan í Bjarnarflagi gæti hafa myndast við suðu á grunnvatni eða blöndu grunnvatns og djúpvatns, t.d. úr holu B-9, meðan sýnum af Námafjalli sjálfu svipar heldur til gufu sem myndast við suðu á djúpvökva B-11. Samsætuhlutföll gufunnar í Hverum eru hins vegar talsvert frábrugðin því sem vænta má fyrir gufu myndaða við suðu djúpvökva úr vinnsluholum í Bjarnarflagi. Það gæti bent til þess að annað vökvakerfi liggi undir austasta hluta yfirborðsvirkinnar á Námafjallssvæðinu, eða í öllu falli að blöndun innan jarðhita-kerfisins í Námafjalli sé lítil þvert á sprungustefnuna.

## 5 Vöktun á efnasamsetningu grunnvatns

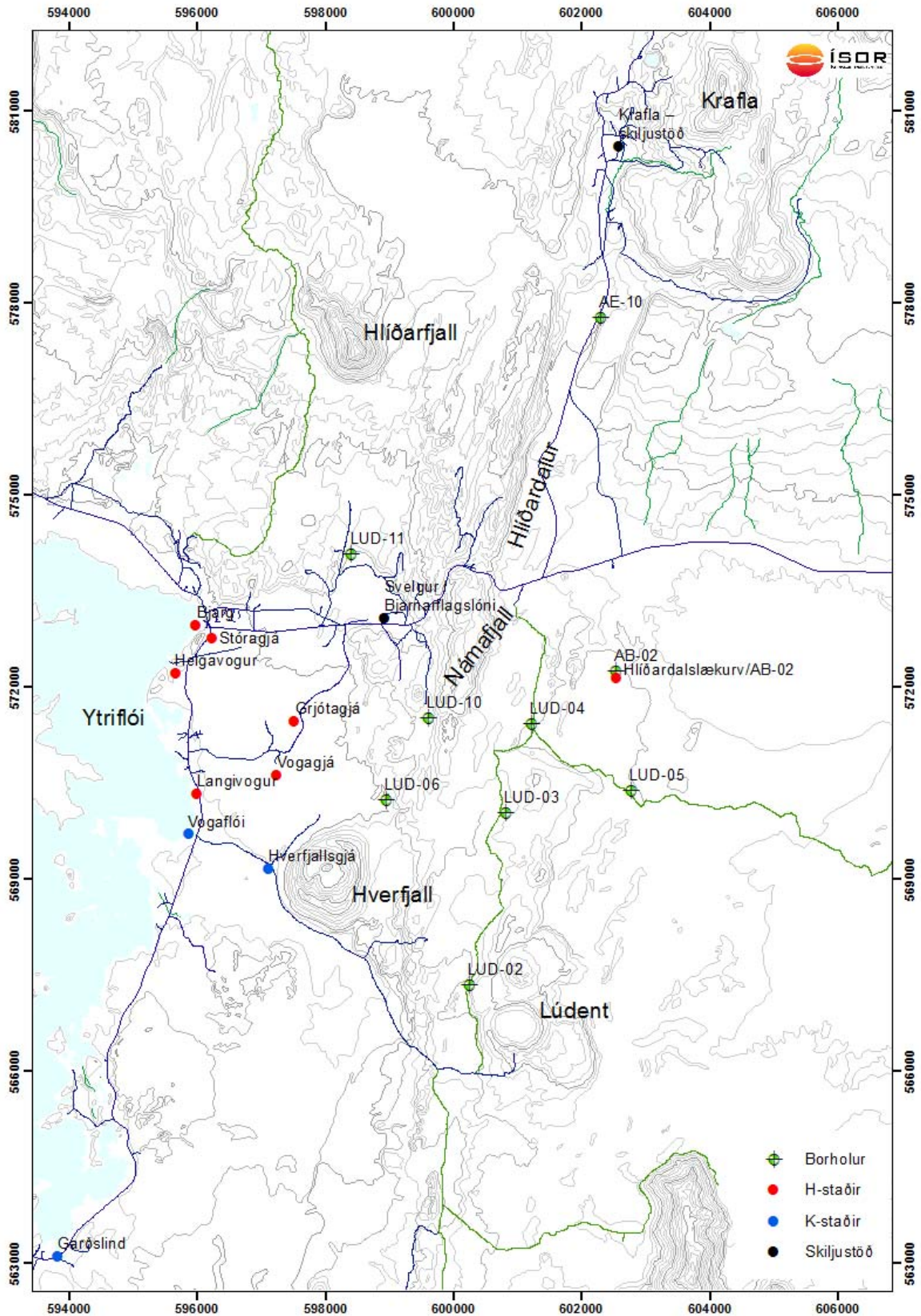
Í þessum kafla verður greint frá niðurstöðum efnagreininga sem gerðar voru á vatni í tengslum við vöktun grunnvatns í Mývatnssveit, á Þeistareykjum og í Kelduhverfi árið 2022. Starfsmenn ÍSOR söfnuðu sýnum samkvæmt verklagi ÍSOR (Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson, 2006b). Styrkur brennisteinsvetnis, rafleiðni og sýrustig var mælt við sýnatöku auk hitastigs. Sýrustig var einnig mælt samhliða mælingu á karbónati og leiðni á rannsóknarstofu ÍSOR innan tveggja til þriggja sólarhringa frá sýnatöku. Styrkur aðalefna var ákvarðaður á rannsóknarstofu ÍSOR en snefilefni voru greind hjá ALS Laboratories í Luleå í Svíþjóð. Samsætur sírefnis og vetnis voru mældar hjá Isotech Laboratories í Illinois í Bandaríkjunum. Sýna-meðhöndlun og efnagreiningaraðferðum er lýst í viðauka.

### 5.1 Mývatnssveit

Aðdraganda umhverfisvöktunar með affallsvatni frá Kröflu- og Bjarnarflagsvirkjunum er lýst í skýrslu Halldórs Ármannssonar og Magnúsar Ólafssonar (2004) en tillögur að eftirliti voru settar fram í skýrslum Halldórs Ármannssonar og Magnúsar Ólafssonar (2002) og Halldórs Ármannssonar (2003). Aðferðin byggist á því að fylgjast með „náttúrulegum ferilefnum“ á borð við arsen, sem eru til staðar í margfalt hærri styrk í affallsvatni virkjananna en grunnvatni, í stað þess að nota til þess sérstök ferilefni (t.d. NDS, Na-Flu, Rhodamin, KI). Á grundvelli samkomulags við Umhverfisstofnun var grunnvatn í Mývatnssveit vakt að jafnaði á tíu eftirlitsstöðum tvisvar á ári frá árinu 2004 og niðurstöður hafa verið birtar árlega í skýrslum sem ÍSOR hefur tekið saman fyrir Landsvirkjun (Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson, 2004, 2005, 2006a, 2007, 2012; Halldór Ármannsson o.fl., 2008, 2009, 2010, 2011; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013a; 2013b; 2014; 2015, 2016, 2017, 2018, 2019; Finnbogi Óskarsson o.fl., 2019; Albert Þorbergsson o.fl., 2020; Finnbogi Óskarsson o.fl., 2022). Á árinu 2013 varð sú breyting á vöktuninni að vöktunarstöðum var fjölgað úr 10 í 20 og sýnataka fer nú fram einu sinni á ári (Umhverfisstofnun, 2014). Starfsmenn ÍSOR annast sýnatöku, efnagreiningar og úrvinnslu gagna. Á hverjum sýnatökustað eru tekin sk. heilsýni af vatni til greininga á aðalefnum og völdum snefilefnum, auk samsætna vetnis og sírefnis.

Á árinu 2022 fór sýnataka fram í lok september, þar á meðal var safnað sýnum af affallsvatni virkjunarinnar og Hlíðardalslæk. Alls voru tekin sýni á 20 stöðum.

Yfirlit um sýnatökustaðina er í töflu 10 og á mynd 79. Að þessu sinni voru, að ósk Landsvirkjunar, ekki tekin sýni úr holu LUD-10. Djúpdælur eru í öllum vöktunarholum á Mývatnssvæðinu og í töflu 10 er einnig sýnt hve miklu var dælt úr hverri holu við sýnatöku. Hóla AE-10 var í stöðugu rennsli gegnum sturtu á þeim tíma sem sýni var tekið. Rafmagnssnúra dælnnar við LUD-6 datt niður og starfsmenn Landsvirkjunar veiddu hana upp. Það eru nokkur vandamál við að ræsa rafalinn sem er notaður til að dæla úr holunum þótt hann virki enn.



**Mynd 79.** Sýnatökustaðir í Mývatnssveit. Borholur eru sýndar grænar með krossi, volgar lindir eru rauðar, kaldar lindir bláar og manngerðir staðir eru svartir. Árið 2022 var sýnum safnað á 20 þessara staða.

**Tafla 10.** Vöktunarstaðir og yfirlit um dælt magn úr vöktunarholum í Mývatnssveit 2022.

Staður	Staðarnúmer	Sýnanúmer	Dagsetning	Hitastig (°C)	Magn (L)	Rennsli (L/s)
Krafla – skiljustöð	M-20008	20220289	30.9.2022	91,0		
Hlíðardalslækur v/AB-2	V-2356	20220256	26.9.2022	5,8		
AB-2	B-57842	20220255	26.9.2022	2,9	2042	0,41
AE-10	B-57890	20220290	30.9.2022	36,7		
LUD-2	B-58502	20220262	27.9.2022	5,6	2176	0,39
LUD-3	B-58503	20220259	27.9.2022	4,9	13320	0,32
LUD-4	B-58504	20220252	26.9.2022	4,5	1687	0,38
LUD-5	B-58505	20220279	28.9.2022	4,3	1186	0,52
LUD-6	B-58506	20220286	30.9.2022	31,1	4446	0,78
LUD-10 <sup>a</sup>	B-58510					
LUD-11	B-58521	20220264	27.9.2022	25,4	547	0,08
Bjarnarflagslón	M-20004	20220280	28.9.2022	24,7		
Bjarg	H-10080	20220288	30.9.2022	18,4		
Helgavogur	H-10082	20220254	27.9.2022	22,5		
Stóragjá	H-10083	20220253	26.9.2022	26,8		
Grjótagjá	H-10085	20220260	27.9.2022	44,6		
Vogagjá	H-10087	20220261	27.9.2022	38,7		
Langivogur	H-10088	20220265	27.9.2022	19,7		
Garðslind	K-556	20220287	30.9.2022	5,4		
Vogaflói	K-558	20220263	27.9.2022	5,7		
Hverfjallsgjá	K-559	20220266	27.9.2022	5,7		

<sup>a</sup> Sýni ekki tekið á þessu ári að ósk Landsvirkjunar.

Niðurstöður efnagreininga eru sýndar í töflu 11. Athuga skal að mælingar á litíum og titáni voru frá ÍSOR (þessi frumefni eru ekki með í mælingum frá ALS Laboratories).

Til að einfalda framsetningu efnagreininga á myndum hér á eftir hafa vöktunarstaðir verið flokkaðir í þrennt á myndunum:

- Sýni af affallsvatni frá skiljustöð í Kröflu og úr Bjarnarflagslóni, auk sýna úr Hlíðardalslæk við holu AB-2 og holu LUD-4, sem hafa hæstan styrk arsens og áls (myndir 80–83).
- Sýni úr öðrum borholum (myndir 84–86).
- Sýni úr heitum, volgum og köldum lindum og gjám (myndir 87 og 88).

**Tafla 11.** Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum haustið 2022. Styrkur efna í mg/L.

Staðarnafn	Skiljustöð	AE-10	Hlíðardalslækur	AB-2	LUD-2
Staður	M-20008	B-57890	V-2356	B-57842	B-58502
Dagsetning	2022-09-30	2022-09-30	2022-09-26	2022-09-26	2022-09-27
Sýnanúmer	20220289	20220290	20220256	20220255	20220262
Hitastig (°C)	91,0	36,7	5,8	2,9	5,6
Sýrustig (pH °C) - ÍSOR	9,90 / 21/3	8,15 / 21,9	7,73 / 22,1	7,98 / 22,0	8,39 / 22,2
Sýrustig (pH °C) - Felt	9,30 / 24,4	8,08 / 36,4	8,32 / 5,8	8,03 / 2,9	8,39 / 5,6
Leiðni við 25°C (µS/cm)	1225	360	681	154	215
Karbonsat (CO <sub>2</sub> )	33,1	81,9	97,2	50,9	70,8
Brennisteinsvetni (H <sub>2</sub> S)	17,1	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,840	0,0116	0,269	0,00699	0,0429
Kísill (SiO <sub>2</sub> )	572	49,1	152	24,7	22,3
Natríum (Na)	251	42,4	85,1	8,75	18,0
Kalíum (K)	30,4	1,64	10,5	1,57	2,10
Magnesíum (Mg)	0,0114	1,20	8,74	5,82	7,77
Kalsíum (Ca)	2,66	33,4	31,5	11,6	13,0
Flúoríð (F)	1,19	0,131	0,365	0,169	0,165
Klóríð (Cl)	90,8	4,00	31,1	3,65	5,50
Brómíð (Br)	0,23	0,01	0,071	<0,01	0,014
Súlfat (SO <sub>4</sub> )	220	76,2	188	10,9	16,2
Brennisteini (S)	130	25,5	50,9	3,79	5,65
Ál (Al)	1,60	0,00747	0,271	0,00288	0,0247
Arsen (As)	0,00755	<0,00005	0,0137	0,000252	<0,01
Baríum (Ba)	0,00205	0,00107	0,00181	0,000372	0,0242
Kadmíum (Cd)	<0,000002	0,00000206	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	0,00000821	0,00000511	0,00026	<0,000005	<0,000005
Króm (Cr)	0,0000328	<0,00001	0,000866	0,000442	<0,004
Kopar (Cu)	<0,0001	<0,0001	0,000583	0,0005	<0,006
Járn (Fe)	0,00376	0,0293	0,0848	0,00243	<0,002
Kvikasilfur (Hg)	0,000074	<0,000002	0,00000474	<0,000002	<0,000002
Lítíum (Li)	0,213	<0,02	0,0633	<0,02	<0,02
Mangan (Mn)	0,000853	0,0108	0,0686	0,00138	<0,0005
Mólybden (Mo)	0,00169	0,000583	0,00662	0,000284	<0,006
Nikkel (Ni)	<0,00005	0,000067	0,00111	0,000182	<0,001
Blý (Pb)	0,000017	<0,00001	0,0000276	<0,00001	0,0000105
Strontíum (Sr)	0,0172	0,0588	0,0384	0,0123	0,0153
Títan (Ti)	<0,12	<0,02	<0,04	<0,02	<0,02
Vanadíum (V)	0,00167	0,00004	0,0113	0,0212	0,0297
Sínk (Zn)	0,000549	0,00136	0,00222	0,00145	0,00482
Uppleyst steinefni (UE)	1370	290	600	130	150
δD (‰ SMOW)	-82,6	-89,5	-72,6	-89,1	-91,2
δ <sup>18</sup> O (‰ SMOW)	-10,11	-12,45	-9,02	-12,39	-12,57

**Tafla 11.** (Frh.). Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum haustið 2022. Styrkur efna er í mg/L.

Staðarnafn	LUD-3	LUD-4	LUD-5	LUD-6	LUD-11
Staður	B-58503	B-58504	B-58505	B-58506	B-58521
Dagsetning	2022-09-27	2022-09-26	2022-09-28	2022-09-30	2022-09-27
Sýnanúmer	20220259	20220252	20220279	20220286	20220264
Hitastig (°C)	4,9	4,5	4,3	31,1	25,4
Sýrustig (pH/°C) – ÍSOR	8,41 / 20,9	8,06 / 23,3	8,48 / 20,9	8,26 / 20,4	7,76 / 22,1
Sýrustig (pH/°C) – Felt	8,43 / 4,9	8,11 / 4,5	8,43 / 4,3	8,14 / 31,1	7,79 / 25,4
Leiðni við 25°C (µS/cm)	184	362	170	381	535
Karborát (CO <sub>2</sub> )	62,9	63,5	59,1	112	164
Brennisteinsvetni (H <sub>2</sub> S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,0277	0,103	0,0192	0,0522	0,0384
Kísill (SiO <sub>2</sub> )	21,1	58,9	20,6	58,0	64,3
Natríum (Na)	15,4	35,9	13,9	50,1	58,3
Kalíum (K)	1,92	2,70	1,92	5,29	5,68
Magnesium (Mg)	7,06	10,9	6,8	7,92	9,65
Kalsíum (Ca)	11,3	17,6	10,5	19,2	38,3
Flúoríð (F)	0,168	0,179	0,197	0,241	0,181
Klóríð (Cl)	4,78	12,1	4,63	5,04	5,05
Brómíð (Br)	0,011	0,025	0,01	0,01	0,011
Súlfat (SO <sub>4</sub> )	13,0	81,1	11,5	57,9	91,5
Brennisteini (S)	4,52	26,3	3,92	19,4	30,2
Ál (Al)	0,0119	0,501	0,00435	0,00553	<0,0002
Arsen (As)	0,00015	0,00241	0,000136	0,0000507	0,000163
Baríum (Ba)	0,000309	0,000608	0,000147	0,00334	0,00653
Kadmíum (Cd)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	0,00000713	0,000015	0,0000116	<0,000005	0,0000071
Króm (Cr)	0,000879	0,000468	0,000769	0,00011	0,0000353
Kopar (Cu)	0,000602	0,00227	0,000424	0,000155	0,000155
Járn (Fe)	0,00657	0,0368	0,0114	0,0103	0,0598
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Lítíum (Li)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Mangan (Mn)	0,00041	0,00194	0,000582	0,000822	0,0147
Mólybden (Mo)	0,000692	0,002	0,00051	0,000776	0,000884
Nikkel (Ni)	0,000132	0,00012	0,0000878	0,000135	0,0000693
Blý (Pb)	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Strontíum (Sr)	0,0124	0,0215	0,0111	0,0517	0,0659
Títan (Ti)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Vanadíum (V)	0,0304	0,012	0,0327	0,00825	0,00396
Sink (Zn)	0,000532	0,000995	<0,0002	0,000551	0,00047
Uppleyst steinefni (UE)	110	280	20,0	280	340
δD (‰ SMOW)	-91,3	-80,4	-90,2	-92,00	-85,9
δ <sup>18</sup> O (‰ SMOW)	-12,49	-10,72	-12,51	-12,32	-12,08

Tafla 11. (Frh.). Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum haustið 2022. Styrkur efna er í mg/L.

Staðarnafn	Bjarnarflagslón	Bjarg	Helgavogur	Stóragjá	Grjótagjá
Staður	M-20004	H-10080	H-10082	H-10083	H-10085
Dagsetning	2022-09-28	2022-09-30	2022-09-27	2022-09-26	2022-09-27
Sýnanúmer	20220280	20220288	20220254	20220253	20220260
Hitastig (°C)	24,7	18,4	22,5	26,8	44,6
Sýrustig (pH/°C) - ÍSOR	9,75 / 21,2	8,11 / 19,4	8,31 / 20,7	8,32 / 20,1	8,33 / 22,1
Sýrustig (pH/°C) - Felt	9,46 / 24,7	7,90 / 18,4	8,34 / 22,5	8,40 / 26,8	8,25 / 44,6
Leiðni við 25°C (µS/cm)	777	307	404	452	462
Karbonsát (CO <sub>2</sub> )	25,4	74,3	105	107	95,5
Brennisteinsvetni (H <sub>2</sub> S)	4,26	<0,03	<0,03	<0,03	0,04
Bór (B)	2,68	0,081	0,0765	0,117	0,348
Kísill (SiO <sub>2</sub> )	650	58,5	70,0	84,7	141
Natríum (Na)	147	43,1	48,1	56,9	79,3
Kalíum (K)	24,9	3,50	4,41	5,26	6,85
Magnesium (Mg)	0,646	4,02	5,46	5,20	2,46
Kalsíum (Ca)	2,15	16,3	24,6	24,5	13,3
Flúoríð (F)	0,712	0,254	0,231	0,252	0,327
Klóríð (Cl)	98,1	10,1	7,86	10,2	19,2
Brómíð (Br)	0,254	0,018	0,017	0,025	0,044
Súlfat (SO <sub>4</sub> )	64,0	45,5	64,1	79,4	83,6
Brennisteini (S)	26,9	15,6	21,1	25,9	27,5
Ál (Al)	1,53	0,00812	0,0114	0,0202	0,0469
Arsen (As)	0,163	0,000185	0,000179	0,000138	<0,00005
Baríum (Ba)	0,000532	0,000709	0,00133	0,00164	0,00197
Kadmíum (Cd)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	0,0000208	0,0000144	<0,000005	0,000015	0,0000085
Króm (Cr)	0,000104	0,00049	0,000656	0,000436	<0,00001
Kopar (Cu)	0,000697	0,00109	0,000702	0,000853	0,000295
Járn (Fe)	0,0138	0,0019	0,000517	0,00281	0,00409
Kvikasilfur (Hg)	0,0000186	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Lítíum (Li)	0,189	<0,02	<0,02	<0,02	<0,04
Mangan (Mn)	0,00362	0,000298	<0,00003	0,000112	0,00394
Mólybden (Mo)	0,00062	0,000931	0,000806	0,000843	0,000237
Nikkel (Ni)	0,0000843	<0,00005	<0,00005	0,0000632	0,0000558
Blý (Pb)	0,0000241	<0,00001	<0,00001	0,0000136	<0,00001
Strontíum (Sr)	<0,002	0,0237	0,0335	0,0353	0,0189
Títan (Ti)	<0,12	<0,02	<0,02	<0,02	<0,04
Vanadíum (V)	0,00225	0,024	0,0264	0,0224	0,000548
Sink (Zn)	0,000864	0,000432	0,000555	0,0014	0,000814
Uppleyst steinefni (UE)	1150	250	310	350	430
δD (‰ SMOW)	-89,2	-90,0	-87,7	-87,3	-90,6
δ <sup>18</sup> O (‰ SMOW)	-7,34	-12,35	-12,15	-11,99	-11,38

Tafla 11. (Frh.). Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum haustið 2022. Styrkur efna er í mg/L.

Staðarnafn	Vogagjá	Langivogur	Garðslind	Vogafloí	Hverfjallsgjá
Staður	H-10087	H-10088	K-556	K-558	K-559
Dagsetning	2022-09-27	2022-09-27	2022-09-30	2022-09-27	2022-09-27
Sýnanúmer	20220261	20220265	20220287	20220263	20220266
Hitastig (°C)	38,7	19,7	5,4	5,7	5,7
Sýrustig (pH/°C) - ÍSOR	8,45 / 22,2	8,46 / 22,4	8,85 / 20,5	8,61 / 22,3	8,39 / 22,3
Sýrustig (pH/°C) - Felt	8,43 / 38,7	8,50 / 19,7	8,10 / 5,4	8,60 / 5,7	8,46 / 5,7
Leiðni við 25°C (µS/cm)	484	421	149	202	218
Karbonsat (CO <sub>2</sub> )	79,0	79,1	54,3	60,6	65,4
Brennisteinsvetni (H <sub>2</sub> S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,296	0,225	0,0123	0,034	0,0371
Kísill (SiO <sub>2</sub> )	135	104	18,5	21,4	22,5
Natríum (Na)	82,7	66,5	17,3	20,5	20,2
Kalíum (K)	6,53	5,23	1,39	1,83	1,91
Magnesíum (Mg)	2,26	3,89	4,81	6,22	6,84
Kalsíum (Ca)	14,4	14,3	7,39	11,1	12,1
Flúoríð (F)	0,321	0,293	0,192	0,207	0,192
Klóríð (Cl)	17,0	13,2	1,90	4,36	4,87
Brómíð (Br)	0,036	0,03	<0,01	<0,01	0,012
Súlfat (SO <sub>4</sub> )	108	84,5	7,52	21,6	22,7
Brennisteini (S)	35,4	28,0	2,52	7,36	7,55
Ál (Al)	0,0214	0,0114	0,0101	0,00572	0,00744
Arsen (As)	<0,00005	0,0000922	<0,00005	0,000156	0,00017
Baríum (Ba)	0,00167	0,0021	0,000162	0,000254	0,000298
Kadmíum (Cd)	0,00000424	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	0,0000139	0,00000686	<0,000005	0,00000655	0,0000175
Króm (Cr)	0,000106	0,000436	0,00105	0,00133	0,0014
Kopar (Cu)	0,00107	0,00053	0,000287	0,000963	0,00157
Járn (Fe)	0,00182	0,000606	0,000646	0,00086	0,00146
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Lítíum (Li)	<0,04	<0,04	<0,02	<0,02	<0,02
Mangan (Mn)	0,00077	0,0000456	<0,00003	0,0000892	0,000178
Mólybden (Mo)	0,000337	0,00045	0,000679	0,000693	0,000692
Nikkel (Ni)	0,000124	0,0001	<0,00005	0,0000975	0,000067
Blý (Pb)	0,0000153	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Strontíum (Sr)	0,0184	0,0174	0,0087	0,0135	0,0155
Títan (Ti)	<0,04	<0,04	<0,02	<0,02	<0,02
Vanadíum (V)	0,00611	0,0147	0,0342	0,0403	0,0356
Sínk (Zn)	0,00356	0,00068	0,000281	0,000266	0,000967
Uppleyst steinefni (UE)	430	310	110	88,0	90,0
δD (‰ SMOW)	-91,00	-90,00	-93,3	-91,4	-91,2
δ <sup>18</sup> O (‰ SMOW)	-11,62	-11,65	-12,83	-12,59	-12,53



Í reglugerð um varnir gegn mengun vatns nr. 796/1999 (tafla 12) eru tilgreind umhverfismörk fyrir málma: arsen, kopar, sínk, kadmíum, blý, króm og nikkell. Engin viðmiðunarmörk eru til fyrir ál í íslenskum reglugerðum önnur en þau sem fram koma í íslenska staðlinum fyrir neysluvatn. Þar eru mörkin 0,2 mg/L og eru þau sýnd á þeim myndum sem það á við (reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001). Leitað var álitis sérfræðings í fiskeldi varðandi eituráhrif áls í fiskeldi og er algengt viðmið að eitrunarmörk áls sé um 0,3 mg/L gagnvart laxfiskum sem og öðrum fiskum (Branson, 1993).

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

Umhverfismörk	I	II	III	IV	V
Kopar (Cu)	≤0,5	0-3	3,0-	9-	>45
Sínk (Zn)	≤5	5-20	20-	60-	>300
Kadmíum (Cd)	≤0,01	0,01-	0,1-	0,3-	>1,5
Blý (Pb)	≤0,2	0,2-1	1-3	3-	>15
Króm (Cr)	≤0,3	0,3-5	5-	15-	>75
Nikkell (Ni)	≤0,7	0,7-	15-	45-	>225
Arsen (As)	≤0,4	0,4-5	5-	15-	>75

Skýringar við töflu 12:

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 80, 84 og 87A eru sýndar niðurstöður fyrir styrk arsens á vöktunarstöðum í Mývatnssveit og er stöðum skipt upp eins og áður hefur verið lýst. Líkt og oftast áður mælist styrkur arsens hæstur í affallsvatni í Bjarnarflaglóni eins og vel sést á mynd 80A. Þar og í affalli frá skiljustöð í Kröflu mælist styrkur arsens ofan við umhverfismörk III (15 µg/L). Í Hlíðardalslæk er styrkur arsens nú yfir neysluvatnsmörkum (10 µg/L) og nálægt umhverfismörkum III, gildi sem ekki hefur sést síðan 2012. Þetta er sýnt nánar á mynd 80B þar sem niðurstöðum fyrir Bjarnarflaglóni hefur verið sleppt til að sýna betur styrk arsens í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk og LUD-4.

Vegna mikils styrks arsens í Bjarnarflaglóninu, sem sést á mynd 80A, er styrkur klóríðs, kísils, natríums, bórs, og brómíðs sem og arsens í vatni frá Bjarnarflaglóni teiknaður upp á mynd 83. Öll þessi efni og fleiri til hafa sýnt hækkandi efnastyrk 2018 þótt árið 2021 hafi þessi styrkur lækkað verulega miðað við árið 2020 með lítilsháttar aukningu árið 2022. Styrkur arsens í Bjarnarflaglóni er nú svipaður og mældur var á árunum 2014–2017. Líklega endurspeglar þetta breytingar eftir stækkun Jarðbaðanna og endurbætur á Bjarnarflagsvirkjun árin 2018 og 2019. Þessar breytingar hafa nú náð jafnvægi og vökvavinnslan er svipuð milli 2020 og 2021 (tafla 13).

**Tafla 13.** Vinnsla vökva í Bjarnarflagi (í þúsundum tonna) frá 2016 til 2022.

Vökvavinnsla [Gg]	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
	1.530	1.573	933	2.347	1.896	1.947	X

Af vöktunarholum er styrkur arsens hæstur í vatni úr holu LUD-4 eins og verið hefur en arsenstyrkur hefur farið lækkandi undanfarin ár frá hámarki sem hann náði um 2010. Styrkur arsens í LUD-4 er nú vel innan við hámarksgildi fyrir neysluvatn (10 µg/L) og liggur einnig innan við umhverfismörk II eins og sést á mynd 84A. Til nánari greiningar á mæligildum fyrir arsen í eftirlitsholum eru niðurstöður sýndar á mynd 84B, án mælinga í LUD-4. Þar sést að styrkur arsens í AB-2 hefur verið lægri undanfarinn áratug en áratuginn þar á undan og er nú undir umhverfismörkum I (0,4 µg/L). Má einnig sjá sömu þróun í sýnum úr Hlíðardalslæk (mynd 80). Þetta má ugglaut rekja til minnkandi magns af affallsvatni sem fer frá skilju-stöðinni í Kröflu til förgunar í Hlíðardalslæk vegna aukinnar niðurdælingar í borholur í Kröflu (tafla 14). Reyndar var vinnsla í Kröflu með minnsta móti árin 2020 og 2021 og niðurdæling að sama skapi lítil.

**Tafla 14.** Niðurdæling og vinnsla vökva í Kröflu (í þúsundum tonna) frá 2015 til 2022. \*until oct

Niðurdæling [Gg]	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022*
IDDP-1	270	-	-	-	-	-	-	-
KG-26	1.990	2.196	2.148	2.070	2.124	1.685	2.041	1.486*
KJ-35	-	-	-	501	623	-	-	-
KJ-39	1.656	1.463	1.709	1.121	271	73	32	-
Heildarniðurdæling	3.916	3.659	3.857	3.692	3.018	1.758	2.073	1.486*
<b>Vökvavinnsla [Gg]</b>	<b>8.899</b>	<b>6.524</b>	<b>10.157</b>	<b>9.102</b>	<b>7.104</b>	<b>6.264</b>	<b>6.878</b>	<b>7.184*</b>

Styrkur arsens í sýnum úr heitum, volgum og köldum lindum er alls staðar innan við umhverfismörk I (0,4 µg/L) eins og sýnt er á mynd 87A, að frátöldum tveimur eldri mælingum úr Grjótagjá. Hæstur styrkur í lindunum er í Helgavogi, og hefur hækkað frá síðustu sýnatöku árið 2019. Í sýnum ársins 2021 mældist styrkur arsens innan greiningarmarka (0,05 µg/L) í Grjótagjá, Vogagjá og Langavogi. Athuganir á uppruna vatnsins til þessara sýnatökustaða (Finnbogi Óskarsson, 2018) og ferilprófun á affalli frá Jarðböðunum í Mývatnssveit (Magnús Ólafsson o.fl., 2020) sýna þó að skiljuvatn frá Bjarnarflagsvirkjun skilar sér á þessa þrjá staði. Líklegast er að arsen falli hratt út úr vatninu með myndlausum kísli (en skiljuvatnið er yfir-mettað af kísli) og greinist því ekki.

Á myndum 81, 85 og 87B er sýndur styrkur áls á vöktunarstöðum og litlar markverðar breytingar koma þar fram. Haustið 2018 mældist ál í mjög lágum styrk í Bjarnarflagslóni, líkt og arsen, en síðan 2019 hefur styrkur áls og arsens mælst á svipuðum nótum og verið hefur lengst af frá því mælingar hófust þar. Styrkur áls í vatni frá Bjarnarflagslóni og skiljustöð í Kröflu hefur alla jafna mælst vel yfir hámarksgildi fyrir neysluvatn (200 µg/L) og svo er einnig nú. Í sýnum ársins 2022 er styrkur áls í LUD-4 og Hlíðardalslæk einnig yfir neysluvatnsmörkum eins og sést á mynd 81. Niðurstöðurnar sýna að styrkur áls í vatni úr vöktunarholunum er alls staðar innan við hámarksgildi fyrir neysluvatn, nema í LUD-4 (mynd 85A). Mynd 85B sýnir niðurstöður greininga á styrk áls í sýnum úr vöktunarholum en þar hefur sýnum úr LUD-4 verið sleppt til betri aðgreiningar á niðurstöðum. Það var engin marktæk breyting á áli fyrir utan smá aukningu sem sást í LUD-2.

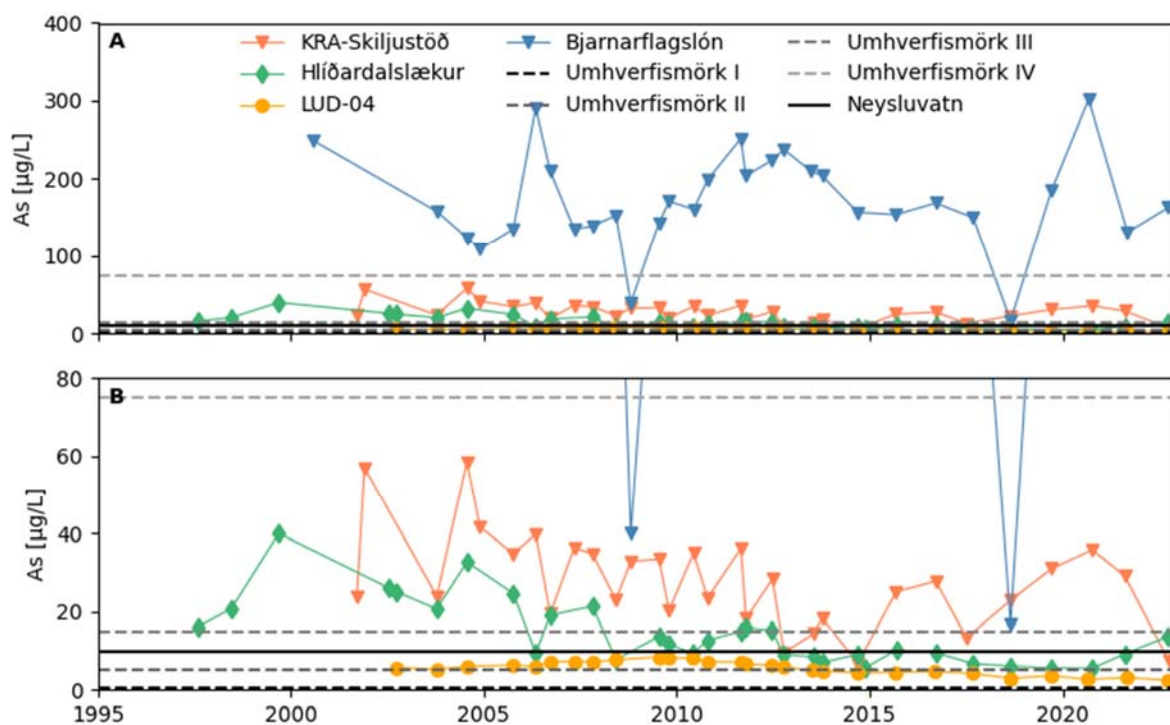
Niðurstöður mælinga á styrk áls í sýnum úr heitum, volgum og köldum lindum eru sýndar á mynd 87B. Þetta sýnir að breytingar eru vart marktækar í gegnum árin, nema nokkur sveifla í Stóragjá, í Grjótagjá, þar sem styrkur áls hefur verið að aukast frá 2018, og líka í Vogagjá og

Langavogi síðan 2019. Mynd 89 sýnir mælingar á pH og nokkrum helstu frumefnum (kísli, natríum, bór og flúori) ásamt áli frá þessum þremur stöðum. Á þessu ári hefur styrkur áls minnkað í Grjótagjá, Vogagjá og Langavogi miðað við undanfarin ár. Enga marktæka breytingu er að sjá þó að greina megi lítills háttar lækkun á styrk flúoríðs. Lauslegir jarðefnafræðilegir útreikningar benda ekki til þess að myndlaus kísill eða ál (álinnihaldandi steindir) hafi tilhneigingu til að falla út úr vatninu í Grjótagjá. Nefnt hefur verið að þessir sýnatökustaðir séu tengdir við Bjarnarflaglón (Finnbogi Óskarsson, 2018; Magnús Ólafsson o.fl., 2020). Styrkur áls sem hér mælist er hins vegar mjög frábrugðinn því sem mælist í lóninu (1,53 mg/L). Áfram er mælt er með því að halda áfram að fylgjast með þessum þremur sýnatökustöðum til að komast betur að því hvort breytingar á áli sem sjást séu náttúrulegar eða tengdar jarðhita-starfseminni í Bjarnarflagi.

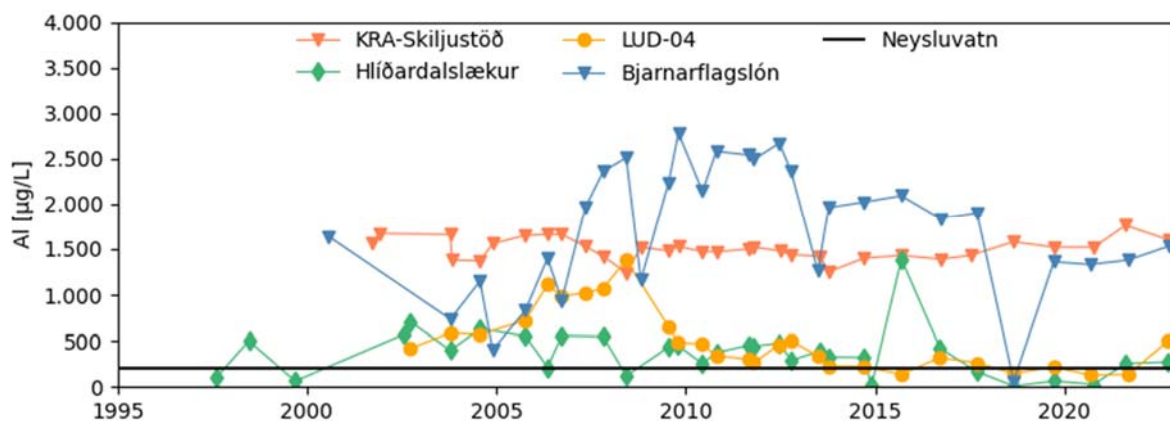
Mynd 82 sýnir styrk kopars, síns, kadmíums, blýs, króms og nikkels í affallsvatni frá skilju-stöð í Kröflu, Bjarnarflaglóni, Hlíðardalslæk og holu LUD-4 ásamt viðeigandi umhverfismörkum úr reglugerð um varnir gegn mengun vatns nr. 796/1999. Nokkrir óreglulegir toppar sjást á myndunum, einkum í sýnum frá fyrri tíð, og þá verður að hafa í huga að hér er verið að mæla efni í mjög lágum styrk og óvissumörk eru því nokkuð víð samborið við mæligildið. Styrkur kopars (mynd 82A) er að jafnaði lægri en umhverfismörk II (3 µg/L), oft nærri umhverfismörkum I (0,5 µg/L). Styrkur síns (mynd 82B) er vel innan við umhverfismörk I (5 µg/L). Á síðastliðnum árum hefur styrkur kadmíums (mynd 82C) mælist um eða nærri umhverfismörkum I (0,01 µg/L) en á árum áður mátti sjá hærri gildi þar sem styrkur þess greindist jafnvel hærri en umhverfismörk III (0,3 µg/L) í einstökum sýnum. Ekki er ólíklegt að það stafi af minni næmni við greiningar á árum áður. Mynd 82D sýnir styrk blýs og kemur þar fram að styrkur þess er innan við umhverfismörk I (0,0002 mg/L), fyrir utan allnokkur sýni úr Bjarnarflaglóni frá því fyrir 2011 þar sem styrkur þess hefur mælist umtalsvert hærri, stundum við umhverfismörk II (1 µg/L) og í tveimur tilvikum yfir umhverfismörkum III (3 µg/L). Styrkur króms (mynd 82E) hefur verið allbreytilegur, sérstaklega í Bjarnarflaglóni og Hlíðardalslæk, en mældist nærri umhverfismörkum I (0,3 µg/L) á þessum stöðum í ár. Styrkur nikkels (mynd 82F) mælist að jafnaði hæstur í Hlíðardalslæk, rétt yfir umhverfismörkum I (0,7 µg/L).

Mynd 86 sýnir styrk sömu málma og sýndir eru á mynd 82 en í sýnum úr vöktunarholum í Mývatnssveit. Mynd 86A sýnir að styrkur kopars hefur á undanförunum árum verið undir umhverfismörkum II (3 µg/L) og í flestum holum nærri umhverfismörkum I (0,5 µg/L) fyrir utan tvö hærri gildi fyrir 2010 úr holum LUD-2 annars vegar og LUD-4 hins vegar. Styrkur síns (mynd 86B) hefur verið vel innan við umhverfismörk I (5 µg/L) á undanförunum árum, nema í LUD-11 árið 2019. Styrkur kadmíums (mynd 86C) hefur á undanförunum árum mælist lágur, undir eða við greiningarmörk, og falla mæligildin nærri umhverfismörkum I (0,01 µg/L). Styrkur blýs (mynd 86D) mælist innan við umhverfismörk I (0,2 µg/L) á öllum stöðum. Á mynd 86E er sýndur styrkur króms í vöktunarholunum og mælist hann ýmist nærri umhverfismörkum I eða lítið eitt hærri og alls staðar vel innan umhverfismarkka II. Mynd 86F sýnir styrk nikkels í vöktunarholunum og mældist hann innan við umhverfismörk I (0,7 µg/L) á öllum stöðum árið 2022.

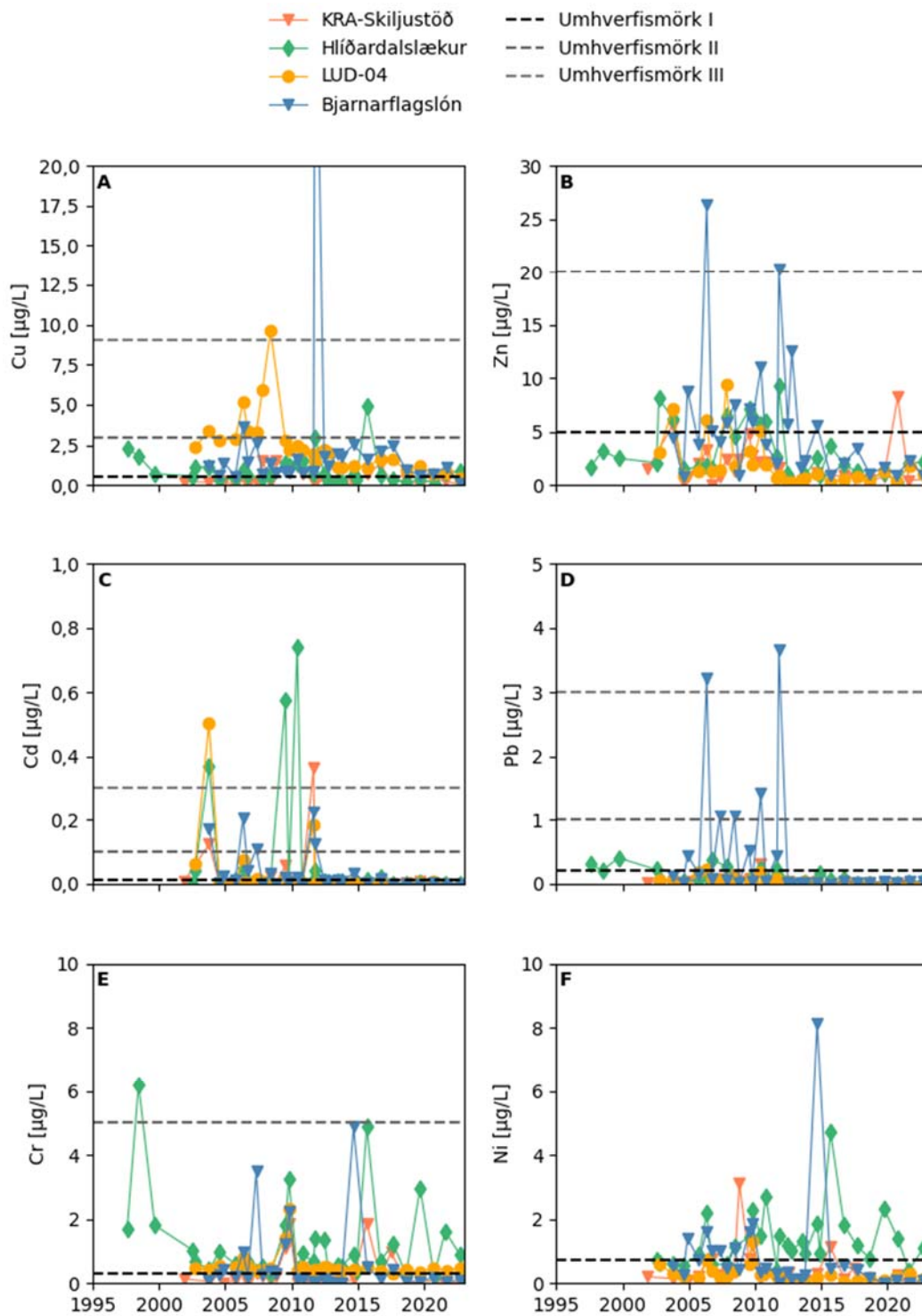
Mynd 88 sýnir styrk kopars, síns, kadmíums, blýs, króms og nikkels í sýnum úr heitum, volgum og köldum lindum í Mývatnssveit. Í heild sýna þær að styrkur þessara efna er lágur, nærri greiningarmörkum þessara málma og um eða innan við umhverfismörk I. Engar marktækar breytingar koma fram milli áranna 2021 og 2022, nema vegna hækkunar á styrk síns í Vogagjá.



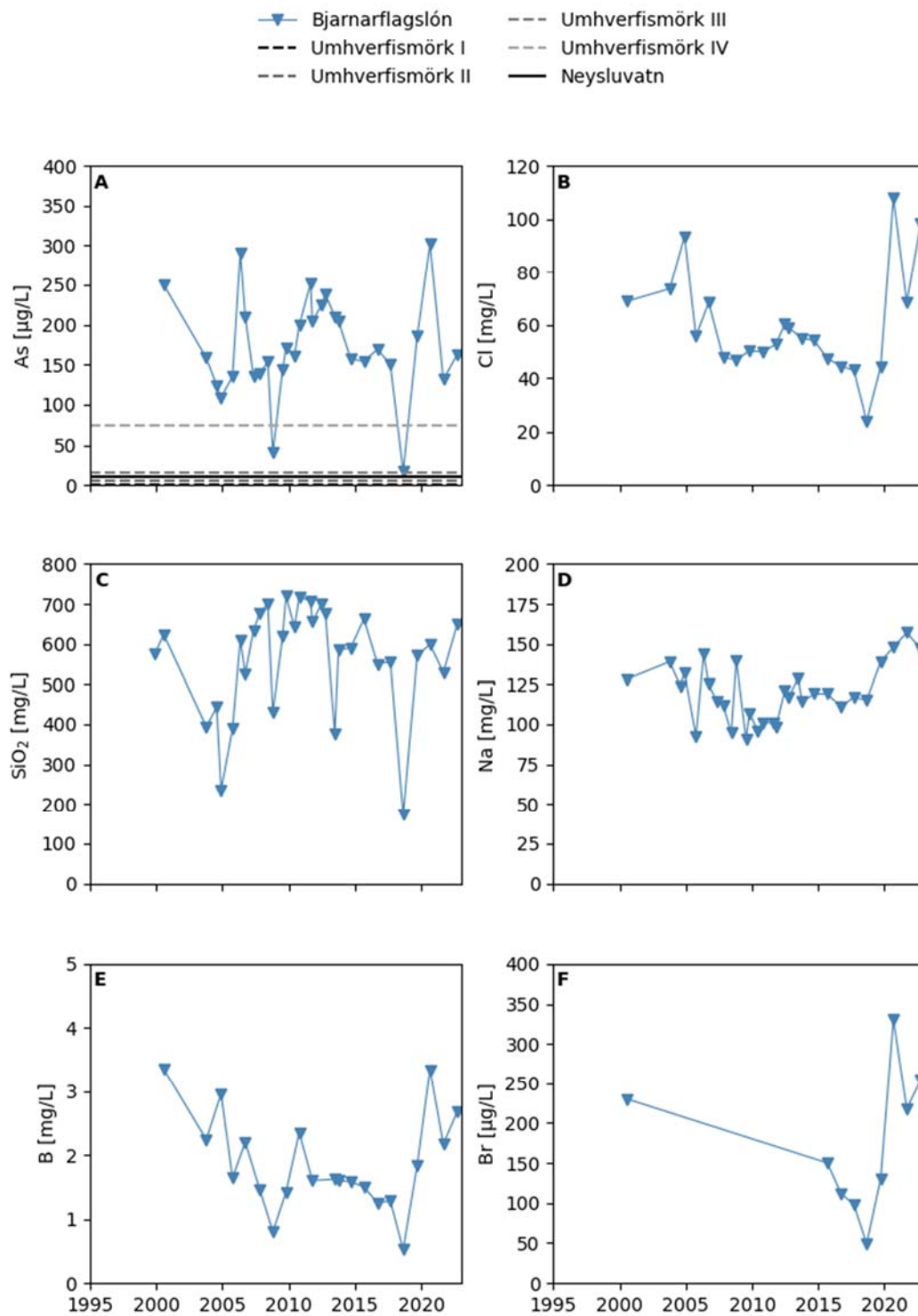
**Mynd 80.** (A) Styrkur arsens í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt umhverfismörkum I, II, III og IV og mörkum fyrir neysluvatn (10 µg/L). (B) Sama mynd með smærri kvarða til betri aðgreiningar á niðurstöðum.



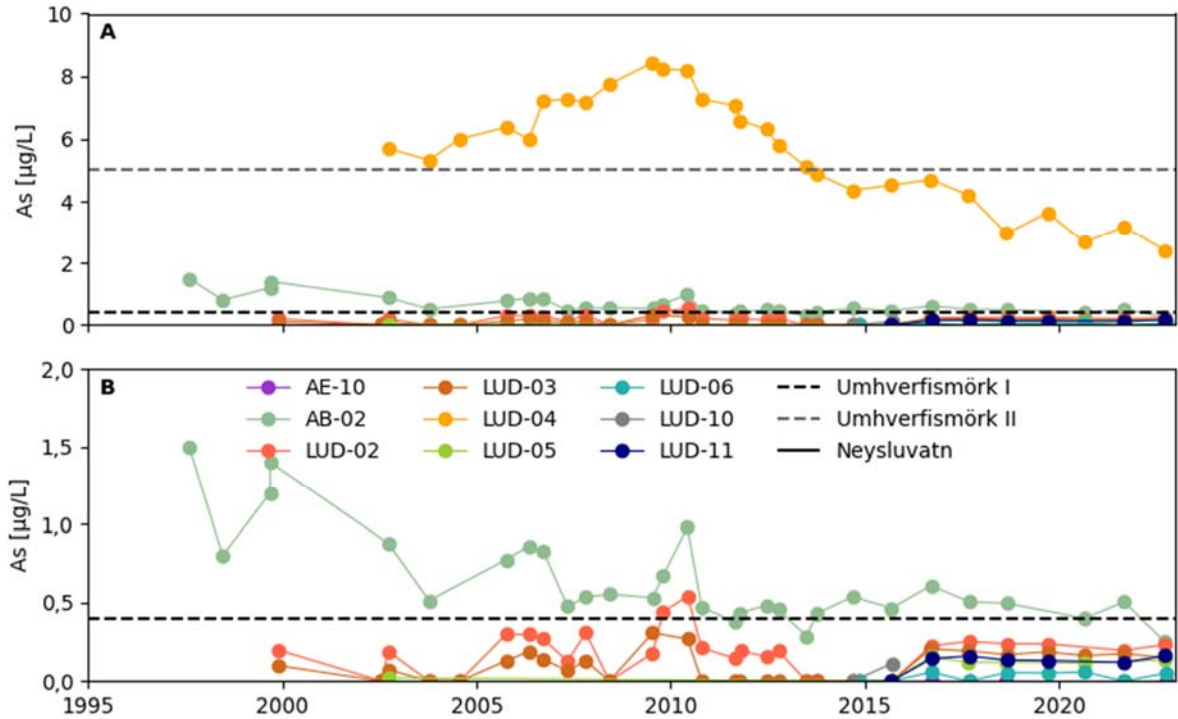
**Mynd 81.** Styrkur áls í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt viðmiðunarmörkum fyrir neysluvatn (200 µg/L).



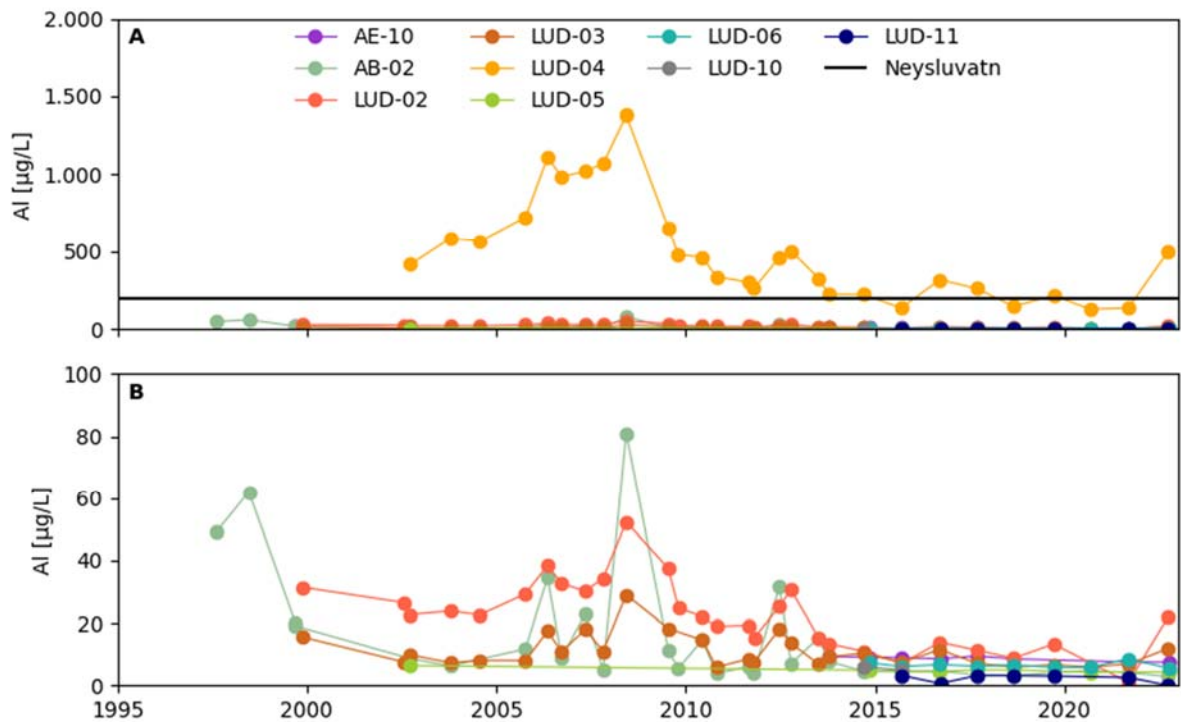
**Mynd 82.** Styrkur kopars (A), síns (B), kadmíums (C), blýs (D), króms (E) og nikkels (F) í vatni frá skiljustöð í Kröflu, Hlíðardalslæk, LUD-4 og Bjarnarflagslóni ásamt umhverfismörkum I, II og III.



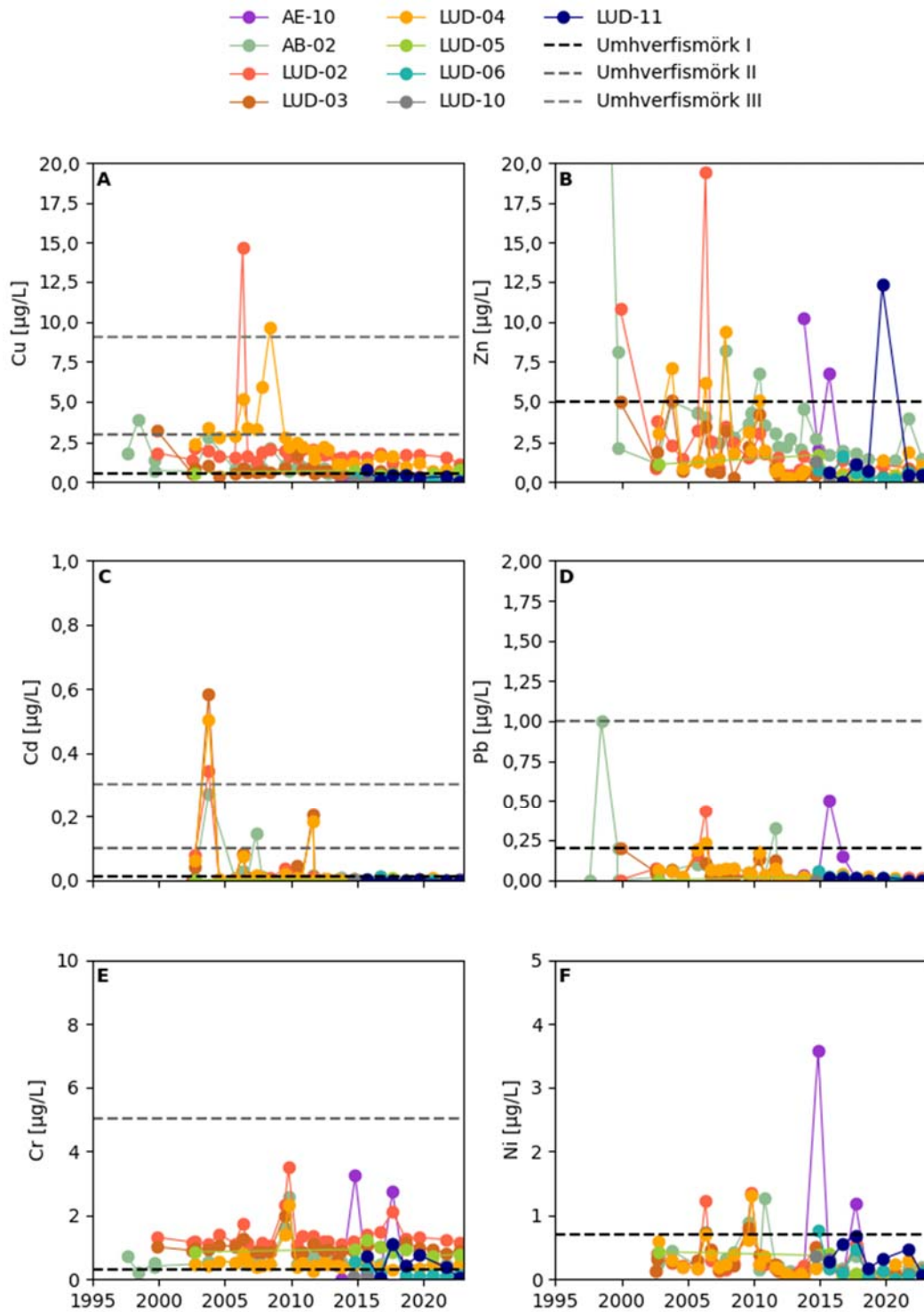
**Mynd 83.** Styrkur arsens (A), klóríðs (B), kísils (C), natríums (D), bórs (E) og brómíðs (F) í vatni frá Bjarnarflagslóni. Aðeins arsens hefur skilgreind umhverfismörk.



**Mynd 84.** (A) Styrkur arsens í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I og II. Viðmiðunarmörk fyrir styrk arsens í neysluvatni (10 µg/L) eru efst á myndinni. (B) Niðurstöðum fyrir LUD-4 hefur verið sleppt til betri aðgreiningar á niðurstöðum.

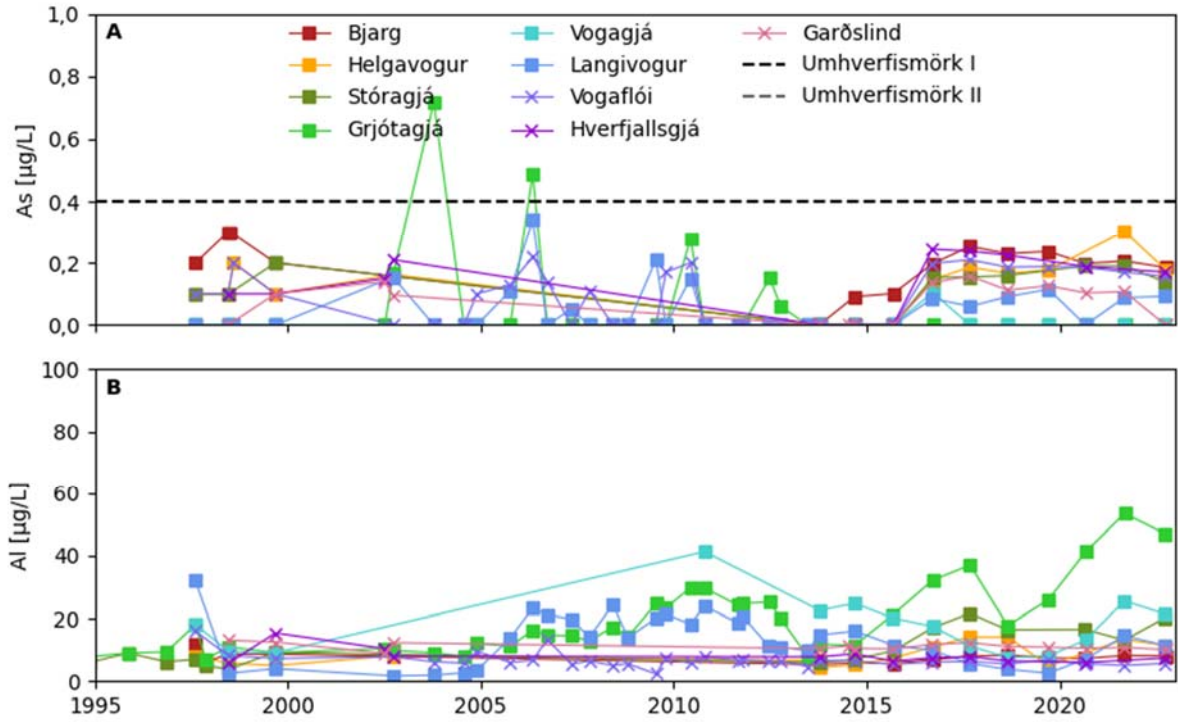


**Mynd 85.** (A) Styrkur áls í vatni úr borholum ásamt viðmiðunarmörkum fyrir neysluvatn (200 µg/L). (B) Niðurstöðum fyrir LUD-4 hefur verið sleppt til betri aðgreiningar á niðurstöðum.

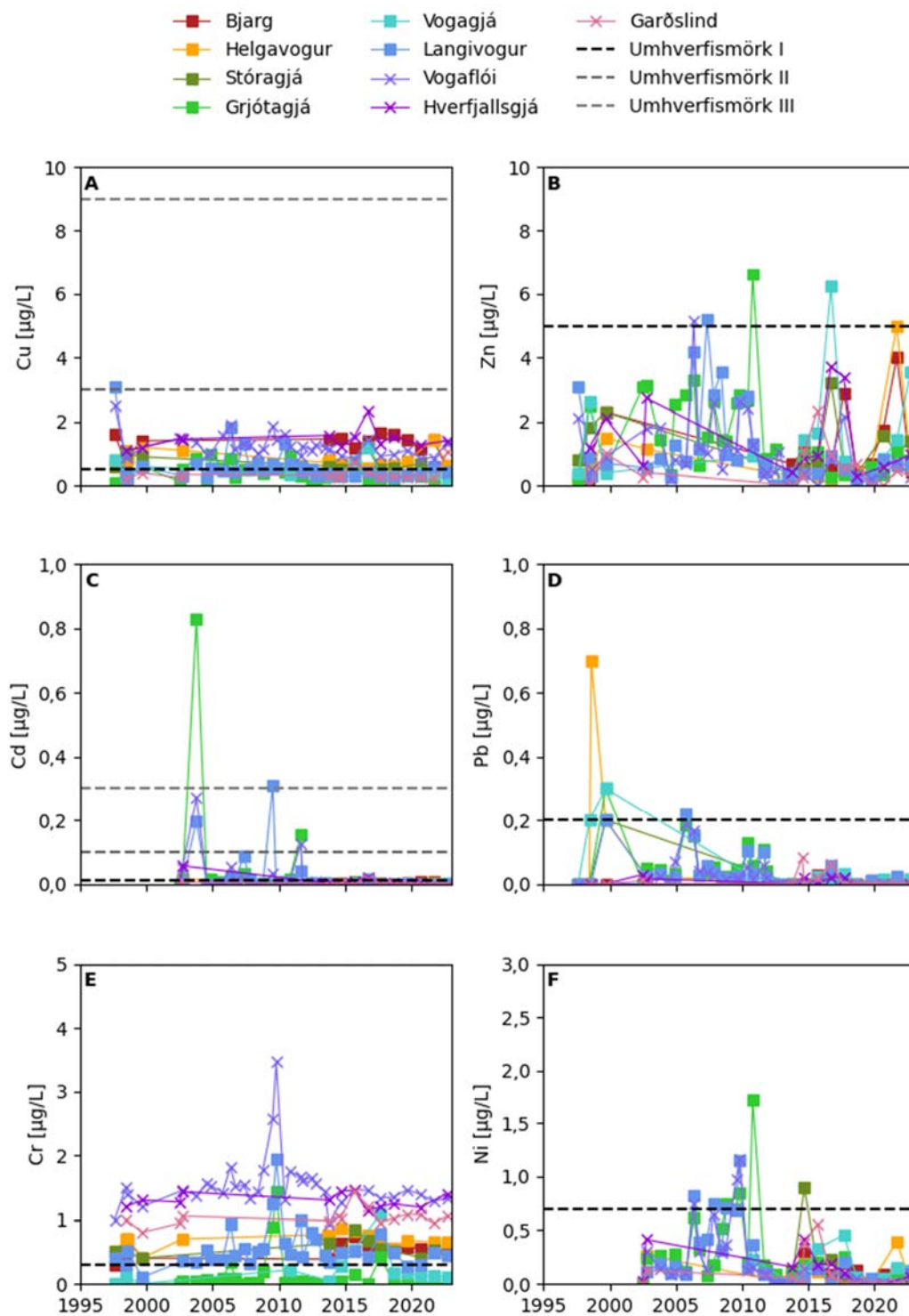


**Mynd 86.** Styrkur kopars (A), sínks (B), kadmíums (C), blýs (D), króms (E) og nikkels (F) í vatni úr borholum ásamt umhverfismörkum I, II, og III.

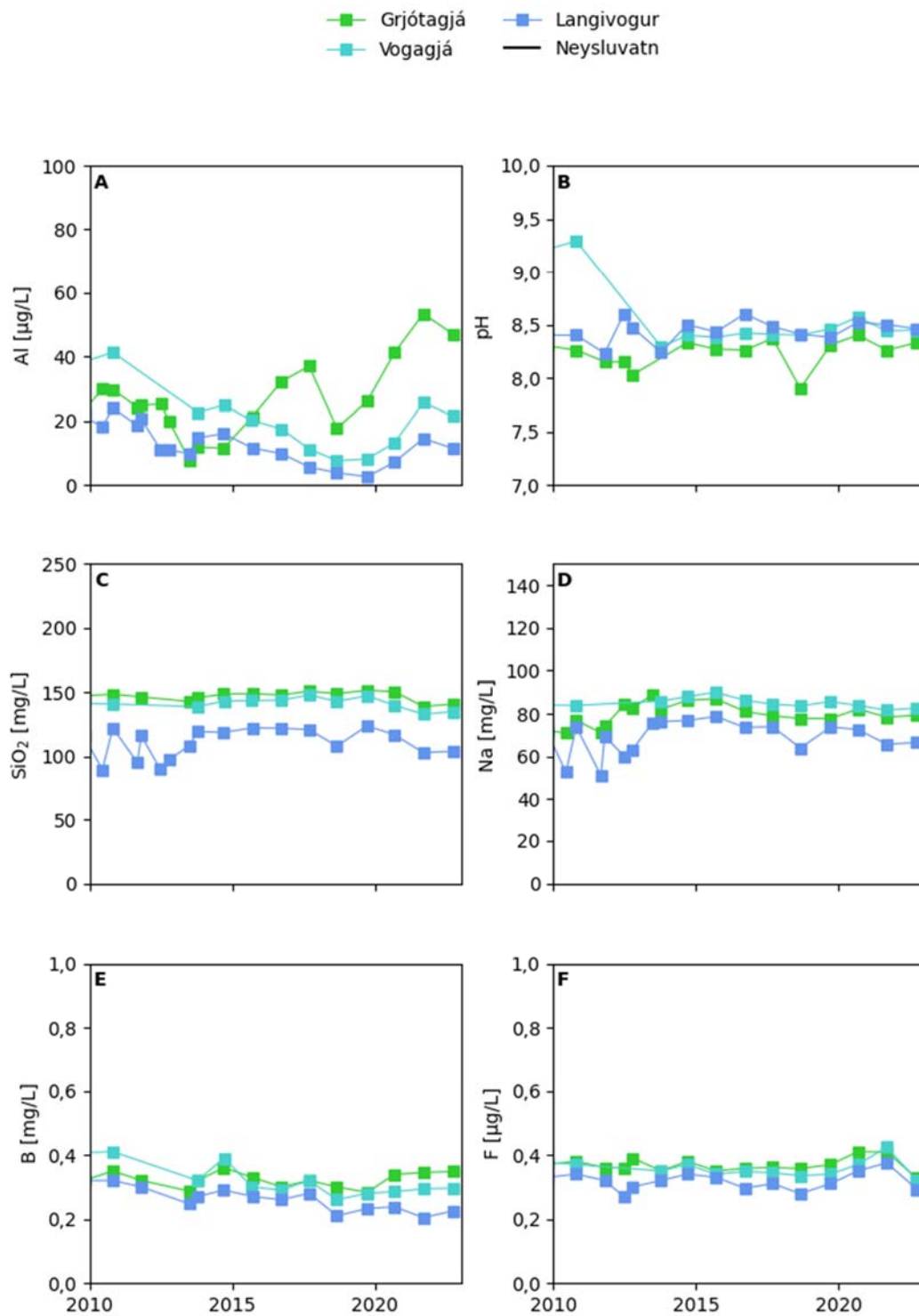




**Mynd 87.** Styrkur arsens (A) og áls (B) í lindum við Mývatn ásamt umhverfismörkum I ( $0,4 \mu\text{g/L}$ ) fyrir arsen. Viðmiðunarmörk fyrir neysluvatn ( $200 \mu\text{g/L}$ ) falla utan kvarða myndar (B).



**Mynd 88.** Styrkur kopars (A), sínks (B), kadmíums (C), blýs (D), króms (E) og nikkels (F) í vatni úr lindum ásamt umhverfismörkum I, II og III.



**Mynd 89.** Styrkur áls (A), pH (B), kísils (C), natríums (D), bórs (E) og flúors (F) í vatni frá Grjótagjá, Vogagjá og Langavogi. Neysluvatnsmörk fyrir ál (200 µg / L) eru skilgreind. (Neysluvatnsmörk fyrir bór eru 1,0 mg/L og flúór 1500 µg/L.)

### 5.1.1 Næringarefni í sýnum úr Mývatnssveit

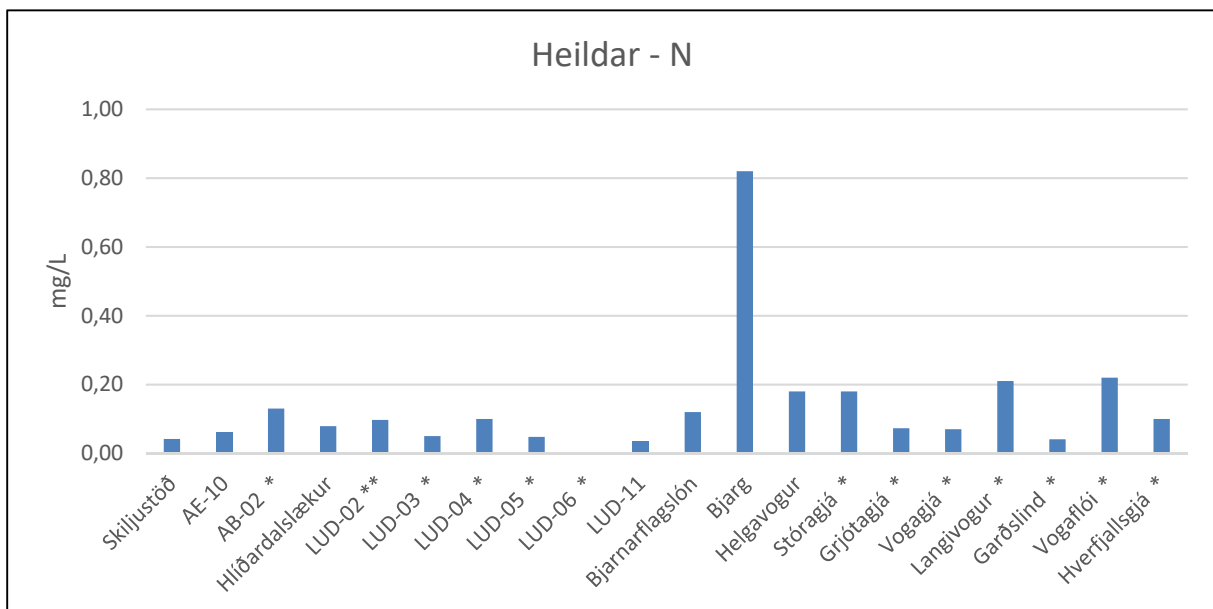
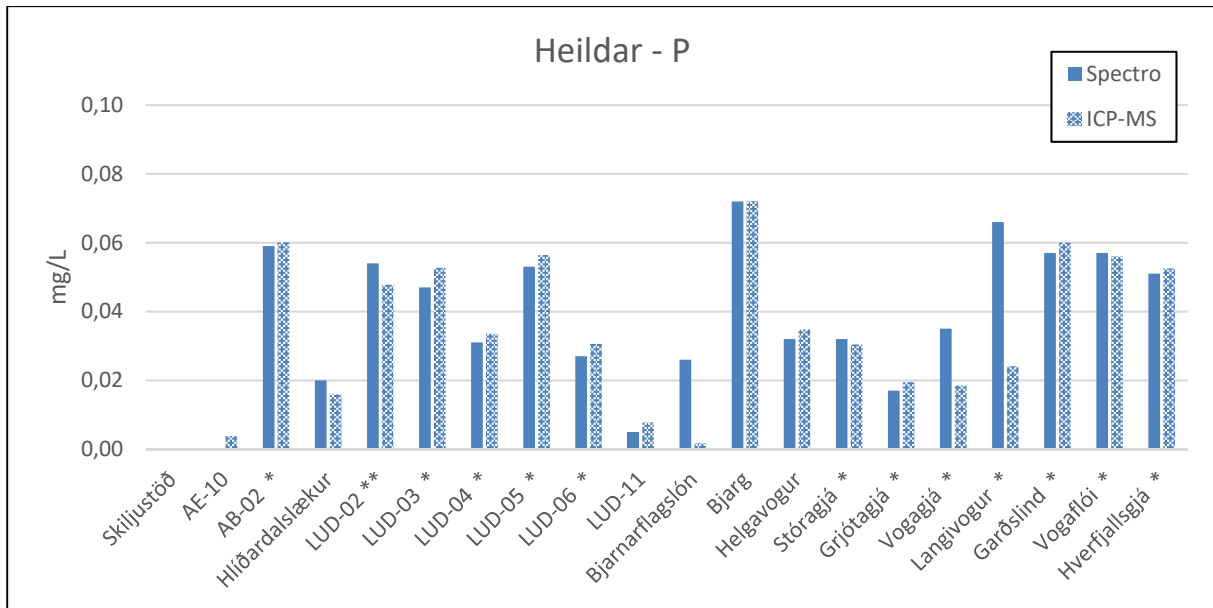
Að beiðni Landsvirkjunar var sérstökum sýnum safnað samhliða sýnatöku haustið 2022 í skiljustöð Kröflu, Hlíðardalslæk, AE-10, LUD-11, Bjarnarflagslóni og lindum við Bjarg og Helgavog til greininga á næringarefnum (köfnunarefni (N) og fosfór (P)). Niðurstöður eru sýndar í töflu 15. Niðurstöður sams konar sýnatöku og efnagreininga á næringarefnum haustin 2017, 2019, 2020 og 2021 sýndu að styrkur þeirra mældist hæstur í lind neðan við Bjarg (Finnbogi Óskarsson o.fl., 2019; 2021; Albert Þorbergsson o.fl., 2020; Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2017). Núverandi niðurstöður eru bornar saman við niðurstöður frá öðrum stöðum frá árunum 2017 og 2020 á mynd 90.

LUD-11, AE-10 og Skiljustöð hafa lágt heildar-N og heildar-P miðað við aðra sýnatökustaði. AE-10 hefur hæstan styrk ammóníaks (0,034 mg/L) af öllum sýnatökustöðum (Bjarg og Grjótagjá eru næsthæst við ~0,025 mg/L). Styrkur nítrats er mjög hár á Bjargi (3,50 mg/L) en Helgavogur næst (0,664 mg/L). Athuga skal að íslensk mörk eru 50 mg/L.

Heildar-P var mælt á tvo vegu (litrófsgreiningu og ICP-MS) og ber vel saman. Magn fosfats í sýnum þessa árs er svipað og á nálægum sýnatökustöðum, nema á Bjargi. Styrkur er svipaður og mælist dæmigert í ám og grunnvatni á Íslandi (Eydís S. Eiríksdóttir og Svava B. Þorláksdóttir, 2021). Styrkur nítrats, nítríts, heildar-N, fosfats og heildar-P er hæstur á Bjargi.

Tafla 15. Niðurstöður efnagreininga á næringarefnum í sýnum úr Mývatnssveit (mg/L).

Staður	Sýni	Nítrat-N (NO <sub>3</sub> -N)	Nítrít-N (NO <sub>2</sub> -N)	Ammoníak-N (NH <sub>3</sub> -N)	Heildar -N	Fosfat-P (PO <sub>4</sub> -P)	Heildar-P Litrófs.	Heildar-P ICP-MS
Skiljustöð	20220289	0,053	<0,001	0,005	0,042	0,080	<0,003	<0,001
AE-10	20220290	0,014	0,0013	0,034	0,062	0,015	<0,003	0,00383
Hlíðardalslækur	20220256	<0,009	0,0011	<0,004	0,079	0,043	0,020	0,0159
LUD-11	20220264	0,033	0,002	<0,004	0,036	0,015	0,005	0,00776
Bjarnarflagslón	20220280	0,015	<0,001	<0,004	0,12	0,092	0,026	0,0017
Bjarg	20220288	3,50	0,0016	0,004	0,82	0,239	0,072	0,0721
Helgavogur	20220254	0,664	<0,001	<0,004	0,18	0,052	0,032	0,0348



\*Sýni tekin árið 2020 \*\*Sýni tekin árið 2017

**Mynd 90.** Styrkur köfnunarefnis og fosfórs í sýnum úr Mývatnssveit.

### 5.1.2 Ferilefni í sýnum úr Mývatnssveit

Að beiðni Landsvirkjunar var sýnum safnað á völdum stöðum til greininga á naftalensúlfónat-efnum sem notuð hafa verið sem ferilefni í ferilprófunum bæði í Kröflu (holur K-26, K-39 og IDDP-1; sjá Gadalia o.fl., 2016) og við Jarðböðin (hola LUD-12; sjá Magnús Ólafsson o.fl., 2020). Umbeðnar greiningar tengjast annars vegar áður nefndu ferilprófi við Jarðböðin (sýni úr Bjarnarflagslóni og lindum við Mývatn) og hins vegar áætlunum um ferilprófun á Kröflusvæðinu (sýni úr skiljustöð í Kröflu og völdum borholum).

Sýnin voru greind á vökvaskilju á rannsóknarstofu ÍSOR og niðurstöður eru skráðar í töflu 16.

Leifar ferilefnanna þriggja (2,6-NDS, 2,7-NDS, 2-NS) sem notuð voru í Kröflu árin 2013 og 2016 sjást í vatni úr skiljustöðinni í Kröflu og telja má líklegt að þau megi einnig finna í skiljuvatni úr sumum vinnsluholnanna. Hins vegar mælist ekkert ferilefni í neinni grunnvatnsholnanna.

Leifar ferilefnisins (2,7-NDS) sem sett var niður í holu LUD-12 við Jarðböðin árið 2017 mælast ekki lengur í vatni úr Grjótagjá, Vogagjá og Langavogi. Engin ferilefni mælast í öðrum lindum og gjám við Mývatn né í Bjarnarflagslóni. Lítill styrkur 2-NS mælist þó í Grjótagjá og Vogagjá en á engum öðrum sýnatökustað.

**Tafla 16.** Niðurstöður greininga á ferilefnum í sýnum úr Mývatnssveit ( $\mu\text{g/L}$ ).

Staður	Sýni	2,6-NDS	2,7-NDS	2-NS
Skiljustöð	20220289	<0,1	<0,1	0,13
Hlíðardalslækur	20220256	<0,1	<0,1	<0,1
AB-02	20220255	<0,05	<0,05	<0,05
AE-10	20220290	<0,05	<0,05	<0,05
LUD-2	20220262	<0,05	<0,05	<0,05
LUD-3	20220259	<0,05	<0,05	<0,05
LUD-4	20220252	<0,05	<0,05	<0,05
LUD-5	20220279	<0,05	<0,05	<0,05
LUD-6	20220286	<0,05	<0,05	<0,05
LUD-11	20220264	<0,05	<0,05	<0,05
Bjarnarflagslón	20220280	<0,1	<0,1	<0,1
Bjarg	20220288	<0,05	<0,05	<0,05
Garðslind	20220287	<0,05	<0,05	<0,05
Grjótagjá	20220260	<0,05	<0,05	0,09
Helgavogur	20220254	<0,05	<0,05	<0,05
Hverfjallsgjá	20220266	<0,05	<0,05	<0,05
Langivogur	20220265	<0,05	<0,05	<0,05
Stóragjá	20220253	<0,05	<0,05	<0,05
Vogaflói	20220263	<0,05	<0,05	<0,05
Vogagjá	20220261	<0,05	<0,05	0,10

## 5.2 Þeistareykir og Kelduhverfi

Í starfsleyfi Þeistareykjavirkjunar eru gerðar kröfur um eftirlit og vöktun með jarðhitakerfinu og grunnvatni á svæðinu. Einn liður í vöktuninni er að fylgjast með efnasamsetningu grunnvatns á Þeistareykjum og í grunnvatnsstraumnum sem þaðan rennur til sjávar í Öxarfirði, gegnum Kelduhverfi. Forsendur vöktunar grunnvatnsins voru raktar í vöktunarskýrslu fyrir árið 2012 (Sigurður G. Kristinsson o.fl., 2013b) og er hér vísað til rökstuðnings þar, t.d. um val á vöktunarstöðum.

Haustið 2022 fór sýnataka á Þeistareykjum og Kelduhverfi fram í lok september. Fimm sýnum var safnað á Þeistareykjum og fimm í Kelduhverfi. Yfirlit um sýnatökustaðina er gefið í töflu 17 og þeir eru einnig sýndir á mynd 91.

Í Kelduhverfi er sýnum safnað úr köldum og volgum lindum og á Þeistareykjum hafa sérstakar holur verið boraðar fyrir grunnvatnseftirlit. Einnig er sýnum safnað úr vatnsbóli Þeistareykja vestan undir Ketilfjalli en sýnataka úr uppsprettu við sæluhús hefur verið aflögð. Vegna mikillar vatnshæðar í lóninu tókst ekki að taka sýni úr sementsholunni við Lón. Þess í stað var tekið sýni úr sprungu í jörðu þar sem kaldavatnslindin kemur út (mynd 92).

Djúpdælur eru í vöktunarholum á Þeistareykjum og í töflu 17 er einnig yfirlit um þær og hve miklu var dælt úr hverri holu við sýnatöku haustið 2022. Hóla ÞR-9 er vatnstökuhóla fyrir Þeistareykjavirkjun og var í stöðugri dælingu á þeim tíma sem sýni var tekið, líkt og verið hefur undanfarin ár.

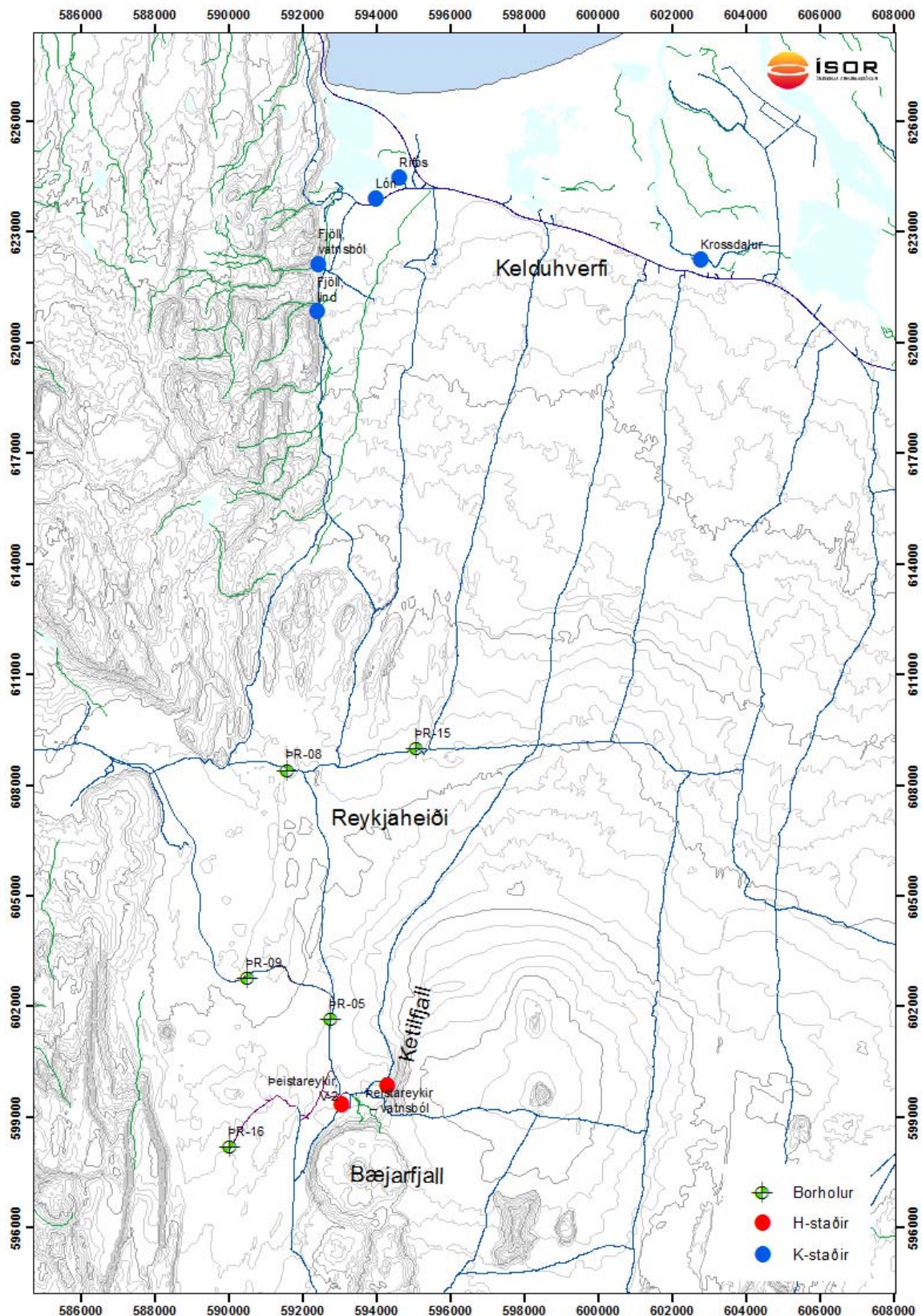
**Tafla 17.** Vöktunarstaðir og yfirlit um dælt magn úr vöktunarholum á Þeistareykjum og í Kelduhverfi 2022.

Staður	Staðarnr.	Sýni nr.	Dagsetning	Hitastig (°C)	Magn (L)	Rennsli (L/s)
ÞR – vatnsból	M-20409	20220285	29.9.2022	18,4		
ÞR-8	B-60368	20220282	29.9.2022	2,1	3192	0,56
ÞR-9	B-60369	20220283	29.9.2022	9,5		
ÞR-15	B-60376	20220281	29.9.2022	15,7	1323	0,35
ÞR-16	B-60377	20220284	29.9.2022	4,5	1132	0,23
Fjöll – vatnsból	K-568	20220275	28.9.2022	2,7		
Fjöll – lind	K-2742	20220274	28.9.2022	2,6		
Rifós	K-2743	20220277	28.9.2022	10,1		
Lón	K-2744	20220276	28.9.2022	4,4		
Krossdalur	K-2745	20220278	28.9.2022	5,4		

Niðurstöður efnagreininga úr Kelduhverfi og Þeistareykjum eru sýndar í töflum 18 og 19. Á mynd 93 eru sýndar niðurstöður fyrir styrk arsens og áls fyrir vöktunarstaði í Kelduhverfi og á mynd 95 eru sýndar niðurstöður fyrir mælingar á styrk kopars, sínks, kadmíums, blýs, króms og nikkels fyrir þessa sömu vöktunarstaði. Niðurstöður flestra mælinga á vöktunarstöðum í Kelduhverfi fyrir 2010 eru fengnar frá Háskólanum á Akureyri (Hrefna Kristmannsdóttir, 2010). Uppgefin umhverfismörk í reglugerðum eru skráð í töflu 12 og sýnd á myndunum.

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

Niðurstöður mælinga á arseni og áli í Kelduhverfi (mynd 93) sýna engar marktækar breytingar milli árána 2021 og 2022. Þrátt fyrir svolitla hækkun arsen styrks við Rifós eru allar niðurstöður vel innan umhverfismarka I (0,4 µg/L) og fyrir ál eru allar niðurstöður langt undir hámarksgildi fyrir neysluvatn (200 µg/L).



**Mynd 91.** Sýnatökustaðir í Kelduhverfi og á Þeistareykjum. Borholur eru sýndar grænar með krossi. Volgar lindir eru rauðar og kaldar lindir bláar. Haustið 2022 var sýnum safnað á fimm stöðum á Þeistareykjum og fimm í Kelduhverfi.





**Mynd 92.** *Sementshola við Lón þar sem að jafnaði eru tekin vatnssýni (t.v.). Vatnssýni ársins var tekið úr einni sprungunni í jörðu þar sem kaldavatnslindin kemur út (t.h.).*

Niðurstöður greininga á styrk kopars, síns, kadmíums, blýs, króms og nikkels eru sýndar á mynd 95. Fyrir alla þessa málma (mynd 95) falla niðurstöður efnagreininga undanfarin ár innan umhverfismarkna I. Styrkur kopar er við umhverfismörk I við Krossdal, Rifós og Lón. Haustið 2019 mældist styrkur króms og nikkels óvenjulega hár í sýninu frá Lóni en svo hefur ekki verið síðan 2020.

Mynd 94 sýna styrk arsens og áls í sýnum frá Þeistareykjum. Styrkur arsens mælist langt innan umhverfismarkna I ( $0,4 \mu\text{g/L}$ ) og breytist ekkert milli ára. Sama má í raun segja um styrk áls, hann mælist langt innan viðmiðunarmarkna fyrir neysluvatn ( $200 \mu\text{g/L}$ ) og breytist ekki mikið milli ára.

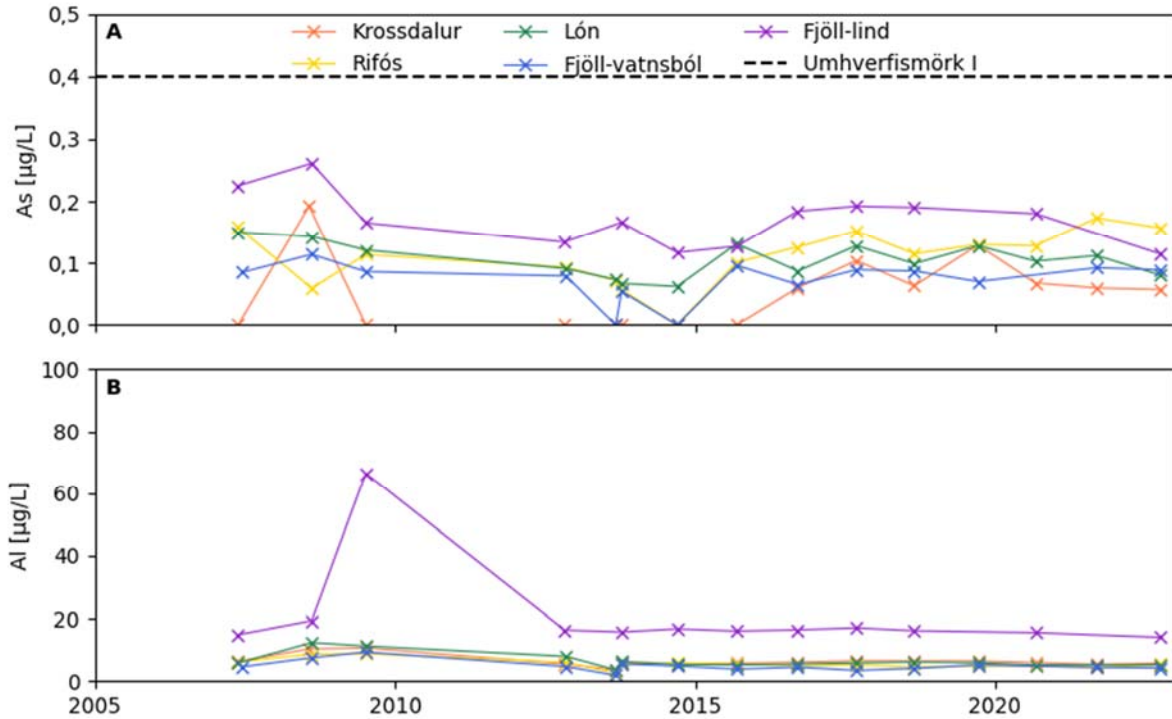
Styrkur kopars (mynd 96A) mælist um og rétt yfir umhverfismörkum I ( $0,5 \mu\text{g/L}$ ) og breytist lítið milli ára. Sama máli gegnir um sínk (mynd 96B), nema í vatnsbólunni þar sem styrkurinn er rétt yfir umhverfismörkum I ( $5,0 \mu\text{g/L}$ ) árið 2021. Styrkur kadmíums (mynd 96C) mælist að venju innan umhverfismarkna I ( $0,01 \mu\text{g/L}$ ) og greiningarmarkna og hefur ekki breyst milli ára. Sama máli gegnir um styrk blýs (mynd 96D) þar sem styrkur er á öllum stöðum innan umhverfismarkna I ( $0,2 \mu\text{g/L}$ ). Styrkur króms (mynd 96E) hjá flestum mælist við eða rétt ofan umhverfismarkna I ( $0,3 \mu\text{g/L}$ ) en styrkurinn sem mældist í ÞR-9 árið 2021 var rétt yfir umhverfismörkum II ( $5,0 \mu\text{g/L}$ ). Styrkur nikkels (mynd 96F) mælist alls staðar innan umhverfismarkna I ( $0,7 \mu\text{g/L}$ ) þó að hann hafi hækkað í ÞR-9 á þessu ári. Frávik frá þessari meginreglu hafa aðeins komið fram í sýnum í vatnsbóli Þeistareykjaskála, sem er volgt gufuhitað vatn, en þar hafa ekki verið tekin sýni síðan 2018.

Tafla 18. Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum á Þeistareykjum 2022. Styrkur efna er í mg/L.

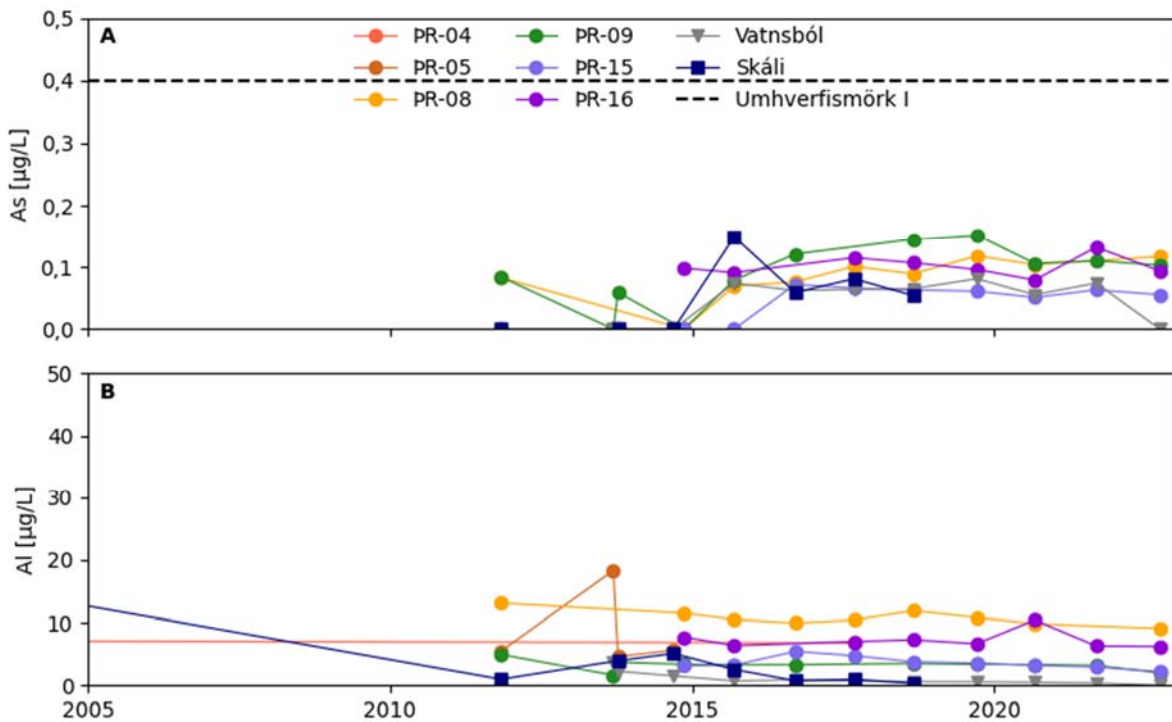
Staðarnafn	Vatnsból	ÞR-8	ÞR-9	ÞR-15	ÞR-16
Staður	M-20409	B-60368	B-60369	B-60376	B-60377
Dagsetning	2022-09-29	2022-09-29	2022-09-29	2022-09-29	2022-09-29
Sýnanúmer	20220285	20220282	20220283	20220281	20220284
Hitastig (°C)	18,4	2,1	9,5	15,7	4,5
Sýrustig (pH/°C) - ÍSOR	6,44 / 18,4	8,61 / 21,6	8,42 / 21,7	8,03 / 21,5	8,75 / 19,7
Sýrustig (pH/°C) - Felt	6,34 / 18,4	8,63 / 2,1	8,34 / 9,5	7,86 / 15,7	8,64 / 4,5
Leiðni við 25°C (µS/cm)	256	69,4	118	174	93,2
Karbonsat (CO <sub>2</sub> )	163,1	20,4	36,2	54,5	32,4
Brennisteinsvetni (H <sub>2</sub> S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	<0,004	<0,004	0,00445	0,0155	<0,004
Kísill (SiO <sub>2</sub> )	54,2	16,8	21,8	36,6	21,7
Natríum (Na)	16,1	7,25	10,7	14,7	9,17
Kalíum (K)	2,07	0,593	1,11	1,28	1,24
Magnesíum (Mg)	7,96	1,90	3,63	4,60	3,64
Kalsíum (Ca)	24,6	3,67	7,65	13,5	4,43
Flúoríð (F)	0,035	0,036	0,091	0,075	0,082
Klóríð (Cl)	5,04	6,54	5,70	7,77	5,07
Brómíð (Br)	<0,01	0,014	0,012	0,017	0,011
Súlfat (SO <sub>4</sub> )	10,9	2,17	10,6	16,8	2,28
Brennisteini (S)	3,97	0,658	3,59	5,79	0,704
Ál (Al)	<0,0002	0,00908	0,00199	0,00219	0,0062
Arsen (As)	<0,00005	0,000117	0,000103	0,0000554	0,0000937
Baríum (Ba)	0,00101	0,0000471	0,0000704	0,00022	0,000142
Kadmíum (Cd)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	0,0000101	<0,000005	0,0000597	<0,000005	0,0000058
Króm (Cr)	0,0000983	0,000316	0,000488	0,000387	0,000619
Kopar (Cu)	<0,0001	0,000189	0,000721	0,000509	0,000356
Járn (Fe)	0,00747	0,00134	0,239	0,0019	0,00271
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Lítíum (Li)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Mangan (Mn)	0,00206	0,0000685	0,0169	0,000699	0,00102
Mólybden (Mo)	0,000104	0,0000966	0,000218	0,000234	0,000161
Nikkel (Ni)	0,000129	0,0000732	0,000607	0,000132	<0,00005
Blý (Pb)	<0,00001	<0,00001	0,000014	<0,00001	<0,00001
Strontíum (Sr)	0,027	0,00507	0,0079	0,0158	0,00469
Títan (Ti)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Vanadíum (V)	0,01	0,0119	0,0294	0,0164	0,0333
Sink (Zn)	0,00155	0,00042	0,00149	0,00107	0,000704
Uppleyst steinefni (UE)	210	72,0	100	90,0	90,0
δD (‰ SMOW)	-71,4	-72,1	-80,2	-74,9	-82,6
δ <sup>18</sup> O (‰ SMOW)	-10,22	-10,63	-11,55	-10,57	-11,77

Tafla 19. Niðurstöður efnagreininga á vöktunarstöðum í Kelduhverfi 2022. Styrkur efna er í mg/L.

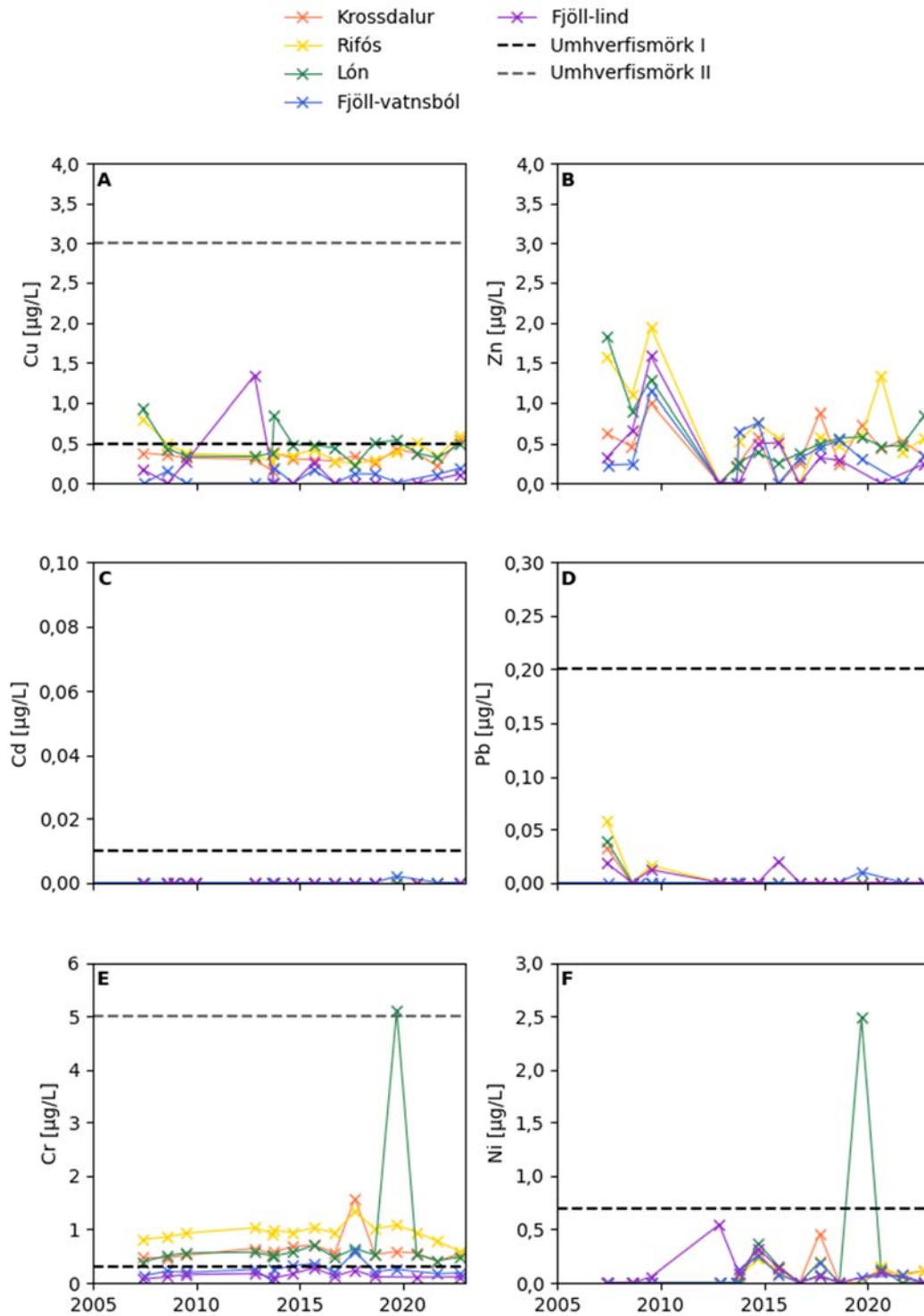
Staðarnafn	Fjöll, vatnsból	Fjöll, lind	Rífós	Lón	Krossdalur
Staður	K-568	K-2742	K-2743	K-2744	K-2745
Dagsetning	2022-09-28	2022-09-28	2022-09-28	2022-09-28	2022-09-28
Sýnanúmer	20220275	20220274	20220277	20220276	20220278
Hitastig (°C)	2,7	2,6	10,1	4,4	5,4
Sýrustig (pH/°C) - ÍSOR	8,98 / 21,9	9,59 / 21,5	7,98 / 22,6	7,90 / 22,8	8,54 / 20,7
Sýrustig (pH/°C) - Felt	9,00 / 2,7	9,57 / 2,6	8,11 / 10,1	7,92 / 4,4	8,53 / 3,4
Leiðni við 25°C (µS/cm)	97,2	95,7	149	92,0	103
Karbónat (CO <sub>2</sub> )	23,5	16,7	39,5	26,3	27,5
Brennisteinsvetni (H <sub>2</sub> S)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Bór (B)	0,00437	0,00806	0,0127	0,00636	<0,004
Kísill (SiO <sub>2</sub> )	11,8	9,52	30,4	20,5	21,3
Natríum (Na)	12,3	16,2	16,4	9,09	9,69
Kalíum (K)	0,135	0,0636	1,49	0,952	0,896
Magnesíum (Mg)	0,425	0,0525	3,80	2,84	2,89
Kalsíum (Ca)	7,27	2,83	7,07	4,77	6,17
Flúoríð (F)	0,023	0,037	0,088	0,057	0,095
Klóríð (Cl)	9,23	7,25	11,5	7,23	8,43
Brómíð (Br)	0,017	0,016	0,025	0,015	0,018
Súlfat (SO <sub>4</sub> )	3,03	4,21	9,86	3,21	4,51
Brennisteini (S)	1,03	1,45	3,34	1,05	1,50
Ál (Al)	0,00423	0,014	0,00524	0,00522	0,00572
Arsen (As)	0,000089	0,000115	0,000157	0,0000807	0,000057
Baríum (Ba)	0,0000269	0,0000295	0,000132	0,000103	0,000146
Kadmíum (Cd)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Kóbalt (Co)	<0,000005	<0,000005	0,0000579	0,00000631	0,0000124
Króm (Cr)	0,000187	0,00011	0,000594	0,000485	0,000548
Kopar (Cu)	<0,0001	0,000115	0,000305	0,000321	0,000421
Járn (Fe)	<0,004	0,00103	0,000411	<0,004	0,00464
Kvikasilfur (Hg)	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002	<0,000002
Lítíum (Li)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Mangan (Mn)	<0,00003	0,0000895	0,0000314	0,0000431	0,000992
Mólybden (Mo)	0,0000633	0,000165	0,00025	0,000195	0,000162
Nikkel (Ni)	<0,00005	<0,00005	0,000114	<0,00005	0,000114
Blý (Pb)	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001	<0,00001
Strontíum (Sr)	<0,002	<0,002	0,0114	0,00608	0,00843
Títan (Ti)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Vanadíum (V)	0,00762	0,0116	0,033	0,0225	0,0296
Sink (Zn)	0,000347	0,00024	0,000558	0,000844	0,000341
Uppleyst steinefni (UE)	40,0	30,0	80,0	30,0	50,0
δD (‰ SMOW)	-70,7	-70,2	-78,6	-75,5	-74,4
δ <sup>18</sup> O (‰ SMOW)	-10,00	-10,1	-11,23	-10,95	-10,83



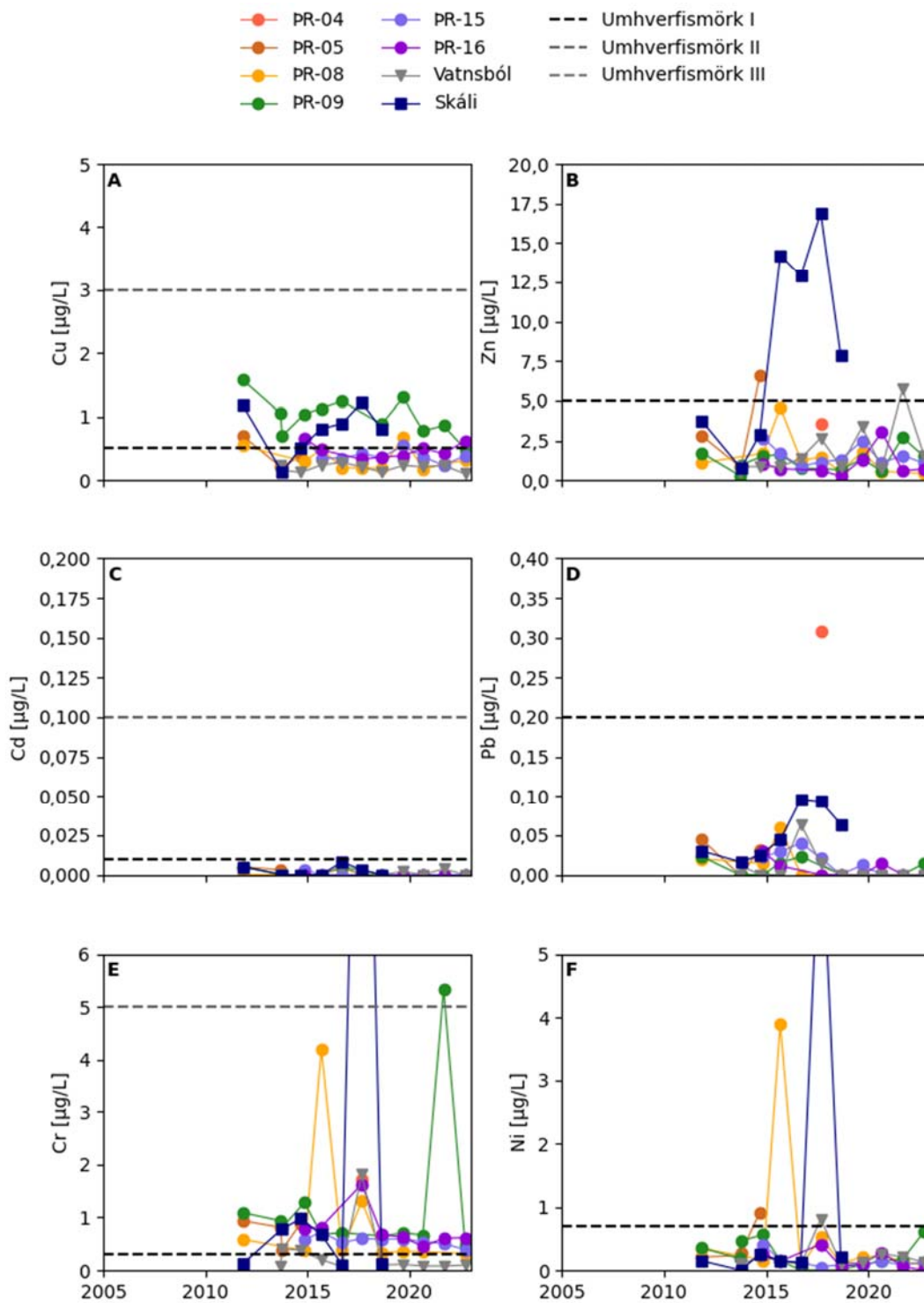
**Mynd 93.** Styrkur arsens (A) og áls (B) í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I. Viðmiðunarmörk fyrir neysluvatn (200 µg/L) falla utan kvarða myndar (B).



**Mynd 94.** Styrkur arsens (A) og áls (B) í vatni úr holum og lindum á Peistareykjum ásamt umhverfismörkum I. Viðmiðunarmörk fyrir neysluvatn (200 µg/L) falla utan kvarða myndar (B).



**Mynd 95.** Styrkur kopars (A), síns (B), kadmíums (C), blýs (D), króms (E) og nikkels (F) í vatni úr lindum í Kelduhverfi ásamt umhverfismörkum I og II.



**Mynd 96.** Styrkur kopars (A), sínks (B), kadmíums (C), blýs (D), króms (E) og nikkels (F) í vatni úr holum og lindum á Þeistareykjum ásamt umhverfismörkum I, II og III.

### 5.2.1 Ferilefni í sýnum frá Þeistareykjum og Kelduhverfi

Að beiðni Landsvirkjunar var sýnum safnað á völdum stöðum til greininga á þeim tveimur ferilefnum sem sett voru ofan í niðurdælingarholur á Þeistareykjum í júní 2020. Um er að ræða 2,6-naftalendisúlfónat (2,6-NDS) og 2,7-naftalendisúlfónat (2,7-NDS). Einnig var skoðað hvort niðurbrotsefnið 2-naftalensúlfónat (2-NS) fyndist í sýnunum.

Öll sýni úr Þeistareykjum og Kelduhverfi voru greind á vökvaskilju á rannsóknarstofu ÍSOR og niðurstöður eru skráðar í töflu 20. Því er skemmst frá að segja að ekkert ferilefnanna greindist í þeim sýnum sem skoðuð voru.

Tafla 20. Niðurstöður greininga á ferilefnum í sýnum frá Þeistareykjum og Kelduhverfi ( $\mu\text{g/L}$ ).

Staður	Sýni	2,6-NDS	2,7-NDS	2-NS
Fjöll, lind	20220274	<0,05	<0,05	<0,05
Fjöll, vatnsból	20220275	<0,05	<0,05	<0,05
Krossdalur	20220278	<0,05	<0,05	<0,05
Lón	20220276	<0,05	<0,05	<0,05
Rifós	20220277	<0,05	<0,05	<0,05
ÞR-8	20220282	<0,05	<0,05	<0,05
ÞR-9	20220283	<0,05	<0,05	<0,05
ÞR-15	20220281	<0,05	<0,05	<0,05
ÞR-16	20220284	<0,05	<0,05	<0,05
Vatnsból	20220285	<0,05	<0,05	<0,05

### 5.3 Vísar og sjálfbærni

Landsvirkjun vinnur að sjálfbærni verkefni fyrir Norðausturland þar sem skilgreindir hafa verið vísar til vöktunar á sviði samfélags, umhverfis og efnahags.

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

#### Mývatnssveit

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

#### Þeistareykir og Kelduhverfi

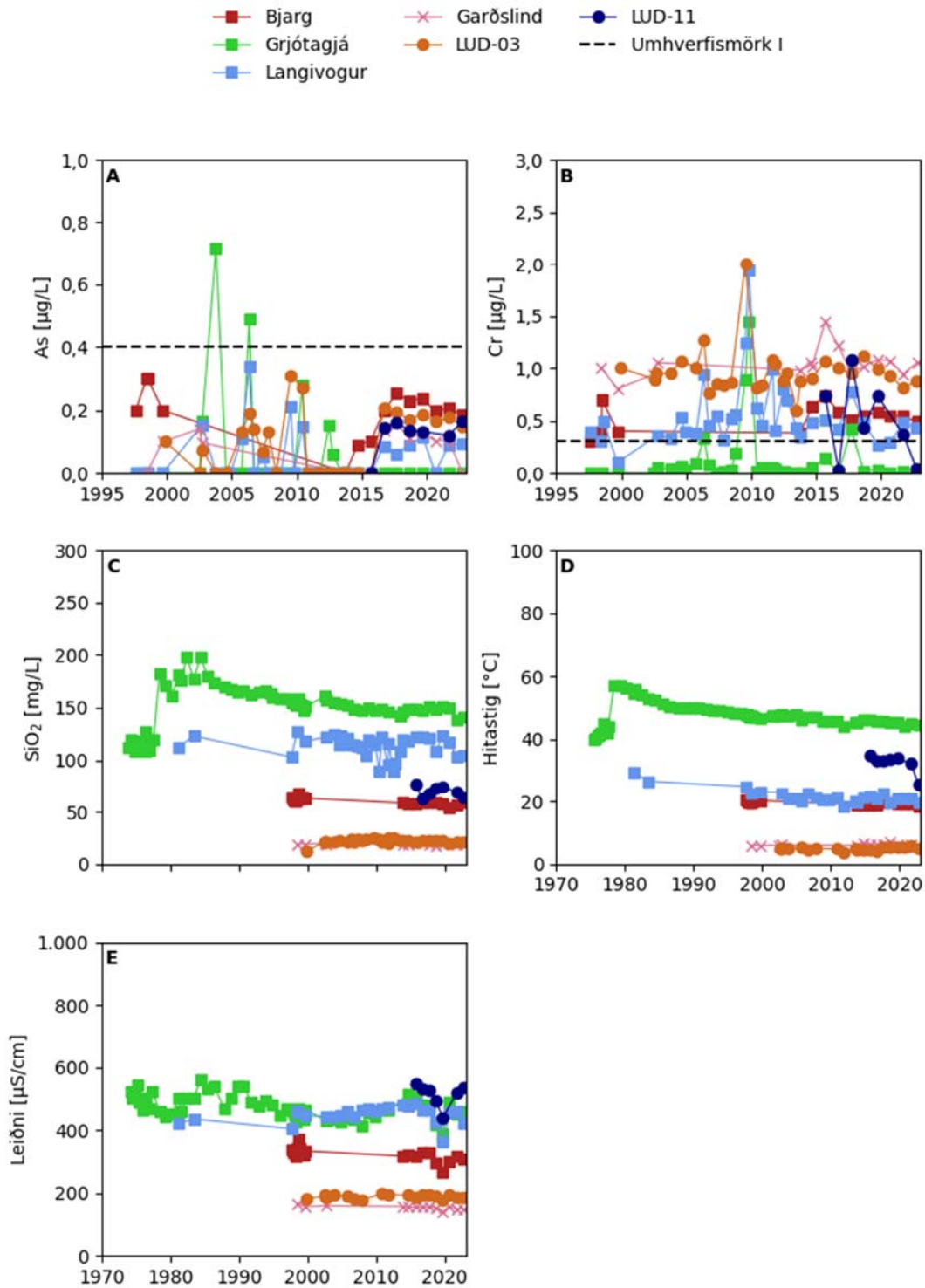
- Vatnsból við Ketilfjall
- ÞR-9 – borhola á vatnstökusvæði virkjunar
- ÞR-15 – borhola á „Reykjaheiði“
- ÞR-16 – borhola
- Fjöll – vatnsból bæjarins
- Rifós – lind við seiðastöð

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

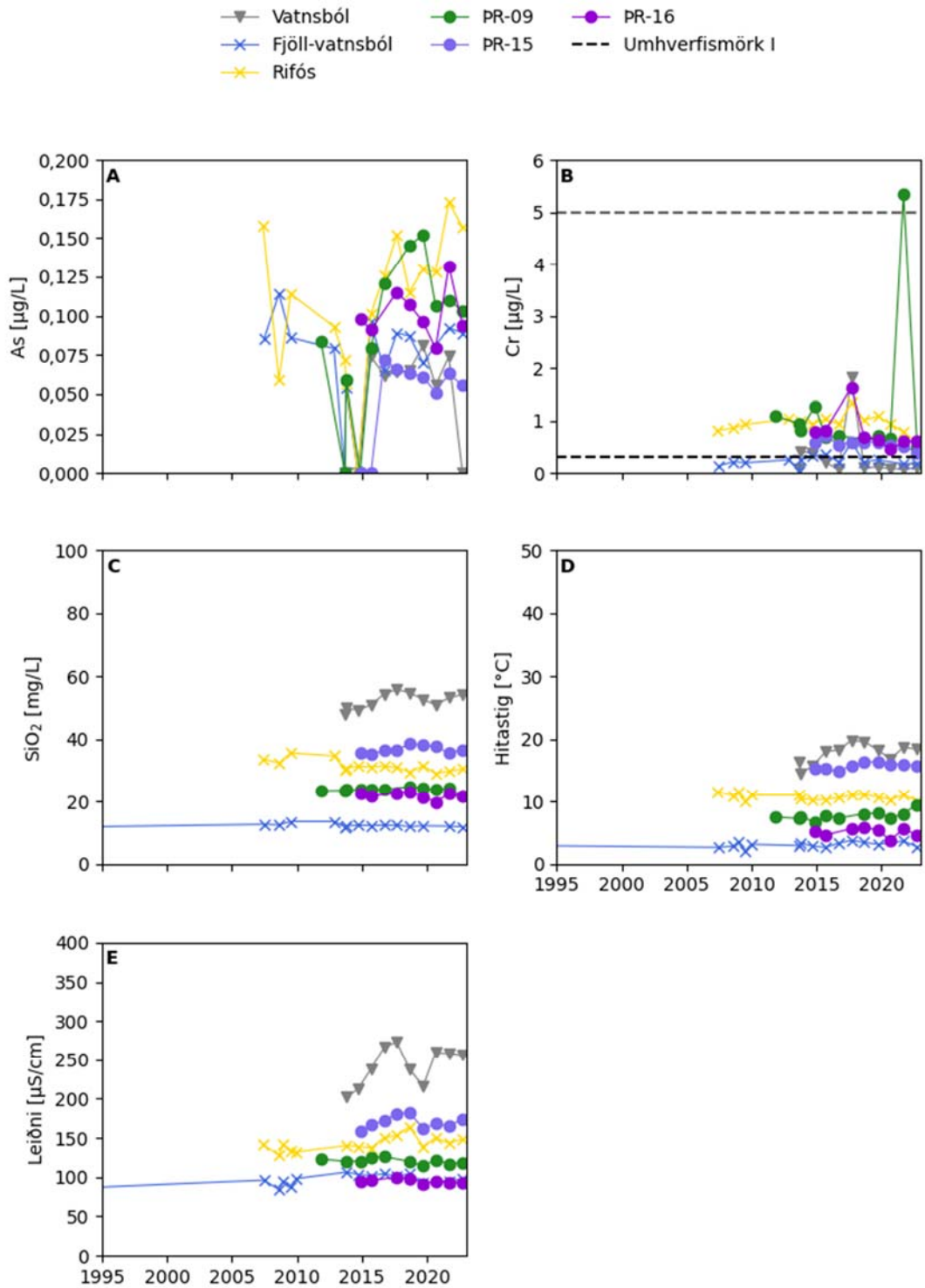
Styrkur arsens (As)  
Styrkur króms (Cr)  
Styrkur kísils (SiO<sub>2</sub>)  
Mælt hitastig  
Rafleiðni vatnsins

Niðurstöður mælinga og efnagreininga fyrir þá staði sem voru valdir eru sýndar á myndum 97 og 98. Árið 2019 voru rafleiðnigildi gegnumgangandi lægri en í fyrri mælingum en leiðnigildi frá 2020 eru í takti við leiðnimælingar fyrri ára. Ástæðan fyrir þessu fráviki 2019 var að leiðnirafskautið virðist hafa skemmst, sennilega vegna kísilútfellinga.





**Mynd 97.** Styrkur arsens (A), króms (B), kísils (C), hitastig (D) og rafleiðni (E) á völdum stöðum í Mývatnssveit.



**Mynd 98.** Styrkur arsens (A), króms (B), kísils (C), hitastig (D) og rafleiðni (E) á völdum stöðum í Kelduhverfi og á Þeistareykjum.

## 5.4 Helstu niðurstöður grunnvatnssýnatöku

### 5.4.1 Mývatnssveit

Á árinu 2022 fór sýnataka á grunnvatni fram í september og var vatni til efnagreininga safnað á 20 vöktunarstöðum. Að ósk Landsvirkjunar voru sýni ekki tekin úr holu LUD-10.

Nokkrar breytingar eru á styrk arsens milli áráanna 2021 og 2022. Í Bjarnarflagslóni jókst styrkur arsens lítillega í 163 µg/L sem er yfir umhverfismörkum IV en lægri en árið 2020. Í vatni frá skiljustöðinni í Kröflu hefur styrkurinn lækkað í 7,55 µg/L sem er mun lægra en undanfarin ár en samt yfir umhverfismörkum III sem eru 15 µg/L. Styrkurinn jókst hins vegar í 13,7 µg/L við Hlíðardalslæk og er yfir neysluvatnsmörkum. Í LUD-4 er styrkur arsens innan umhverfismarkna II og hefur verið lægri en 4 µg/L frá árinu 2019. Styrkur arsens í vöktunarholum, öðrum en LUD-4, og heitum og köldum lindum og gjám í Mývatnssveit fellur í öllum tilfellum nálægt eða innan umhverfismarkna I ( $\leq 0,4$  µg/L). Styrkur arsens mælist innan greiningarmarkna í Grjótagjá, Vogagjá og Langavogi.

Styrkur áls í Bjarnarflagslóni (1530 µg/L) og LUD-4 (501 µg/L) jókst á milli áráanna 2021 og 2022. Styrkur áls var svipaður 2021 og 2022 í vatni frá skiljustöðinni í Kröflu (1600 µg/L) og Hlíðardalslæk (271 µg/L). Vatn úr öllum vöktunarholum, lindum og gjám er undir hámarksgildi fyrir neysluvatn (200 µg/L). Styrkur áls hefur hækkað á þremur vöktunarstöðum, Grjótagjá, Vogagjá og Langavogi, og ber að fylgjast með þeirri framvindu. Líklegt má telja að þar sé á ferðinni skiljuvatn úr Bjarnarflagi, eins og fram kom í ferilprófun á affallsvatni árin 2017–2020 (Magnús Ólafsson o.fl., 2020).

Líkt og í umhverfisvöktunarskýrslum undanfarinna ára eru sýndar myndir með niðurstöðum efnagreininga fyrir kopar, sínk, kadmíum, blý, króm og nikkell en þessi efni auk arsens eru sérstaklega tilgreind í reglugerð um varnir gegn mengun vatns frá 1999. Heilt yfir er styrkur þessara efna lágur og oft nærri greiningarmörkum efnagreiningaraðferðanna. Þó má sjá að styrkur nikkels hefur hækkað upp að umhverfismörkum I (0,7 µg/L) í Hlíðardalslæk.

### 5.4.2 Þeistareykir og Kelduhverfi

Grunnvatn á Þeistareykjum og í Kelduhverfi er vaktað á sama hátt og í Mývatnssveit. Djúpdælur eru í eftirlits- og vinnsluholum. Sýnataka fór fram í september 2022 og voru sýni tekin á fimm stöðum á Þeistareykjum og fimm stöðum í Kelduhverfi. Að ósk Landsvirkjunar var sýnatöku úr vatnsbóli við Þeistareykjaskála sleppt.

Styrkur arsens er á öllum vöktunarstöðum innan við umhverfismörk I ( $\leq 0,4$  µg/L) og styrkur áls er innan við hámarksgildi fyrir neysluvatn (200 µg/L). Líkt og fyrir vöktunarstaði í Mývatnssveit eru sýndar myndir með niðurstöðum efnagreininga fyrir kopar, sínk, kadmíum, blý, króm og nikkell en þessi efni auk arsens eru sérstaklega tilgreind í reglugerð um varnir gegn mengun vatns frá 1999. Heilt yfir er styrkur þessara efna almennt lágur og oft nærri greiningarmörkum efnagreiningaraðferðanna, sem endurspeglast að einhverju leyti í óreglugum sveiflum í styrk efnanna.

## 6 Heimildaskrá

- Albert Þorbergsson, Gunnlaugur M. Einarsson, Auður Agla Óladóttir, Deirdre Clark, Heimir Ingimarsson og Finnbogi Óskarsson (2020). *Háhitavæðin á Þeistareykjum, í Kröflu og Námafjalli. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2020*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2020/053, Landsvirkjun, LV-2020-055, 88 bls.
- Ármannsson, H., Fridriksson, Th., Wiese, F., Hernández, P., and Pérez N. (2007). CO2 budget of the Krafla geothermal system, NE-Iceland. *Proceedings of the 12th International Symposium on WaterRock Interaction 2007*, Taylor & Francis Group, London, 189–192.
- Ármannsson, H., Kristmannsdóttir, H., Torfason, H. and Ólafsson, M. (2000). Natural changes in unexploited high-temperature geothermal areas in Iceland. *Proc. World Geothermal Congress 2000 Kyushu – Tohoku, Japan*, 28. maí til 10. júní, 521–526.
- Branson, E. (1993). Environmental Aspects of Aquaculture. Í *Aquaculture for Veterinarians, Fish Husbandry and Medicine*. (Ed. Lydia Brown).
- Cardellini C., Chiodini G. og Frondini F. (2003) Application of stochastic simulation to CO2 diffuse degassing and estimation of heat release from volcanic and hydrothermal systems. *J. geophys. Res.*, 110. B08204, doi: 10.1029/2004JB003542
- Chiodini, G.D., Granieri, R. Avino, S., Caliro, A. C. og Werner, C. (2005). Carbon dioxidediffuse degassing and estimation of heat release from volcanic and hydrothermal systems. *J. Geophys. Res.*, 110, B08204, doi: 10.1029/2004JB003542
- Craig, H. (1961). Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, 1072–1703.
- Darling, W.G. og Ármannsson, H. (1989). Stable Isotopic Aspects of Fluid Flow in the Krafla, Námafjall and Theistareykir Geothermal Systems of Northeast Iceland. *Chem. Geol.*, 1989, 76, 197–213.
- Eydís S. Eiríksdóttir og Svava B. Þorlákssdóttir (2021). *Efnasamsetning, rennsli og aurburður vaktæðra straumvatna á Suðurlandi. Niðurstöður ársins 2020*. Hafrannsóknir, HV 2021-33.
- Favara, R. Grassa, F., Inguaggiato, S. og Valenza, M. (2001). Hydrogeochemistry and stableisotopes of thermal springs: earthquake-related chemical changes along the Belice Fault(Western Sicily). *Appl. Geochem.* 16, 1–17.
- Finnbogi Óskarsson (2012). *Niðurstöður efnagreininga á sýnum úr holum B-13 og B-14*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-12054.
- Finnbogi Óskarsson (2018). *Grunnvatn í Mývatnssveit. Stöðugar samsætur vatns og uppleystra efna*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2018/067, Landsvirkjun, LV-2018-076, 29 bls.
- Finnbogi Óskarsson (2019). *Þeistareykir. Stöðugar samsætur vetnis og súrefnis í vatni og gufu*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2019/037 (LV-2019-042), 18 s. Unnið fyrir Landsvirkjun.
- Finnbogi Óskarsson og Auður Agla Óladóttir (2020). *Leirhnjúkur. Gasstyrkur í gufu og gasflæði um jarðveg*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð ÍSOR-20041, 14 bls.
- Finnbogi Óskarsson, Deirdre Clark, Heimir Ingimarsson og Auður Agla Óladóttir (2021). *Háhitavæðin á Þeistareykjum, í Kröflu og Námafjalli. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2021*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2021/048 , Landsvirkjun LV-2021-054, 77 bls.

- Finnbogi Óskarsson, Magnús Ólafsson og Sigurður G. Kristinsson (2019). *Háhitavæðin á Þeistareykjum, í Kröflu og Námafjalli. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2019*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2019/077, Landsvirkjun, LV-2019-081, 104 bls.
- Fridriksson, Th., Kristjánsson, B.R., Ármannsson, H., Margrétardóttir, E., Ólafsdóttir, S. og Chiodini, G. (2006). CO<sub>2</sub> emissions and heat flow through soil, and steam heated mud pools at the Reykjanes geothermal area, SW Iceland. *Appl. Geochem.*, 21, 1551–1569
- Gadalia, A., Gylfi Páll Hersir og Finnbogi Óskarsson (2016). *IMAGE – Task 4.5. Tracer test at Krafla high-temperature geothermal field June 21<sup>st</sup> – August 17<sup>th</sup> 2016*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2016/079. 44 bls. + viðaukar.
- Gestur Gíslason, Gunnar Johnsen, Halldór Ármannsson, Helgi Torfason og Knútur Árnason (1984). *Þeistareykir – Yfirborðsrannsóknir á háhitavæðinu*. Orkustofnun, OS-84089/JHD-16. 134 bls. + 3 kort.
- Granieri, D., Chiodini G., Marzocchi W. og Avino, R. (2003) Continuous monitoring of CO<sub>2</sub> 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. Efnifræðileg úttekt*. Samvinnuverkefni Landsvirkjunar og Orkustofnunar. Orkustofnun, OS-93053/JHD-29 B, 30 bls.
- Halldór Ármannsson (2001). *Þeistareykir. Yfirlit um rannsóknir og rannsóknarkostnað*. Orkustofnun OS-2001/035, 24 s.
- 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 Búrfellshrauni og nágrenni. Undirstöður vöktunar vegna affalls frá jarðhitavirkjunum, Kröflu og Námafjalli. Orkustofnun, OS-2002/076, 36 s. Unnið fyrir Landsvirkjun.
- Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2004). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2003*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2004/005, Landsvirkjun, LV-2004/052, 14 bls.
- Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2005). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2004*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2005/006, Landsvirkjun, LV-2005/025, 15 bls.
- Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2006a). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2005*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2006/013, Landsvirkjun, LV-2005/064, 15 bls.
- Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2006b). *Collection of geothermal fluids for chemical analysis*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2006/016, 16 bls.
- Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2007). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2006*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2007/003, Landsvirkjun, LV-2007/007, 14 bls.

- Halldór Ármannsson og Magnús Ólafsson (2012). *Eftirlit með áhrifum af losun affallsvatns frá Kröflustöð og Bjarnarflagsstöð. Vöktun og niðurstöður 2011*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2012/006; Landsvirkjun, LV-2012/021, 17 bls.
- Halldór Ármannsson, 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, Magnús Ólafsson og Mozghan 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, Mozghan 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.
- Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson (2005). *Flokkun jarðhitafyrirbæra á háhitasvæðum*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2005/023, 21 bls.
- Horita, J. og Wesolowski, D. J. (1994). Liquid-vapor fractionation of oxygen and hydrogen isotopes of water from the freezing to the critical temperature. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58, 3425–3437.
- Hrefna Kristmannsdóttir (2010). *Grunnvatnsrannsóknir í Norðurþingi 2007–2009*. Landsvirkjun, LV-2011/074, 50 bls.
- 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 (2009). *Kröflusvæði og Bjarnarflag. Umhverfisvöktun árið 2008*. Landsvirkjun – Kröflustöð, LV-2009/141, 39 bls.
- Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2010). *Kröflusvæði og Bjarnarflag. Umhverfisvöktun árið 2009*. Landsvirkjun – Kröflustöð, LV-2010/110, 39 bls.
- Jón Benjamínsson og Trausti Hauksson (2011). *Kröflusvæði og Bjarnarflag. Umhverfisvöktun 2011*. Landsvirkjun, LV-2011/119, 37 bls.
- Kristján Sæmundsson (2007). *Jarðfræðin á Þeistareykjum*. Íslenskar orkurannsóknir, greinargerð, ÍSOR-07270, 23 bls.
- Magnús Ólafsson og Ásgrímur Guðmundsson (2017). *Vöktunarstaðir í Mývatnssveit, á Þeistareykjum og í Kelduhverfi*. Íslenskar orkurannsóknir, minnisblað, 20. desember 2017.
- Magnús Ólafsson, Gunnar Þorgilsson og Finnbogi Óskarsson (2020). *Ferilpróf frá holu LUD-12 í Mývatnssveit. Könnun á afdrifum affallsvatns frá Jarðböðunum*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2020/017, 39 bls.
- Maryam Khodayar, Sveinbjörn Björnsson, Ragna Karlsdóttir, Kristján Ágústsson og Magnús Ólafsson (2015). *Tectonic control of alteration, gases, resistivity, magnetism and gravity in Þeistareykir area. Implications for Northern Rift Zone and Tjörnes Fracture Zone*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2015/002, Landsvirkjun, LV-2015-039, 59 bls.

- Pope, E. C., Bird, D. K., Arnórsson, S. og Giroud, N. (2016). Hydrogeology of the Krafla geothermal system, northeast Iceland. *Geofluids*, 16, 175-197.
- Reglugerð um neysluvatn nr. 536/2001.
- Reglugerð um varnir gegn mengun vatns nr. 796/1999.
- Sigurður G. Kristinsson, Finnbogi Óskarsson, Auður Agla Óladóttir og Magnús Ólafsson (2015). *Háhitavæðin á Þeistareykjum í Kröflu og Námafjalli. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2015*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2015/059, Landsvirkjun, LV-2015-125, 175 bls.
- Sigurður G. Kristinsson, Finnbogi Óskarsson, Auður Agla Óladóttir og Magnús Ólafsson (2016). *Háhitavæðin í Námafjalli, Kröflu og á Þeistareykjum. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2015*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2016/080, Landsvirkjun, LV-2016-124, 157 bls.
- Sigurður G. Kristinsson, Finnbogi Óskarsson, Auður Agla Óladóttir og Magnús Ólafsson (2017). *Háhitavæðin í Kröflu, Námafjalli og á Þeistareykjum. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2017*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2017/086, Landsvirkjun, LV-2017-123, 178 bls.
- Sigurður G. Kristinsson, Finnbogi Óskarsson, Auður Agla Óladóttir og Magnús Ólafsson (2018). *Háhitavæðin á Þeistareykjum í Kröflu og Námafjalli. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2015*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2018/069, Landsvirkjun, LV-2018-090, 168 bls.
- Sigurður G. Kristinsson, Finnbogi Óskarsson, Auður Agla Óladóttir og Magnús Ólafsson (2019). *Háhitavæðin á Þeistareykjum í Kröflu og Námafjalli. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2019*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2019/077, Landsvirkjun, LV-2019-081, 104 bls.
- Sigurður G. Kristinsson, Finnbogi Óskarsson, Magnús Ólafsson og Auður Agla Óladóttir (2014). *Háhitavæðin í Kröflu, Námafjalli og á Þeistareykjum. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2014*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2014/058, Landsvirkjun, LV-2014-132, 173 bls.
- Sigurður G. Kristinsson, Finnbogi Óskarsson, Magnús Ólafsson, Auður Agla Óladóttir, Hörður H. Tryggvason og Þráinn Friðriksson (2013a). *Háhitavæðin í Námafjalli, Kröflu og á Þeistareykjum. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni árið 2013*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2013/060, Landsvirkjun, LV-2013-132, 160 bls.
- Sigurður G. Kristinsson, Þráinn Friðriksson, Magnús Ólafsson, Sveinborg Hlíf Gunnarsdóttir og Steinþór Níelsson (2013b). *Háhitavæðin á Þeistareykjum, í Kröflu og Námafjalli. Vöktun á yfirborðsvirkni og grunnvatni*. Íslenskar orkurannsóknir, ÍSOR-2013/037, Landsvirkjun, LV-2013-091, 152 bls.
- Stefán Arnórsson, Þráinn Friðriksson og Ingvi Gunnarsson (1998). Gas chemistry of the Krafla geothermal field. Í G. B. Arehart og J. R. Hulston (ritstj.) *Water-Rock Interaction*. Balkema, Rotterdam, 613–616.
- Umhverfisstofnun (2014). *Breytingartillaga að vöktun grunnvatns á Mývatnssvæði*. Bréf dags. 12. júní 2014. Tilvísun: UST20140500178/döhhþ

## Viðauki: Sýnameðhöndlun og efnagreiningaraðferðir

### Gufusýni

**Ósúrt gas (H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, Ar):** Sýnum er safnað yfir lút (50 mL af 10 M NaOH) í lofttæmdar glerflöskur og þau greind með gasskilju. Gasstyrkur er reiknaður út frá þrýstingi sýnis, flatarmáli toppa á rófinu og flatarmáli tilsvareandi toppa fyrir róf af staðalgasi.

**Koldíoxíð (CO<sub>2</sub>):** Sýnum er safnað í lút í lofttæmdar glerflöskur og þau greind með títrun með HCl frá pH 8,2 niður í pH 3,8. Leiðrétt er fyrir styrk CO<sub>2</sub> í blindsýnum og styrk H<sub>2</sub>S.

**Brennisteinsvetni (H<sub>2</sub>S):** Sýnum er safnað í lút í lofttæmdar glerflöskur og þau títruð með kvikasilfursasetati þar sem dithizone í acetoni er notað sem litvísir.

### Vatns- og þéttivatnssýni

**Sýrustig (pH):** Sýrustig er mælt með spennumælingu yfir rafskaut, bæði strax við söfnun og einnig á rannsóknastofu ÍSOR samhliða karbónatgreiningu.

**Karbónat (CO<sub>2</sub>):** Sýnum er safnað á loftþéttar glerflöskur og þau greind með títrun með HCl frá pH 8,2 niður í pH 3,8 og baktítrun með NaOH frá pH 3,8 upp í pH 8,2 eigi síðar en tveimur sólarhringum eftir söfnun. Leiðrétt er fyrir klofnun H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub>O og fleiri daufra sýra.

**Brennisteinsvetni (H<sub>2</sub>S):** Greint strax við söfnun. Títrað með kvikasilfursasetati í basískri lausn með dithizone í acetoni sem litvísi.

**Rafleiðni:** Mæld með spennumælingu, bæði strax við söfnun og á rannsóknastofu ÍSOR. Leiðnigildi við stofuhita eða söfnunarhita eru umreiknuð og gefin upp við 25°C.

**Kísill (SiO<sub>2</sub>), bór (B) og aðalmálmur (Na, K, Mg, Ca):** Sýnin eru síuð (0,2 µm) við söfnun, þau sett á plastflöskur og sýrð (1%) með saltpéturssýru (*suprapur*). Greining með rafgasgreiningum (ICP-OES) á rannsóknastofu ÍSOR.

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

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

**Anjónir (F, Cl, Br, SO<sub>4</sub>):** Sýni eru síuð (0,2 µm) við söfnun og geymd á plastflöskum. Þar sem styrkur H<sub>2</sub>S er hærri en 1 mg/L er ZnS fellt úr lausninni við söfnun. Greining með jónaskiljun (IC) á rannsóknarstofu ÍSOR.

**Næringarefni (NO<sub>3</sub>-N, NO<sub>2</sub>-N, NH<sub>4</sub>-N, N<sub>heild</sub>, PO<sub>4</sub>-P, P<sub>heild</sub>):** Síuðum sýnum er safnað á plastflöskur og þær geymdar í frysti. Greining á sjálfvirkum litrófsmæli (autoanalyzer) á rannsóknastofu ALS í Svíþjóð.

**Uppleyst steinefni (TDS):** Sýni eru síuð (0,2 µm) á plastflöskur við söfnun og greind á rannsóknarstofu ÍSOR. 100 mL sýnis eru þurreimaðir og heildarmagn uppleystra steinefna ákvarðað út frá massa þurrefnis.



**Samsætur ( $\delta D$  og  $\delta^{18}O$ ):** Síuðum sýnum er safnað á loftþéttar glerflöskur og hlutfall þungra og létttra samsætna ákvarðað á massagreini hjá Isotech Laboratories í Bandaríkjunum. Samsætuhlutföll eru gefin upp sem ‰-vik frá sömu hlutföllum í staðalsjó (V-SMOW).