

HITAVEITA SELTJARNARNESS

Vinnslueftirlit 2024 -2025



Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness
Mars 2025

Titilsíða

Höfundar: Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil

Heiti skýrslu: HITAVEITA SELTJARNARNESS

Undirtitill: Vinnslueftirlit 2024 -2025

Unnið fyrir: Hitaveitu Seltjarnarness

Dags.: mars, 2025

Forsíðumynd: Sýnataka í október 2024 vegna reglulegs eftirlits

EFNISYFIRLIT

Verkfræðistofan Vatnaskil	Hrefna Kristmannsdóttir	1
1. INNGANGUR		5
2. TILGANGUR VINNSLUEFTIRLITS OG JARÐHITAKERFIÐ Á SELTJARNARNESI		6
3. EFNAEFTIRLIT		9
5. MAT Á ÚTFELLINGAHÆTTU		22
6. EFNAJAFNVÆGI Í JARÐHITAKERFINU		24
7. VINNSLUGÖGN		26
8. MAGN OG HITASTIG FRAMRÁSAR OG BAKRÁSARVATNS		39
9. SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR		40
10. HEIMILDIR		41
Viðauki 1		45

TÖFLUR

Tafla 1. Vinnsluholur á Seltjarnarnesi	8
Tafla 2. Efnasamsetning vatns úr holu SN-05-valin sýni	11
Tafla 3. Efnasamsetning vatns úr holu SN-06- valin sýni	12
Tafla 4. Efnasamsetning vatns úr holu SN-12-valin sýni	13
Tafla 5. Efnasamsetning vatns úr holu SN-17-valin sýni	14
Tafla 6. Efnasamsetning sýna úr dreifikerfi	15
Tafla 7. Mælingar á rafleiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$ við 25 °C) vatns úr holu SN-05 árið 2024	17
Tafla 8. Mælingar á rafleiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$ við 25 °C) vatns úr holu SN-06 árið 2024	17
Tafla 9. Mælingar á rafleiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$ við 25 °C) vatns úr holu SN-12 árið 2024	18
Tafla 10. Mælingar á rafleiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$ við 25 °C) vatns úr holu SN-17 árið 2024	19
Tafla 11. Eyður í sjálfvirkri rituðum gögnum árið 2024	26
Tafla 12. Keyrsla á djúpdælum Hitaveitu Seltjarnarness 2024	27
Tafla 13. Mánaðarmeðaltal heildarrennslis áranna 1994 til 2024	28
Tafla 14. Magn og meðalhitastig dælds vatns, framrásar- og bakrennslisvatns. Jafnframt magn selds vatns og hlutfallslegt “tap” kerfis	39
Tafla 15. Mælióvissa fyrir mismunandi efni	46

MYNDIR

Mynd 1. Mælingar á rafleiðni í holu SN-05 á árinu 2024	19
Mynd 2. Breytingar í rafleiðni með tíma, hola SN-05	19
Mynd 3. Mælingar á rafleiðni í holu SN-06 á árinu 2024	20
Mynd 4. Breytingar í rafleiðni með tíma, hola SN-06	20
Mynd 5. Mælingar á rafleiðni í holu SN-12 á árinu 2024	20
Mynd 6. Breytingar á rafleiðni með tíma, hola SN-12	21
Mynd 7. Mælingar á rafleiðni í holu SN-17 á árinu 2024	21
Mynd 8. Breytingar á rafleiðni með tíma, hola SN-17	21
Mynd 9. Kalsítmettun í holu SN-05 á	22

<i>Mynd 10. Kalsítmettun í holu SN-06 á.....</i>	<i>23</i>
<i>Mynd 11. Kalsítmettun í holu SN-12.....</i>	<i>23</i>
<i>Mynd 12. Kalsítmettun í sýni úr holu SN-17 frá árinu 2024 á móti mældum hita. Línan sýnir fræðilegt jafnvægi og punktarnir tilsvarendi jónamargfeldi vatnsins. Gildi fyrir sýni frá 2023 er sýnt til samanburðar.....</i>	<i>23</i>
<i>Mynd 13. Útreiknað jafnvægi við ýmsar helstu ummyndunarsteindir á móti hita fyrir vatnssýni þar sem vatnskerfið er í jafnvægi við um 150 °C hita. Núlllínan sýnir jafnvægisástand við það hitastig sem línurnar skera hana og er viðkomandi.....</i>	<i>24</i>
<i>Mynd 14. Útreiknað jafnvægi við ýmsar helstu ummyndunar-steindir á móti hita fyrir vatnssýni úr holu SN-05 og SN-06 árið 2024. Núlllínan sýnir jafnvægisástand við það hitastig sem línurnar skera hana og er viðkomandi steind þá í jafnvægi.....</i>	<i>25</i>
<i>Mynd 15. Útreiknað jafnvægi við ýmsar helstu ummyndunarsteindir á móti hita fyrir vatnssýni úr holu SN-12 og úr holu SN-17 teknum haustið 2024. Núlllínan sýnir jafnvægisástand við það hitastig sem línurnar skera hana og er viðkomandi steind þá í jafnvægi.....</i>	<i>25</i>
<i>Mynd 16. Rennsli úr holu SN-05.....</i>	<i>30</i>
<i>Mynd 17. Rennsli úr holu SN-06.....</i>	<i>30</i>
<i>Mynd 18. Rennsli úr holu SN-12.....</i>	<i>31</i>
<i>Mynd 19. Rennsli úr holu SN-17.....</i>	<i>31</i>
<i>Mynd 20. Heildarrennsli úr öllum vinnsluholum á Seltjarnarnesi.....</i>	<i>32</i>
<i>Mynd 21. Heildarrennsli úr vinnsluholum á Seltjarnarnesi 1996-2024. Sýnt er klukkustundargildi, mánaðarmedalrennsli og ársmedalrennsli.....</i>	<i>32</i>
<i>Mynd 22. Hitastig í holu SN-05.....</i>	<i>33</i>
<i>Mynd 23. Hitastig í holu SN-06.....</i>	<i>33</i>
<i>Mynd 24. Hitastig í holu SN-12.....</i>	<i>34</i>
<i>Mynd 25. Hitastig í holu SN-17.....</i>	<i>34</i>
<i>Mynd 26. Mælt vatnsborð í holu SN-01 frá 1972-2024. Handmælingar eru bláar og síritaðar mælingar rauðar. Bláu punktarnir eru mælingar frá hljóðhraðamæli sem eru ekki marktækar.....</i>	<i>35</i>
<i>Mynd 27. Mælt vatnsborð í holu SN-02 frá 1972-2024. Handmælingar eru bláar og síritaðar mælingar rauðar.....</i>	<i>35</i>
<i>Mynd 28. Mælt vatnsborð í holu SN-03 frá 1972-2024. Handmælingar eru bláar og síritaðar mælingar rauðar.....</i>	<i>36</i>
<i>Mynd 29. Mælt vatnsborð í holu SN-04 frá 1972-2024. Handmælingar eru bláar og síritaðar mælingar rauðar.....</i>	<i>36</i>
<i>Mynd 30. Mælt vatnsborð í holu SN-05 frá 1972-2024.....</i>	<i>37</i>
<i>Mynd 31. Mælt vatnsborð í holu SN-06 frá 1972-2024.....</i>	<i>37</i>
<i>Mynd 32. Mælt vatnsborð í holu SN-12 frá 1972-2024.....</i>	<i>38</i>
<i>Mynd 33. Mælt vatnsborð í holu SN-17 frá 2022-2024.....</i>	<i>38</i>

1. INNGANGUR

Vinnslueftirlit með jarðhitasvæðinu á Seltjarnarnesi á árinu 2024 er kynnt í þessari skýrslu. Umfang og gerð skýrslunnar miðast við samning milli Hitaveitu Seltjarnarness, Hrefnu Kristmannsdóttur og Vatnaskila ehf. frá árinu 2002 og síðari viðauka. Ýmis önnur atriði sem varða vinnslu eru líka tekin með í skýrsluna eins og fram kemur hér á eftir.

Teknar eru saman mælingar á efnainnihaldi vinnsluvatns úr borholum veitunnar, bæði árlegum heildargreiningum og vikulegum mælingum starfsmanna á rafleiðni. Einnig eru tekin saman gögn um vatnsvinnslu árið 2024, bæði úr sjálfvirku gagnaskráningakerfi og mælingum starfsmanna veitunnar á vettvangi.

Sýni til heildargreininga eru venjulega tekin að haustlagi eftir hvíld svæðanna yfir sumarið og s.l. haust voru sýnin tekin þann 21. október úr holum SN-05, SN-6, SN-12 og þann 27. nóvember úr holu SN-17.

Starfsmenn veitunnar tóku vikuleg sýni til mælinga á rafleiðni vatnsins (leiðni) allt árið í þeim vinnsluholum sem voru í gangi hverju sinni. Rafleiðni vatns er mælikvarði á seltu þess og mjög auðveld í mælingu og sýnataka jafnframt einföld. Seltan hefur mikil áhrif á vinnslueiginleika vatnsins og þar sem sumar borholurnar eru mjög nálægt ströndinni er möguleiki á innstreymi sjávar inn í jarðhitakerfið við lækkaðan þrýsting vegna vinnslu. Mikilvægt er því að fylgjast reglulega með þessum þætti. Vatnið er nú þegar talsvert salt og seltuaukning eykur bæði stáltæringu og útfellingahraða í vatninu.

Rennsli og hiti voru mæld sjálfvirkt á klukkutíma fresti í holum SN-05, SN-06, SN-12 og SN-17 þegar þær voru í gangi. Einnig voru mæld sjálfvirkt gildi fyrir heildardælingu, bakrennsli og magn vatns, sem fór út á kerfið og hitastig hvers fyrir sig. Bilun var í skráningarkerfi SN-17 í upphafi árs og þurfti að áætla rennsli úr holunni í janúar og hluta febrúar út frá mældu rennsli í framrás og bakrás. Hitamælingar voru jafnframt aðeins gerðar vikulega í holunni á meðan á bilun stóð, en unnt var að áætla þær líka frá hitamælingu á heildardældu vatni í dælustöð. Send er út sjálfvirkt mánaðarlega til okkar skýrsla frá skráningarkerfinu með helstu vinnsluþáttum. Enn sem komið er þarf að reikna út meðaltöl helstu vinnsluþátta handvirkt, en til stendur að forrita kerfið þannig að það verði sjálfvirkt, bæði mánaðarlega og í lok árs. Mun það spara talsverða handavinnu við bæði uppgjör og skýrslugerð til Orkustofnunar.

Vatnsborð var eingöngu handmælt í vinnsluholunum. Frá og með seinnipart maímánaðar voru svokallaðar handmælingar á vatnsborði, hitastigi og stillingum dælumótors settar beint inn í tölvu, en ekki handritaðar. Sparar það talsverðan tíma í frágangi. Í athugunarholunum, SN-01, SN-02 og SN-03 er vatnsborð mælt með vatnsborðsmæli, sem er þeirrar gerðar að þegar nemanum er rennt niður í opna holu og komið er í vatn leiðir hann rafstraum og þá heyrir hljóðmerki. Slíkar mælingar voru gerðar vikulega. Auk þessa hefðbundna mælis er samhliða notaður hljóðhraðamælir. Í holu SN-01 virkar þessi búnaður ekki nógu vel vegna vatnsrennslis við fóðurrörsenda og eru margar mælingar í henni ómarktækar. Síritandi mælir frá Stjörnuodda eru nú jafnframt í holum SN-01, SN-02, SN-03 og SN-04. Bætir þetta verulega upplýsingar um vatnsborð á svæðinu. Í vinnsluholunum eru þrýstingsmælingar notaðar til að mæla vatnsborðið með þeim hætti að í gegnum mjótt stálrör, sem liggur niður að enda dælu, er leitt köfnunarefnisgas undir þrýstingi. Þrýstimælir á gasleiðslunni sýnir, þegar þrýstingur er kominn í jafnvægi, þrýsting vatnssúlunnar sem liggur ofan við enda rörsins. Sé hann umreiknaður í fjölda metra af vatnssúlu af tilsvarende hita og er í holunni og dreginn frá dýpinu frá yfirborði niður á rörenda, fæst dýpi niður á vatnsborð

í borholunni. Sverrir Þórhallsson verkfræðingur hefur jafnframt útbúið töflu fyrir starfsmenn til að áætla vatnsborð frá afli mótors þegar ekki er unnt að mæla það á hefðbundinn hátt. Vatnsborðsmælingar voru gerðar vikulega árið 2024 í holum SN-05, SN-06, SN-12 og SN-17. Dæla er á um 160 m dýpi (161,1 m) í öllum vinnsluholum nema SN-12 þar sem hún er á um 140 m dýpi (139,7 m).

Öll vinnslugögnin eru tekin saman í skýrslunni og sett fram í myndum og töflum og niðurstöður þeirra túlkaðar. Sambærilegt yfirlit og er í þessari skýrslu um vatnsvinnslu, hita og vatnsborð á jarðhitasvæðinu hefur verið tekið saman frá árinu 1988 og fylgst með breytingum í efnainnihaldi og vinnslueiginleikum jarðhitavatnsins (Hrefna Kristmannsdóttir og Þorsteinn Thorsteinsson, 1988, Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1991, 1992, 1993, 1994, 1995, 1996, 1997, 1998, 1999, 2002, Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2011, 2012, 2013, 2014, 2015, 2016, 2017, 2018, 2019, 2020, 2021, 2022, 2023, 2024, Auður Ingimarsdóttir, o. fl., 1990, Vigdís Harðardóttir o.fl., 2000, Þorsteinn Thorsteinsson og Magnús Ólafsson, 1989).

Í skýrslunni er auk kaflanna um niðurstöður mælinga á vinnslupáttum og efnainnihaldi vinnsluvatns almennur kafli (2) um tilgang vinnslueftirlits og eiginleika jarðhitakerfisins á Seltjarnarnesi. Þessi kafli er nánast eins og í skýrslu fyrri ára, en honum er haldið inni til auðveldunar fyrir lesendur. Einnig er í skýrslunni kafli með gögnum úr skráningarkerfi veitunnar um magn og meðalhitastig bakrennslisvatns og heildarmagn og meðalhitastig framrásarvatns út á veituna. Jafnframt er tilgreint hvort og hversu mikið magn niðurrennslis var niður í jarðhitakerfið. Magn af seldu vatni er tilgreint samkvæmt upplýsingum skrifstofu Seltjarnarnesbæjar og hlutfallslegt “tap” í kerfinu reiknað. Þó þetta séu ekki gögn um áhrif vinnslu á jarðhitasvæðið eru þetta mikilvægar upplýsingar um rekstur hitaveitunnar og eru því höfð með í skýrslunni. Á síðustu árum hafa yfirvöld kallað eftir þessum gögnum ár hvert og við séð um að taka þau saman.

2. TILGANGUR VINNSLUEFTIRLITS OG JARÐHITAKERFIÐ Á SELTJARNARNESI

Efnaeftirlit með vinnsluvatni hefur þann tilgang að fylgjast með og meta mögulegar breytingar á vinnslueiginleikum þess. Jafnframt er unnt að sjá fyrir mögulegar breytingar á hitastigi vatnsins með rannsóknum á efnainnihaldi (Kristmannsdóttir and Ármannsson, 1996). Breytingar á efnainnihaldi koma oft fram mun fyrr en hitastigsbreyting mælist í vatninu vegna innstreymis af kaldara vatni inn í kerfið. Einnig geta efnabreytingar gefið til kynna skemmdir á vinnslufóðringum svo fátt eitt sé nefnt. Reglulegt efnaeftirlit, sem sniðið er að eiginleikum og vinnslu viðkomandi jarðhitasvæðis getur sparað hitaveitum mikla fjármuni og virkað sem trygging fyrir óvæntum áföllum. Til að unnt sé að reikna efnajafnvægi og efnahita í jarðhitavatni er nauðsynlegt að hafa efnagreiningu á flestum uppleystum efnum. Því þarf að taka sýni til slíkrar greiningar, svokallað heilsýni, með vissu millibili og er það gert a.m.k. árlega. Sýnataka á heilsýni er nokkuð flókin, þarfnast meðhöndlunar sýna á staðnum og greiningu á sumum efnum strax eftir sýnatöku. Því þarf sérfræðingur að framkvæma hana.

Jafnframt er nauðsynlegt að fylgjast oftast með einstökum þáttum, sem gefa ábendingar um breytingar og starfsmenn veitunnar geta framkvæmt sjálfir á einfaldan og ódýran hátt. Rafleiðni er góður mælikvarði á breytingar á seltu og heildarefnainnihald og mæling á henni er einföld og fljótleg. Þann er þátt mæla starfsmenn hitaveitna því yfirleitt sjálfir í vinnsluvatni, oftast vikulega.

Vatnið á Seltjarnarnesi er talsvert salt og þar sem selta virkar sem hvati á öll efnahvörf eins og tæringu og útfellingu er þörfin á virku efnaeftirliti enn brýnni. Kalkútfellingar eru þær útfellingar sem eru einna helst til vandræða í íslensku lághitavatni (Kristmannsdóttir, 1989). Vinnsluvatnið á Seltjarnarnesi hefur oft verið nokkuð yfirmettað af kalki og stundum nálægt þeim mörkum sem útfellingar geta orðið við. Á hverju ári er því fylgst með mettnun kalksteindarinnar kalsíts í vatninu, en til að reikna hana út frá efnasamsetningu þarf að mæla talsvert marga efnabætti (heilsýni). Selta hvetur allar útfellingar og því geta steindir sem ekki ná að falla út í fersku jarðhitavatni við kælingu fallið út úr því sé vatnið kælt mikið niður t.d. í snjóbræðslukerfum. Við lágt hitastig er útfelling kísils og kísilsteinda allajafna það hæg að þó yfirmettun náist þá verður ekki útfelling. Á Seltjarnarnesi sýnir reynslan að við kælingu jarðhitavatsins niður fyrir 20 °C verða útfellingar álsilikats og jafnvel ókristallaðs kísils. Því er ávallt mælt með að í varmaskiptum sé vatnið ekki kælt niður fyrir 20 °C og eru leiðbeiningar um það inni á heimasíðu Seltjarnarnesbæjar. Ekki hafa farið fram miklar rannsóknir á útfellingu álsilikata (Kristmannsdóttir et. al, 2004), en þessar ráðleggingar eru byggðar á reynslubundnum athugunum. Einnig þarf að fylgjast með mögulegu innstreymi andrúmslofts í vinnsluvatnið þar sem há selta vatnsins hraðar einnig súrefnistæringu, sem verður einnig við mun lægra innihald af súrefni en í fersku jarðhitavatni. Brennisteinsvetni í vatninu eyðir súrefni og tengist jafnframt járn í aðveiturörum og myndar varnarhúð úr járnsúlfiði (Kristmannsdóttir, 1989, Kristmannsdóttir et al., 2004). Styrkur brennisteinsvetnis í jarðhitavatninu á Seltjarnarnesi er fremur lágur og gæti ekki eytt háum styrk súrefnis sem kæmist inn í vatnið með andrúmslofti. Styrkur þess er þó það hár að það nær að mynda varnarhúð úr járnsúlfiði innan á aðveiturörum. Frá efnagreiningum á öllum helstu uppleystum efnum (heildarefnagreiningum) eru reiknuð út ýmis efnajafnvægi í vatninu og fylgst með mögulegum breytingum á þeim. Reiknað er einnig út svokallað djúphitastig frá efnainnihaldi vatnsins, en það byggir á þeirri forsendu að efnainnihald breytist lítið þegar vatn streymir upp um borholur og sýni það því oft síðasta efnajafnvægi vatnsins við ummyndunarsteindir í berginu. Ummyndunarsteindir eru steindir sem verða til við niðurbrot frumsteinda bergsins vegna hvörfunar við heitt vatn í jarðhitakerfunum. Myndun þeirra og hvaða steindir myndast er verulega háð hitastigi. Samanburður á fræðilegu efnajafnvægi og raunverulegu efnajafnvægi í vatnssýnunum reiknað við mismunandi hitastig getur gefið mjög góðar vísbendingar um hitastig í jarðhitakerfum og í mismunandi vatnsæðum þess. Jafnframt getur hann sýnt yfirvofandi breytingar á hitastigi áður en þær verða mælanlegar (Kristmannsdóttir and Ármannsson, 1996).

Í jarðhitavatninu á Seltjarnarnesi er svokallaður kalsedónhiti talinn einna áreiðanlegastur til að meta djúphitastig í kerfinu. Kalsedónhiti byggist aðallega á styrk kísils í vatninu, sem er í beinu samhengi við hitastig í jarðhitakerfi. Kísilstyrkur breytist ekki mjög fljótt þó vatnið kólni þar sem útfelling kísils er hæg og sýnir styrkur hans því gjarnan síðasta jafnvægishitastig vatnsins og á því byggist hitamælirinn. Niðurstöður heilsýnagreininga í vatninu á Seltjarnarnesi eru ekki alltaf beint sambærilegar milli ára þar sem efnasamsetning ræðst af magnhlutföllum blöndu vatns úr mismunandi æðum, sem eru háð dælingarmagni hverju sinni og jafnframt því hvaða holur aðrar eru í vinnslu og magni dælingar úr þeim. Við túlkun niðurstaðna þarf að taka mið af ástandi holunnar, hitastigi og dælumagni og vinnslu úr henni og á vinnslusvæðinu mánuðina fyrir sýnatöku. Við mat á niðurstöðum efnagreininga frá mismunandi tímum þarf jafnframt að hafa í huga að efnagreiningaraðferðir breytast með tímanum og með breyttri aðferð geta orðið einhver frávik í niðurstöðum.

Jarðhitakerfið á Seltjarnarnesi, sem hitaveitan vinnur vatn sitt úr, er fremur flókið og vinnslu-borholurnar vinna vatn úr misheitum og missöltum vatnsæðum (Kristmannsdóttir, H. and Tulinius, H. 2000, Hrefna Kristmannsdóttir og Axel Björnsson, 2014a, Kristmannsdóttir et. al, 2015, Kristmannsdóttir et. al. 2021). Í töflu 1 er sýnd tafla yfir sex vinnsluholur veitunnar, en fjórar þeirra eru nú virkjaðar og í vinnslu, SN-05, SN-06, SN-12 og hola SN-17. Hola SN-03 var aflögð fyrir

allmörgum árum, en er notuð sem niðurrennslishola þegar umframmagn af bakrásarvatni er tiltækt. Hola SN-04 laskaðist í mars 2021 og er ekki í notkun, en er notuð sem mælihol. Í töflu 1 er einnig sýnt mat á hámarksafköstum hverrar holu, vinnsluhitastig þeirra og dýpi helstu vatnsæða (Hrefna Kristmannsdóttir og Axel Björnsson, 2014a, Hrefna Kristmannsdóttir og Vatnaskil, 2022). Eins og fram kemur í töflunni þá vinna holurnar vatnið á mismunandi dýpi og er það mjög misheitt. Selta vatnsins er einnig mishá. Lóðrétt má skipta jarðhitageyminum upp í þrjú meginvinnslusvæði eftir dýpi, sem gefa 55-140 °C heitt vatn. Talið er að hæsta seltan sé í efsta kaldasta vatnskerfinu, en einnig skiptir máli nálægð við sjó og vatnsgæfni holnanna. Þannig er hola SN-12 með saltasta vatnið, en ekki það heitasta. Hún er jafnframt sú hola sem fram að borun SN-17 hefur gefið mest vatn og talin vera næst aðaluppstreymissvæði jarðhitakerfisins. Hola SN-04 er stífluð á um 1030 m dýpi og virðast aðeins efri æðar holunnar gefa nú vatn úr henni. Allmiklar sveiflur í hitastigi og efnainnihaldi vatns eru í holu SN-05 og hún hefur grynntu vinnslufóðringuna af þeim vinnsluholum, sem eru í gangi, og tekur því inn vatn úr öllum þremur vatnskerfum svæðisins (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2001, Hrefna Kristmannsdóttir og Axel Björnsson, 2014a). Í holu SN-05 eru vatnsæðar þó ekki eins ofarlega og í holu SN-04.

Tafla 1. *Vinnsluholur á Seltjarnarnesi.*

	Borun lokið árið	Dýpi í m	Dýpt vinnslufóðringar í m	Vidd Vinnslufóðringar í m	Dýpi niður á dælu í m	Hámarks afköst L/s	Vinnsluhitastig °C #	Dýpi helstu vatnsæða í m
SN-03*	1970	1715	99	9 ^{5/8}	-	15	100-105	230, 400, 930, 1700
SN-04**	1972	2025	172	9 ^{5/8}	-	35***	85-114	200, 390, 1190, 1980
SN-05	1981	2207	168	13 ^{5/8}	160	25	98-109	450, 560, 700, 2100
SN-06	1985	2701	414	13 ^{5/8}	160	25	116-121	535, 900, 2070, 2400
SN-12	1994	2714	791	10 ^{3/4}	139,7	35	96-113	1080, 2040
SN-17	2021	2057	394	10 ^{3/4}	160	35	98-113	700, 780, 920, 1280, 1940

*Aflögð hola ** Hola SN-04 nánast geryðilagðist í mars 2021 og hefur ekki verið í vinnslu síðan

Áætlað miðað við reynslu undanfarin ár.

*** Gefur nú aðeins brot af þessu magni vegna óhapps í mars 2021

Í holu SN-05 er æð á 2100 m dýpi sem er um 120 °C heit, en nokkrar æðar eru ofan 1000 m dýpis, sem gerir að hitastig vinnsluvatns úr holunni fer yfirleitt ekki mikið yfir 100 °C. Í holu SN-06 hafa sést nokkrar sveiflur í hitastigi og efnasamsetningu, og sýni sem tekin voru af mismunandi dýpi sýndu verulega mismunandi efnasamsetningu og jafnvægishitastig (Hrefna Kristmannsdóttir, 1994). Hún er mjög djúp, um 2700 m en fóðring er grynnt í henni en holu SN-12, sem er álíka djúp. Heitasta æðin í SN-06 er líka verulega minna sölt en annað vatn í jarðhitakerfinu, 140 °C heit og er á 2400 m dýpi. Hún er eina holan sem hefur vatnsæð á svo miklu dýpi. Hitastig vinnsluvatns úr henni er allt að 121 °C. Hola SN-12 tekur vatn sitt að mestu úr tveimur neðri kerfum svæðisins, en neðsta vatnsæðin er á 2040 m dýpi. Vinnsluhitastig vatn úr henni hefur alla jafna verið um 108 °C, en lægra við litla vinnslu og ívið hærra við meiri vinnslu. Eftir borun SN-17 hefur hitastig holunnar orðið mun breytilegra og lækkað talsvert að jafnaði. Í holu SN-17 eru heitar vatnsæðar á um 1280 og 1940 m dýpi en þar eru einnig kaldari vatnsæðar ofan 1000 m dýpis og virðist æð á um 780 m dýpi vera þeirra öflugust. Þegar lítið er dælt úr holunni er vatnið um 100 °C, en við hámarksafköst, um 34 L/s, hækkar hitastig vatnsins í allt að 113 °C. Við mikla dælingu úr SN-17 minnka afköst holu SN-12 verulega og hitastig vatnsins úr henni lækkar.

Vegna þessa mikla breytileika og hárrar seltu þarf að hafa reglulegt eftirlit með efnainnihaldi allra holnanna og skoða samspil þeirra í tengslum við vinnslumynstur og túlka breytingar út frá því. Selta vinnsluvatnsins á Seltjarnarnesi er nú allt að 14% af sjávarseltu í saltasta vatninu. Vatnið í vinnsluholunum varð stöðugt saltara með tímanum á árunum 1980-1990, en mjög hægð á þeirri þróun þegar vinnslan komst í meira jafnvægi eftir sölukerfisbreytingar og svæðisbundið vatnsborð á jarðhitasvæðinu hætti nær að lækka um langt skeið (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2001).

Vatnsborð í vinnsluholunum hefur þó lækkað síðustu ár og selta vatns hefur aukist nokkuð í flestum þeirra.

Eins og fram kom hér að framan er selta ekki beint tærandi heldur er hún hvati á öll efnahvörf, þar á meðal súrefnistæringu og útfellingar. Vinnsluvatnið tærir stállagnir ekki verulega svo lengi sem súrefni kemst ekki inn í dreifikerfið. Þegar örlítið súrefni kemst inn í vatnið eins og gjarnan er í inntaksgrindum húsa verður tæring verulega hraðari í söltu vatni en fersku og stálofnar tærast mun hraðar og meira en þar sem nýtt er ósalt vatn. Því er í reglugerð veitustofnunar Seltjarnarnesbæjar kveðið á um að nota skuli forhitara eða pottofna í húskerfum. Flestar gerðir forhitara endast sæmilega í vinnsluvatninu, en ending er breytileg eftir gerðum.

Hitaveita Seltjarnarness hefur frá því snemma á vinnslutímanum leitast við að hafa gott eftirlit með jarðhitasvæðinu og áhrifum vinnslu á það til að tryggja rekstraröryggi og geta brugðist strax við mögulegum breytingum. Verkfræðistofan Vatnaskil hefur frá 1994 séð um að vinna reiknilíkan og vinnsluspár fyrir jarðhitasvæðið á Seltjarnarnesi úr vinnslugögnum veitunnar (Verkfræðistofan Vatnaskil, 1994, 2002, 2016). Verkfræðistofan Vatnaskil ehf. tók að sér árlega úrvinnslu á vinnslugögnum Hitaveitunnar frá og með árinu 2002. Hrefna Kristmannsdóttir hefur unnið efnaeftirlitið og haft umsjón með vinnslueftirliti veitunnar frá því að það hófst. Hrefna hefur jafnframt verið ráðgjafi Hitaveitu Seltjarnarness með jarðhitanýtingunni.

3. EFNAEFTIRLIT

Sýni til heildarefnagreininga voru tekin þann 21. október 2024 úr holum SN-05, SN-12 og úr holu SN-17 þann 27. Nóvember. Jafnframt var tekið sýni úr bakrás 27.11,2024.

Starfsmenn hitaveitunnar tóku vikulega vatnssýni úr þeim holum sem voru í gangi hverju sinni og mældu í þeim rafleiðni.

3.1 Heildarefnagreiningar sýna úr borholunum

Niðurstöður heildarefnagreininga á sýnum úr holu SN-05 eru í töflu 2, úr holu SN-06 í töflu 3, SN-12 í töflu 4 og úr SN-17 í töflu 5. Sýnið úr bakrásinni er í töflu 6. Til samanburðar eru sýndar niðurstöður greininga á völdum eldri sýnum. Sýni til greininga á bæði málum og anjónunum, klóríði, súlfati og flúoríði hafa verið send til greininga á rannsóknarstofunni ALS Analytica í Svíþjóð frá árinu 2002. Klóríð hefur einnig verið mælt með titrun í titrator (potentiometric titrun), en samanburðarmælingar hafa verið gerðar með þessum aðferðum s.l. ár og borið þokkalega vel saman. Greiningar á málum voru áður gerðar á efnarannsóknastofu Orkustofnunar með annarri aðferð en anjónirnar (Cl^- , SO_4^{2-} , F^-) voru greindar með sömu aðferðum á báðum rannsóknarstofum.

Nánar er fjallað um aðferðir við efnagreiningar og sýnatöku í Viðauka 1.

Eins og fram kemur í töflu 2 þá var vatn úr holu SN-05 um 100 °C og dæling var 18 L/s þegar sýnið var tekið. Styrkur kísils var með lægra móti svo og kalsedónhitastig. Holan var í gangi allt árið og við þær aðstæður lækkar hitastig vatnsins í holunni. Selta sýnisins er mjög svipuð og oft hefur verið frá aldamótum, en hún hefur bæði verið heldur lægri og talsvert hærri og ekki sjást bein tengsl seltu og vinnslu. Hlutfall stöðugu samsætna vetnis og súrefnis ($\delta^2\text{H} \%$ og $\delta^{18}\text{O} \%$) er áþekkt og í flestum eldri sýnum úr holunni. Heildarkarbonsat (CO_2) er í svipuðum styrk og í eldri sýnum og sömuleiðis brennisteinsvetni (H_2S). Efnasamsetning vatnsins í holunni hefur ávallt sýnt talsverðar breytingar í kjölfar breytilegrar vinnslu. Það stafar væntanlega af því að við hvíld hitnar

holan og kólnar svo þegar vinnslan eykst. Þegar sýnið var tekið var vinnslan að aukast eftir að hafa verið nokkuð jöfn framan af ári.

Hitastig vatns úr holu SN-06 var 119,2 °C þegar sýnið var tekið og vinnslan 16 L/s (Tafla 3). Bæði var hitastigið hærra og vinnslan meiri en meðaltal ársins og reyndar hærra hitastig er verið hefur í holunni síðastliðin ár. Holan var hvíld í um 4 mánuði á árinu og vinnsla var ekki mjög mikil þá mánuði sem hún var í gangi. Bæði styrkur kísils og jafnframt kísilhitastig er frekar hátt. Seltan er í hærra lagi miðað við meðaltöl, en þó verulega lægri en árið 2022 þegar síðast var tekið heilsýni úr holunni. Þá var hola SN-17 nýboruð og olli það nokkurri truflun í öllu jarðhitakerfinu. Hlutfall stöðugra samsætna vetnis og súrefnis ($\delta^2\text{H} \%$ og $\delta^{18}\text{O} \%$) er svipað og fyrrir ár.

Hola SN-12 var 103,8 °C þegar sýnið var tekið og dæling um 10 L/s (Tafla 4). Hitastig er lægra en meðalhitastig vatns úr holunni á árinu og vinnslan nær helmingi lægri en meðalvinnsla ársins. Styrkur kísils mælist í lægra lagi, en selta svipuð og á árunum 2021 og 2022, eins og fram kemur í töflu 3. Kísilhiti er 107 °C, sem er á svipuðu róli og síðustu þrjú ár á undan, en hann hefur reiknast 103-118 °C á vinnslutíma holunnar. Á árinu 2023 var selta hins vegar verulega hærri en í þessu sýni. Gildi fyrir stöðugar samsætur vetnis og súrefnis ($\delta^2\text{H} \%$ og $\delta^{18}\text{O} \%$) eru svipuð og í fyrri sýnum. Heildarkarbonsat (CO_2) er í svipuðum styrk og áður og gildi H_2S er en svipað og fyrir borun SN-17. Hola SN-12 hefur yfirleitt ekki sýnt miklar breytingar í efnainnihaldi né hitastigi milli ára, en nokkrar sveiflur hafa verið í seltu og kísilstyrk, væntanlega fyrst og fremst eftir dælumagni. Fóðring holunnar nær niður á 791 m dýpi og köldu efri æðarnar í jarðhitakerfinu eru því fódraðar af. Þær æðar sem gefa vatn eru á um 1080 og 2040 m dýpi og gefa hlutfallslega mismikið eftir dælingu. Ávallt hafa þó verið minni sveiflur í hita og seltu í vinnsluvatni úr holu SN-12 en hinum holunum. Eftir að vinnsla var aukin í SN-17 lækkaði hitastig í SN-12 verulega og varð mjög sveiflukennt. Ljóst er að við mikla dælingu úr SN-17 tekur hún vatn frá SN-12, einkum úr neðri hluta vatnskerfisins. Þar sem holur SN-04 og SN-12 voru mjög tengdar og hola SN-17 jafnframt víðari en SN-12 kemur þetta ekki mikið á óvart.

Niðurstöður greininga á sýninu úr holu SN-17 eru í töflu 5. Hitastig holunnar var 102,6 við sýnatöku og dælt var 5,6 L/s úr henni. Styrkur kísils er frekar hár, en lægri en í síðasta sýni. Selta holunnar mældist talsvert hærri en í síðasta sýni. Meðalhitastig úr holunni árið 2024 var nær 110 °C og vinnsla yfir 13 L/s svo sýnið var ekki tekið við dæmigerðar aðstæður og auk þess fljótlega eftir rúmlega 4 mánaða hvíld. Hitastig holunnar getur náð 113 °C við mikla dælingu. Gildi fyrir stöðugar samsætur vetnis og súrefnis ($\delta^2\text{H} \%$ og $\delta^{18}\text{O} \%$) eru mjög svipuð og áður og í vatni annarra holna. Af rokgjörnum efnum er heildarstyrkur karbonsats (CO_2) mjög svipaður og í vatni annarra holna, og áður hefur mælst í holunni. Í þessu sýni mældist sami lági styrkur H_2S og í seinna sýninu frá 2023 en í fyrri sýnum var hann undir næmnimörkum mæliaðferðarinnar. Ekkert súrefni mældist í vatninu frekar en í vatni annarra holna.

Sýnið úr bakrás hitaveitunnar frá 27.11, 2024 (Tafla 6) er mjög svipað og sýni frá árinu 2021. Seltan er nokkru hærri, en ekki verulega og vel innan marka fyrir breytingar á seltu í holunum milli ára. Lækkun er þó veruleg í álstyrk miðað við framrás og álíka og fram kom í sýni úr bakrás árið 2021. Greinilegt er að styrkur áls er nær helmingi lægri í bakrás en framrás og dældu vatni úr holunum.

Tafla 2. Efnasamsetning vatns úr holu SN-05-valin sýni.

Sýnanúmer	1998-0598	HK02-0029	HK-04-202	HK-09-053	HK-12-004	HK-14-002	HK-15-002	HK-19-004	HK-21-007	HK-23-001	HK-23-004	HK-24-007
Dagsetning	98-11-26	02-09-23	04-02-26	09-10-08	24.10.2012	29.10.2014	13.10.2015	22.10.2019	10.11.2021	9.1.2023	12.10.2023	21.10.2024
Hitastig °C	102,2	98,8	99,8	101,8	107,6	99,2	101,2	100,1	89,0	100,0	99,9	99,0
Rennsli L/s	-	-	-	-	-	-	12,2	20,5	16,7	18,7	25,4	18,0
pH/°C	8,5/21	8,39/23	8,43/21	8,48/21	8,5/22	8,5/20	8,41/22	8,42/23	8,45/20	8,49/20	8,47/18	8,56/16
Heildar karbónat (CO ₂)	8,3	3,3	6,1	5,9	5,6	5,7	5,8	3,7	5,5	5,3	4,8	4,9
Brennisteinsvetni (H ₂ S)	0,27	0,175	0,17	0,22	0,3	0,18	0,22	0,22	0,20	0,19	0,12	0,19
Bór (B) mg/L	0,21	0,20	0,207	0,224	0,242	0,22	0,226	0,229	0,20	0,22	0,24	0,21
Leiðni µS/cm	3300	4760	4410	4250	3700	4670	4625	4820	5100	4425	4929	4865
Kisill (SiO ₂) mg/L	110,8	101,4	106,6	124,7	138,6	108,9	119,8	96,6	111,6	117,4	108,0	103,1
Heildar uppl. mg/L	2322	2610	2572	2201	2094	2699	2745	3094	3035	2524	2972	2751
Súrefni O ₂ mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Natríum (Na) mg/L	433	508	539	520	467	559	574	594	601	524	613	580
Kalíum (K) mg/L	11,3	10,6	10,9	11,1	10,4	11,9	12,9	12,8	12,9	11,3	13,1	11,7
Magnesíum Mg mg/L	0,16	0,28	0,296	0,253	0,092	0,297	0,330	0,382	0,538	0,293	0,42	0,467
Kalsíum (Ca) mg/L	292	354	346	351	280	386	402	400	440	356	394	386
Strontíum mg/L	-	1,31	1,19	1,21	1,24	1,38	1,35	1,48	1,44	1,22	1,49	1,38
Flúoríð (F) mg/L	0,79	0,78	0,89	0,95	0,56	0,75	1,1	0,50/1,0#	0,8	0,86	0,829	0,77
Klóríð (Cl) mg/L	1097	1400	1340	1300	1000	1390	1379	1560	1610	1290	1590	1440
Brómíð (Br) mg/L	3,6	4,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Súlfat (SO ₄) mg/L	206	226	224	241	193	238	251	197	253	210	249	225
Al (Al) mg/L	0,017	0,020	0,032	0,018	0,042	0,020	0,022	0,017	0,020	0,023	0,019	0,021
Járn (Fe) mg/L	0,005	0,003	0,009	0,002	0,022	0,066	0,005	<0,002	0,005	0,007	0,005	0,004
Mangan (Mn) mg/L	0,007	0,006	0,006	0,006	0,004	0,007	0,007	0,007	0,009	0,007	0,008	0,010
Radon Bq/L	-	9,7	1,8	-	0,42	1,4	-	-	-	-	-	-
Kadmíum (Cd) µg/L		0,0142	0,024	<0,02	<0,04	0,02	<0,02	<0,02	<0,06	<0,02	<0,02	<0,02
Króm (Cr) µg/L		0,035	<0,05	<0,04	0,091	0,119	0,106	0,044	<0,04	<0,04	0,615	0,0613
Kopar (Cu) µg/L		0,132	<0,4	<0,2	<0,4	<0,02	0,483	<0,2	0,255	0,30	<0,2	<0,2
Kvikasilfur (Hg) µg/L		-	0,002	0,057	0,002	0,063	0,218	0,011	0,007	0,006	0,013	0,024
δ ² H ‰	-73,0	-72,7	-74,2	-73,8	-74,71	-	-73,56	-73,25	-70,77	-73,21	-72,18	-72,87
δ ¹⁸ O ‰	-10,46	-10,46	-10,40	-10,68	-10,59	-10,45	-10,52	-10,35	-10,33	-10,55	-10,59	-10,48
kalsedónhiti °C ¹	115	109	112	122	129	113	120	106	115	118	113	110

-ekki mælt, ¹ Fournier, 1977 ; # Leiðrétting barst í október 2020 frá ALS rannsóknarstofu eftir að ítrekun hafði verið hunsuð lengi

Tafla 3. Efnasamsetning vatns úr holu SN-06- valin sýni.

Sýnanúmer	19920059	19940024	20010194	HK-04-201	HK-09-54	HK-11-011	HK-16-004	HK-19-005	HK-20-004	HK-21-005	HK-22-002	HK-24-008
Dagsetning	92-04-02	94-03-15	01-06-25	04-02-26	09-10-08	11-10-18	26.10. 2016	22.10.2019	29.10.2020	10.11.2021	12.12.2022	21.10.2024
Hitastig °C	116,0	119,0	118,8	118,8	114,8	118,2	118,3	121,3	119,4	120,2	117,7	119,2
Rennsli L/s	-	-	-	-	-	-	16,2	11,9	17,2	14,5	14,0	16,0
pH/°C	8,18/24	8,24/22	8,22/25	8,32/21	8,33/21	8,39/20	8,41/19	8,37/21	8,36/19	8,30/20	8,40/12	8,37/17
Heildar karbónat (CO ₂)	11,2	10,3	7,3	5,0	6,0	4,5	5,1	3,9	4,8	5,9	4,8	6,1
Brennisteinsvetni (H ₂ S) mg/L	0,08	0,04	0,17	0,17	0,18	0,26	0,27	0,24	0,30	0,30	0,24	0,27
Bór (B) mg/L	0,25	0,27	0,25	0,24	0,24	0,25	0,22	0,22	0,25	0,26	0,27	0,23
Leiðni µS/cm	5190	4980	6020	5670	5025	5210	4980	5130	5572	5811	6340	5670
Súrefni O ₂ mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kísill (SiO ₂) mg/L	120,4	124,0	120	121,0	139,5	147,0	127,3	114,2	130,9	133,1	127,3	127,1
Heildar uppl. mg/L	3821	3820	3930	3413	3163	3201	3077	3050	3248	3119	3829	3313
Natríum(Na) mg/L	663	639	655	634	571	577	566	586	666	642	750	642
Kalíum (K) mg/L	14,7	14,1	14,4	14,0	12,6	14,2	12,4	13,9	15,0	15,5	15,0	13,9
Magnesium Mg) mg/L	1,07	0,94	0,81	0,613	0,467	0,485	0,155	0,12	0,632	0,705	1,42	0,789
Kalsíum (Ca) mg/L	584	575	563	548	480	486	505	458	510	567	639	514
Strontíum (Sr) mg/L	-	-	-	2,35	2,02	2,24	2,06	2,30	2,44	2,42	2,81	2,36
Flúoríð (F) mg/L	0,65	0,75	0,68	0,90	0,92	1,1	0,97	0,56/1,1 #	0,93	0,61	0,73	0,831
Klóríð (Cl) mg/L	1842	1770	1815	1780	1590	1650	1590	1610	1630	1500	1990	1720
Brómíð (Br) mg/L	7,22	5,8	-	-	-	-	-	-	5,82	-	-	-
Súlfat (SO ₄) mg/L	321	312	306	312	318	321	270	262	289	254	300	288
Ál (Al) mg/L	0,024	0,035	0,0135	0,0471	0,0269	0,0363	0,0373	0,033	0,0377	0,029	0,029	0,030
Járn (Fe) mg/L	0,0453	0,006	0,0276	0,0341	0,005	0,0055	0,0046	<0,002	0,0081	0,0608	0,0107	0,005
Mangan (Mn) mg/L			0,0163	0,0144	0,0112	0,0104	0,0080	0,0065	0,0136	0,0153	0,0259	0,0167
Kadmíum (Cd) µg/L				0,0247	<0,02	0,0308	0,0755	<0,02	<0,02	<0,06	<0,02	<0,02
Krómi (Cr) µg/L				<0,005	0,0983	<0,04	0,138	<0,04	0,065	0,0466	0,0973	0,0613
Kopar (Cu) µg/L				<0,04	<0,2	<0,2	<0,2	0,215	0,204	<0,2	<0,02	<0,02
Kvikasilfur (Hg) µg/L				0,0037	0,0638	0,0084	0,0084	0,0129	0,0157	0,0094	0,003	0,0229
Radon Bq/L	-	-	-	-	-	-	1,66	-	-	-	-	-
δ ² H‰				-71,9	-74,3	-72,48	-72,57	-73,19	-71,18	-71,18	-70,47	-72,55
δ ¹⁸ O‰	-10,17	-10,38	-10,31	-10,35	-10,64	-10,39	-10,7	-10,54	-10,37	-10,32	-10,32	-10,49
kalsedónhiti °C ¹	120	122	120	121	130	134	125	117	126	127	124	124

Tafla 4. Efnasamsetning vatns úr holu SN-12-valin sýni.

Sýnanúmer	1999-0128	HK-03-202	HK-07-029	HK-09-055	HK-11-012	HK-13-008	HK-16-003	HK-19-005	HK-20-005	HK-21-001	HK-21-006	HK-22-003	HK-23-003	HK-24-009
Dagsetning	99-04-29	03-10-23	07-10-15	09-10-08	11-10-18	2.10.2013	25.10.2016	22.10.2019	29.10.2020	18.10.2021	10.11.2021	14.10.2022	12.10.2023	21.10.2024
Hitastig °C	108,4	106	108,5	110,4	105	108	107,5	107,4	106,5	99,0	108,9	107,9	103,8	109,3
Rennsli L/s	-	-	-	-	-	-	16,5	25,8	20,2	3,0	14,0	9,5	10,1	23,7
pH/°C	8,4/23	8,42/20	8,39/20	8,43/20	8,36/20	8,38/20	8,46/18	8,36/19	8,47/19	8,25/18	8,44/20	8,28/22	8,32/20	8,46/19
Heildar karb. (CO ₂)	5,3	4,2	8,1	5,2	3,5	4,4	6,1	3,8	4,2	4,6	3,6	4,2	4,5	4,3
Brennst.vetni (H ₂ S)	0,15	0,127	0,12	0,13	0,09	0,13	0,15	0,12	0,13	-	0,11	0,07	0,06	0,11
Bór (B) mg/L	0,21	0,20	0,24	0,24	0,26	0,25	0,234	0,26	0,24	0,32	0,267	0,278	0,28	0,24
Leiðni µS/cm	5470	5610	5550	5750	6440	6530	6105	6740	6614	8940	6844	6665	7218	6897
Súrefni O ₂ mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kísill (SiO ₂) mg/L	104,6	91,8	108,7	115,6	115,5	103,1	99,2	89,6	96,2	100,3	97,3	101,1	98,6	97,9
Heildar uppl. mg/L	3240	3491	3702	3194	3971	3721	3685	4086	3792	5011	3890	3905	4319	3901
Natríum(Na) mg/L	607	665,8	693	634	706	704	689	789	750	961	743	773	844	754
Kalíum (K) mg/L	12,6	12,4	14,0	13,1	15,2	14,8	13,6	16,1	14,8	19,3	15,6	13,7	17,2	14,7
Magnesíum (Mg) mg/L	0,27	0,330	0,410	0,336	0,505	0,38	0,355	0,551	0,505	1,58	0,482	0,59	0,964	0,534
Kalsíum (Ca) mg/L	500	548,2	611	567	646	552	609	639	618	861	685	678	645	646
Strontíum (Sr) mg/L	-	2,34	2,80	2,42	2,95	2,42	2,47	2,82	2,92	3,44	2,97	2,72	3,06	2,94
Baríum (Ba) mg/L	-	-	0,061	0,056	0,062	0,057	0,060	0,064	0,059	0,07	0,067	0,059	0,060	0,067
Flúoríð (F) mg/L	0,78	0,67	0,61	0,81	0,9	0,6	0,76	0,39/0,91#	0,79	<0,4	0,626	0,65	0,732	0,708
Klóríð (Cl) mg/L	1630	1870	1920	1860	2120	2010	1970	2220	1990	2680	2030	2020	2360	2070
Súlfat (SO ₄) mg/L	286	300	351	333	363	332	297	326	316	382	313	313	348	312
Ál (Al) mg/L	0,028	0,02	0,022	0,022	0,024	0,015	0,020	0,016	0,022	0,014	0,020	0,016	0,015	0,020
Járn (Fe) mg/L	0,003	<0,02	0,023	0,010	0,008	0,006	0,009	0,004	0,007	0,011	0,006	0,008	0,010	0,007
Kadmíum (Cd) µg/L	-	-	<0,02	<0,02	0,025	<0,02	0,0737	<0,02	<0,02	<0,06	<0,06	<0,02	<0,02	<0,02
Mangan (Mn) mg/L	-	-	0,012	0,011	0,015	0,013	0,012	0,017	0,015	0,036	0,015	0,017	0,024	0,017
Krómi (Cr) µg/L	-	-	0,323	0,081	<0,04	<0,04	0,319	0,071	<0,04	0,06	0,05	0,07	0,056	0,268
Kopar (Cu) µg/L	-	-	0,245	<0,2	<0,02	0,655	0,212	<0,2	<0,02	<0,2	<0,2	<0,2	<0,2	<0,02
Kvikasilfur (Hg) µg/L	-	-	0,019	0,069	<0,002	0,002	0,005	0,010	0,021	0,009	0,009	0,126	0,011	0,0163
Radon Bq/L	-	1,0	-	-	-	1,27	1,72	-	-	-	-	-	-	-
δ ² H‰	73,1	-71,6	-72,95	-74,5	-71,96	-70,18	-71,36	-71,06	-70,81	-	-71,53	-71,09	-72,10	-72,47
δ ¹⁸ O‰	-10,47	-10,42	-10,43	-10,68	-10,38	-10,56	-10,56	-10,38	-10,29	-	-10,53	-10,40	-10,41	-10,45
kalsedónhiti°C ¹	111	103	113	117	118	110	108	102	105	109	107	109	108	107

-ekki mælt, ¹ Fournier, 1977; # Leiðrétting barst í október 2020 frá ALS rannsóknarstofu eftir að ítrekun hafði verið hunsuð lengi.

Tafla 5. Efnasamsetning vatns úr holu SN-17-valin sýni.

Sýnanúmer	HK-22-001	HK-22-004	HK-23-002	HK-23-005	HK-24-011
Dagsetning	14.10.2022	12.12.2022	9.1.2023	12.10.2023	27.11.2024
Hitastig °C	91,4	108,5	111,1	111,7	102,6
Rennslí L/s	5,6	23,9	32,2	8,7	5,6
pH/°C	8,09/22	8,45/14	8,39/20	8,39/19	8,34/18
Heildarkarbondat CO ₂ mg/L	3,90	5,40	3,80	3,8	4,9
Brennisteinsvetni H ₂ S mg/L	<0,03	<0,03	<0,03	0,04	0,04
Bór B mg/L	0,33	0,26	0,23	0,24	0,3
Leiðni µS/cm	7340	5645	5925	5560	6668
Kísill SiO ₂ mg/L	104,6	121,1	108,2	118,9	114,9
Heildar uppleyst efni mg/L	4298	3190	3255	3379	3988
Súrefni O ₂ mg/L	0	0	0	0	0
Natríum Na mg/L	888	680	629	643	770
Kalíum K mg/L	16,5	14,2	12,9	14,8	16,5
Magnesíum Mg mg/L	1,12	<0,4	0,342	0,269	0,78
Kalsíum Ca mg/L	710	519	497	478	590
Strontíum Sr/mg/L	2,47	2,38	2,22	2,37	2,70
Flúoríð F mg/L	0,48	0,577	0,80	0,81	0,66
Klóríð Cl mg/L	2220	1580	1720	1820	2170
Súlfat SO ₄ mg/L	353	270	284	300	321
Ál Al mg/L	0,009	0,023	0,026	0,022	0,016
Járn Fe mg/L	0,038	0,005	0,006	0,004	0,004
Mangan Mn mg/L	0,020	0,010	0,008	0,006	0,017
Kadmíum Cd µg/L	0,020	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Krómi Cr µg/L	0,059	0,065	<0,04	0,102	0,12
Kopar Cu µg/L	<0,2	<0,2	0,27	<0,2	<0,2
Kvikasilfur Hg µg/L	0,013	0,013	0,012	0,010	0,021
δ ² H‰	-70,4	-71,12	-72,06	-72,75	-72,18
δ ¹⁸ O	-10,04	-10,38	-10,48	-10,56	-10,38
Kalsedónhiti °C	112	121	113	120	117

Tafla 6. Efnasamsetning sýna úr dreifikerfi.

Staður	Dælustöð framrás	Sævargarðar 1	Dælustöð framrás	Dælustöð framrás	Dælustöð bakrás	Dælustöð bakrás	Sundlaug inntak
Sýnanúmer	09-008	09-009	09-010	HK-21-002	HK-21-003	HK-24-010	HK-21-004
Dagsetning	24.3.2009	24.3.2009	30.3.2009	10.11.2021	10.11.2021	27.11.2024	10.11.2021
Hitastig °C				80,0	35,0	35,7	82,3
pH/°C	-	-	8,38/22	8,44/19	8,45/19	8,44/19	8,45/19
Kísill SiO ₂ mg/L	132	133	126	116,8	108,0	109,7	107,4
Bór (B) mg/L				0,26	0,253	109,7	0,256
Natríum(Na) mg/L	619	622	647	712	672	723	674
Kalíum (K) mg/L	12,6	12,3	12,8	15,7	15,0	14,6	14,6
Magnesíum (Mg) mg/L	0,64	0,619	0,703	0,554	0,558	0,787	0,485
Kalsíum (Ca) mg/L	620	528	632	611	590	556	587
Strontíum (Sr) mg/L	2,0	2,0	2,1	2,48	2,42	2,44	2,43
Járn (Fe) µg/l	10	4	11	11,6	20,7	21,2	7,4
Ál (Al) µg/l	3,32	16,8	17,7	19,6	10,0	10,9	17,8
Heildar karb. (CO ₂)	-	-	5,5	3,6	3,5	4,9	4,0
Brennst.vetni (H ₂ S)	-	-	-	0,17	-	0,13	0,17
Leiðni µS/cm v. 25 °C	-	-	5510	6074	6112	6188	6104
Súrefni O ₂	-	-	-	0	2	0	0
δ ² H	-	-	-	-70,23	-	-	-
δ ¹⁸ O	-	-	-	-10,33	-	-	-
Súlfat (SO ₄) mg/L	309	315	321	289	279	294	304
Klóríð (Cl) mg/L	1615	1676	1677	1820	1760	1890	1900
Flúoríð (F) mg/L	-	-	-	0,66	0,63	0,75	0,73
Uppleyst efni mg/L	3178	3256	3310	3282	3151	3300	3289
Barium (Ba) µg/L	45,6	46,8	46,7	57,5	58,7	51,8	58,6
Cadmium(Cd) µg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,06	<0,06	<0,02	<0,06
Kóbalt (Co) µg/L	0,0591	0,0441	0,0262	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Krómi (Cr) µg/L	0,166	0,109	0,127	<0,04	<0,04	<0,04	<0,04
Kopar (Cu) µg/L	0,696	0,991	<0,2	<0,2	<0,2	<0,02	<0,2
Kvikasilfur Hg µg/L	<0,002	<0,002	0,0072	0,0113	0,0048	0,0231	0,0059
Mangan Mn µg/L	14,7	12,5	13,9	14,6	12,7	15,9	12,6
Molybden Mo µg/L	10,1	9,93	9,79	10,7	10,7	10,6	10,9
Nikkel (Ni) µg/L	2,54	4,11	0,375	0,247	<0,2	<0,2	<0,2
Sínk (Zn) µg/L	76,9	5,27	1,29	9,62	6,09	5,77	8,73

- ekki mælt

4.3. Rafleiðnimælingar

Rafleiðni vatns er mæling á eiginleikum vatnsins til að leiða rafstraum. Hreint vatn er mjög lélegur leiðari en jónir uppleysta salta í vatninu leiða rafstrauminn. Því fleiri jónir sem eru uppleystar í vatninu því betur leiðir vatnslausnin rafstraum. Jónir með hærri hleðslu leiða einnig strauminn betur en jónir með lægri hleðslu (Schwartz and Zhang, 2003). Hækkandi hiti eykur einnig rafleiðnina. Rafleiðni vatnslausna með sama hitastig fer þannig eftir styrk uppleystra efna á jónaformi í vatninu og er mælikvarði á heildarstyrk uppleystra efna og seltu vatnsins.

Fræðilega ætti rafleiðnin að vera í beinu samhengi við heildarefnastyrk vatnsins. Hins vegar fer það eftir hvaða efni eru uppleyst hver leiðnin er, þar sem hún er einnig háð stærð og hleðslu jónanna. Fyrir vatnslausnir með margskonar mismunandi jónir eins og í náttúrlegu vatni er rafleiðnin því ekki nákvæm mæling á heildarstyrk uppleystra efna, en er gott viðmið fyrir breytingar á styrknum. Breytingar á sumum efnum koma þó betur fram í rafleiðnimælingu en með beinni mælingu á uppleystum efnum með þurreimun þar sem þá hverfa rokgjörn efni eins og karbónat (tot. CO₂) sem skiptir verulegu máli íslensku vatni. Seltubreyting kemur strax fram með mælingu á rafleiðni.

Mæling á rafleiðni er einföld og krefst ekki flókinnar sýnatöku eða meðhöndlunar sýna til að gefa marktækar niðurstöður. Mælitækið er jafnframt einfalt og fremur ódýrt. Það er því tilvalin aðferð fyrir hitaveitur að mæla sjálfar reglulega rafleiðni í vinnslusýnum úr borholum til að fylgjast með mögulegum breytingum á efnainnihaldi, einkum seltubreytingum. Sjáist einhverjar óvæntar breytingar geta þær síðan kallað til sérfræðing í jarðefnafræði jarðhita til að kortleggja og skýra hvað er á ferðinni. Bæði er sparnaður að því að starfsmenn hitaveitunnar annist sjálfir slíkar mælingar og jafnframt þá fá þeir meiri tilfinningu og skilning fyrir því hvernig kerfið virkar. Rafleiðnimælingarnar eru m.a. ætlaðar sem viðvörunartæki fyrir starfsmenn hitaveitunnar til að sjá fljótt ef einhverjar breytingar eru að verða í jarðhitakerfinu. Því er mjög æskilegt að mælingar séu gerðar fljótlega eftir sýnatöku.

Hitaveita Seltjarnarness hefur séð um vikulegar mælingar á rafleiðni í veitunni frá árinu 2000. Fyrir árið 2000 voru sýni sem þeir söfnuðu send til mælingar á völdum efnum, einkum klóríði, á efnarannsóknarstofu. Góð regla hefur jafnan verið á mælingum hjá Hitaveitu Seltjarnarness og var það einnig s.l. ár.

Mælingar á rafleiðni í vinnsluvatni úr holum SN-05, SN-06, SN-12 og SN-17 á árinu 2024 eru sýndar í töflum 7, 8, 9 og 10. Þar sem sýnin eru mörg og ná yfir mismunandi rekstrarskilyrði ættu þau að sýna nokkuð vel langtímabreytingar auk sveiflna sem stafa af mismunandi vinnslu.

Á myndum 1, 3, 5 og 7 eru mælingar á rafleiðni sýndar á móti tíma fyrir hverja holu fyrir sig á árinu 2024. Á tímaásnum eru sýndar dagsetningar sýnatöku, hvort sem viðkomandi hola var í vinnslu eða ekki. Þannig kemur jafnframt fram hvenær viðkomandi hola var í vinnslu og hvernig leiðnin tengist upphafi og lengd dælingar. Á myndum 2, 4, 6 og 8 eru sýndar mælingar á rafleiðni með tíma frá upphafi vinnslu úr holum SN-05, SN-06 og SN-12. Þessar myndir sýna allar mælingar á sýnum úr holunum þegar þær voru í vinnslu og tímaskalinn er því ekki jafn. Sameiginlegt með þeim er að selta og þar með leiðni hækkar að jafnaði við aukna vinnslu í holunum og því má greina árssveiflu þegar vinnsla er óslitin.

Tafla 7. Mælingar á rafleiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$ við 25°C) vatns úr holu SN-05 árið 2024.

Dagsetning	Leiðni í $\mu\text{S}/\text{cm}$	Dagsetning	Leiðni í $\mu\text{S}/\text{cm}$	Dagsetning	Leiðni í $\mu\text{S}/\text{cm}$
5.1.2024	5140	24.5.2024	4840	27.9.2024	4980
19.1.2024	4880	31.5.2024	4730	4.10.2024	5140
26.1.2024	5190	7.6.2024	4860	11.10.2024	5060
2.2.2024	5150	14.6.2024	4940	18.10.2024	5310
9.2.2024	4910	21.6.2024	4970	25.10.2024	5050
16.2.2024	4800	28.6.2024	5020	1.11.2024	4990
23.2.2024	5050	5.7.2024	5320	8.11.2024	4940
1.3.2024	4940	12.7.2024	5120	15.11.2024	4980
15.3.2024	5020	19.7.2024	4980	22.11.2024	4940
22.3.2024	4880	9.8.2024	5090	29.11.2024	4860
5.4.2024	4630	16.8.2024	5070	6.12.2024	4800
12.4.2024	4700	23.8.2024	5140	13.12.2024	4970
19.4.2024	4730	30.8.2024	5070	20.12.2024	5120
26.4.2024	4920	6.9.2024	5040	27.12.2024	4920
3.5.2024	4760	13.9.2024	5030		
10.5.2024	4880	20.9.2024	5030		

Tafla 8. Mælingar á rafleiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$ við 25°C) vatns úr holu SN-06 árið 2024.

Dagsetning	Leiðni í $\mu\text{S}/\text{cm}$	Dagsetning	Leiðni í $\mu\text{S}/\text{cm}$	Dagsetning	Leiðni í $\mu\text{S}/\text{cm}$
5.1.2024	6630	15.3.2024	7790	1.11.2024	6240
12.1.2024	6380	22.3.2024	7040	8.11.2024	6320
19.1.2024	6600	5.4.2024	6920	15.11.2024	6470
26.1.2024	6720	13.9.2024	5550	22.11.2024	6870
2.2.2024	6780	20.9.2024	5410	29.11.2024	6700
9.2.2024	6720	4.10.2024	5500	6.12.2024	6480
16.2.2024	6650	11.10.2024	5870	13.12.2024	6880
23.2.2024	6920	18.10.2024	5800	20.12.2024	6860
1.3.2024	7410	25.10.2024	6080	27.12.2024	7100

Í holu SN-05 var rafleiðni nokkuð svipuð og árið 2022, um $5000 \mu\text{S}/\text{cm}$ og litlar sveiflur. Rafleiðni vatns úr holunni er að jafnaði miklu lægri í en í hinum holunum. Í holunni eru ekki vatnsæðar

ofarlega úr efsta kalda vatnskerfinu, en þó eru í henni æðar ofar en í þeim holum öðrum sem nú eru í vinnslu. Að jafnaði virðist að því heitara vatn sem hún gefur því lægri sé selta þess.

Í holu SN-06 var rafleiðni vinnsluvatnsins breytilegri en undanfarin ár og sýndi bæði talsvert hærri og lægri gildi en undanfarin ár. Eftir hvíld yfir sumarið var leiðnin mjög lág og fór svo hægt hækkandi þegar leið á árið.

Í holu SN-12 voru miklar sveiflur í rafleiðni framan af árinu 2024 og komu fram toppar með mjög hárra leiðni koma fram eins og á árunum 2022 og 2023. Frá því í mars var rafleiðnin ekki eins sveiflukennd og af jafnaði um 7000 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

Tafla 9. Mælingar á rafleiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$ við 25 °C) vatns úr holu SN-12 árið 2024.

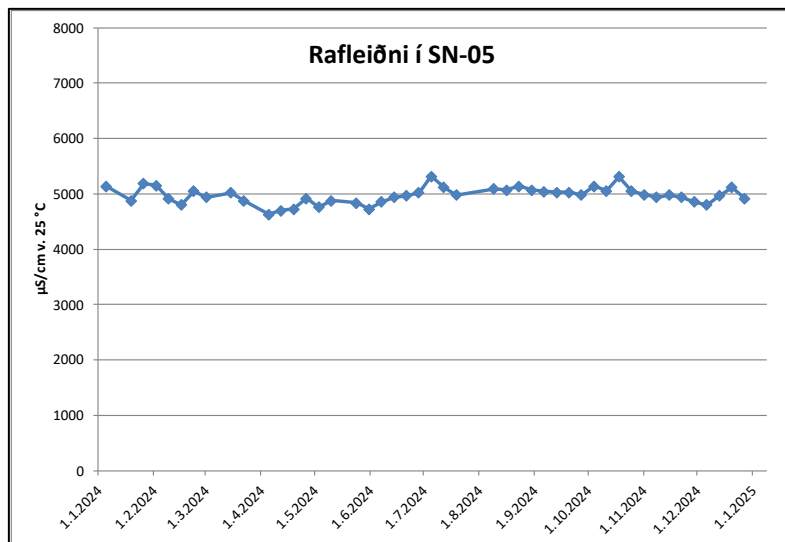
Dagsetning	Leiðni í $\mu\text{S}/\text{cm}$	Dagsetning	Leiðni í $\mu\text{S}/\text{cm}$	Dagsetning	Leiðni í $\mu\text{S}/\text{cm}$
05.01.24	6890	26.04.24	7030	06.09.24	6570
12.01.24	8360	03.05.24	6800	13.09.24	6800
19.01.24	6890	10.05.24	7310	20.09.24	6850
26.01.24	7060	24.05.24	6780	27.09.24	6880
02.02.24	9540	31.05.24	6590	04.10.24	7030
09.02.24	7240	07.06.24	6720	11.10.24	6970
16.02.24	9890	14.06.24	6340	18.10.24	6990
23.02.24	7360	21.06.24	6860	25.10.24	6980
01.03.24	7140	28.06.24	7390	01.11.24	7130
08.03.24	7900	12.07.24	6930	22.11.24	6970
15.03.24	7040	19.07.24	7000	29.11.24	7220
22.03.24	7120	09.08.24	6650	06.12.24	6780
05.04.24	7200	16.08.24	6760	13.12.24	7240
12.04.24	6860	23.08.24	6690	20.12.24	7140
19.04.24	7220	30.08.21	6810	27.12.24	7050

Rafleiðni í holu SN-17 (Tafla 8) er yfirleitt um og rétt yfir 6000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ en talsverðar sveiflur komu framsíðustu tvo mánuði ársins.

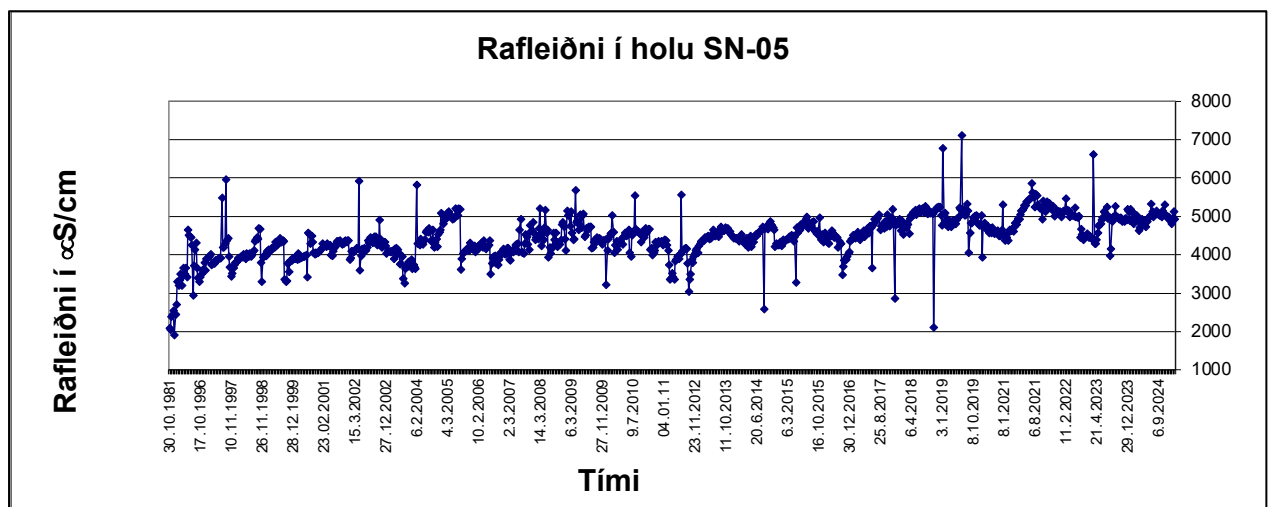
Rafleiðni í vinnsluvatns úr holunum virðist vera örlítið hækkandi milli ára, en mjög breytileg eftir vinnslu. Borun SN-17 hafði mikil áhrif á jarðhitakerfið og á efnasamsetningu vinnsluvatns og mikil tengsl SN-12 og SN-17 hafa áhrif á efnasamsetningu vatns í þeim holum.

Tafla 10. Mælingar á rafleiðni ($\mu\text{S}/\text{cm}$ við 25°C) vatns úr holu SN-17 árið 2024

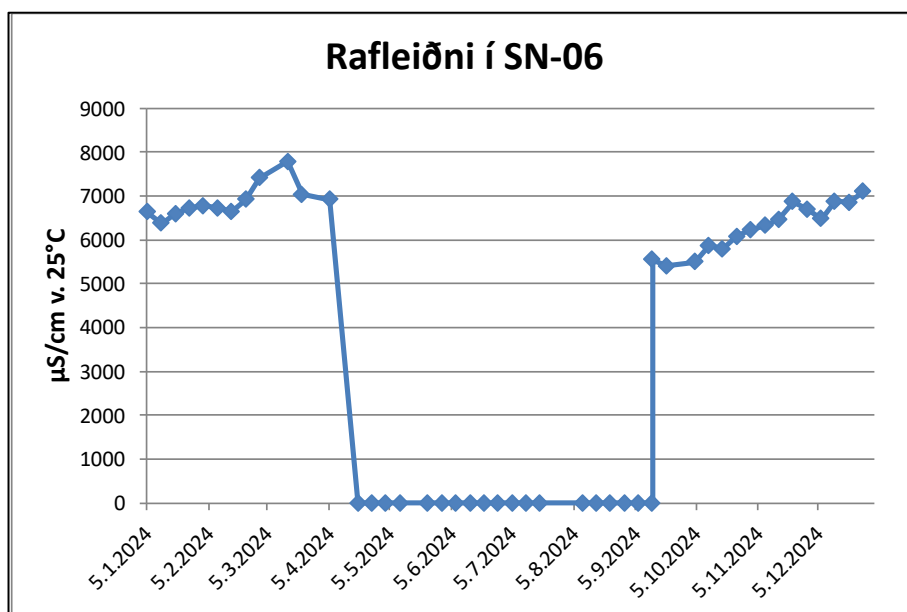
Dagsetning	Leiðni í $\mu\text{S}/\text{cm}$	Dagsetning	Leiðni í μS	Dagsetning	Leiðni í $\mu\text{S}/\text{cm}$
5.1.2024	6240	22.3.2024	6120	5.7.2024	7070
19.1.2024	6020	5.4.2024	6080	8.11.2024	6370
26.1.2024	6160	12.4.2024	6310	15.11.2024	6830
2.2.2024	6140	19.4.2024	6060	22.11.2024	6170
9.2.2024	6240	26.4.2024	6250	23.11.2024	5840
16.2.2024	6140	3.5.2024	6260	6.12.2024	8420
23.2.2024	6140	10.5.2024	6130	13.12.2024	5680
1.3.2024	6170	24.5.2024	6440	20.12.2024	6060
8.3.2024	6350	31.5.2024	6680	27.12.2024	5850
15.3.2024	6210	7.6.2024	6690		



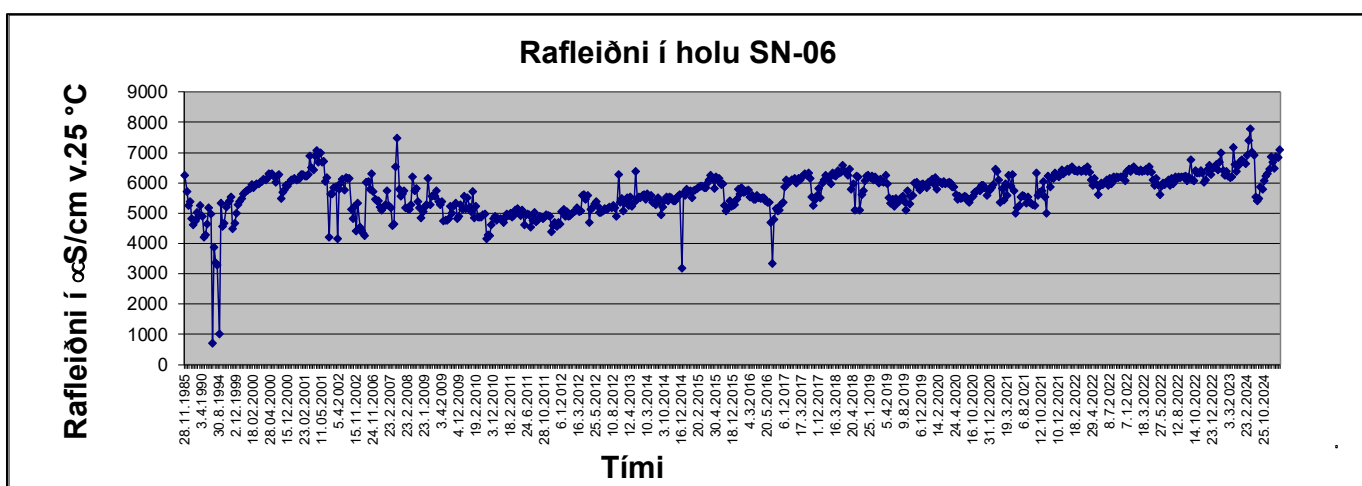
Mynd 1. Mælingar á rafleiðni í holu SN-05 á árinu 2024.



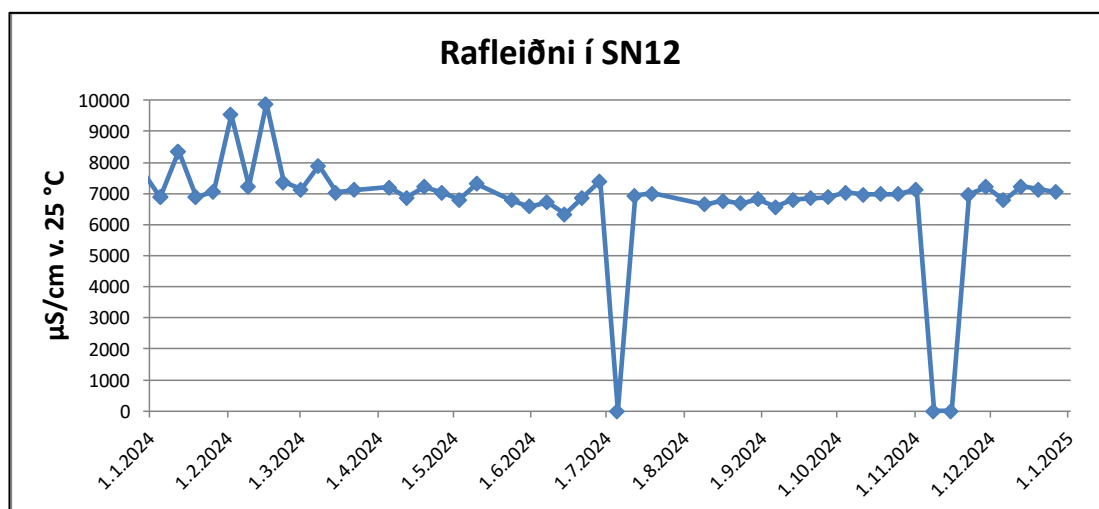
Mynd 2. Breytingar í rafleiðni með tíma, hola SN-05.



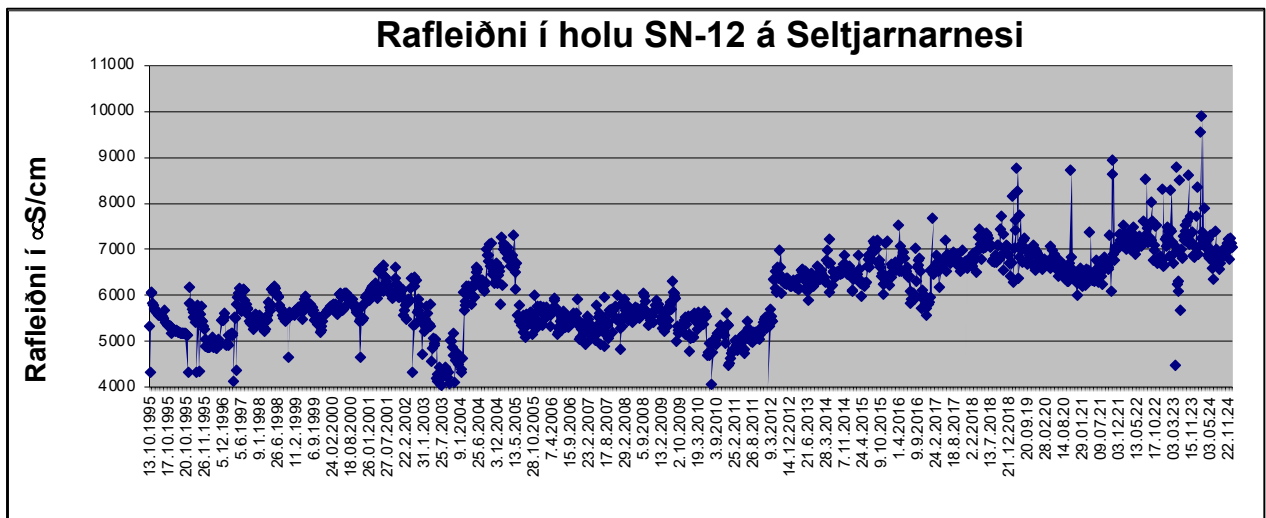
Mynd 3. Mælingar á rafleiðni í holu SN-06 á árinu 2024.



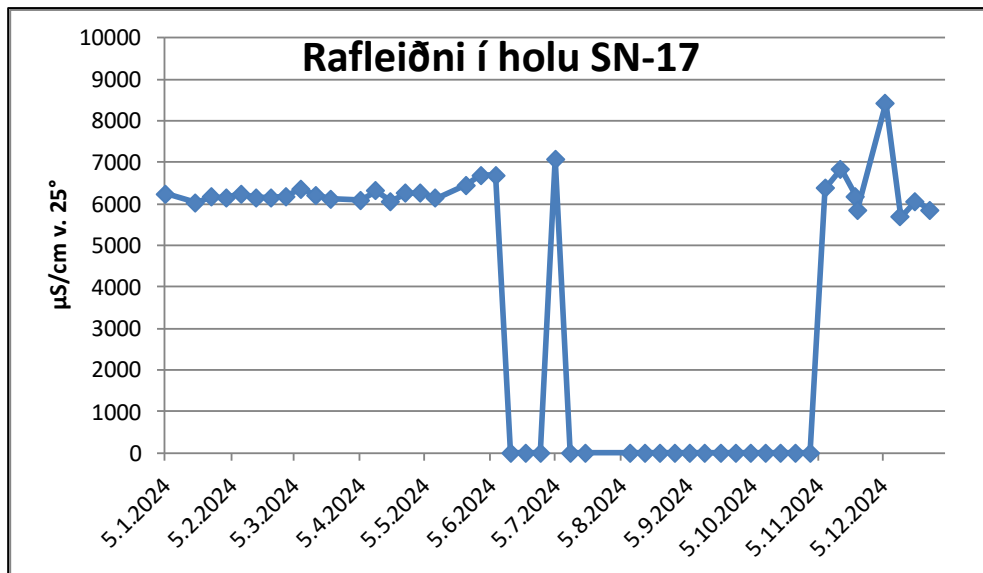
Mynd 4. Breytingar í rafleiðni með tíma, hola SN-06.



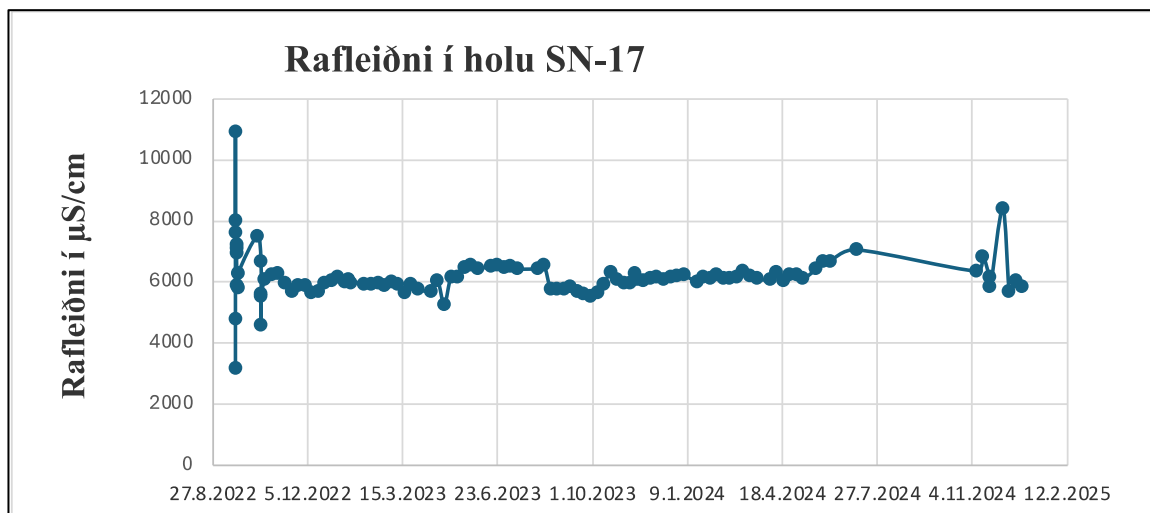
Mynd 5. Mælingar á rafleiðni í holu SN-12 á árinu 2024.



Mynd 6. Breytingar á rafleiðni með tíma, hola SN-12.



Mynd 7. Mælingar á rafleiðni í holu SN-17 á árinu 2024.



Mynd 8. Breytingar á rafleiðni með tíma, hola SN-17.

5. MAT Á ÚTFELLINGAHÆTTU

Jarðhitavatn á Íslandi er yfirleitt nákvæmlega mettað með tilliti til kalsíumkarbónat- (kalk) steindarinnar kalsíts, sem stjórnar að mestu virkni hlutaðeigandi efna (Ca og $\text{CO}_{2\text{tot}}$) í vatninu. Ástæða þess að jarðhitavatnið getur þó orðið yfirmettað af kalsíti og útfelling kalks orðið í kjölfarið er yfirleitt sú að vatnið sýður, afloftast eða misheitar og missaltar æðar blandast í borholum eða hitaveitukerfum. Eins og fram hefur komið í vinnslueftirlitsskýrslum fyrri ára um Hitaveitu Seltjarnarness hefur kalkyfírmettun í vinnsluvatni veitunnar stundum reiknaðist við eða yfir þeim mörkum, sem útfellingar hafa orðið við annars staðar og jafnvel nokkuð yfir þeim (Hrefna Kristmannsdóttir, 2009).

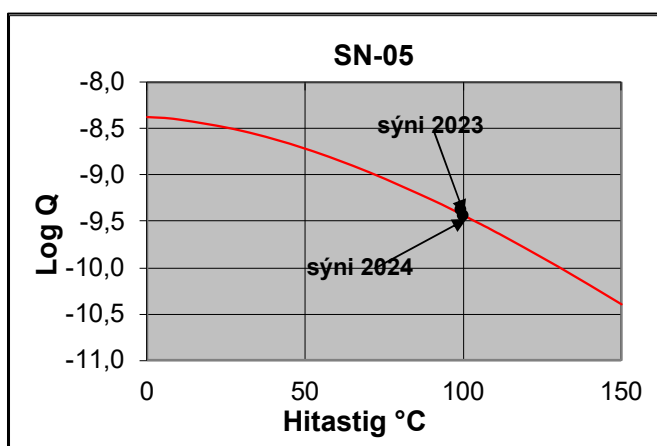
Ástæða yfirmettunar er einna helst talin stafa af blöndun misheitra og saltra æða í borholunum. Búnaður með prófunarplötum til að fylgjast með mögulegri kalkútfellingu er á öllum holutoppum vinnsluholna veitunnar. Á myndum 9, 10, 11 og 12 er sýnd útreiknuð kalkmettunargráða fyrir sýni úr holum SN-05, SN-06, SN-12 og SN-17. Línan sýnir jafnvægisferil milli vatns og kalksteindarinnar kalsíts og punktarnir sýna jónamargfeldi fyrir kalsíum- og karbónatjónir í vatninu. Falli punktarnir á línuna er vatnið í jafnvægi, falli þeir neðan við hana er vatnið undirmettað af kalsíti og yfirmettað falli þeir yfir jafnvægislínunni.

Á mynd 9 er sýnd útreiknuð kalkmettunargráða vinnsluvatns úr holu SN-05 á móti hitastigi í sýninu frá 2024 og í sýni frá 2023 til viðmiðunar. Sýnið frá 2024 er nákvæmlega mettað og því ekki útfellingahætta.

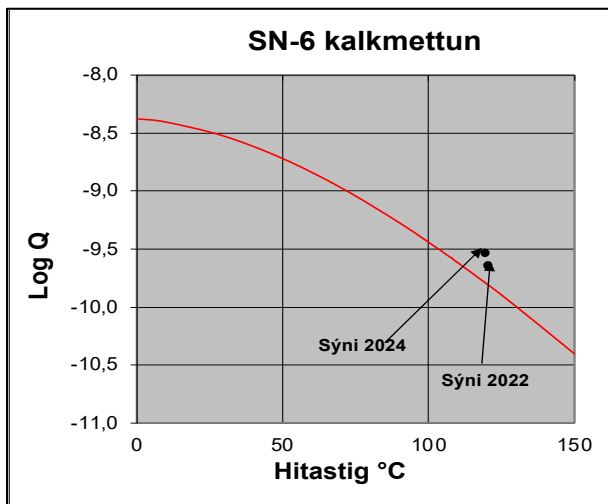
Á mynd 10 er sýnd kalsítmettun í vatnssýnum úr holu SN-06 frá árunum 2022 og 2024 og reiknast þau bæði svolítið yfirmettuð, en fjarri því að hætta sé á útfellingu.

Á mynd 11 er sýnd kalsítmettun í sýnum frá holu SN-12 árið 2024 og 2023 til samanburðar og er sýnið frá 2024 örlítið yfirmettað en hitt fellur á línuna. Ekki er því hætta á útfellingu í vatni holunnar.

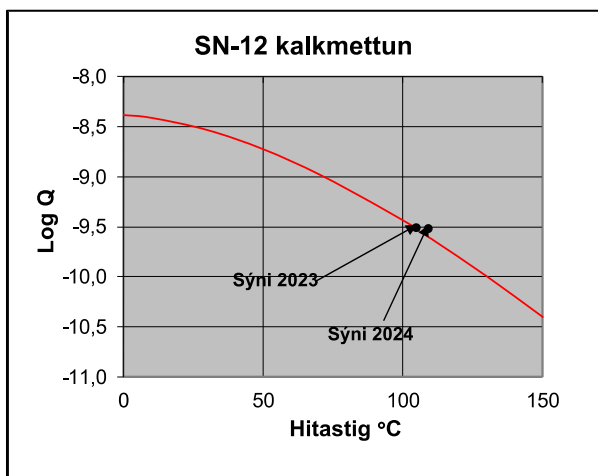
Á mynd 12 er sýnd kalsítmettun í sýninu úr holu SN-17 frá 2024 og til samanburðar sýni frá árinu 2023. Bæði sýnin reiknast mjög nálægt mettnum, en sýnið frá 2023 er örlítið undirmettað. Engin hætta er því á kalkútfellingum úr holunni.



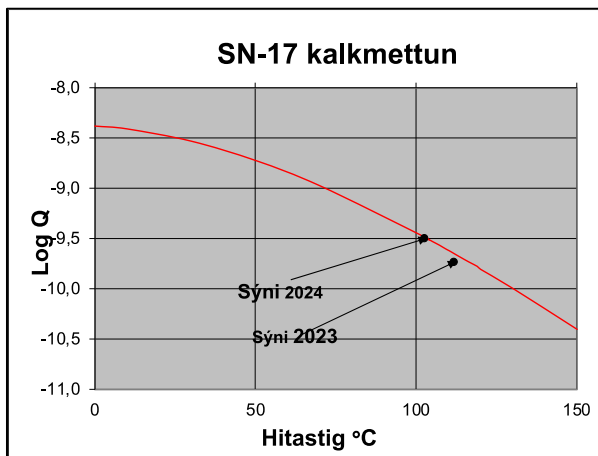
Mynd 9. Kalsítmettun í holu SN-05 á móti mældum hita. Línan sýnir fræðilegt jafnvægi og punktarnir tilsvareandi jónamargfeldi vatnsins. Gildi fyrir sýnið frá 2024 er merkt á myndinni og sýni frá 2023 til samanburðar



Mynd 10. Kalsítmnettun í holu SN-06 á móti mældum hita. Línan sýnir fræðilegt jafnvægi og punktarnir tilsvareandi jónamargfeldi vatnsins. Gildi fyrir eftirlitssýnin frá 2024 og 2022 eru sýnd á myndinni.



Mynd 11. Kalsítmnettun í holu SN-12 á móti mældum hita. Línan sýnir fræðilegt jafnvægi og punktarnir tilsvareandi jónamargfeldi vatnsins. Gildi fyrir eftirlitssýnið frá 2024 og 2023 eru sýnd á myndinni.



Mynd 12. Kalsítmnettun í sýni úr holu SN-17 frá árinu 2024 á móti mældum hita. Línan sýnir fræðilegt jafnvægi og punktarnir tilsvareandi jónamargfeldi vatnsins. Gildi fyrir sýni frá 2023 er sýnt til samanburðar.

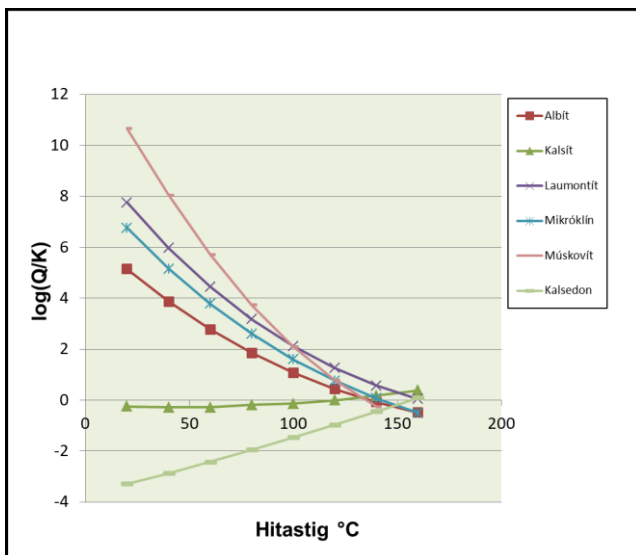
Þó sýni reiknist ekki verulega yfirmettuð þarf þó að fylgjast vel með útfellingaefstirlitsbúnaði, sem er við alla holutoppa vinnsluholnanna. Lítið þarf út af að bera til að koma af stað útfellingu og getur hún orðið mjög hröð í svona söltu vatni. Æskilegt er að skoða prófunarplöturnar í búnaðinum á holutoppunum ekki sjaldnar en annan hvorn mánuð og fylgjast jafnframt vel með í dreifikerfinu. Hingað til hefur aldrei orðið vart við útfellingu á holutoppum, en fundist hefur nokkrum sinnum smávægileg útfelling í dreifikerfi, sem talin hefur verið vegna innrennslis af köldu vatni inn í það, mögulega um bilaða einstreymisloka (Hrefna Kristmannsdóttir, 2009). Á síðustu árum virðist

meðburður í dreifikerfinu hafa aukist og þegar hann hefur verið skoðaður hafa yfirleitt fundist korn af kalsíti. Þetta þarf að athuga betur því ekki er ljós nein skýring á því.

Þótt til þess kæmi að kalkútfellingar yrðu í holunum þá þyrfti það ekki að valda meiri háttar vandræðum ef vart yrði við þær nógu snemma og áður en kerfið færi að stíflast og valda rennslis-truflunum. Ýmsar aðferðir eru þekktar til að tefja og hamla útfellingu, bæði efnafræðilegar og mekanískar. Það er hins vegar óviðunandi að búa við kalkútfellingar í kerfinu og þarf finna út orsakir þeirra og stemma stigu við þær.

6. EFNAJAFNVÆGI Í JARÐHITAKERFINU

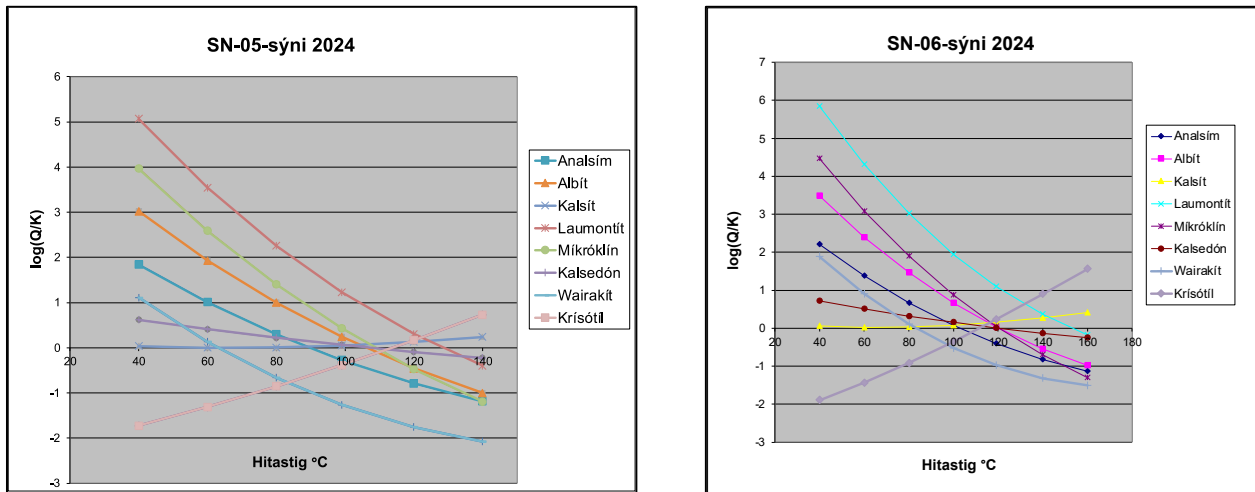
Eins og fram kom í kafla 2 hér að framan þá eru heildarefnagreiningarnar notaðar til að reikna út ýmis efnajafnvægi í vatninu miðað við ummyndunarsteindir í berginu. Gengið er þá út frá að efnasamsetningin mótist af síðasta efnajafnvægi vatnsins við bergið í jarðhitageyminum. Eins og fram hefur komið í kafla 2 í skýrslunni eru ummyndunarsteindir steindir sem verða til við niðurbrot bergsins vegna hvörfunar við heitt vatn í jarðhitakerfunum. Myndun þeirra og hvaða steindir myndast er verulega háð hitastigi. Samanburður á fræðilegu efnajafnvægi og reiknuðu efnajafnvægi í vatnssýnunum við mismunandi hitastig getur gefið mjög góðar vísbendingar um hitastig í jarðhitakerfum og hitastig í mismunandi vatnsæðum í þeim. Þó menn setji sig ekki inn í flókinn fræðilegan bakgrunn fyrir línuritunum þá endurspegla þau sum vel þá blöndu vatns úr mismunandi æðum í holunum, sem fjallað hefur verið um í skýrslum um svæðið. Línuritin sýna logaritmann af útreiknuðu jónavirknimargfeldi við mismunandi hitastig fyrir vatnssýni úr holunum, tengd myndun ýmissa ummyndunarsteinda, sem taldar eru líklegar til að myndast í jarðhitakerfinu, á móti logaritmanum af tilsvarende fræðilegum gildum. Mikilvægt er við gerð línuritanna að valdar séu ummyndunarsteindir sem líklegt er að myndist í jarðhitakerfinu á því hitabili sem ríkir í því. Núlllínan sýnir jafnvægisástand og við það hitastig sem línurnar skera hana er viðkomandi steind í jafnvægi ($\log Q/K=0$). Við það hitastig sem flestar línur skerast á núlllínunni má reikna með að vatnið hafi síðast verið í jafnvægi við berggrunninn.



Mynd 13. Útreiknað jafnvægi við ýmsar helstu ummyndunarsteindir á móti hita fyrir vatnssýni þar sem vatnskerfið er í jafnvægi við um 150 °C hita. Núlllínan sýnir jafnvægisástand við það hitastig sem línurnar skera hana og er viðkomandi steind þá í jafnvægi.

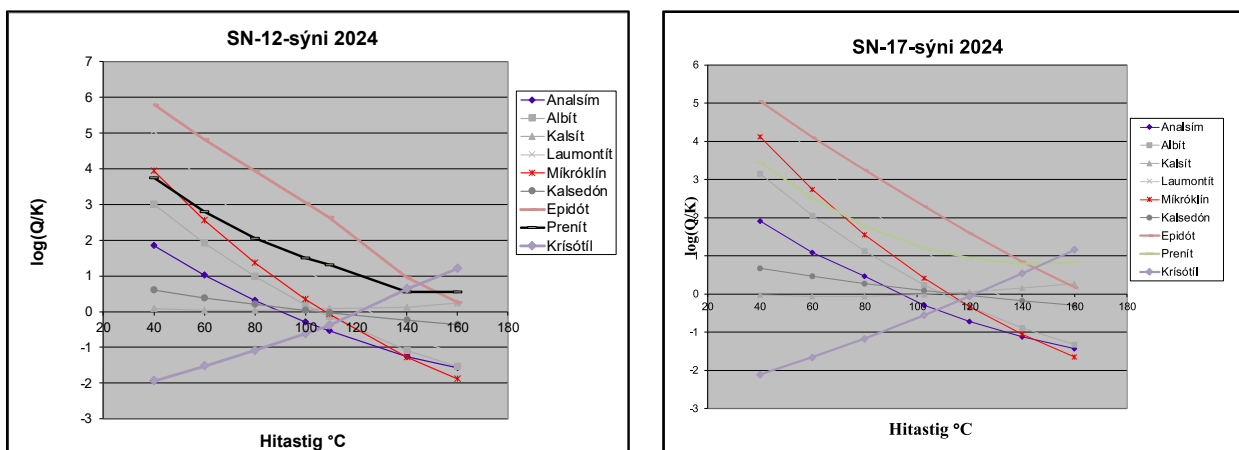
Á mynd 13 er sýnt slíkt línurit fyrir vatnssýni úr öðru vatnskerfi þar sem greinilegt jafnvægi er við hitastigið 150-160 °C. Þó ekki sé hægt að sjá svo greinilegan skurðpunkt gefa slík línurit oft góða vísbendingu um djúphitastig í jarðhitakerfinu. Séu margar misheitar vatnsæðar í borholu er líklegt

að ekki komi fram neitt eitt jafnvægi, en línuritið getur engu að síður gefið vísbendingu um að vatnið sé upprunnið við blöndun misheitra vatnskerfa. Margar línur sem skerast undir núlllínunni geta einnig bent til blöndunar við heitara vatn.



Mynd 14. Útreiknað jafnvægi við ýmsar helstu ummyndunar-steindir á móti hita fyrir vatnssýni úr holu SN-05 og SN-06 árið 2024. Núlllínan sýnir jafnvægisástand við það hitastig sem línurnar skera hana og er viðkomandi steind þá í jafnvægi

Á mynd 14 eru sýnt $\log Q/K$ línurit fyrir vatn úr vinnsluholu SN-05 og SN-06 frá sýnatöku 2024. Á línuritinu fyrir SN-05 sést að vinnsluvatnið er ekki í jafnvægi við neitt eitt hitastig, en línur skerast við um 100-120 °C og má sjá blöndun bæði við kaldara og heitara vatn. Breytingar eru litlar á línuritunum úr holu SN-05 milli ára 2023 og 2024. Línuritið fyrir SN-06 sýnir heldur ekki neitt eitt jafnvægishitastig en er ekki eins óreglulegt og margar línur skerast við um 120 °C og einnig eru skurðlínur ofan og neðan við 0 línu, sem benda til 140 °C jafnvægja.



Mynd 15. Útreiknað jafnvægi við ýmsar helstu ummyndunarsteindir á móti hita fyrir vatnssýni úr holu SN-12 og úr holu SN-17 teknum haustið 2024. Núlllínan sýnir jafnvægisástand við það hitastig sem línurnar skera hana og er viðkomandi steind þá í jafnvægi

Á mynd 15 eru línurit fyrir vatnssýni úr holu SN-12 og holu SN-17 í tekin í október og nóvember 2024. Línuritið úr holu SN-12 er mjög svipað og línurit fyrri ára, en bendir þó til meiri blöndunar að þessu sinni. Línuritið fyrir SN-17 er að mjög svipað og fyrir SN-12, enda var lítil dæling úr holunni og sýnið óvenjukalt. Þó sömu hitastig megi merkja á línuritum fyrir vatn úr öllum holunum eru þau þó mismunandi. Línurit fyrir holur SN-12 og SN-17 sýna að þar er greinilega ekki mikil blöndun við kaldara vatn en 100 °C.

7. VINNSLUGÖGN

Gögn um vatnsvinnslu Hitaveitu Seltjarnarness eru með svipuðu sniði og undanfarin ár (Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2024). Gagnaskráningakerfi veitunnar sendi mánaðarlega skýrslur með gögnum sem mæld voru með sjálfvirkum hætti.

Hrefna Kristmannsdóttir, ásamt Andra Arnaldssyni og Eric Myer hjá Vatnaskilum, fóru yfir gögnin, undirbyggðu til úrvinnslu og reiknuðu út meðalgildi fyrir einstaka mánuði, sem og allt árið. Hitaveita Seltjarnarness afhenti gögn sem mæld voru handvirkt. Hrefna sló þau inn í gagnagrunn fyrir fyrri hluta ársins. Gögn fyrir seinni hlutann afhenti Hitaveitan Vatnaskilum. Rennsli og hiti voru mæld sjálfvirkt á klukkutíma fresti í vinnsluholum. Líkt og áður reyndist eitthvað um eyður í gögnunum fyrir árið 2024, og voru þær óvenju langar í þetta skiptið, eða alls um 785 klukkustundir í heildina. Þar vantar sírituð gögn fyrir allar holurnar (tafla 11) vegna bilanna eða viðhalds á skráningarkerfinu. Mestu munar um tveggja vikna eyðu undir lok september, Auk þess vantaði sírituð gögn fyrir holu SN-17 vegna bilanna í þeim búnaði sem stóð frá október 2023 til lok janúar 2024. Þar sem gögn vantaði samtímis fyrir allar holurnar voru þær eyður látnar standa og tekið tillit til þeirra við útreikninga á meðaltölum. Fyrir holu SN-17 í janúar var vinnslu bætt við með því að leiðrétta flæðið til samræmis við framrásarflæðið.

Tafla 11. Eyður í sjálfvirkri rituðum gögnum árið 2024.

Hola	Frá	Til
Allar	9.1.2024 18:00	10.1.2024 07:00
	22.1.2024 09:00	22.1.2024 10:00
	26.2.2024 13:00	26.2.2024 16:00
	15.4.2024 08:00	15.4.2024 09:00
	4.6.2024 09:00	4.6.2024 10:00
	11.7.2024 11:00	11.7.2024 13:00
	12.9.2024 23:00	13.9.2024 09:00
	16.9.2024 11:00	1.10.2024 00:00
	21.11.2024 17:00	22.11.2024 07:00
	18.12.2024 18:00	19.12.2024 07:00
SN-17	1.1.2024 00:00	2.2.2024 16:00

Lengst af var vatnsborð eingöngu handmælt en í september 2021 voru settir upp og tengdir síritandi þrýstinemar í holum SN-01, -02, -03 og -04. Engar mælingar fengust þó fyrir árið 2024 úr kerfinu. Handmælingar voru enn gerðar með vatnsborðsmæli fyrir athugunarholurnar SN-01, SN-02 og SN-03. Í vinnsluholunum SN-05, SN-12 og SN-17 var handmældur þrýstingur notaður til að áætla vatnsborð. Nú fyrst í langan tíma var einnig mælt í holu SN-06. Hitastig var handmælt í öllum vinnsluholum.

7.1 Vinnsla

Líkt og undangengin ár kom í ljós misræmi á skráningu í tengslum við flæði út á kerfið, heildarupptekt úr vinnsluholum og svo retúr vatni. Ýmislegt kemur þar til, en við nánari eftirgrennslun virðist mesta ósamræmi stafa frá galla við skráningu inn á framrásarkerfið. Misræmið vex gott sem línulega frá u.þ.b. miðjum júlí fram til nóvember og nær allt að 30 L/s. Hér þarf að bregðast við og leita skýringa og lagfæra ástandið. Eftir leiðréttingu á framrásarflæðinu var misræmið að jafnaði um 2 L/s, sem er þó aðeins minna en síðastliðin ár. Eins og áður sagði var bilun í skráningarkerfi fyrir holu SN-17 í janúar sem var lagfærð í byrjun febrúar. Á þeim tíma var flæðið metið út frá handmælingum og heildarflæði inn á kerfið.

Vinnsla úr hverri holu fyrir sig er sýnd á myndum 16-19 en í töflu 12 sést hvenær dælt var úr holunum. Dælnar gengu allt árið fyrir holur SN-05 og SN-12, en holur SN-06 og SN-17 voru hvíldar yfir sumarmánuðina.

Tafla 12. *Keyrsla á djúpdælum Hitaveitu Seltjarnarness 2024.*

Hola	Frá	Til
SN-05	1.1.2024	31.12.2024
SN-06	1.1.2024	11.4.2024
	9.9.2024	31.12.2023
SN-12	1.1.2024	31.12.2024
SN-17	1.1.2024	11.6.2024
	5.11.2024	31.12.2024

Ársmeðalvinnslan úr einstökum holum var fyrir árið 2024 (árið á undan innan sviga):

- SN-05 : 15,9 L/s (15,9)
- SN-06 : 6,9 L/s (4,2)
- SN-12 : 19,3 L/s (8,1)
- SN-17 : 13,8 L/s (24,2)

Sumarhvíldin hjá SN-06 og SN-17 endurspeglast í lægri ársmeðaltölum. Beinn samanburður við vinnslu ársins á undan er varla marktækur þar sem vinnslufyrirkomulagið var annað það árið, þ.e.a.s. hvað holur voru í hvíld, hvenær og hversu lengi.

Heildarrennsli úr öllum vinnsluholum á Seltjarnarnesi er sýnt á mynd 20, og er hegðunin með svipuðu sniði og undanfarin ár. Minnst er rennslið (klukkustundarmeðaltöl) um sumarmánuðina (á milli 30 – 40 L/s) og mest á veturna, allt að 90 L/s. Mánaðarmeðalvinnsla, ásamt ársmeðalvinnslu, frá 1994 til 2024 eru í töflu 13. Ársmeðalvinnsla árið 2024 (56,0 L/s) var um 7% hærri en árið á undan (52.3 L/s).

Heildarvinnsla úr jarðhitasvæðinu á Seltjarnarnesi frá 1996 til 2023 er sýnd á mynd 21. Á myndinni er sýnt klukkustundarmeðaltal, ásamt mánaðarmeðalvinnslu og ársmeðalvinnslu úr töflu 13. Vinnslan árið 2024 var með svipuðu sniði og undanfarin ár með tilliti til árstíðabundinna sveiflna, en hefur þó skriðið hægt upp á við undanfarin ár. Eins og sést í töflu 13 þá var árið 2024 með hæstu skráðu meðalvinnsluna í sögu Hitaveitunnar, þó svo að ekki muni þar miklu.

Tafla 13. Mánaðarmeðaltal heildarrennslis árána 1994 til 2024.

	Meðalrennslí [L/s]															
	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	
Janúar	47.2	50.0	43.5	62.3	63.1	65.5	54.0	54.9	63.5	59.6	60.9	60.4	56.5	67.0	66.0	
Febrúar	29.1	50.0	42.6	65.3	62.8	66.5	58.6	55.3	69.6	62.9	59.0	57.6	53.7	65.7	66.2	
Mars	35.7	52.4	42.6	65.0	47.0	64.9	56.0	53.1	58.9	57.2	55.2	55.4	55.1	60.9	65.0	
Apríl	46.8	49.0	44.0	53.4	49.4	54.5	46.1	42.7	50.1	47.6	49.0	51.4	50.6	52.1	57.1	
Mai	49.2	41.0	44.5	39.9	40.4	43.9	34.4	34.5	41.0	41.8	41.4	41.1	39.2	44.0	44.8	
Júní	53.6	37.0	44.0	32.1	28.5	38.0	29.4	29.6	28.7	32.0	31.0	31.2	36.2	38.3	35.6	
Júlí	55.3	34.9	43.0	26.0	27.3	30.0	26.0	26.7	27.6	28.6	28.1	29.0	30.9	32.3	33.2	
Ágúst	44.3	28.4	37.8	27.2	28.5	29.6	29.4	25.6	28.3	26.9	27.2	30.3	29.7	34.2	33.5	
September	31.8	48.3	33.6	36.5	39.4	36.0	38.0	29.1	32.7	37.7	36.5	39.8	33.6	42.6	41.0	
Október	30.5	55.3	23.3	45.8	49.7	45.0	48.8	40.1	43.6	45.8	47.7	50.0	43.1	48.0	54.7	
Nóvember	45.9	47.3	56.5	49.1	56.1	52.7	54.8	55.5	46.2	52.5	55.7	57.2	59.1	56.5	61.1	
Desember	47.2	43.8	62.4	53.5	58.8	58.1	53.9	58.0	52.6	60.7	63.1	54.7	57.2	64.1	63.5	
Árið	43.1	44.8	43.2	46.3	45.9	48.7	44.1	42.1	45.2	46.1	46.2	46.5	45.4	50.5	51.8	
	Meðalrennslí [L/s]															
	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Janúar	58.8	61.3	61.0	65.2	62.3	60.9	67.7	71.1	63.2	69.4	76.7	77.1	74.0	66.5	73.7	72.6
Febrúar	64.0	66.5	60.4	59.4	59.4	59.9	68.1	73.5	59.2	70.5	76.4	72.8	70.8	70.2	66.9	72.8
Mars	61.4	57.4	62.7	57.3	57.8	58.3	63.3	61.0	58.6	61.6	70.1	72.1	65.5	61.0	67.0	65.8
Apríl	51.4	57.4	51.8	46.6	53.6	47.7	55.9	51.5	54.7	52.2	56.9	61.5	59.2	49.0	52.8	59.3
Mai	42.3	42.6	41.6	39.4	45.2	39.5	45.4	43.9	43.7	48.3	45.9	46.7	48.9	38.2	46.4	45.3
Júní	31.8	30.6	33.6	26.3	36.8	32.9	38.0	35.9	37.8	42.8	39.2	39.3	43.2	31.8	38.7	40.2
Júlí	28.2	26.3	30.2	23.1	32.4	31.1	31.3	30.7	33.8	38.5	34.3	33.8	37.3	29.2	31.3	36.1
Ágúst	31.2	27.4	31.3	23.9	32.6	29.6	32.2	31.0	32.6	37.3	33.2	35.2	32.2	28.5	30.1	37.7
September	38.2	33.2	31.8	36.0	40.1	35.0	36.5	38.3	37.5	44.5	38.6	45.8	37.8	35.7	39.6	42.7
Október	45.6	40.4	45.0	48.1	47.3	45.1	44.3	45.3	45.1	54.8	50.0	52.6	47.9	46.5	52.5	55.1
Nóvember	51.3	66.8	50.0	60.2	58.1	50.0	58.5	55.8	61.8	59.5	59.4	63.6	57.2	49.8	59.3	67.1
Desember	63.2	63.7	66.9	62.7	66.0	66.4	70.4	57.8	67.7	72.5	71.9	64.2	61.2	70.1	70.4	77.3
Árið	47.3	47.8	47.2	45.7	49.3	46.4	51.0	49.6	49.6	54.3	54.4	55.4	53.0	48.0	52.3	56.0

7.2 Vatnshiti

Hitamælingar ársins (bæði síritaðar og stakar handmælingar) eru sýndar á myndum 22-25. Meðalhiti í holu SN-05 í ár var 99,2 °C sem er á pari við árið á undan. Í holu SN-06 reyndist meðalhiti 117,2 °C. Hitinn heldur því áfram að lækka, árið 2023 var hann 118,3 °C og þar á undan 119,9 °C. Hér þarf e.t.v. að hafa augað á þessu og meta hvort þessar breytingar haldi áfram. Meðalhiti í SN-12 hækkaði aftur vegna aukinnar dælingar m.v. árið á undan (101,8 °C) og var 107.4 °C síðastliðið ár. Meðalhiti vinnsluvatns úr holu SN-17 var tæplega 110.3 °C, sem er um hálfri gráðu lægra en árið á undan.

7.3 Vatnsborð

Vatnshæðarmælingar eru sýndar á myndum 26-33. Mikilvæg viðbót varð við eftirlitsgetuna árið 2021 þar sem síritandi vatnsborðsmælar voru settir upp í holum SN-01, -02, -03 og -04. Þær mælingar eru sýndar með rauðum lit á myndunum. Engar nýjar mælingar bættust fyrir árið 2024, sem er einkar óheppilegt. Hér væri æskilegast að huga að breyttu fyrirkomulagi með því að fiska mælana upp reglulega til að safna og greina gögnin, ásamt því að kanna stöðu og ásigkomulag mælanna. Samhliða þessu væri rétt að skoða stöðu á flæðismælum (einnig fram- og bakrás), gera samanburðarmælingar til að kanna áreiðanlega þeirra og skipta út þeim eru komnir til ára sinna, t.d. í SN-05 og 06.

Vatnsborð í athugunarholunum SN-01, SN-02 og SN-03 sveiflast í takt við vinnsluna úr svæðinu. Vatnsborð í þeim fór hækkandi árin 2020-2022 samhliða minnkandi heildarvinnslu, en vatnsborð lækkaði lítillega árin 2023 og 2024 vegna vinnsluaukningar úr svæðinu m.v. síðastliðin ár. Greina má þó hægfara, langtímalækkun á vatnsborðinu (sérstaklega í SN-01) frá ca. miðjum 10. áratugnum til dagsins í dag. Í holu SN-01 eru sumar handmælingar (hljóðhraðamælingar) ótrúverðugar (vegna vatnsleika við föðurrörsenda) þar sem þær sýna mjög háa vatnsstöðu, eða um og yfir -30 m y.s. Þær mælingar eru sýndar á mynd 26 sem punktar í stað línu.

Eftir að hola SN-04 tjónaðist í mars 2021 hefur verið haldið áfram að handmæla standandi vatnsborð í henni. Vatnsborðið hefur reynst tiltölulega stöðugt og sveiflast í takt við heildarvinnsluna úr kerfinu, en var þó heldur lægra í fyrri m.v. árin á undan. Það er ekki alveg ljóst hvað veldur breytingunni, hvort það sé aukin heildarupptekt úr kerfinu eða jafnvel vinnsluaukning úr SN-06 m.v. árið á undan. Vatnsborð í holu SN-05 árið 2024 var nokkuð svipað og árin á undan, og sveiflast milli ca. -30 og -115 m y.s., enda heildarvinnslan úr holunni álíka.

Eftir langt hlé voru framkvæmdar handmælingar í holu SN-06. Vatnsborðið virðist vera á svipuðu róli og áður, sveiflast á milli -70 til -20 m y.s. Athyglisvert verður að fylgjast með áframhaldandi mælingum úr holunni.

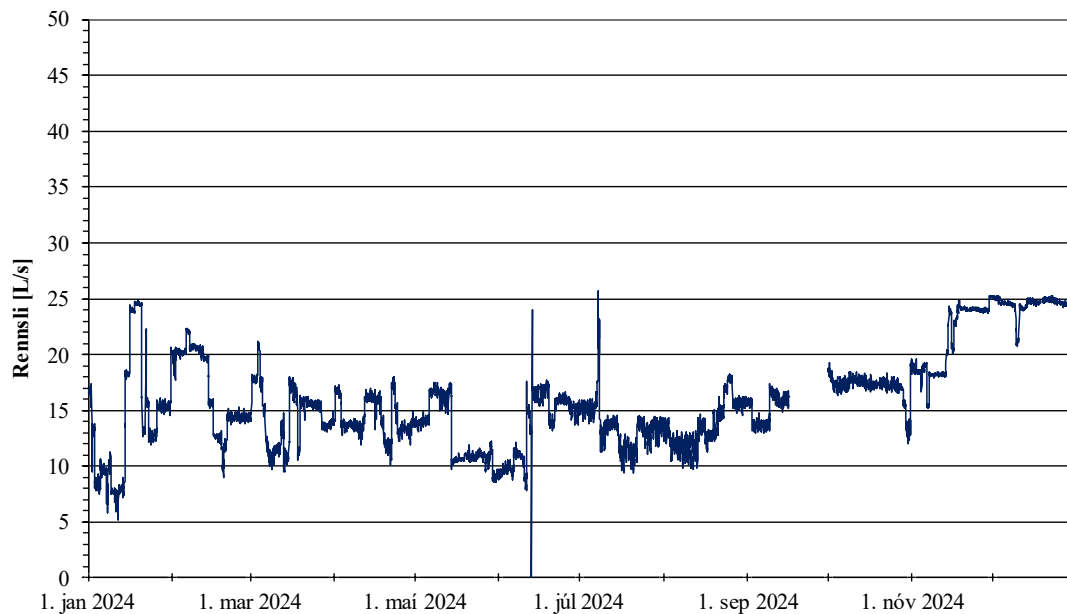
Vatnsborð í holu SN-12 heldur áfram að lækka og er sú lækkun afar greinileg frá árunum 2014 – 2015. Vatnsborð í holu SN-17 hækkadi milli áranna 2022 og 2023, og hélt áfram að hækka árið 2024. Um áramótin 2022 – 2023 var staða vatnsborðs um -115 m y.s. Áramótin eftir hafði lægsta staða um hækkað um ca. 5 m og svo aðra 10 m undir lok árs 2024. Mælingar benda til að sérstaklega góð tengsl séu á milli SN-12 og SN-17 og er því nauðsynlegt að skoða hvernig þær geti sem best verið nýttar samtímis.

Mælingarnar á vatnsborði og hita benda til þess að jarðhitakerfið sé í ásættanlegu ástandi undir lok árs 2024 og að vel hafi gengið að spila saman á vinnsluholurnar. Ákvörðun hefur ekki verið tekin um hvort eldri holunni, SN-04 verði bætt aftur inn í kerfið þar sem hún er með töluvert skert afköst og þess vegna lægra vinnsluhitastig en áður fyrr. Það hefur verið til skoðunar að endurtaka dæluprófið fyrir SN-04 frá 2021 þar sem það mislukkaðist að einhverju leyti. Með því væri hægt að leggja betra mat á hugsanlega vinnslugetu hennar. Áfram er mikilvægt að fylgjast vel með mælingum árið 2025 til að meta hvort vinnsla úr einstökum holum valdi einhverjum ófyrirséðum breytingum á kerfinu, t.d. á magni og hitastigi á vatni úr vinnsluholum.

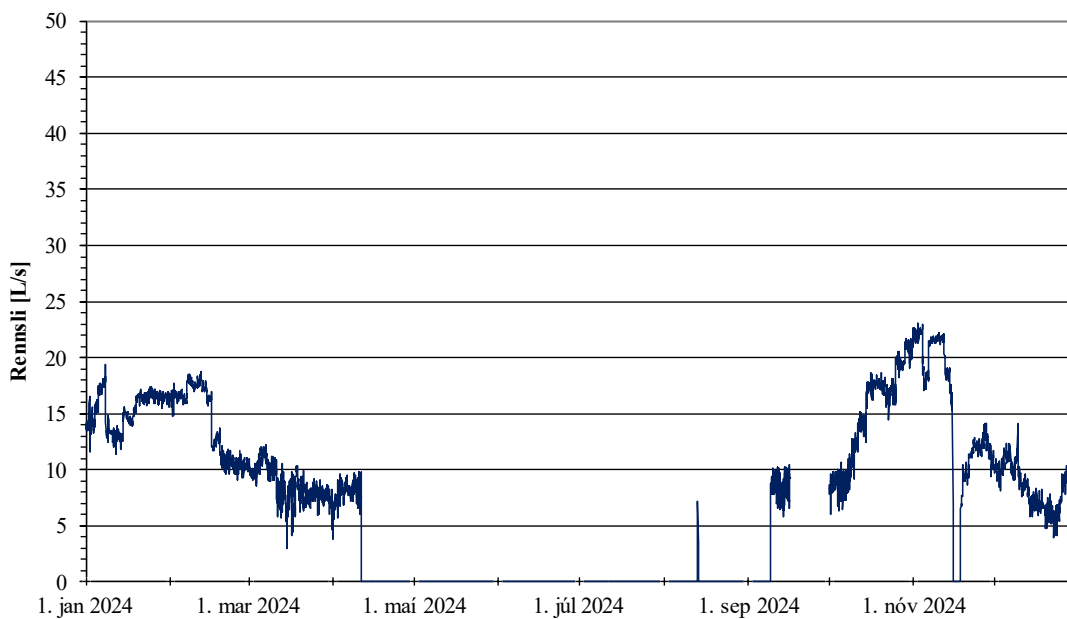
Eins og bent hefur verið á í fyrri skýrslum myndi sjálfvirkur útsláttarbúnaður tengdur vatnsborði í vinnsluholunum auka á öryggi og koma í veg fyrir skemmdir á dælum ef skyndileg lækkun yrði á vatnsborði. Slíkur búnaður var settur upp í holu SN-06 fyrir nokkrum árum, en er enn óvirkur. Eindregið er lagt til að hann verði lagfærður á sama tíma og mælibúnaðurinn fyrir niðurdráttarmælingar. Jafnframt yrði settur upp samskonar búnaður í hinum vinnsluholunum. Reynsla undanfarna ára hefur sýnt að kólnun eða hitnun jarðhitavats vegna þátta tengdum rekstri kerfisins, t.d. förgun umframvats eða niðurrennsli, getur haft töluverð áhrif á vatnsborðið.

Forðafræðilíkan Vatnaskila af jarðhitasvæðinu á Seltjarnarnesi var síðast uppfært árið 2015 og var á sama tíma beitt til að meta framtíðarviðbrögð jarðhitakerfisins við aukinni heitavatsvinnslu (Vatnaskil, 2016). Líkaninu var beitt árið 2021 við rekstrarmat fyrir hitaveituna á komandi vetri 2021-22, eftir að hola SN-04 laskaðist, þar sem einungis var notast við holur SN-05, 06 og 12 við vetrarvinnsluna. Nú er komin upp breytt staða á kerfinu þar sem framtíðarnotkun á SN-04 er óráðin og SN-17 er komin inn. Því er ráðlegt að huga að nýtingu forðafræðilíkansins við skipulag nýs rekstrarfyrirkomulags og langtímaspá um nýtingu jarðhitakerfisins. Hægt er að beita líkaninu til að

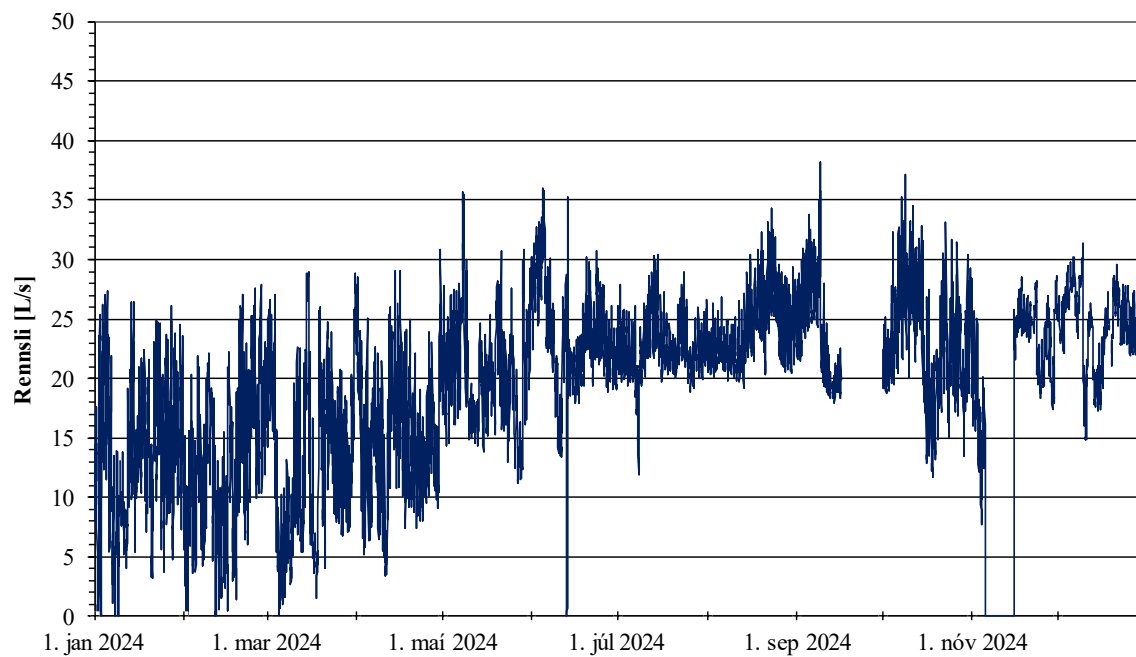
spá fyrir um hugsanlegar breytingar á kerfinu vegna breyttrar og aukinnar heildarvinnslu (t.d. ef SN-04 yrði tekin aftur til notkunar) úr svæðinu samhliða áætlunum um aukna byggð á Nesinu. Einnig er hægt að nýta líkanið til að meta ýmsar breytingar á útfærslu og samsetningu vinnsluholna við hugsanlega bestun á rekstrarfyrirkomulagi veitunnar. Samhliða þessu mætti útbúa heildstætt líkan af öllu hitaveitukerfinu (hitaveitulíkan) og þannig samnýta forðafræðilíkanið til að skoða ýmsar útfærslur og breytingar á öllu kerfinu.



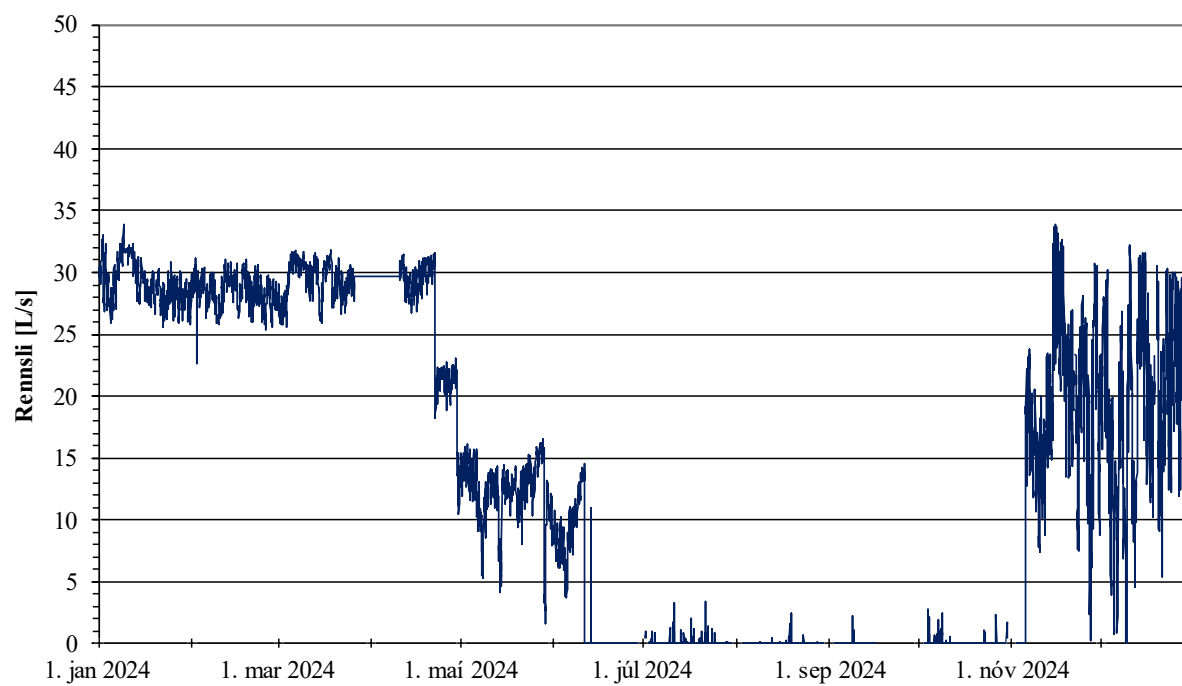
Mynd 16. Rennsli úr holu SN-05.



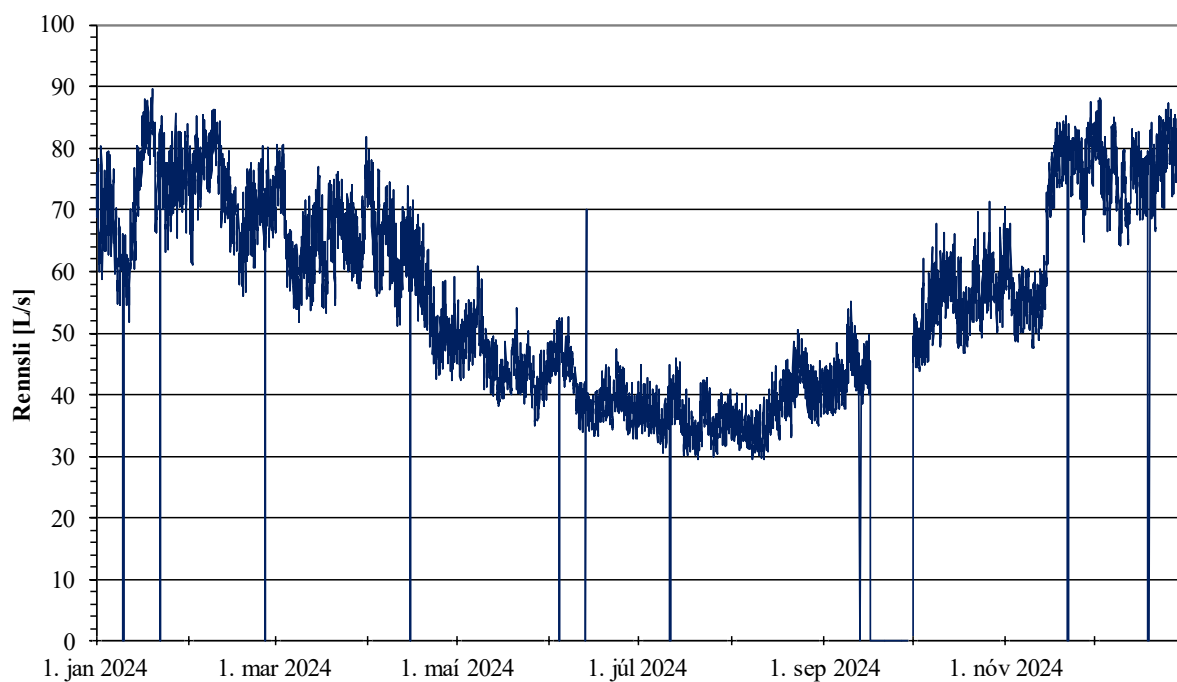
Mynd 17. Rennsli úr holu SN-06.



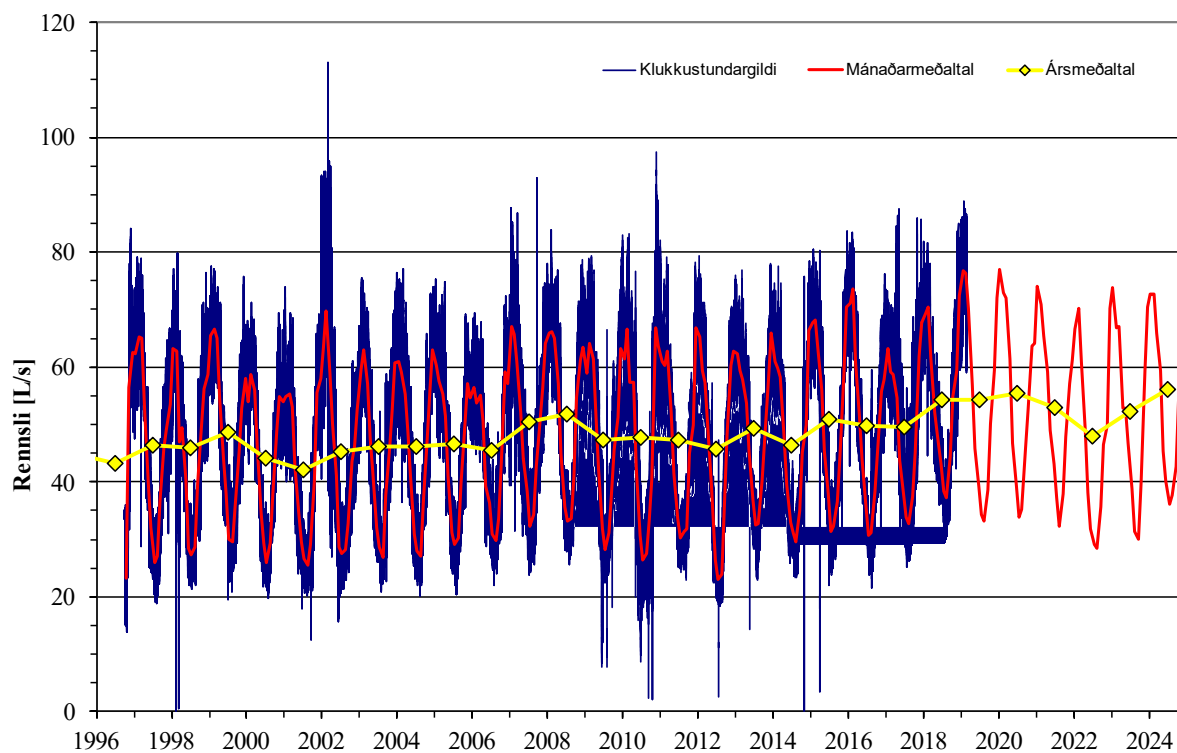
Mynd 18. Rennsli úr holu SN-12.



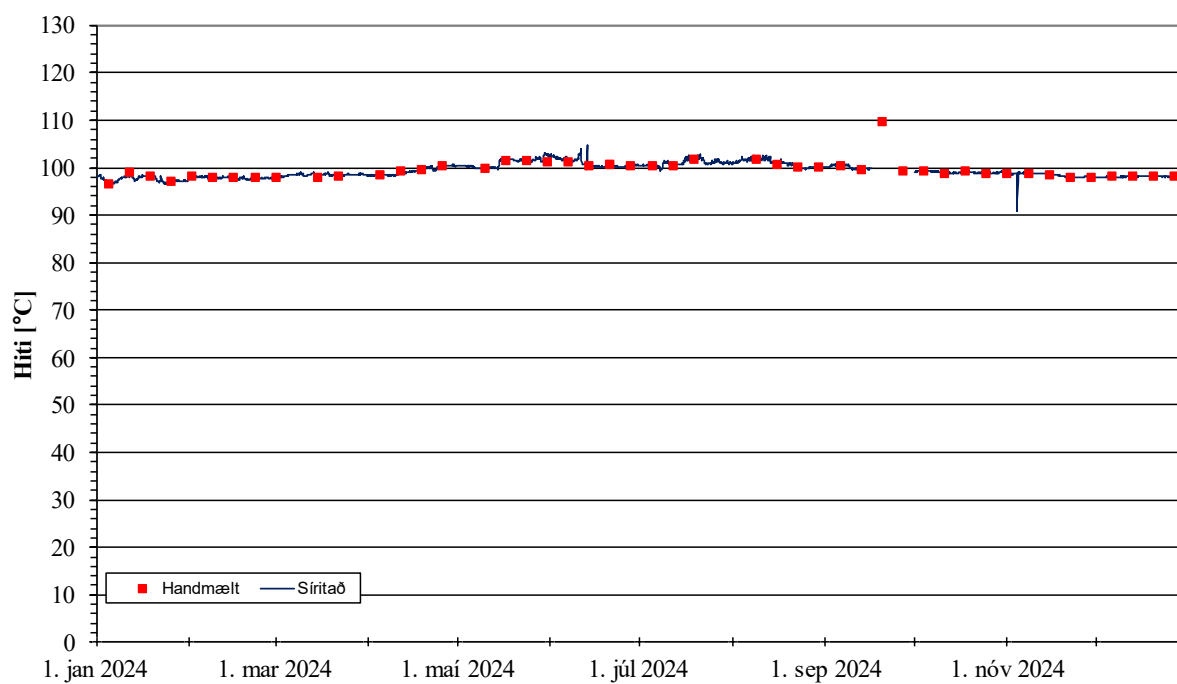
Mynd 19. Rennsli úr holu SN-17.



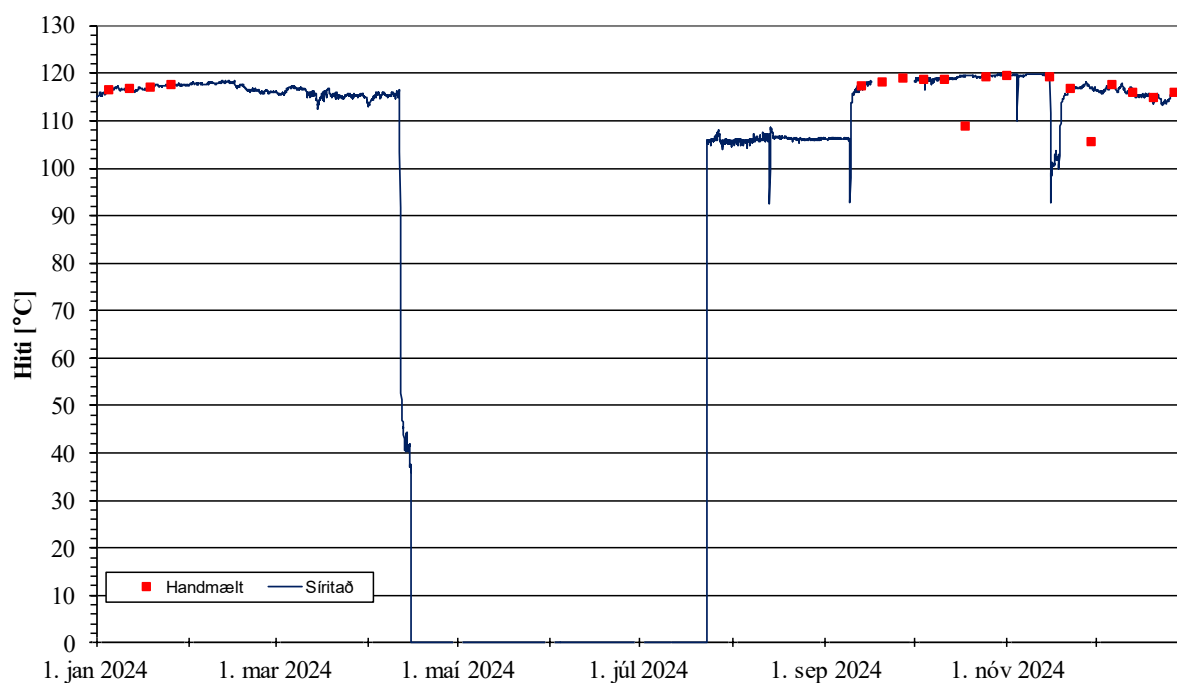
Mynd 20. Heildarrennsli úr öllum vinnsluholum á Seltjarnarnesi.



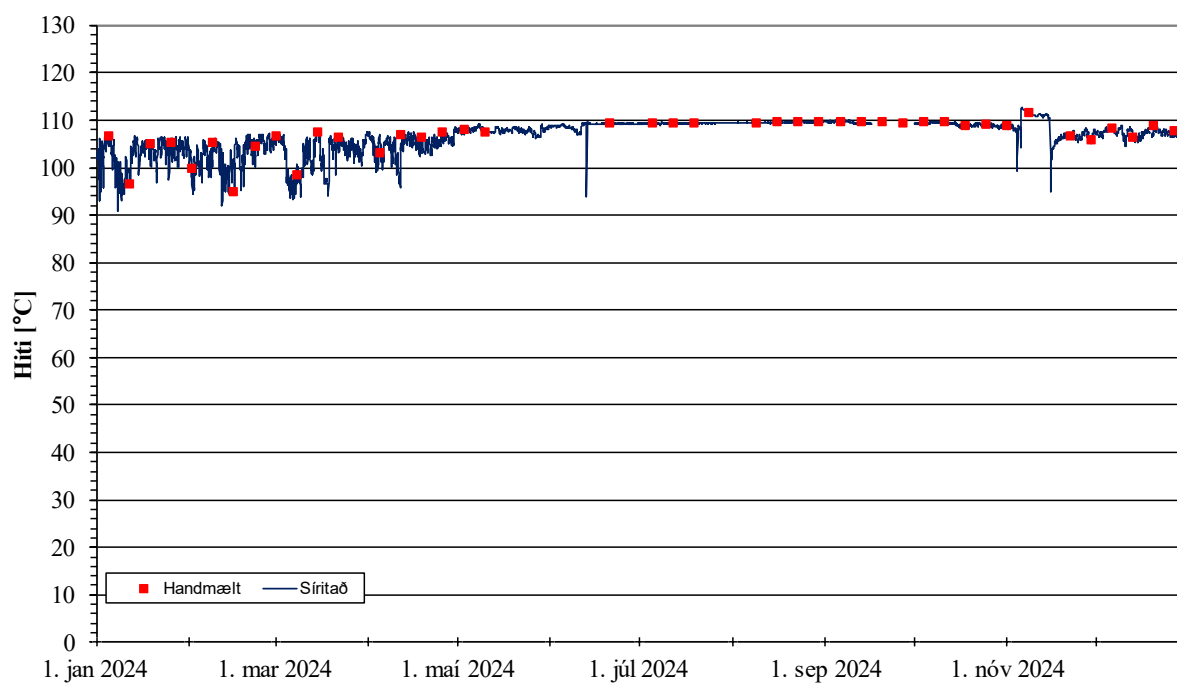
Mynd 21. Heildarrennsli úr vinnsluholum á Seltjarnarnesi 1996-2024. Sýnt er klukkustundargildi, mánaðarmeðalrennsli og ársmeðalrennsli.



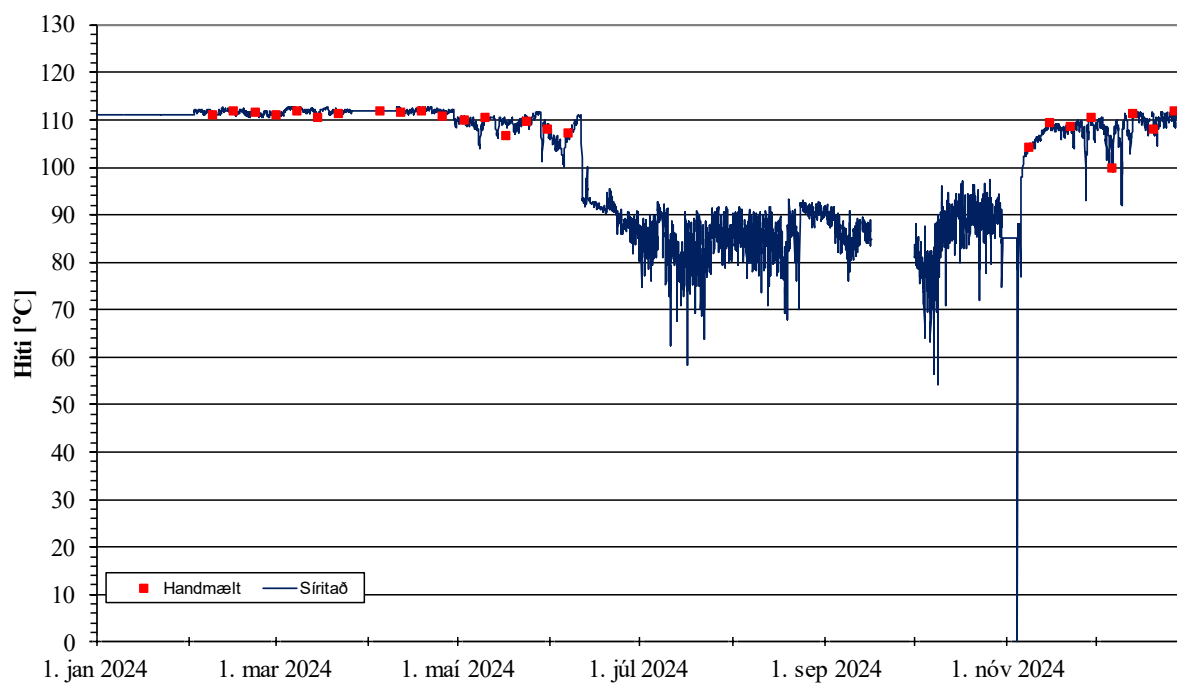
Mynd 22. Hitastig í holu SN-05.



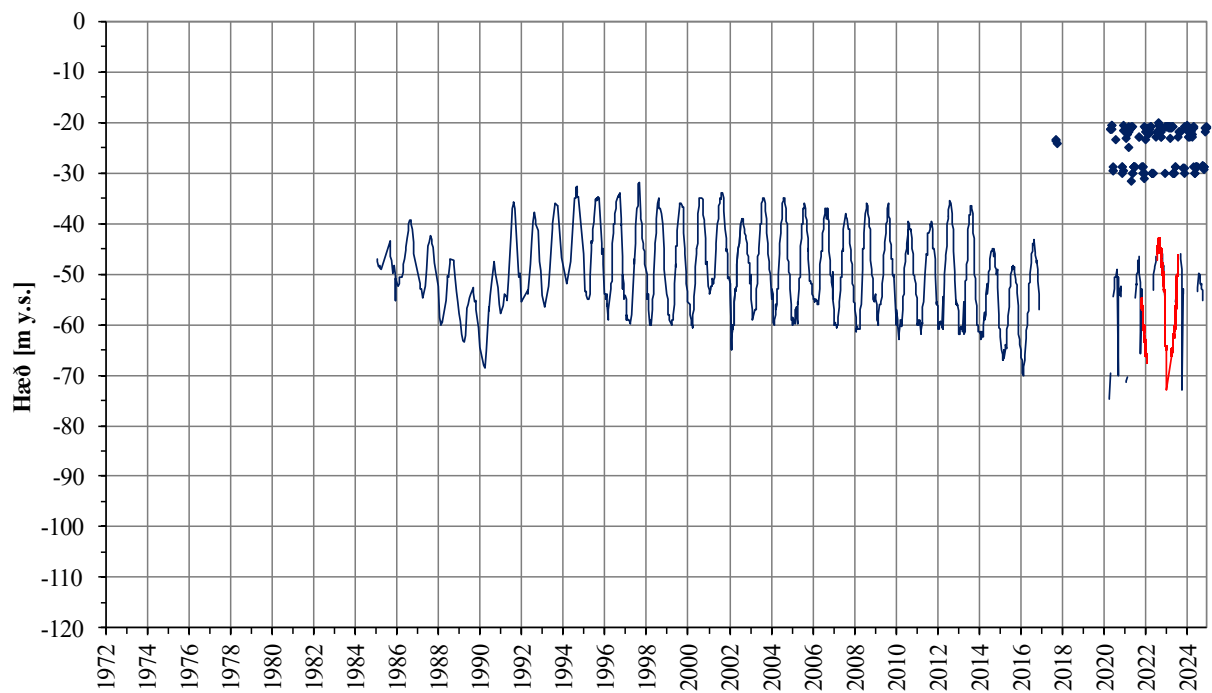
Mynd 23. Hitastig í holu SN-06.



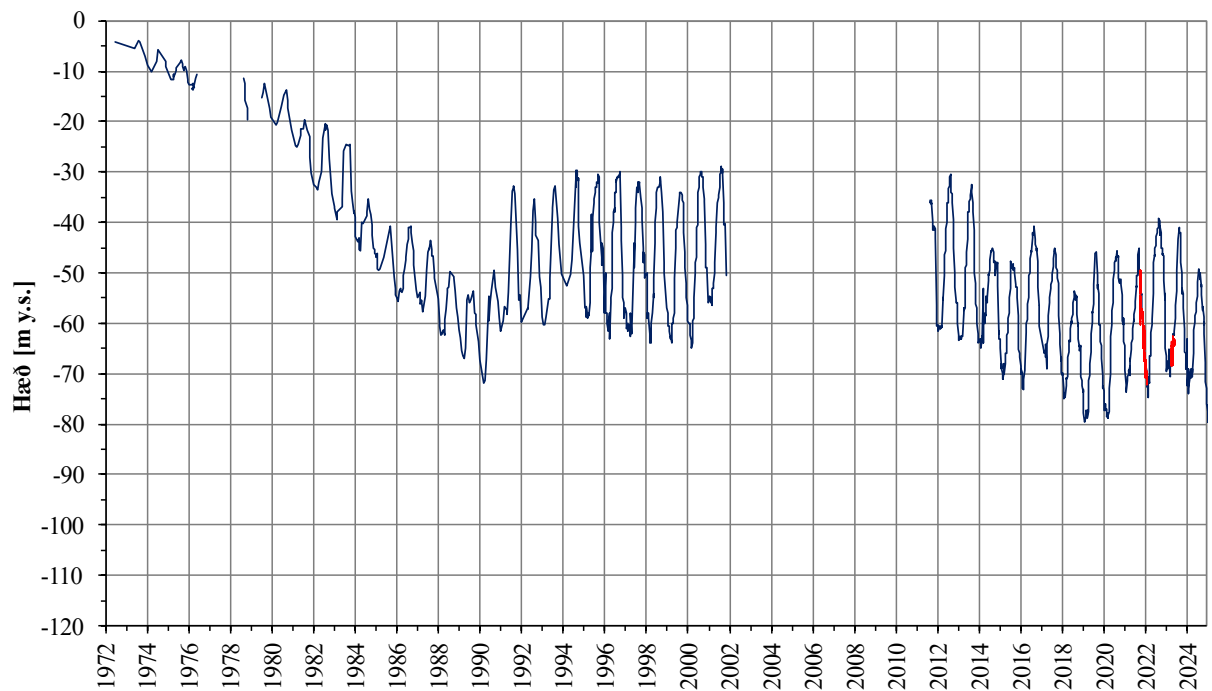
Mynd 24. Hitastig í holu SN-12.



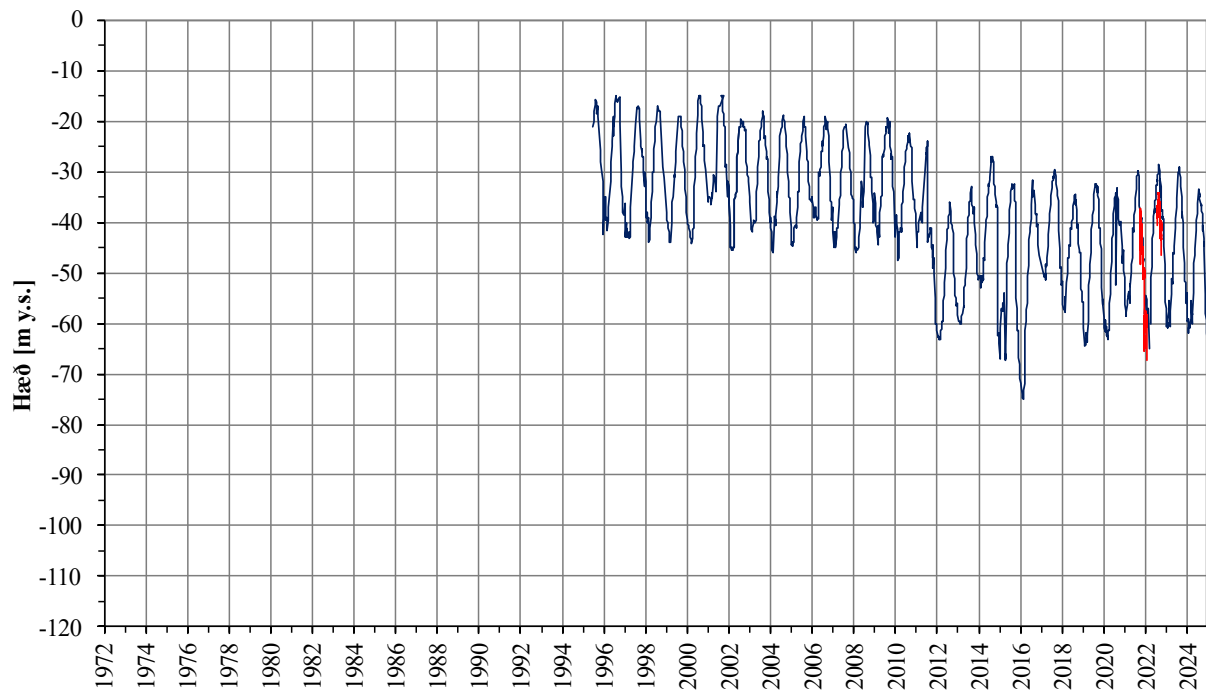
Mynd 25. Hitastig í holu SN-17.



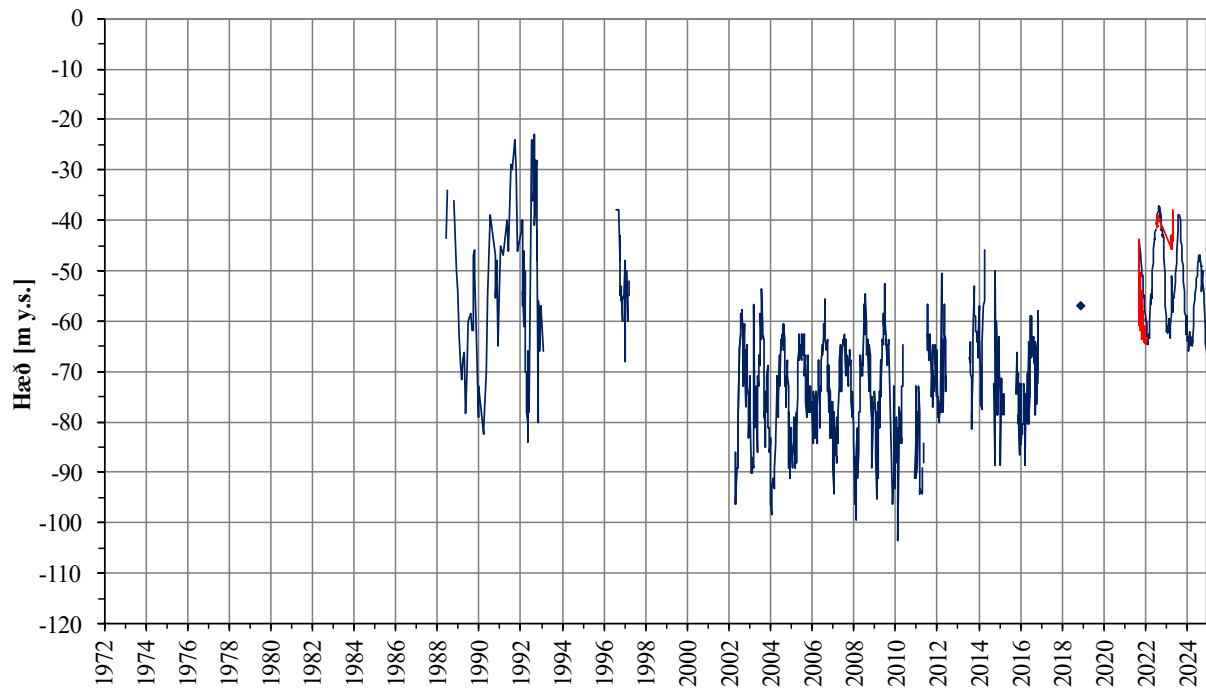
Mynd 26. Mælt vatnsborð í holu SN-01 frá 1972-2024. Handmælingar eru bláar og síritaðar mælingar rauðar. Bláu punktarnir eru mælingar frá hljóðhraðamæli sem eru ekki marktækar.



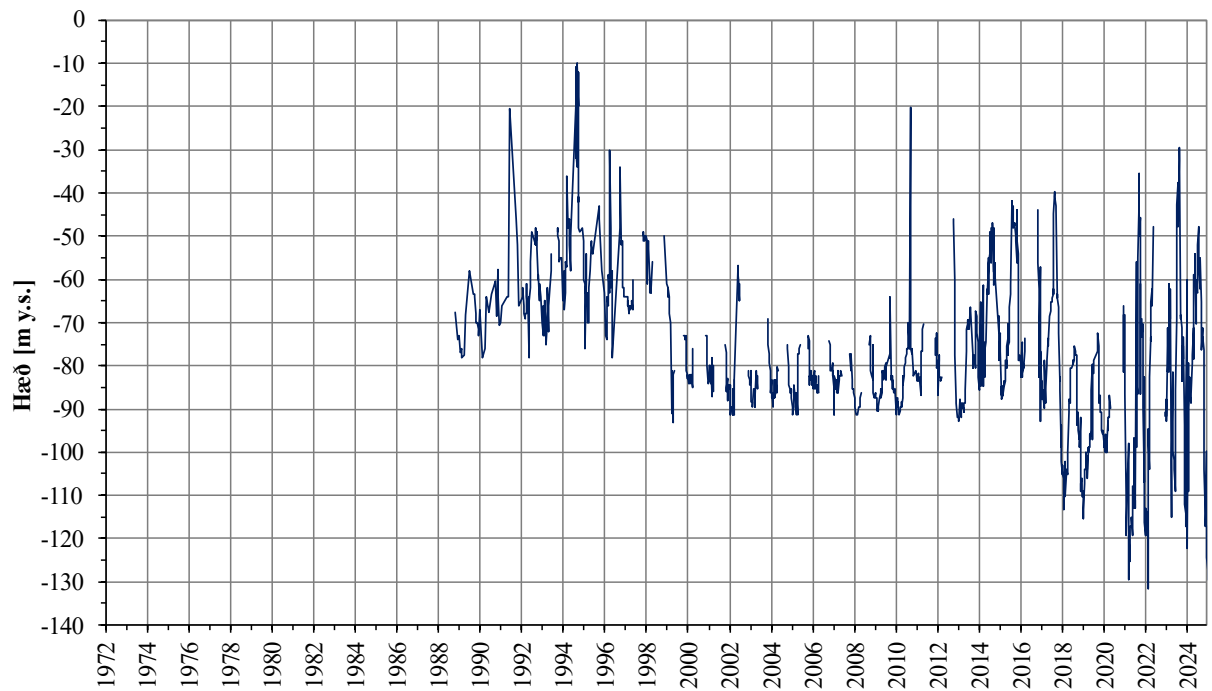
Mynd 27. Mælt vatnsborð í holu SN-02 frá 1972-2024. Handmælingar eru bláar og síritaðar mælingar rauðar.



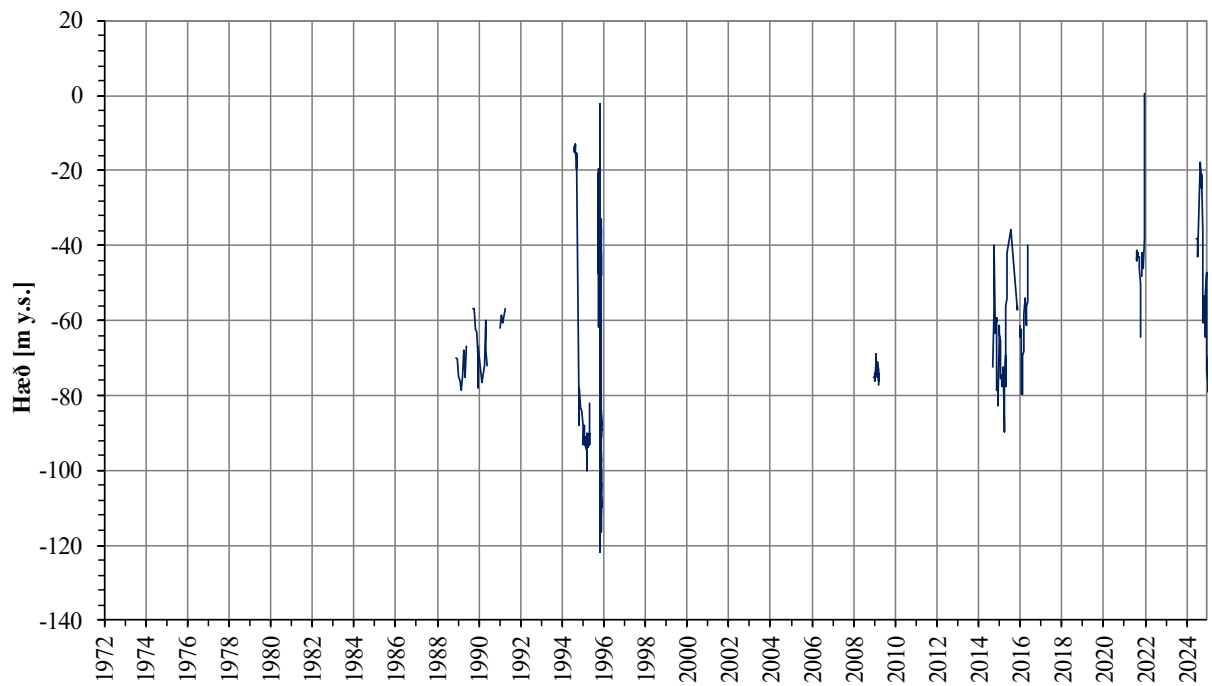
Mynd 28. Mælt vatnsborð í holu SN-03 frá 1972-2024. Handmælingar eru bláar og síritaðar mælingar rauðar.



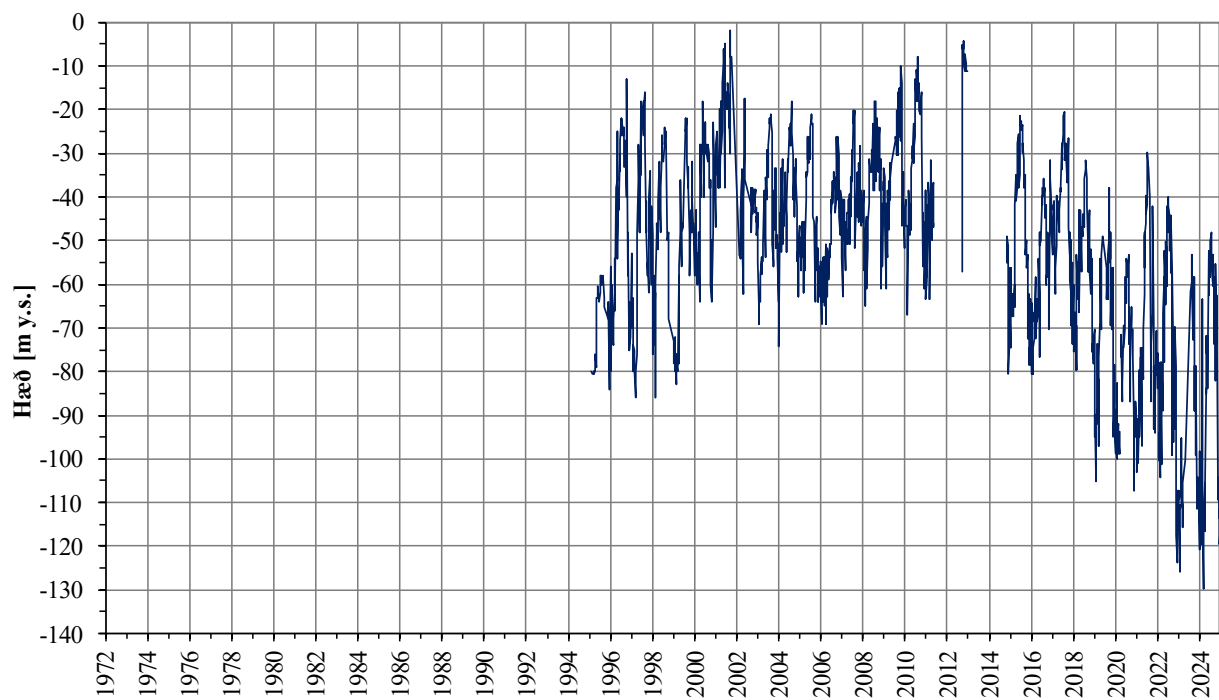
Mynd 29. Mælt vatnsborð í holu SN-04 frá 1972-2024. Handmælingar eru bláar og síritaðar mælingar rauðar.



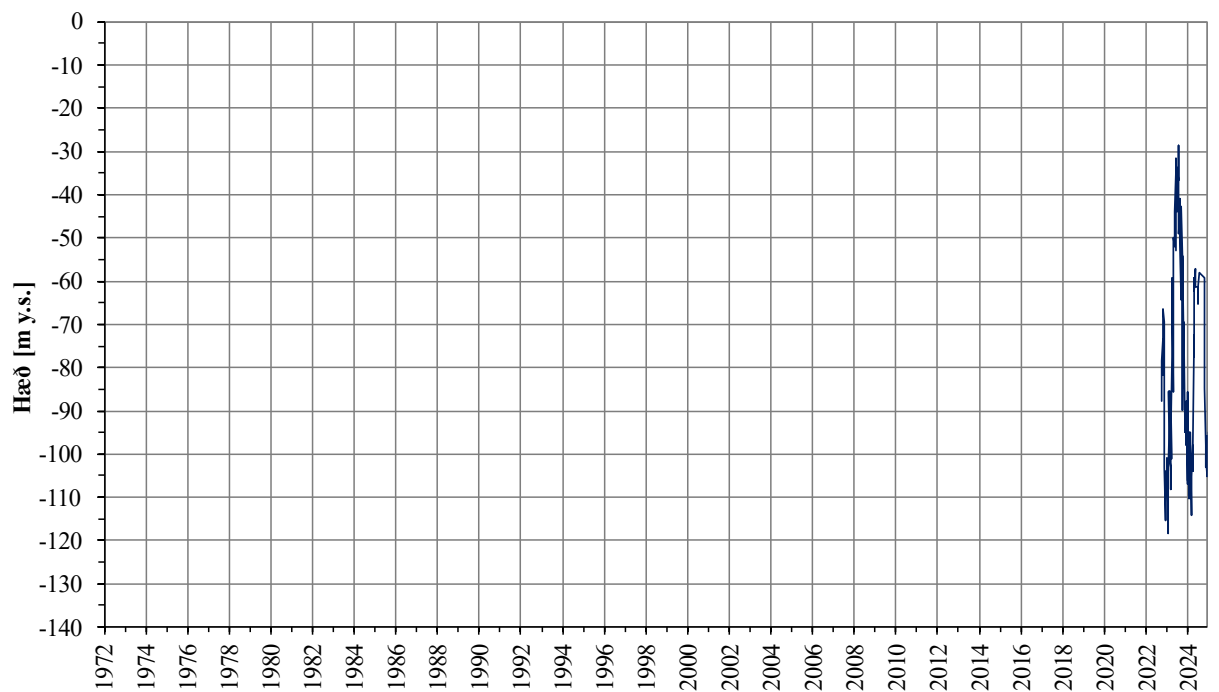
Mynd 30. Mælt vatnsborð í holu SN-05 frá 1972-2024.



Mynd 31. Mælt vatnsborð í holu SN-06 frá 1972-2024.



Mynd 32. Mælt vatnsborð í holu SN-12 frá 1972-2024.



Mynd 33. Mælt vatnsborð í holu SN-17 frá 2022-2024.

8. MAGN OG HITASTIG FRAMRÁSAR OG BAKRÁSARVATNS

Í töflu 14 eru teknar saman magntölur fyrir dælt vatn úr svæðinu og magn framrásar- og bakrásarvatns s.l. tólf ár.

Tafla 14. Magn og meðalhitastig dælds vatns, framrásar- og bakrennslisvatns. Jafnframt magn selds vatns og hlutfallslegt “tap” kerfis.

Ár	Dæling upp úr svæði L/s	Hitastig dælds vatns °C	Bakrennslisvatn L/s	Hitastig bakrennslisvatns °C	Framrásarvatn L/s	Hitastig framrásarvatns °C	Selt L/s	Út á kerfi m ³	Selt m ³	Tap m ³	Tap %
2013	49,1	106,0	23,3	35	72,6	83,2	63,4	2.290.459,7	1.999.428,8	291.030,90	12,7
2014	46,7	102,2	19,8	33,2	66,6	87,7	61,8	2.099.351,5	1.948.888,8	150.462,70	7,2
2015	50,9	101,1	25,9	35,2	76,0	80,9	64,6	2.396.736,3	2.038.522,0	358.214,3	14,9
2016	49,6	101,6	24,1	34,4	73,6	80,4	68,7	2.327.408,4	2.172.707,0	154.701,6	6,6
2017	49,6	108,7	24,4	36,5	73,9	83,4	64,7	2.329.217,4	2.040.989,0	288.228,4	12,3
2018	54,3	106,2	27,6	38,9	82,5	84,3	64,7	2.601.720,0	2.041.700,8	560.019,2	21,5
2019	54,4	104,6	28,6	38,1	82,9	83,9	84,4	2.613.689,9	2.662.789,8	-49.099,9	-1,9
2020	55,4	105,2	32,5	36,3	87,9	81,9	78,8	2.733.264,0	2.484.075,4	249.188,6	9,1
2021	53,0	105,1	29,7	33,6	82,7	81,1	75,7	2.608.027,0	2.387.096,5	220.930,5	8,4
2022	48,0	108,6	24,4	32,7	72,3	82,6	67,8	2.280.053,0	2.139.585,3	140.467,7	6,2
2023	52,3	106,3	23,7	34,0	76,0	81,8	70,4	2.396.736,0	2.219.082,9	177.653,1	7,4
2024	56,0	106,6	26,5	36,0	80,0	82,8	76,1	2.522.880,0	2.398.353,4	124.526,6	4,9

Jafnframt er sýnt í töflunni hversu mikið var selt af vatni og hlutfallslegt “tap” í kerfinu. Tölur fyrir 2013 eru ónákvæmari en fyrir seinni árin því sumar tölur voru áætlaðar en ekki fengnar úr gagnaskráningarkerfinu.

Eins og fram kom í kafla 7 var meðaldæling úr holunum um 56,0 L/s. Meðalhitastig dælds vatns er 106,6 °C. Það hitastig sem hér er notað fyrir dælda vatnið er meðaltal á mælingum úr holunum, reiknað með tilliti til magns þar sem hitanemi í dælustöð hefur reynst óstöðugur.

Magn bakrennslisvatns var 26,5 L/s og meðalhitastig þess var 36,0 °C. Ekkert niðurrennsli var í holu SN-03 á árinu.

Skráning í dælustöðinni sýnir að 80,0 L/s hafa farið út á kerfið að meðaltali og meðalhitastig framrásarvatnsins hefur verið 82,8 °C. Þetta er nokkru meira vatnsmagn en fór út á kerfið 2023 og hitastig framrásarvatns hefur hækkað um 1°C frá 2023. Hitastig bakrásarvatns var 2 °C hærra en 2023. Magn framrásarvatns byggist á rennslismælingum í dælustöð, en vinnslan er að hluta til áætluð. Eins og oft áður reiknast nokkurt „tap“ í kerfinu þar sem út á kerfið fer meira vatn en selt er. Ekki er um samtímagögn að ræða og tími aflestrar hefur veruleg áhrif á þetta uppgjör og því rétt að líta á meðaltal nokkurra ára. Ekki er óeðlilegt að eitthvert tap sé í kerfinu þar sem alltaf eru lekar í dreifikerfinu og einnig veitir Hitaveitan fólki afslátt verði stórfelldar bilanir sem valda miklu gegnumstreymi í heitavatskerfum húsa. Þessi samanburður er því ekki mjög nákvæmur en þó rétt að skoða hann sem einn þátt í eftirliti með notkun og vinnslu.

9. SAMANDREGNAR NIÐURSTÖÐUR

1. Á árinu 2024 voru tekin sýni til heildarefnagreininga úr fjórum vinnsluholum, SN-05, SN-06, SN-12 og SN-17.
2. Jafnframt vat tekið sýni úr bakrás veitunnar.
3. Starfsmenn Hitaveitunnar tóku vikulega sýni og mældu rafleiðni í vinnsluvatni allra holna sem voru í vinnslu. Rafleiðni í vinnsluvatns úr holunum virðist vera örlítið hækkandi milli ára, en mjög breytileg eftir vinnslu.
4. Heildarefnagreiningar á sýnum úr holunum sýna ekki verulegar breytingar á efnasamsetningu jarðhitavatnsins, nema sem rekja má til mismunandi vinnslu.
5. Vinnsluvatn úr öllum holum er nánast mettað af kalksteindinni kalsíti og því ekki hættu á útfellingu á holutoppum.
6. Ekki sjást breytingar á hlutfalli stöðugra samsætna súrefnis og vetnis í vinnsluholunum og bendir það að ekki séu breytingar á vatnskerfinu, sem fæðir jarðhitageyminn.
7. Reiknuð efnajafnvægi í holunum endurspeгла vel mælt hitastig í vatnsæðum hvernar holu fyrir sig og litlar breytingar eru sjáanlegar milli ára.
8. Efnasamsetning bakrásarvatns er svipuð og í eldri sýnum. Enn sem fyrr lækkar styrkur áls um helming frá meðalstyrk í framrásarvatni.
9. Rennsli og hiti voru mæld sjálfvirk á klukkutíma fresti í öllum vinnsluholunum.
10. Handvirkar hitamælingar eru til fyrir holur SN-05, SN-06, SN-12 og SN-17.
11. Vatnsborð var handmælt í öllum holum og sjálfvirkar mælingar voru einnig gerðar í athugunarholum SN-01, SN-02, SN-03 og SN-04. Niðurstöðum sjálfvirku mælinganna fyrir árið var hins vegar ekki skilað.
12. Heildarvinnsla var 56,0 L/s, sem er talsvert hærra en undanfarin ár. Mest var vinnslan úr SN-12 (19,3 L/s), svo SN-05 (15,9 L/s) og SN-17 (13,8 L/s). Einhverjar óvissur eru í vinnslutölunum vegna þess að eyður eru í þeim ásamt ósamræmi milli mælinga á framrásvatni og summu dælingar og bakrennslis.
13. Meðalhiti í holu SN-05 í ár var 99,2 °C sem er á pari við árið á undan. Í holu SN-06 reyndist meðalhiti 117,2 °C. Hitinn heldur því áfram að lækka, árið 2023 var hann 118,3 °C og þar á undan 119,9 °C. Hér þarf e.t.v. að hafa augað á þessu og meta hvort þessar breytingar haldi áfram. Meðalhiti í SN-12 hækkaði aftur vegna aukinnar dælingar m.v. árið á undan (101,8 °C) og var 107,4 °C síðastliðið ár. Meðalhiti vinnsluvatns úr holu SN-17 var tæplega 110,3 °C, sem er um hálfri gráðu lægra en árið á undan.
14. Hitastig framrásarvatns árið 2024 var 1 °C hærri en 2023, og á pari þá aftur við 2022.
15. Samanburður á magni framrásarvatns og seldu vatnsmagni sýnir tæplega 5 % “tap” í kerfinu að þessu sinni.
16. Ráðlegt er að huga að nýtingu forðafræðilíkansins við ýmsar breytingar á útfærslu og samsetningu vinnsluholna við hugsanlega bestun á rekstrarfyrirkomulagi hitaveitunnar og til að tryggja sjálfbærni jarðhitakerfisins.

10. HEIMILDIR

Auður Ingimarsdóttir, Helga Tulinius og Hrefna Kristmannsdóttir, 1990. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnslueftirlit 1989-1990. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. OS-90049/JHD-29 B, 10 s.

Einar Már Steingrímsson, Guðmundur Jón Helgason og Hrefna Kristmannsdóttir, 2021. Hitaveita Seltjarnarness: Möguleg vinnsla-tillögur. Minnisblað 14.júní, 2021, 3 s.

Fournier, R. O., 1977. Chemical geothermometers and mixing models for geothermal systems. *Geothermics* 5, 41-50.

Hrefna Kristmannsdóttir, 1994. Niðurstöður mælinga og prófana í holu SN-6. Orkustofnun Greinargerð, 94/07, 4 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, 2008. Sýnataka á jarðhitavatni til efnagreininga. Verklegar leiðbeiningar fyrir námskeiðið Jarðhitafræði JER1103, Viðskipta og Raunvísindadeild, Raunvísindaskor, TS08:05, 15s.

Hrefna Kristmannsdóttir, 2009. Athugun á mögulegum útfellingum í dreifikerfi Hitaveitu Seltjarnarness, TS09:03-Raunvísindaskor, 23s.

Hrefna Kristmannsdóttir, 2021. Greiningar á útfellingum úr varmaskiptum í Hjúkrunarheimilinu Seltjörn. Greinargerð 22.10.2021. 27s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Axel Björnsson, 2014a, Orkuöflun fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. Aukin vatnsöflun og bætt nýting. TS14-01, Jarðvísindastofa Hrefnu Kristmannsdóttur og Axels Björnssonar, 51s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Þorsteinn Thorsteinsson, 1988. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 1988. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. Orkustofnun, OS-88062/JHD-32 B, 12 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2003. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 2002-2003. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness, 34 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2004. Hitaveita Seltjarnarness. *Vinnsluefirlit 2003-2004*. Skýrsla nr. 04/03. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness, 36 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2005. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 2004-2005. Skýrsla nr. 05/05. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness, 38 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2006. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 2005-2006. Skýrsla nr 06/02. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness, 37 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2007. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 2006-2007. Skýrsla nr 07/09. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness, 36 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2008. *Hitaveita Seltjarnarness*. Vinnslueftirlit 2007-2008. Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 08/01, 37 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2009. *Hitaveita Seltjarnarness*. Vinnslueftirlit 2008-2009. Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 09/03, 39 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2010. *Hitaveita Seltjarnarness*. Vinnslueftirlit 2009-2010. Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 10/01, 42 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2011. *Hitaveita Seltjarnarness*. Vinnslueftirlit 2010-2011. Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 11/02, 40 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2012. *Hitaveita Seltjarnarness*. Vinnslueftirlit 2011-2012. Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 12/05, 43 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2013. *Hitaveita Seltjarnarness*. Vinnslueftirlit 2012-2013. Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 13/03, 49 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2014. *Hitaveita Seltjarnarness*. Vinnslueftirlit 2013-2014. Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 14/06, 50 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2015. *Hitaveita Seltjarnarness*. Vinnslueftirlit 2014-2015. Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 15/01, 50 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2016. *Hitaveita Seltjarnarness*. Vinnslueftirlit 2015-2016. Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 16/03, 50 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2017. *Hitaveita Seltjarnarness*. Vinnslueftirlit 2016-2017. Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 17/04, 41 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2018. *Hitaveita Seltjarnarness*. Vinnslueftirlit 2017-2018. Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 18/02, 40 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2019. *Hitaveita Seltjarnarness*. Vinnslueftirlit 2018-2019. Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 19/03, 42 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2020. *Hitaveita Seltjarnarness*. Vinnslueftirlit 2019-2020. Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 20/02, 41 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2021. *Hitaveita Seltjarnarness*. Vinnslueftirlit 2020-2021. Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 21/01, 42 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2022. *Hitaveita Seltjarnarness*. Vinnslueftirlit 2021-2022. Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 22/03, 52 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2023. *Hitaveita Seltjarnarness*. Vinnslueftirlit 2022-2023. Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 23/01, 49 s.

Hrefna Kristmannsdóttir og Verkfræðistofan Vatnaskil, 2024. *Hitaveita Seltjarnarness*. Vinnslueftirlit 2023-2024. Verkfræðistofan Vatnaskil, Skýrsla nr. 24/04, 44 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Helga Tulinius, Þorsteinn Thorsteinsson og Guðrún Sverrisdóttir, 1991. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 1990-1991. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. Orkustofnun, OS-91049/JHD-28 B, 11 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Guðrún Sverrisdóttir og Hilmar Sigvaldason, 1992. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 1991-1992. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. Orkustofnun, OS-93061/JHD-34 B, 15 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Guðrún Sverrisdóttir og Hilmar Sigvaldason, 1993. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 1992-1993. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. Orkustofnun, OS-93077/JHD-39 B, 17 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Helga Tulinius og Guðrún Sverrisdóttir, 1994. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 1993-1994. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. Orkustofnun, OS-94062/JHD-36 B, 15 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Helga Tulinius, Guðrún Sverrisdóttir og Sverrir Hákonarson, 1995. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 1994-1995. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. OS-95061/JHD-40 B, 18 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Helga Tulinius og Magnús Ólafsson 1996. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 1995-1996. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. OS-96083/JHD-48 B 24 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Sigvaldi Thordarson og Magnús Ólafsson 1997. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 1996-1997. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. OS-96078, 28 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Sigvaldi Thordarson og Magnús Ólafsson 1998. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 1997-1998. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. OS-96076, 27 s..

Hrefna Kristmannsdóttir, Sigvaldi Thordarson og Vigdís Harðardóttir 1999. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 1998-1999. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. OS-99107, 24 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Helga Tulinius og Jón H. Björnsson, 2001. Nýting jarðhitasvæðisins á Seltjarnarnesi í þrjátíu ár. Orkuþing, Reykjavík, 593-600.

Hrefna Kristmannsdóttir, Helga Tulinius og Vigdís Harðardóttir 2002. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnsluefirlit 2000-2001. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. OS-2002/007, 30 s.

Kristmannsdóttir, H., 1989. Types of scaling occurring by geothermal utilization in Iceland. *Geothermics*, 18, 183-190.

Kristmannsdóttir, H., Thorhallsson, S. and Hardardóttir, V. 2004. Types of scales encountered in district heating systems in Iceland. *Proceedings 13th Scandinavian Corrosion Congress*, 7p.

Kristmannsdóttir, H. and Ármannsson, H., 1996. Chemical Monitoring of Icelandic Geothermal Fields during Production. *Geothermics*, 25, 349-364.

Kristmannsdóttir, H. and Tulinius, H. 2000. The development of the Seltjarnarnes geothermal field, SW Iceland during thirty years production. *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, Japan, 3465-3470.

Kristmannsdóttir, H., Thorhallsson, S. and Hardardóttir, V. 2004. Types of scales encountered in district heating systems in Iceland. *Proceedings 13th Scandinavian Corrosion Congress*, 7p.

Kristmannsdóttir, H., Stefánsson S. E. and Björnsson, A., 2015.: Sustainable Geothermal Production of the Seltjarnarnes Geothermal Field, SW-Iceland. *Proceedings World Geothermal Congress 2015*, Melbourne, Australia.

Kristmannsdóttir, H, Myer, E., Pálmarsson, S.Ó, Björnsson, A., Þorbergsson, E.M., Guðfinnsson, S. 2021. Sustainable Development of the Seltjarnarnes Geothermal Field, Iceland, Through Exploration Drilling and Reservoir Modelling. *Proceedings World Geothermal Congress 2021 Reykjavik, Iceland, October, 2021*.

Schwartz, F. W. and Zang, H. 2003. Fundamental of Ground Water. John Wiley & Sons.

Verkfræðistofan Vatnaskil, 1994. Reiknilíkan af jarðhitasvæðunum á Seltjarnarnesi. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness.

Verkfræðistofan Vatnaskil, 2002. Seltjarnarnes. Prívítt reiknilíkan af jarðhitasvæði. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness.

Verkfræðistofan Vatnaskil, 2016. Seltjarnarnes. Reiknilíkan af jarðhitasvæðinu. Uppfærsla líkans og hermun framtíðarvinnslutilfella. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. Skýrsla nr. 16.01, 68 s.

Verkfræðistofan Vatnaskil, 2021. Greining á dælingarprófs við holu SN-04. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. Minnisblað MB-21.14.

Vigdís Harðardóttir, Helga Tulinius og Hrefna Kristmannsdóttir, 2000. Hitaveita Seltjarnarness. Vinnslueftirlit 1999-2000. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. OS-2000/088, 22 s.

Þorsteinn Thorsteinsson og Magnús Ólafsson, 1989 Hitaveita Seltjarnarness. Vinnslueftirlit 1989. Unnið fyrir Hitaveitu Seltjarnarness. OS-89044/JHD B, 10 s.

Viðauki 1

Framkvæmd sýnatöku og efnagreininga

Við sýnatöku og mælingar er fylgt leiðbeiningum skv. Skýrslu Hrefnu Kristmannsdóttur frá 2008 (Hrefna Kristmannsdóttir, 2008).

Safnað er eftirfarandi tegundum sýna:

1. Í 250 ml glerflösku ómeðhöndluðu sýni (**Ru**), til mælinga á pH.
2. Í 200 ml plastflösku síuðu sýni (**Fu**), til mælinga á anjónum.
3. Í 50 ml brúna glerflösku síuðu sýni (**Fu**), til vetnis og súrefnissamsætumælinga.
4. Í 200 ml sýruþvegna flösku, síuðu sýrðu sýni (**Fa**), sýrðu með með 1 ml af háhreinni mettaðri saltþétursýru (HNO_3) til mælinga á aðalmálmum og snefilefnum.

Við sýnatöku eru öll sýnin kæld niður í um 20 °C undir þrýstingi í stálspíral.

Mælingar:

Súrefni er mælt á staðnum með Chemetrix ampúlum. Brennisteinsvetni er einnig mælt á staðnum með títrun með kvikasilfursasetati.

Sýni til mælinga á pH, karbónati og leiðni (sýni nr. 1.) er mælt innan þriggja daga. pH er mælt beint í flösku og hrært í með segulhræru á meðan. Karbónat er mælt með pH títrun (með 0,1 N HCl) niður í pH 3,8 og er baktítrað eftir að búið er að blása lofti í gegnum sýnið í um 10 mínútur til að losna við CO_2 úr því. Títrað svo tilbaka (með 0,1 N NaOH) upp í 8,3.

Anjónirnar flúor (Cl), (F) og sulfat (SO_4) (sýni nr. 2) eru mæld á jónagreini á Rannsóknarstofu ALS í Luleå í Svíþjóð.

Stöðugar samsætur, vetni og súrefni eru mældar á massagreini Raunvísindastofnunar Háskóla Íslands (sýni 3)

Helstu málmar, natríum (Na), kalíum (K), kalsíum (Ca), magnesíum (Mg), járn (Fe), ál (Al), strontíum (Sr) svo og efnin kísill (SiO_2), bór (B) voru mæld á ICP-AES tæki á rannsóknarstofu ALS í Luleå (sýni 4).

Snefilefnin ál (Al), bór (B), baríum (Ba), bróm (Br), cadmíum (Cd), króm (Cr), kopar (Cu), járn (Fe), kvikasilfur (Hg), líþíum (Li), mangan (Mn), eru mæld (sýni 4) á ICP-MS tæki á rannsóknarstofu ALS í Luleå í Svíþjóð. Í reglulegu vinnslueftirliti eru aðeins sumir snefil-málmannna mældir.

Áætluð mælióvissa fyrir mismunandi efni er sýnd í töflu 15:

Tafla 15. Mælióvissa fyrir mismunandi efni.

Efni	Mælióvissa
pH/°C	±0,05
SiO ₂ mg/L	±7,0
B mg/L	±0,03
Na mg/L	±50
K mg/L	±1.0
Ca mg/L	±50
Mg mg/L	±0.03
Sr mg/L	±0.2
Fe mg/L	±0.001
Al mg/L	±0.004
CO ₂ mg/L	±0.1
H ₂ S mg/L	±0.003
Leiðni. µS/cm v.25°C	±10
O ₂ mg/L	±0,002
SO ₄ mg/L	±20
Cl mg/L	±50
F mg/L	±0.05
Ba µg/L	±7
Cd µg/L	-
Cr µg/L	±0,04
Cu µg/L	-
Hg µg/L	±0,01
Li µg/L	-
Mn µg/L	±0,7
Rn Bq/L	±1.0
δ ² H‰	±2.0
δ ¹⁸ O‰	±0.05