

# Grunnvatnsrannsóknir á Norðausturlandi

Skilgreining á grunnástandi og tillögur um framtíðareftirlit með hugsanlegum breytingum á grunnvatnsstraumum í kjölfar vinnslu á háhitasvæðum





**Landsvirkjun**

LV-2007/086

# Grunnvatnsrannsóknir á Norðausturlandi

Skilgreining á grunnástandi og tillögur um  
framtíðareftirlit með hugsanlegum breytingum á  
grunnvatnsstraumum í kjölfar vinnslu á  
háhitasvæðum

November 2007



Skýrsla LV nr: LV-2007/086

Dags: 30.1.2008

Fjöldi síðna: 51    Upplag: 10    Dreifing:  Opin     Takmörkuð til

Titill: Grunnvatnsrannsóknir á Norðausturlandi

Höfundar /  
fyrirtæki: Hrefna Kristmannsdóttir, Valur Klemensson

Verkefnisstjóri: Árni Gunnarsson

Unnið fyrir: Landsvirkjun og Þeistareykir ehf

Samvinnuaðilar: Háskólinn á Akureyri

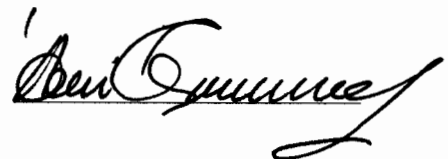
Útdráttur: Rannsóknir á grunnástandi grunnvatnskerfa á norðurhluta virkjanasvæða á Norðausturlandi. Áætlun er sett fram um eftirlit sem hefur það að markmiði að fylgjast með grunnvatninu. Rannsókuð voru sýni á útstreymisstöðum í norðri.

Lykilorð: Grunnvatnssýni, Þeistareykir, grunnvatn, Hljóðaklettur, Óxarfjörður, samsætuhlutfall, efnasamsetning, affallsvatn

ISBN nr: \_\_\_\_\_

ISSN nr: \_\_\_\_\_

Undirskrift verkefnisstjóra  
Landsvirkjunar





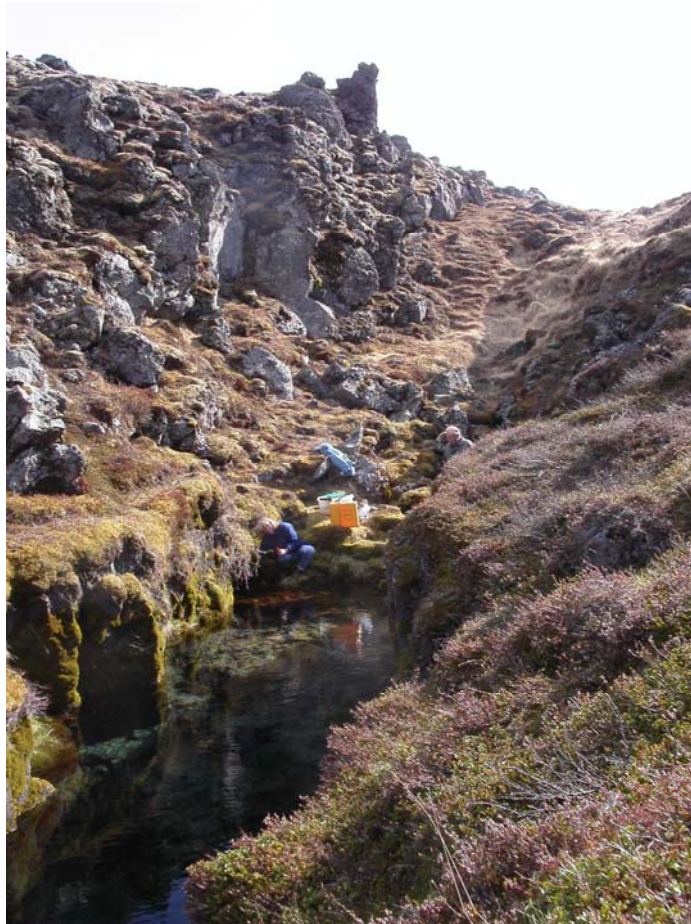
# **Grunnvatnsrannsóknir á Norðausturlandi**

**Skilgreining á grunnástandi og tillögur um framtíðareftirlit með hugsanlegum breytingum á grunnvatnsstraumum í kjölfar vinnslu á háhitasvæðum**

**Hrefna Kristmannsdóttir**

**og**

**Valur Klemensson**





## **Abstract**

Groundwater flows through the Þeistareykir and Krafla-Gjástykki fissure swarms northwards to the Öxarfjörður bay. On the way effluent water from the geothermal fields mixes with the groundwater flow. During the Krafla fires groundwater in the area was greatly affected, both by elevated temperatures and changed chemical properties. Landsvirkjun, in cooperation with Þeistareykir Ltd and Landsnet plans to build geothermal power plants at four sites in the volcanic zone in NE Iceland. Geothermal power plants have been in operation at two of these sites, Krafla and Bjarnarflag for over 30 years. The disposal of geothermal effluent water from the Krafla and Bjarnarflag power plants has been monitored for several years and no negative environmental impacts due to this disposal have as yet been established. In order to monitor the possible effects of harnessing the Þeistareykir and Gjástykki fields and increased power production in the Krafla and Námafjall fields Landsvirkjun decided on a project studying the groundwater in the Öxarfjörður area in cooperation with the University of Akureyri. The project entails studies of the groundwater system in the Öxarfjörður area, measuring temperature and flow, sampling and analyzing selected typical springs and wells and thus making a kind of a baseline for the present condition of the groundwater system. Concurrently the groundwater flow in the area is being modelled from available geological and hydrological data and the model is to be adjusted to the results of the geochemical baseline study. A proposal for a future ground water monitoring program in the area is based on the results of the baseline studies. The results of the baseline study indicate minor changes in the properties of the groundwater in the Öxarfjörður area as compared to groundwater studies carried out in the late eighties. Based on this and the experience from Krafla and Bjarnarflag it is proposed to collect water samples for a complete chemical and isotopic analysis once a year and also once a year for partial analysis of selected elements. The results are to be reviewed after two years and the monitoring scheme revised accordingly.





## EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR.....	6
2	GRUNNVATNSKERFI Á SVÆÐINU .....	7
3	SKILGREINING Á VERKEFNI .....	10
4	AÐFERÐIR .....	10
5	GAGNAÖFLUN OG SÝNATAKA .....	11
6	NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA .....	12
6.1	Efnagreiningar vatnssýna .....	12
6.2	Samsætumælingar .....	17
6.3	Túlkun niðurstaðna.....	18
6.3.1	Efnagreiningar .....	18
6.3.2	Samsætumælingar .....	23
7	SAMANBURÐUR VIÐ ELÐRI EFNAGREININGAR.....	24
8	HELSTU NIÐURSTÖÐUR.....	26
9	TILLÖGUR UM FRAMTÍÐAREFTIRLIT.....	27
10	HEIMILDASKRÁ .....	28
11	VIÐAUKI I: AÐFERÐIR VIÐ SÝNATÖKU OG GREININGAR .....	31
11.1	Framkvæmd sýnatöku .....	31
11.2	Mælingar .....	31
12	VIÐAUKI II: LÝSING SÝNATÖKUSTAÐA.....	33

## TÖFLUR

Tafla 1.	Efnasamsetning grunnvatns í vestanverðu Kelduhverfi-aðalefni.....	13
Tafla 2.	Efnasamsetning grunnvatns í Kelduhverfi-aðalefni.....	13
Tafla 3.	Efnasamsetning grunnvatns-aðalefni.....	14
Tafla 4.	Efnasamsetning grunnvatns í vestanverðu Kelduhverfi-snefilefni.....	15
Tafla 5.	Efnasamsetning grunnvatns í Kelduhverfi-snefilefni.....	16
Tafla 6.	Efnasamsetning grunnvatns-snefilefni.....	17
Tafla 7.	Efnagreiningar af eldri sýnum frá rannsóknarsvæðinu (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1989, Þórólfur H. Hafstað. 1989).....	25

## MYNDIR

Mynd 1.	Kort af Norðurþingi, sem sýnir helstu lindarsvæði í héraðinu.....	7
Mynd 2.	Sprungureinar í NA gosbeltinu og tengsl þeirra við eldstöðvar og jarðhitasvæði (Axel Björnsson o.fl., 2007).....	8
Mynd 3.	Reiknað grunnvatnsrennsli á svæðinu samkvæmt grunnvatnslíkani Vatnaskila (Vatnaskil, 2007).....	9
Mynd 4.	Kort af rannsóknarsvæðinu, sem sýnir staði þar sem tekin voru sýni í grunnúttektinni. Númer viðkomandi sýna eru sýnd á kortinu og volg sýni (>10 °C) eru merkt með rauðu en köld sýni með bláu.....	12

Mynd 5. Schoeller línurit fyrir grunnvatn á svæðinu. ....	18
Mynd 6. Piper línurit fyrir vatnssýni frá svæðinu. ....	19
Mynd 7. Durov flokkunarlínurit fyrir grunnvatnssýni af svæðinu. ....	20
Mynd 8. Ca, Mg, bíkarbónat þríhyrningslínurit fyrir grunnvatnssýni af svæðinu. Styrkur í mg/L. ....	20
Mynd 9. Styrkur bíkarbónats á móti kalsíum fyrir grunnvatnssýnin. Styrkur í mg/L. ....	21
Mynd 10. Styrkur kísils á móti styrk magnesíums fyrir grunnvatnssýnin. Styrkur í mg/L. ....	21
Mynd 11. Styrkur kísils á móti sýrustigi (pH) fyrir grunnvatnssýnin. Styrkur kísils í mg/L. ....	22
Mynd 12. Styrkur kísils á móti hitastigi fyrir grunnvatnssýnin. Styrkur kísils í mg/L. ....	22
Mynd 13. Hlutfall stöðugra samsætna $\delta^2\text{H}$ og $\delta^{18}\text{O}$ í grunnvatnssýnum (rauðir tíglar) af svæðinu. Blái hringurinn er sýni úr jarðhitasvæðinu í Skógarlóni og fjólblái hringurinn er salt volgt vatn frá Núpum. Regnvatnslína Norðrhvellsins er sýnd til samanburðar (Craig, 1961). ....	24
Mynd 14. Piper línurit af eldri sýnum úr töflu 7. ....	26
Mynd 15. Kort af rannsóknarsvæðinu, sem sýnir staði þar sem lagt er til að tekin verði sýni til eftirlits í byrjun eftirlitsins. Númerin vísa til sýna í grunnúttektinni. Volg vatnsból eru merkt með rauðu en köld með bláu. ....	27

## 1 INNGANGUR

Umfangsmiklar rannsóknir á grunnvatnsrennsli og eiginleikum grunnvatns á Norðausturlandi hafa farið fram á undanförunum áratugum. Að frumkvæði Landsvirkjunar var fyrst gert fremur gróft grunnvatnslíkan af öllu svæðinu frá jöklum og fram í sjó og síðar var unnið nákvæmara líkan af vatnasvæði Mývatns árið 1999. Framlenging þess líkans til norðurs í sjó fram er nú í vinnslu. Boraðar hafa verið allmargar grunnar borholur á Kröflusvæðinu, Þeistareykjasvæðinu og í Gjástykki til að treysta stoðir grunnvatnslíkansins. Úr sumum þessara holna hafa jafnframt fengist vatnssýni til efnagreininga.

Til eru allgöð gögn um eiginleika grunnvatns á svæðinu frá jöklum til sjávar milli Skjálfafljóts og Jökulsár á Fjöllum. Hefur þeirra einkum verið aflað af Orkustofnun en einnig í ýmsum rannsóknarverkefnum innlendra og erlendra háskóla (t.d. Björn Jóhannesson, 1977, Kölb, 1995). Einnig eru til nokkar upplýsingar um stöðugar samsætur vetnis og súrefnis, sem gefa upplýsingar um uppruna vatnsins og unnt er að nota sem náttúruleg ferilefni.

Landsvirkjun hefur haft forgöngu um mjög ítarlegar grunnvatnsrannsóknir á Mývatns- og Kröflusvæðinu, kortlagt grunnvatnsstrauma, kannað uppruna vatnsins og rannsakað rennislísiðir heits og kalds grunnvatns (Halldór Ármannsson o. fl., 1998, Heiðrún Guðmundsdóttir, 2000, Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. 1999, 2001, Hrefna Kristmannsdóttir og Halldór Ármannsson, 2004). Jafnframt hefur verið haft reglulegt eftirlit með mögulegum breytingum á efnainnihaldi í kjölfar virkjunarframkvæmda (Guttormur Sigbjarnarson o. fl., 1974, Halldór Ármannsson, 1995, Ármannsson et al, 2000). Í Kelduhverfi og í Öxarfirði, svo og á svæðinu við Húsavík hafa einnig verið gerðar ítarlegar grunnvatnsrannsóknir á síðustu áratugum (Lúðvík Georgsson o. fl., 1989, Þórólfur H. Hafstað. 1989). Nýjustu rannsóknirnar tengjast jarðhitarannsóknum á svæðinu svo og rannsóknum á grunnvatni vegna fiskeldis og verkefna á sviði heilsutengdrar ferðaþjónustu (Bjarni Richter o.fl, 1999, Guðmundur Ó. Friðleifsson o.fl., 1999, 2000, Hildur

Vésteinsdóttir, 2006, Hrefna Kristmannsdóttir o. fl., 2006, Kristmannsdóttir et al., 2007, Lúðvík Georgsson o.fl., 2000). Nokkuð er umliðið síðan síðast var gerð úttekt á eiginleikum grunnvatns á öllu svæðinu og ítarleg rannsókn á snefilefnum hefur aðeins farið fram á örfáum stöðum á þessu svæði. Nú stendur fyrir dyrum að hefja boranir í Gjástykki og jafnframt er verið að bora á Þeistareykjum. Landsvirkjun og Þeistareykir ehf hyggjast gera svipaða grunnúttekt á grunnvatnskerfinu norðan við fyrirhugaða virkjunarstaði og gerð var á vatnasvæði Mývatns. Jafnframt er áætlað að setja upp eftirlitsáætlun sem hefur það markmiði að fylgjast með grunnvatninu og kanna hvort einhverjar breytingar verði mögulega á því vegna virkjananna. Reynslan af hliðstæðu eftirliti í Mývatnssveit vegna virkjana í Bjarnarflagi og Kröflu bendir eindregið til að ekki sé líklegt að áhrifa gæti á grunnvatn í Kelduhverfi og Öxarfirði vegna virkjana á Þeistareykjum og í Gjástykki. Framkvæmdaaðilar hafa ákveðið að rannsaka grunnástand vatnskerfa á svæðinu áður en þau verða virkjuð. Ákveðið var að framkvæma slíka rannsókn og jafnframt stefnt að reglubundnu eftirliti með grunnvatnskerfunum til að fylgjast hugsanlegum breytingum. Verkefni þetta er eitt samvinnuverkefna Landsvirkjunar við Háskólann á Akureyri og er unnið að hluta til sem meistaraverkefni Vals Klemenssonar við Tækniháskólann í München undir leiðsögn Hrefnu Kristmannsdóttur prófessors við Háskólann á Akureyri.

## 2 GRUNNVATNSKERFI Á SVÆÐINU



Mynd 1. Kort af Norðurljóni, sem sýnir helstu lindarsvæði í héraðinu.

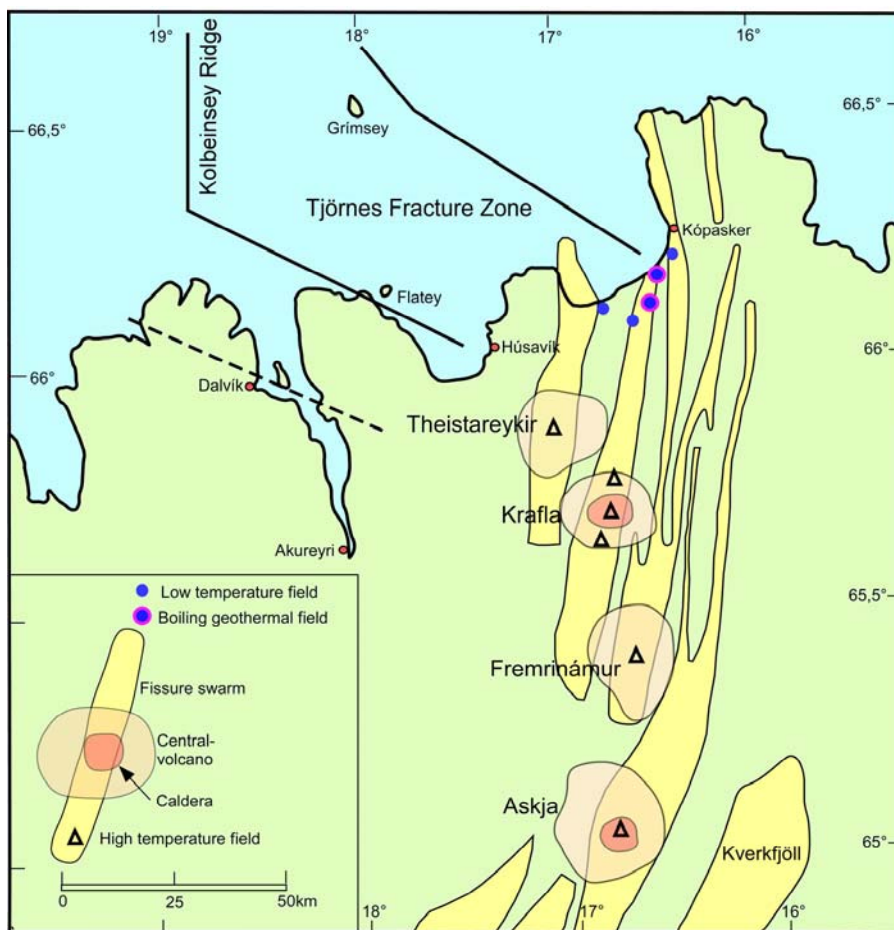
Mjög vatnsmikil grunnvatnskerfi eru í Kelduhverfi og Öxarfirði og hafa þau verið rannsökuð um árabil þótt ekki hafi verið um reglubundið eftirlit með þeim að ræða.

Flest lindasvæðanna eru á láglandi í Kelduhverfi og Öxarfirði og einnig eru allvatnsmiklar lindir við Húsavík. Jafnframt eru vatnsmikil lindasvæði á austurhluta svæðisins við Hólmatungur vestan við Jökulsárgljúfur (

Mynd 1). Utan þessara svæða er talsvert dýpi niður á grunnvatnsborð og til að fylgjast með grunnvatnsrennsli þarf að bora grunnar rannsóknaholur.

Það sem einkum setur svip sinn á rennislíleiðir vatns á svæðinu eru sprungureinarnar sem liggja frá suðri til norðurs innan gosbeltisins og hafa mun meiri lekt en bergið umhverfis (Kristján Sæmundsson og Þórólfur Hafstað, 2007, Axel Björnsson o.fl., 2007). Þannig er nær allur jarðhiti í Kelduhverfi og Öxarfirði tengdur þeim fjórum sprungureinum sem skera svæðið ( Mynd 2). Áhrifa gætir frá háhitasvæðunum innan þessara sprungureina á grunnvatnskerfin þar sem affallsvatn streymir frá þeim. Mest eru þó áhrifin á grunnvatnskerfin þegar eldvirkni á sér stað eins og kom fram í Kröflueldum.

Öxarfjörður er 25 km breiður sigdalur sem markast af fjalllendi að austan og vestan en lágum heiðum að sunnan. Virka rekbeltið sem liggur þvert yfir Ísland frá suðvestri til norðausturs liggur þvert á strandlínu árása Jökulsár á Fjöllum og gerir það að verkum að setlagadæld myndast.



Mynd 2. Sprungureinar í NA gosbeltinu og tengsl þeirra við eldstöðvar og jarðhitasvæði (Axel Björnsson o.fl., 2007)



Undirlendi Öxarfjarðar einkennist af framburði Jökulsár á Fjöllum, aurum og foksandi sem hefur safnast upp í dældinni. Upplendin eru hins vegar þakin nútímahraunum. Ofarlega er fjörðurinn sjálfur fullur af setlögum. (Lúdvík S. Georgsson o.fl., 1993). Eldstöðvabeltin, sem eru kennd við Fremrináma, Kröflu og Þeistareyki eru virk, en engar eldvirkni hefur orðið vart á sögulegum tíma á láglandinu og þau nútímahraun sem er að finna í Öxarfirði eiga sér uppruna í eldstöðvum sem liggja hærra. Flókin jarðfræðileg uppbygging svæðisins, jarðhitavirkni, tengsl við sjó og árósa Jökulsár gerir það að verkum að grunnvatnskerfin eru margbreytileg og nokkuð flókin. Mikið grunnvatn streymir frá svæðinu sunnan jökla og til sjávar (Mynd 3.).



Mynd 3. Reiknað grunnvatnsrennsli á svæðinu samkvæmt grunnvatnslíkani Vatnaskila (Vatnaskil, 2007).

Megingrunnvatnsstraumarnir renna um sprungureinar megineldstöðvakerfanna. Um sprungusveimana rennur einnig affallsvatn frá háhitasvæðunum í suðri. Ekkert vatn er á yfirborði á vestanverðu svæðinu frá fyrr en norðan við Þeistareykjahraunið, sem er mjög lekt. Sjór á jafnframt sums staðar greiða leið inn í grunnvatnskerfi Öxarfjarðar um rennur í sprungusveimunum og er allmikið um salt og saltblandað vatn með sérstæðri efnasamsetningu (Ólafsson and Kristmannsdóttir, 1989). Ummyndun berggrunns vegna fyrri háhitaummyndunar myndar væntanlega lítið lek lög, sem hafa áhrif á rennislisleiðir grunnvatnsins.

Jarðhiti finnst víða á svæðinu, bæði sjálfstæð hitasvæði og volgt lindavatn, sem er að uppistöðu kalt grunnvatn sem blandast hefur afrennslisvatni frá háhitasvæðum inni á heiðum. Sprungubeltin ráða miklu um uppruna og dreifingu jarðhitans á svæðinu (Lúðvík Georgsson o.fl., 2000). Á árunum 1960-2000 fóru fram ítarlegar jarðhitarannsóknir, sem stóðu yfir um áratuga skeið með nokkrum hléum (Lúðvík S. Georgsson o.fl. 1989, 1993, 2000). Einnig fóru fram rannsóknir á vatni á svæðinu með tilliti til uppbyggingar á fiskeldi (Þórólfur Hafstað o.fl., 1989).

Í kjölfar Kröfluelda urðu miklar jarðskorpuhreyfingar á svæðinu og í kjölfarið breyttist bæði vatnafar, hitastig og efnasamsetning lindarvatns í þeim lindum sem tengdar eru Kröflusprungusveimnum (Axel Björnsson o. fl., 1984). Dæmi voru um að hitastig hækkaði tímabundið um allt að 30 °C. Almennst hefur verið talið að þessar breytingar séu að mestu gengnar til baka, en ekki hefur verið fylgst reglulega með lindum á svæðinu og ekki nein stór úttekt gerð á grunnvatnskerfum þar síðustu 15-20 árin.

### 3 SKILGREINING Á VERKEFNI

Tilgangur verkefnisins er að gera úttekt á grunnástandi helstu grunnvatnskerfa á norðurhluta þess vatnasvæðis sem verður fyrir hugsanlegum áhrifum frá affallsvatni háhitasvæðanna á Þeistareykjum, Gjástykki og Kröflu. Einnig að skoða nokkra staði utan þessa svæðis til samanburðar. Grunnúttektin varðar hitastig, rennsli og efnainnihald vatnsins. Þessi gögn verða m.a. notuð við gerð nýs rennislíkans af norðausturlandi. Í þeim verkþætti sem skýrslan fjallar um beinast rannsóknir að hitastigi og efnainnihaldi vatnsins, en rennislismælingar verða síðan gerðar á hluta þeirra staða þar sem mælingar og sýnataka fer fram á.

Verkefnið felst í fyrsta lagi í því að taka saman yfirlit um grunnvatnskerfin úr fyrir- liggjandi gögnum, bæði hvað varðar uppruna vatnsins, rennislisleiðir og jarðefnafræðilega eiginleika. Jafnframt að kanna hvað vitað er um áhrif afrennsli háhitasvæða á grunn- vatnskerfin í Kelduhverfi og Öxarfirði, bæði frá rituðum heimildum og viðræðum við ábúendur á svæðinu og vísindamenn sem þar hafa unnið.

Í öðru lagi að velja heppilega staði úr helstu lindasvæðum og úr borholum til að safna sýnum til efnagreininga á vatni, ákveða hvaða efnapættir og samsætur skuli mældir í sýnunum. Síðan að safna sýnum, mæla hitastig og hnit á sýnatökustað, lýsa aðstæðum og velja úr staði til rennislismælinga. Efnagreina síðan sýnin og túlka niðurstöður.

Í þriðja lagi að gera tillögur um eftirlit í framtíðinni á grundvelli niðurstaðna.

### 4 AÐFERÐIR

Við val á sýnum var stuðst við gögn sem tekin voru saman úr eldri ritum um rannsóknir á svæðinu og munnlegum upplýsingum um aðgengilegar borholur. Ábúendur voru heimsóttir og rætt við þá, svo og heilbrigðisfulltrúa og forsvarsmenn hita- og vatns-

veitna. Í upphaflegri áætlun um verkefnið var reiknað með að taka um 20 sýni alls. Sýnin voru tekin samkvæmt viðurkenndum aðferðum við töku sýna til jarðefnafræðilegra greininga (Hrefna Kristmannsdóttir, 2004a). Ákveðið var að í vatnssýnunum yrðu greind rokgjörn efni (pH, heildarkarbónat), rafleiðni, öll helstu uppleyst efni, málma og anjónir (natríum (Na), kalíum (K), kalsíum (Ca), magnesíum (Mg), járn (Fe), mangan (Mn), ál (Al), strontíum (Sr), kísill (SiO<sub>2</sub>), klóríð (Cl), sulfat/brennisteinn (SO<sub>4</sub>/S), flúoríð (F)). Einnig stöðugar samsætur vetnis súrefnis og kolefnis (<sup>2</sup>H, <sup>18</sup>O, <sup>13</sup>C) og geislakol (<sup>14</sup>C). Auk þess var ákveðið að í grunnúttekt yrðu mæld snefilefnin silfur (Ag), arsen (As), gull (Au), bór (B), baríum (Ba), bróm (Br), kadmíum (Cd), kóbalt (Co), króm (Cr), sesíum (Cs), kopar (Cu), gallíum (Ga), germaníum (Ge), kvikasílfur (Hg), jóð (I), líþíum (Li), molybden (Mo), nikkell (Ni), fosfór (P), blý (Pb), rúbídíum (Rb), antímon (Sb), selen (Se), tin (Sn), þóríum (Th), títan (Ti), þallíum (Tl), úran (U), vanadíum (V), volfram (W) og sink (Zn).

Við Háskólann á Akureyri var mælt pH, heildarkarbónat og rafleiðni og í sumum sýnum var einnig mælt klóríð, kalsíum og magnesíum. Allir málmar, klóríð (Cl), sulfat/brennisteinn (SO<sub>4</sub>/S) og flúoríð (F) voru mæld á rannsóknarstofu í Luleå í Svíþjóð, Analytica AB. Stöðugar samsætur vetnis súrefnis og kolefnis (<sup>13</sup>C) voru sendar til greiningar á Jarðvísindastofnun Háskólans og sýni til mælinga á geislakoli (<sup>14</sup>C) til Háskólans í Árósum. Vegna þess að verið var að skipta út massageini Jarðvísindastofnunar Háskólans drögust samsætumælingar og er þeim ekki enn að fullu lokið.

Í viðauka I er lýst nákvæmar aðferðum við sýnatöku og greiningar.

## 5 GAGNAÖFLUN OG SÝNATAKA

Fyrsti áfangi verkefnisins var að taka saman eldri gögn um grunnvatn og önnur bakgrunnsgögn og vann Valur Klemensson það að mestu og er ítarlegra yfirlit um þann þátt í meistararitgerð hans (Klemensson 2007). Við val á sýnatökustöðum var stuðst við þessa samantekt, en einnig var haft samráð við heimamenn eftir að komið var á staðinn. Talsvert mikil undirbúningsvinna fór fram áður en farið var í sýnatökuferðir, bæði við gerð sýnatökuáætlunar og einnig við öflun búnaðar og efna.

Farið var alls í fimm leiðangra í mörkina til sýnatöku og könnunar og auk þess voru notaðar niðurstöður frá lind og borholu, sem tekin voru sams konar sýni úr nýlega í tengslum við önnur rannsóknarverkefni. Sýni náðust úr borholu á Þeistareykjum, en ekki náðist sýni úr borholu í Gjástykki í þessum áfanga en það verður tekið við fyrstu hentugleika. Á Mynd 3 eru sýndir allir sýnatökustaðir í verkefninu og númer viðkomandi sýnis er sett inn á kortið.

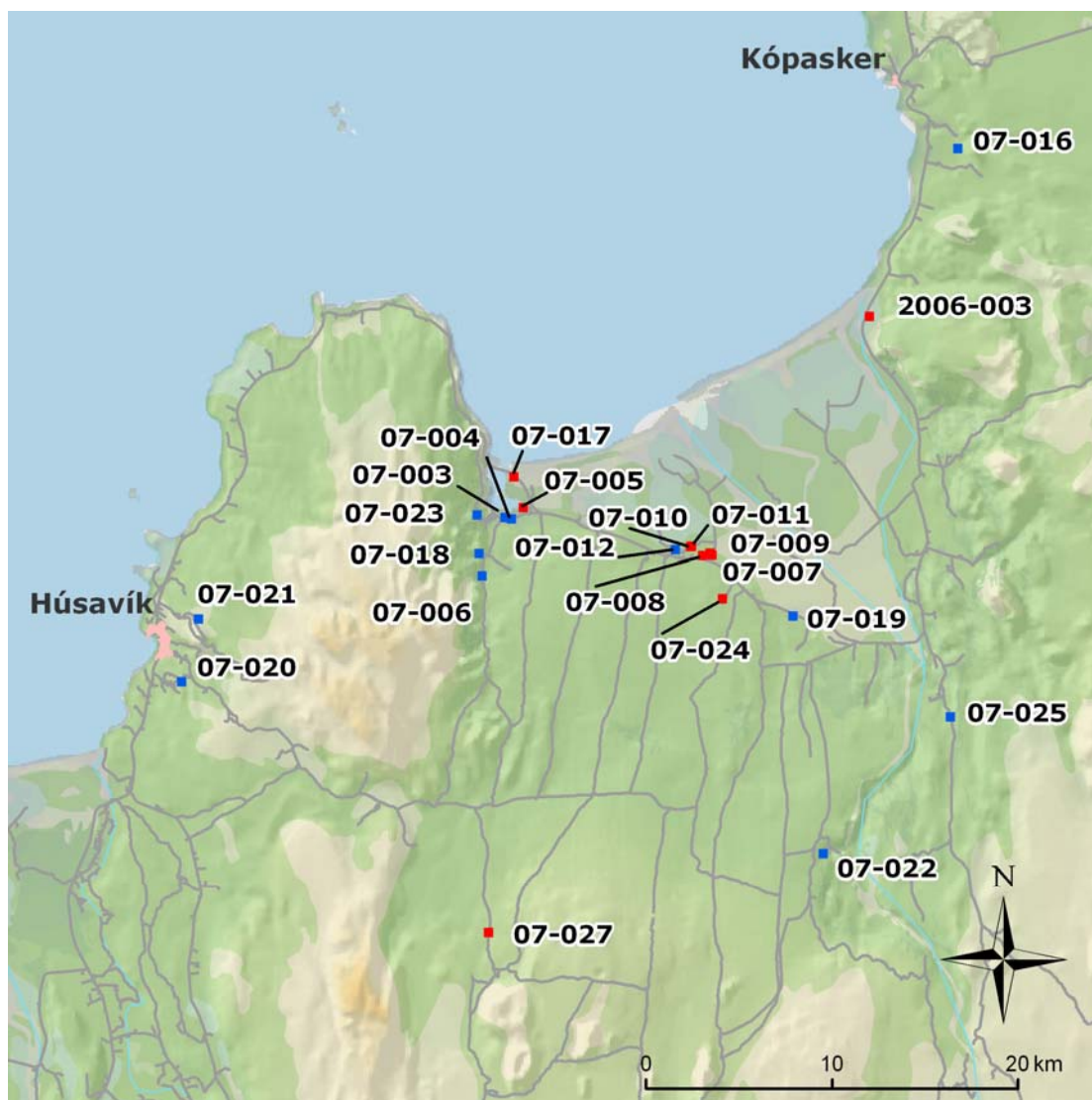
Fyrsti leiðangurinn var 22.-23. maí í Kelduhverfi og voru þá tekin alls tíu sýni og einnig spjallað við ábúendur í Lóni og Krossdal. Næsti leiðangur var 5. júní og var þá tekið eitt sýni og rætt við ýmsa heimamenn. Sá þriðji var 19.- 20. júní og voru tekin fjögur sýni, rætt við ábúendur í Keldunesi og á Hóli, heimafólk í Ási og eigendur Sulta. Skoðaðir voru ýmsir mögulegir sýnatökustaðir. Fjórti leiðangurinn var þann 2. júlí og þá voru tekin fimm sýni og rætt við eigendur Eyvindarstaða og Hrein Hjartarson veitustjóra á Húsavík. Fimmti og síðasti leiðangurinn var þann 28. ágúst að Þeistareykjum þar sem eitt sýni var tekið úr kælivatnsholu borsins, en jarðborinn Jötunn var þá að bora fyrri gufuholuna þar í sumar. Gunnar vélstjóri á Jötni tók síðan annað sýni mánuði seinna til samanburðarmælinga á nokkrum efnum.

Eins og fram kemur á kortinu og við samanburð við Mynd 2 þá eru langflest sýnin úr sprungusveimum Kröflu-Gjástykkis og Þeistareykja. Nokkur sýni eru á mörkum þeirra og fáein utan við til samanburðar. Þess var gætt að taka sýni af bæði köldu og volgum lindum og einnig voru tekin sýni af söltu jarðhitavatni bæði vestan- og austanvert á svæðinu



til að hafa góð gögn um það vatn líka þó ekki sé talin sérstök þörf á að fylgjast með efnasamsetningu þess vatns í framtíðinni.

Í samtölum við heimamenn kom fram að á svæðinu vestan við Krossdal hefur ekki orðið vart við breytingar á hitastigi og rennsli linda eins og varð á svæðinu þar austan við í kjölfar Kröfluelda (Axel Björnsson o.fl., 1984). Heimamenn voru forvitnir að fá upplýsingar um hitastig linda við Keldunestorfuna, en höfðu ekki fylgst sjálfir reglulega með breytingum.



Mynd 4. Kort af rannsóknarsvæðinu, sem sýnir staði þar sem tekin voru sýni í grunnúttektinni. Númer viðkomandi sýna eru sýnd á kortinu og volg sýni ( $>10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) eru merkt með rauðu en köld sýni með bláu.

## 6 NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA

### 6.1 Efnagreiningar vatnssýna

Í töflum 1-6 eru sýndar niðurstöður efnagreininga á vatni úr þeim lindum og borholum, sem tekin voru sýni úr.

Tafla 1. Efnasamsetning grunnvatns í vestanverðu Kelduhverfi-aðalefni.

Sýni númer.	07-003	07-004	07-005	07-017	07-006	07-018	07-023
Staðsetning	Lón	Nesgjá	Rifós	Borhola/Lón	Fjöll	Fjöll/Vatnsból	Auðbj.st.brekka
Dagsetning	22.5.2007	22.5.2007	22.5.2007	19.6.2007	22.5.2007	19.6.2007	2.7.2007
HnitN	66°05,832	66°05,884	66°06,148	66°07,045	66°04,219	66°04,864	66°05,985
HnitW	016°55,351	016°55,797	016°54,476	016°55,071	016°57,566	016°57,719	16°57,766
Hitastig °C	5,6	4,6	11,5	44,6	3,8	2,6	2,7
pH/°C	7,92/22°C	8,74/22°C	8,15/22°C	7,33/22°C	9,49/22°C	8,82/22°C	9,26/22°C
SiO <sub>2</sub> mg/L	22,0	17,0	33,6	41,9	10,5	12,6	13,4
B µg/L	<10	10,4	12,3	1820	<10	<10	<10
Na mg/L	8,8	14,0	16,0	4160	16,1	11,0	13,8
K mg/L	0,86	0,528	1,29	134	0,01	0,10	0,07
Ca mg/L	4,34	4,34	6,35	312	2,74	6,66	4,92
Mg mg/L	2,72	1,77	3,58	387	0,050	0,457	0,274
Al µg/L	5,77	14,5	6,17	2,07	14,80	4,56	4,52
CO <sub>2</sub> mg/L	26,0	22,2	37,2	65,6	56,8	23,2	19,8
Leiðni µS/cm at.25°C	90	112	141	21000	90	96	99
SO <sub>4</sub> mg/L	3,1	3,7	9,2	1143	4,2	2,7	3,1
δ <sup>18</sup> O ‰	-11,18	-10,65	-11,54	-8,57	-10,42	-10,32	-9,94
Cl mg/L	7,3	11,0	12,0	6870	7,7	9,0	10,0
F mg/L	0,09	0,07	0,12	0,20	0,04	0,04	0,04
Uppleyst efni. mg/L	62	64	101	13.081	70	54	55

Tafla 2. Efnasamsetning grunnvatns í Kelduhverfi-aðalefni.

Sýni númer.	07-010	07-011	07-012	07-007	07-008	07-009	07-024	07-019
Staðsetning	Árlax	Árlax	Krossdalur	Keldunes	Keldunes	Höfðabrekka	Eyvindarstaðir	Lyngásgjá
Dagsetning	23.5.2007	23.5.2007	23.5.2007	23.5.2007	23.5.2007	23.5.2007	2.7.2007	19.6.2007
HnitN	66°04,852	66°04,871	66°04,781	66°04,579	66°04,581	66°04,644	66°03,322	66°02,754
HnitW	016°42,662	016°42,585	016°43,753	016°41,142	016°41,842	016°41,279	16°40,517	016°35,560
Hitastig °C	11,6	13,6	4,3	19,1	22,2	14,5	12,6	6,7
pH/°C	8,34/22°C	8,33/22°C	8,58/22°C	8,5/22°C	8,25/22°C	8,75/22°C	8,3/22°C	8,84/22°C
SiO <sub>2</sub> mg/L	32,3	35,1	23,1	37,7	46,2	31,7	34,0	21,8
B µg/L	35,2	45,2	<10	82,5	105	57,4	55,5	<10
Na mg/L	30,6	37,5	9,2	60,0	81,8	42,3	36,2	11,3
K mg/L	3,10	3,87	0,811	5,65	7,99	3,71	3,17	1,03
Ca mg/L	8,35	9,58	5,77	14,2	17,2	11,4	12,5	5,15
Mg mg/L	3,57	3,85	2,77	4,99	4,85	4,67	5,29	3,24
Al µg/L	6,04	6,44	6,32	9,66	8,87	8,93	5,11	8,57
CO <sub>2</sub> mg/L	36,7	39,4	25,2	53,2	52,8	47,2	44,8	29,2
Leiðni µS/cm at.25°C	226	278	92	436	536	315	303	109
SO <sub>4</sub> mg/L	11,8	13,8	3,6	23,7	25,6	21,5	16,8	3,3
δ <sup>18</sup> O ‰	-11,05	-11,03	-10,63	-11,31	-11,23	-11,37	-10,42	-10,36
Cl mg/L	37,0	49,0	8,5	83,0	124	49,0	47,0	8,6
F mg/L	0,16	0,16	0,12	0,19	0,19	0,18	0,17	0,13
Uppleyst efni. mg/L	145	173	67	256	334	188	178	69

Einnig eru sýndar efnagreiningar úr vatnsbólum Kópaskers, Katastaðalind og borholu Silfurstjörnunnar (nr. 16) að Núpum, sem sýni voru tekin úr vegna annarra verkefna. Í

töflum 1, 2 og 3 eru sýndar niðurstöður mælinga aðalefna og í töflum 4, 5 og 6 eru sýndar niðurstöður mælinga snefilefna. Í töflum 1,2 og 4 og 5 eru sýni úr Kelduhverfi, vestustu sýnin í töflu 1 og 4 og austari sýni í töflum 2 og 5. Í töflu 3 og 6 eru sýni úr Öxarfirði, við Húsavík, frá Hljóðaklettum og Þeistareykjum.

Eins og fram kemur í töflunum eru viðmiðunarmörk einstakra efna, einkum snefilefnanna nokkuð mismunandi og fer það einkum eftir seltu þeirra.

Tafla 3. Efnasamsetning grunnvatns-aðalefni.

Sýni númer.	07-016	2006-003	07-022	07-025	07-027	07-020	07-021
Staðsetning	Kópasker	Núpar	Hljóðaklettur	Landsá	Þeistareykir	Þorvaldsstaðaá	Bakkaá
Dagsetning	5.6.2007	30.1.2006	20.6.2007	2.7.2007	28.8.2007	2.7.2007	2.7.2007
HnitN	66°16,070	66°11,311	65°55,848	65°59,644	65°53,882	66°01,408	66°03,224
HnitW	016°22,488	16°29,295	016°34,073	16°24,688	16°57,931	017°19,128	017°17,821
Hitastig °C	3,9	27	3	3,9	25,5	2,9	3,0
pH/°C	8,57/22°C	7,6/22°C	7,59/22°C	8,31/22°C	7,95/22°C	8,7/22°C	9,06/22°C
SiO <sub>2</sub> mg/L	19,2	38,7	31,5	19,9	56,1	19,7	14,2
B µg/L	<10	2410	<10	<10	31,6	<10	<10
Na mg/L	9,7	4080	9,2	12,4	21,3	8,0	12,6
K mg/L	0,568	159	0,834	1,17	1,65	0,848	0,01
Ca mg/L	5,80	448	8,72	6,21	11,2	3,95	5,66
Mg mg/L	1,46	258	4,85	2,35	3,79	2,28	0,538
Al µg/L	8,11	6,59	3,72	5,88	6,04	7,24	5,99
CO <sub>2</sub> mg/L	23,0	56,1	41,1	37,5	52,0	19,7	22,3
Leiðni µS/cm at.25°C	93	20950	133	118	191	90	97
Rn Bq/l		6,8					
δ <sup>2</sup> H ‰		-53,7					
δ <sup>18</sup> O ‰	-10,38	-7,25	-10,03	-10,99	-	-10,16	-10,12
<sup>14</sup> C age BP		5258±49					
SO <sub>4</sub> mg/L	2,3	915	3,0	2,6	23,8	1,9	2,6
Cl mg/L	9,9	7116	10,0	7,4	7,5	9,4	9,8
F mg/L	0,06	0,27	0,07	0,09	0,10	0,06	0,05
Uppleyst efni. mg/L	61	13.049	89	71	151	56	57

Á Myndum 5-7 eru sýnin flokkuð í hefðbundnum flokkunarlínuritum fyrir vatnsgerðir. Á Mynd 5 er svokallað Scoeller línurit, Piper línurit á Mynd 6 og Durov línurit á Mynd 7. Öll eru línuritin teiknuð með forritinu AqQa frá RockWare (2005). Þessi línurit hafa það sameiginlegt að flokka vatnið eftir hlutfallslegum styrk helstu katjóna og anjóna í sýnunum. Í Scoeller línuritinu er jafngildisstyrkur súlfats, heildarkarbónats, klóríðs, magnesíums, kalsíums og summa alkaljónanna natríums og kalsíums færður á y-ásinn og efnin sett í ofangreindri röð línulega eftir x-ásnum og dregin lína fyrir hvert sýni (Truesdell, 1991). Sýni sem tilheyra sama vatnskerfi, eða skyldum vatnskerfum sýna sama munstur eða falla saman. Skerist línur sýnanna eru þau ekki úr sama vatnskerfi eða blönduð vatni af ólíkum uppruna. Í Piper línuritinu eru fyrst búin til tvö þríhyrningslínurit fyrir annarsvegar hlutfallslegan jafngildisstyrk helstu katjóna og hins vegar annarsvegar hlutfallslegan jafngildisstyrk helstu antjóna og síðan eru dregnar samhliða línur frá þríhyrningslínuritunum inn á tígulgraf og þær látnar skerast (Drever, 2002). Á þennan hátt eru sýnin flokkuð í t.d. alkalí-bíkarbónatvatn, kalsíum-súlfatvatn, o.s.frv. Í Durov línuritinu eru búin til sams konar þríhyrningslínurit og í Piperlínuritinu, en þau tengd í ferningslaga línurit og þar er bætt við

heildarstyrk uppleystra efna og gildi pH. Á Mynd 8 er svo sýnt Ca, Mg, bikarbónat þríhyrningslínurit fyrir flest sýnanna. Myndir 9, 10, 11 og 12 sýna styrk kalsíums á móti bikarbónati, styrk kísils á móti styrk magnesíums, styrk kísils á móti sýrustigi (pH) og styrk kísils á móti hitastigi fyrir grunnvatnssýnin. Umfjöllun um niðurstöður eru á eftir hverju grafi.

Tafla 4. Efnasamsetning grunnvatns í vestanverðu Kelduhverfi-snefilefni.

Sýni númer.	07-003	07-004	07-005	07-017	07-006	07-018	07-023
Staðsetning	Lón	Nesgjá	Rifós	Borhola/Lón	Fjöll	Fjöll/Vatnsból	Auðbj.st.brekka
Ag µg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,05	<0,005	<0,005	<0,005
Al µg/L	5,77	14,5	6,17	2,07	14,8	4,56	4,52
As µg/L	0,15	0,144	0,158	1,3	0,225	0,0853	0,0959
Au µg/L	0,0013	0,0011	<0,001	<0,01	0,0014	<0,001	0,0014
Ba µg/L	0,092	0,0293	0,0992	33,8	<0,01	<0,01	<0,01
Br µg/L	<1	15,1	9,52	22200	<1	12,1	3,61
Cd µg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,02	<0,002	<0,002	0,0025
Co µg/L	<0,005	<0,005	<0,005	0,047	<0,005	<0,005	<0,005
Cr µg/L	0,392	0,253	0,81	0,12	0,0702	0,136	0,182
Cs µg/L	<0,03	<0,03	<0,03	0,125	<0,03	<0,03	<0,03
Cu µg/L	0,936	0,51	0,801	0,6	0,177	<0,1	<0,1
Fe µg/L	8	<4	<4	1200	5	<4	<4
Ga µg/L	0,0632	0,234	0,0372	0,0332	0,656	0,185	0,268
Ge µg/L	0,0548	<0,05	0,315	<0,5	<0,05	<0,05	0,0519
Hg µg/L	<0,002	<0,002	<0,002	0,0254	<0,002	<0,002	0,0076
I µg/L	<1	<1	<1	166	<1	<1	<1
Li µg/L	0,611	0,213	1,31	57,8	0,0483	0,109	0,163
Mn µg/L	<0,03	<0,03	<0,03	1190	<0,03	0,0505	<0,03
Mo µg/L	0,174	0,155	0,215	12,4	0,147	0,1	0,0858
Ni µg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,1	<0,05	<0,05	<0,05
P µg/L	43,6	34,1	75,5	25	8,9	18,5	19,7
Pb µg/L	0,0391	0,0309	0,0578	0,11	0,0177	<0,01	0,012
Rb µg/L	1,09	0,425	1,99	42,2	<0,03	0,0366	<0,03
Sb µg/L	0,0114	<0,01	0,0153	<0,05	0,0103	<0,01	<0,01
Se µg/L	0,155	0,117	0,242	0,0688	0,204	0,109	0,059
Sn µg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Sr µg/L	5,74	4,11	10,1	3210	0,587	0,567	0,348
Th µg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,05	<0,02	<0,02	<0,02
Ti µg/L	0,0268	0,0803	0,0404	<0,05	0,0524	0,0328	0,0235
Tl µg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,02	<0,005	<0,005	<0,005
U µg/L	<0,0005	0,0028	0,0021	<0,02	<0,0005	<0,0005	<0,0005
V µg/L	21,5	12,3	35,4	0,143	12,3	7,81	6,47
W µg/L	0,16	0,0602	0,204	0,42	<0,05	<0,05	<0,05
Zn µg/L	1,83	1,02	1,57	2,63	0,323	0,227	0,316

Tafla 5. Efnasamsetning grunnvatns í Kelduhverfi-snefilefni.

Sýni númer.	07-010	07-011	07-012	07-007	07-008	07-009	07-024	07-019
Staðsetning	Árlax	Árlax	Krossdalur	Keldunes	Keldunes	Höfðabrekka	Eyvindarstaðir	Lyngásgjá
Ag µg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
Al µg/L	6,04	6,44	6,32	9,66	8,87	8,93	5,11	8,57
As µg/L	0,364	0,4	<0,05	0,541	0,478	0,505	0,266	<0,05
Au µg/L	0,0017	0,0019	0,0013	0,002	0,0017	0,0017	0,0028	0,0031
Ba µg/L	0,16	0,391	0,0529	0,594	0,699	0,242	0,605	0,0981
Br µg/L	95,2	121	<1	284	398	147	124	9,39
Cd µg/L	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,0032	<0,002
Co µg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	0,0052	0,0064
Cr µg/L	0,832	0,913	0,479	1,33	1,15	1,25	0,827	0,615
Cs µg/L	<0,03	<0,03	<0,03	0,291	0,555	0,164	<0,03	<0,03
Cu µg/L	0,358	0,457	0,381	0,9	0,737	0,407	0,723	0,443
Fe µg/L	<4	<4	<4	<4	<4	<4	27	10
Ga µg/L	0,0517	0,0611	0,0672	0,164	0,13	0,156	0,0409	0,103
Ge µg/L	0,129	0,179	0,0624	0,405	0,527	0,273	0,136	<0,05
Hg µg/L	0,0154	0,004	<0,002	0,0035	0,0057	<0,002	0,0222	<0,002
I µg/L	3,41	3,67	1,32	4,22	6,08	4,11	2,68	<1
Li µg/L	11,1	14,6	0,822	34,3	70,7	15,3	7,74	0,927
Mn µg/L	<0,03	<0,03	0,19	<0,03	<0,03	<0,03	0,0797	0,0441
Mo µg/L	0,648	0,82	0,152	1,28	1,28	1,02	1,01	0,23
Ni µg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
P µg/L	46,3	48,1	51,2	45,6	40,9	47,6	44,6	68,2
Pb µg/L	0,0636	0,0656	0,0322	0,145	0,112	0,0948	0,0644	0,0172
Rb µg/L	3,66	6	0,943	15,4	26,4	8,56	4,4	0,935
Sb µg/L	0,0163	0,0173	0,0111	0,0203	0,0171	0,0223	0,0158	0,0148
Se µg/L	0,539	0,581	0,387	0,418	0,373	0,352	0,539	0,264
Sn µg/L	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Sr µg/L	15,0	18,2	7,86	30,5	43,7	21,2	23,0	6,91
Th µg/L	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ti µg/L	0,0228	0,0268	0,0191	0,022	0,0454	0,0201	0,0222	0,151
Tl µg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
U µg/L	0,0068	<0,0005	<0,0005	0,0259	<0,0005	0,0046	<0,0005	<0,0005
V µg/L	39,3	40,1	28,6	44,2	42,5	42,7	30,4	32,6
W µg/L	0,194	0,217	0,0977	0,292	0,278	0,27	0,165	0,14
Zn µg/L	0,677	0,533	0,619	1,12	0,854	0,497	15	0,828

Tafla 6. Efnasamsetning grunnvatns-snefilefni.

Sýni númer.	07-016	2006- 003	07-022	07-025	07-027	07-020	07-021
Staðsetning	Kópasker	Núpar	Hljóðaklettur	Landsá	Þeistareykir	Þorvaldsstaðaá	Bakkaá
Ag µg/L	<0,005	<4	<0,005	<0,005	<0,05	<0,005	<0,005
Al µg/L	8,11	6,6	3,72	5,88	6,04	7,24	5,99
As µg/L	<0,05	<4	0,0649	0,059	<0,1	0,0608	0,216
Au µg/L	<0,001	0,014	<0,001	0,001	<0,001	0,0012	0,0019
Ba µg/L	0,0833	28,8	0,0617	0,151	0,431	0,047	0,0127
Br µg/L	3,26	23000	8,02	9,13	21,6	1,18	6,97
Cd µg/L	<0,002	<0,05	<0,002	0,0053	<0,002	<0,002	<0,002
Co µg/L	<0,005	0,119	0,0141	0,0062	0,0115	<0,005	<0,005
Cr µg/L	0,302	<0,1	0,448	0,453	0,728	0,225	0,348
Cs µg/L	<0,03	<0,2	<0,03	<0,03	0,0346	<0,03	<0,03
Cu µg/L	0,434	<0,5	0,489	0,292	0,643	0,203	0,104
Fe µg/L	0	75	8	4	32	<4	<4
Ga µg/L	0,129	0,07	0,0044	0,0653	0,0398	0,0908	0,0616
Ge µg/L	<0,05	0,76	<0,05	<0,05	1,63	<0,05	<0,05
Hg µg/L	0,0027	0,04	<0,002	0,0163	0,0274	0,0045	0,0043
I µg/L	<1	324	<1	<1	<1	<1	<1
Li µg/L	0,329	64,4	0,166	0,603	4,28	0,54	0,469
Mn µg/L	<0,03	930	<0,03	0,203	1,31	<0,03	<0,03
Mo µg/L	0,116	15,1	0,154	0,268	0,207	0,0919	0,101
Ni µg/L	<0,05	<0,5	0,0513	<0,05	0,106	<0,05	<0,05
P µg/L	31,6	<40	43,4	38,2	46,1	41,1	22
Pb µg/L	0,0323	<0,3	0,0364	0,0234	0,0366	0,0223	0,0174
Rb µg/L	0,613	69,7	0,744	1,38	3,99	0,879	0,0519
Sb µg/L	0,0117	<0,1	<0,01	0,0159	0,0142	<0,01	0,0125
Se µg/L	0,0959	<0,02	0,11	0,157	13,3	0,0727	0,12
Sn µg/L	<0,05	<0,5	<0,05	<0,05	0,435	<0,05	<0,05
Sr µg/L	5,95	3100	13,5	9,02	<0,05	4,67	0,497
Th µg/L	<0,02	<0,2	<0,02	<0,02	0,0926	<0,02	<0,02
Ti µg/L	0,0473	0,312	0,248	0,0323	<0,001	0,0437	0,0187
Tl µg/L	<0,005	<0,05	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005
U µg/L	0,0026	0,0702	<0,0005	0,0052	0,009	<0,0005	<0,0005
V µg/L	15,2	0,762	16,7	20,1	18,3	17,1	12,9
W µg/L	0,057	1,32	<0,05	0,094	0,212	0,0764	<0,05
Zn µg/L	0,589	<2	0,665	0,869	1,37	0,735	0,347

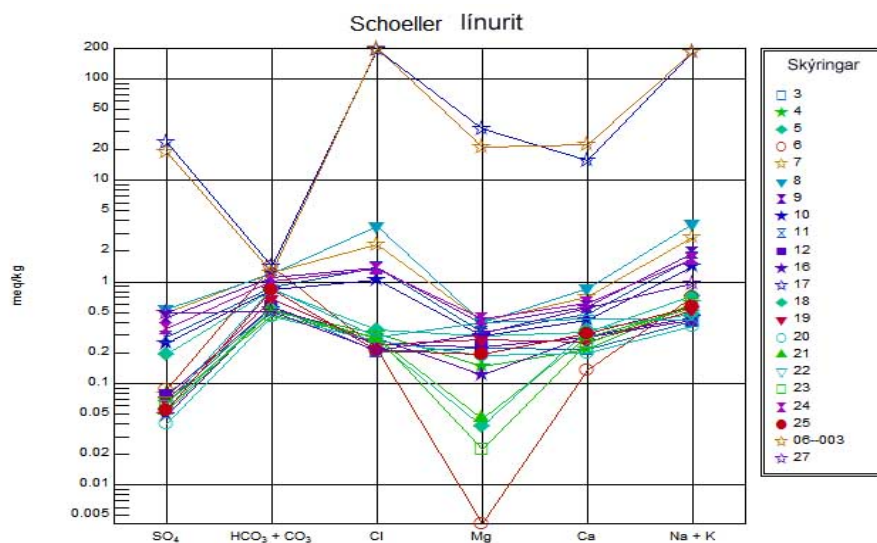
## 6.2 Samsætumælingar

Vegna bilunar í nýjum massagreini Jarðvísindastofnunar Háskóla Íslands náðist ekki að mæla stöðugar samsætur í sýnunum í tíma. Sýnin voru send til Háskólans í Árósum til mælinga á  $\delta^2\text{H}$ , en ekki tókst að mæla sýnin þar vegna þess hversu létt þau eru og sýnaundirbúningskerfið ræður ekki við þannig sýni. Niðurstöður mælinga á  $\delta^{18}\text{O}$  fengust hins vegar frá Háskólanum í Kaupmannshöfn og eru þau sýnd í töflum 1-3.

## 6.3 Túlkun niðurstaðna

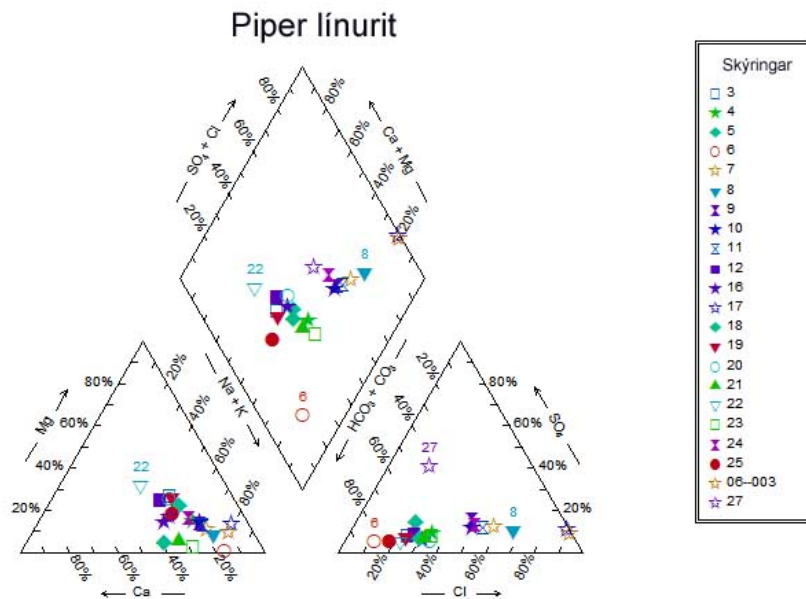
### 6.3.1 Efnagreiningar

Efnasamsetning vatnsins er dæmigerð fyrir kalt íslenskt lindarvatn við svipaðar jarðfræðilegar aðstæður (Kristmannsdóttir, 2004 b). Öll sýnin nema úr volgu borholunum í Lóni og frá Núpum eru efnasnauð og ósölt. Sýnin frá Rifósi, Árlax, Keldunesi, Höfðabrekku og Eyvindarstöðum eru volg og undir áhrifum frá affalli frá hitasvæðunum í suðri. Annað sýnið úr Lóni, sunnan við bæ, Nesgjá og Lyngásgjá sýna líka smávægileg áhrif. Sýnið frá Þeistareykjum er volgt og hefur greinileg jarðhitaáhrif. Það hefur þó fremur háan styrk magnesíums og kísilstyrkur er ekki mjög hár og vatnið er því ekki affallsvatn frá háhitanum. Vatnið frá Hljóðaklettum sker sig mest úr kaldavatnssýnunum, hefur lágt pH, háan styrk kísils og heildarkarbónarts og hlutfallslega háan styrk kalsíums. Staðsetning lindar bendir til að vatnið hafi staðbundinn uppruna og því væntanlega ekki langan hvarftíma og það í frekar ungu og fersku bergi.



Mynd 5. Schoeller línurit fyrir grunnvatn á svæðinu.

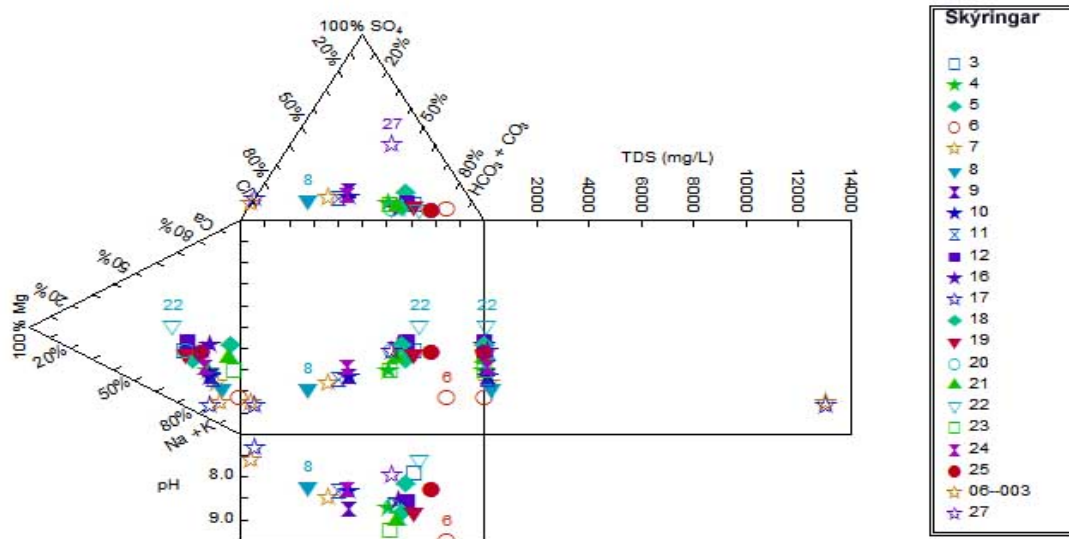
Öll sýnin af Öxarfjarðarsvæðinu (Kelduhverfi og Öxarfirði) flokkast mjög svipað á Scoellerflokkunarlínuritinu (Mynd 5), nema söltu sýnin tvö úr Lóni og frá Núpum (Silfurstjarnan) og vatnið úr lindinni sunnan við Fjöll (07-006). Köldu grunnvatnssýnin eru dæmigert alkálí-bíkarbónat vatn, en volgu sýnin eru klóríðríkari og gætu flokkast sem alkálí-klóríð eða alkálí-klóríð/bíkarbónatvatn. Sýnin frá lindunum við Húsavík eru einnig alkálí-bíkarbónat vatn, en eru greinilega úr öðru vatnskerfi. Sýnið úr Hljóðaklettum flokkast fremur sem kalsíum bíkarbónatvatn. Þessi sýni hafa öll lægri styrk magnesíums en vatnið á Öxarfjarðarsvæðinu.



Mynd 6. Piper línurit fyrir vatnssýni frá svæðinu.

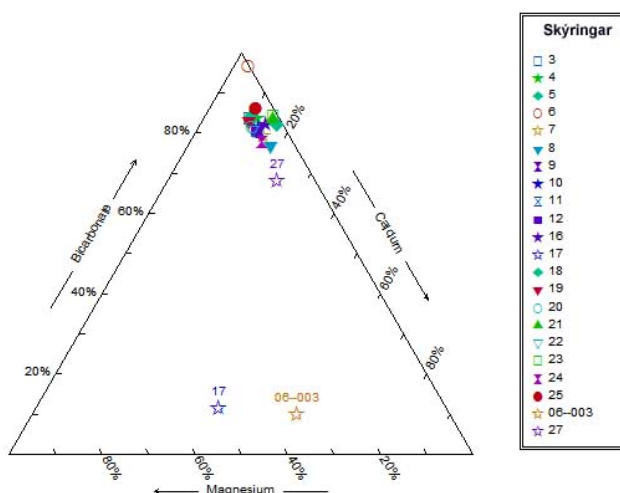
Á Piper flokkunarlínuritinu á Mynd 5 kemur vel fram að sýnin af Öxarfjarðarsvæðinu flokkast í tvo meginflokka eftir ráðandi anjónum og katjónum. Annars vegar köldu sýnin og hins vegar volgu sýnin. Öll eru sýnin alkalísk, en volgu sýnin eru saltari. Sýnið úr lindinni sunnan bæjarins að Fjöllum sker sig reyndar alveg úr og er hlutfallslega mun natrium- og bikarbónatríkara vatn en annað grunnvatn á svæðinu. Sýni frá Landsá (Öxarfjörður) er á jöðrum flokkunarsvæðisins og er bæði með hlutfallslega hærri styrk kalsíums og bikarbónats en hin sýnin. Köldu grunnvatnssýnin frá Húsavíkarsvæðinu flokkast nánast eins og sýnin af Öxarfjarðarsvæðinu, en sýnið úr Hljóðaklettum sker sig úr. Volgu ísöltu grunnvatnssýnin úr Kelduhverfinu falla í sama flokk á línuritinu. Þar fellur líka sýnið frá Þeistareykjum sem sker sig þó verulega úr á þríhyrningslínuritinu fyrir anjónana vegna þess hversu súlfatríkt það er. Söltu sýnin í Lóni og Núpum falla utan þessara flokka og eru dæmigerð alkálí-klóríðsýni.





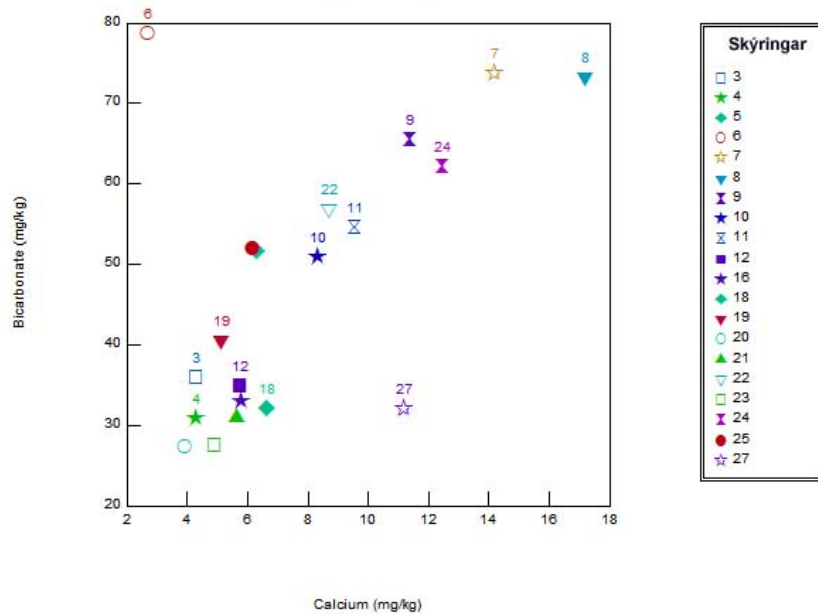
Mynd 7. Durov flokkunarlínurit fyrir grunnvatnssýni af svæðinu.

Durov flokkunarlínuritið sýnir svipaða flokkun og Piperlínuritið. Tveir meginflokkar grunnvatns koma fram, en hér sker salta vatnið í Núpum og Lóni sig betur úr. Vatnið frá lindinni S Fjalla fellur utan meginflokkanna. Í þessu línuriti kemur einnig inn heildarstyrkur uppleystra efna og pH og kemur vel fram sá meginmunur sem er á heildarstyrk efna í salta vatninu í Núpum og Lóni og allra hinna. Vatnið frá lindinni sunnan Fjalla sker sig úr með afbrigðilega hátt pH, en Auðbjargarstaðabrekkusýnið og sýni frá Bakkaá hafa einnig hátt pH. Söltu sýnin hafa lægsta pH-ið, en önnur sýni falla þarna á milli.



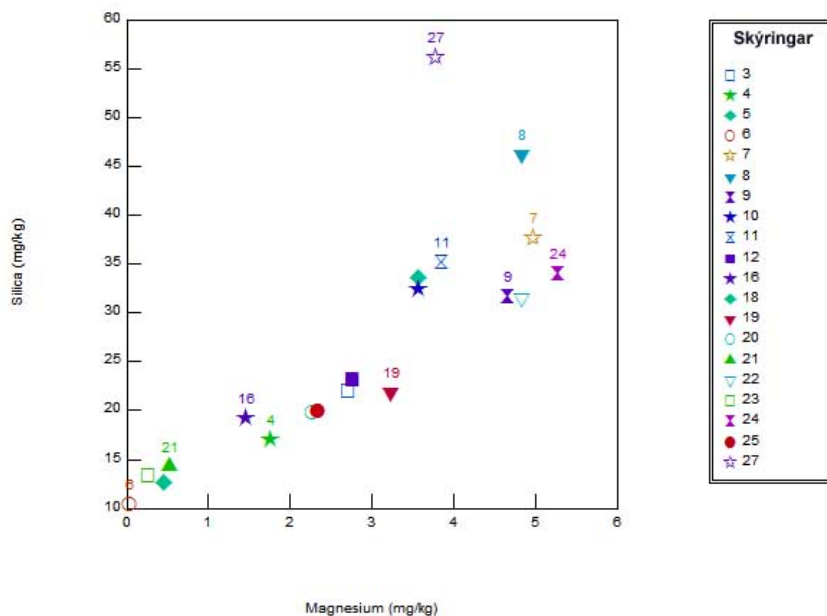
Mynd 8. Ca, Mg, bikarbónat þríhyrningslínurit fyrir grunnvatnssýni af svæðinu. Styrkur í mg/L.

Mynd 8, sem er Ca, Mg, bikarbónat þríhyrningslínurit endurspeglar vel að grunnvatnið er bikarbónatvatn. Hún sýnir líka að hlutfallslegur styrkur kalsíums og magnesíums er mjög svipaður í öllum sýnunum, nema í söltu sýnunum tveimur úr Lóni og frá Núpum. Í þeim sýnum er líka mismunandi hlutfall kalsíums og magnesíums. Sýnin frá lindinni sunnan Fjalla og frá Þeistareykjum skera sig einnig nokkuð úr öðrum sýnum. Hlutfall alkalíjóna (natríum + kalíum) og kalsíums er breytilegt og það er það sem skilur að grunnvatnsflokkana á flokkunarlínuritunum hér að framan.



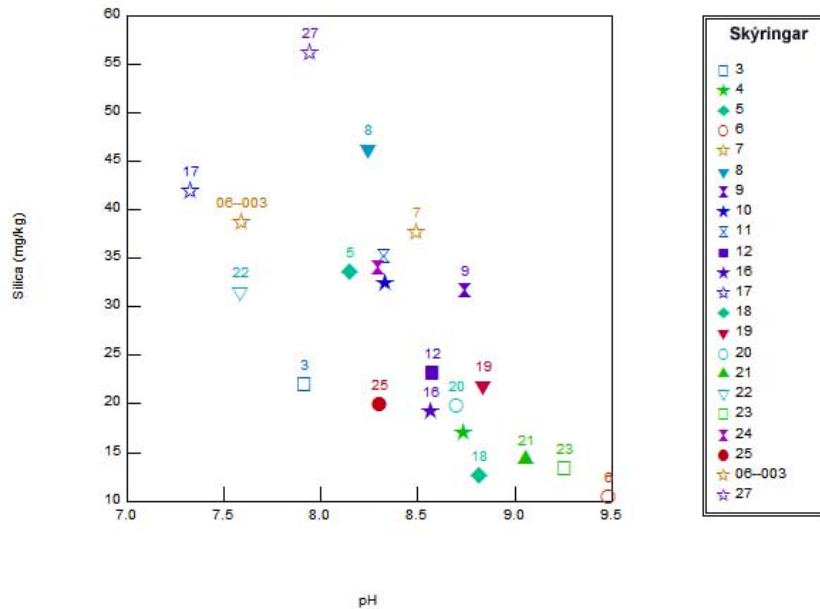
Mynd 9. Styrkur bikarbónats á móti kalsíum fyrir grunnvatnssýnin. Styrkur í mg/L.

Á Mynd 9 sést að styrkur bikarbónats er í nokkuð góðu línulegu sambandi við styrk kalsíums fyrir grunnvatnssýnin. Undantekning er sýnið úr lindinni S Fjalla og sýnis frá Þeistareykjum. Söltu sýnunum frá Núpum og Lóni er reyndar sleppt og þau skera sig úr hvað þetta hlutfallið varðar.



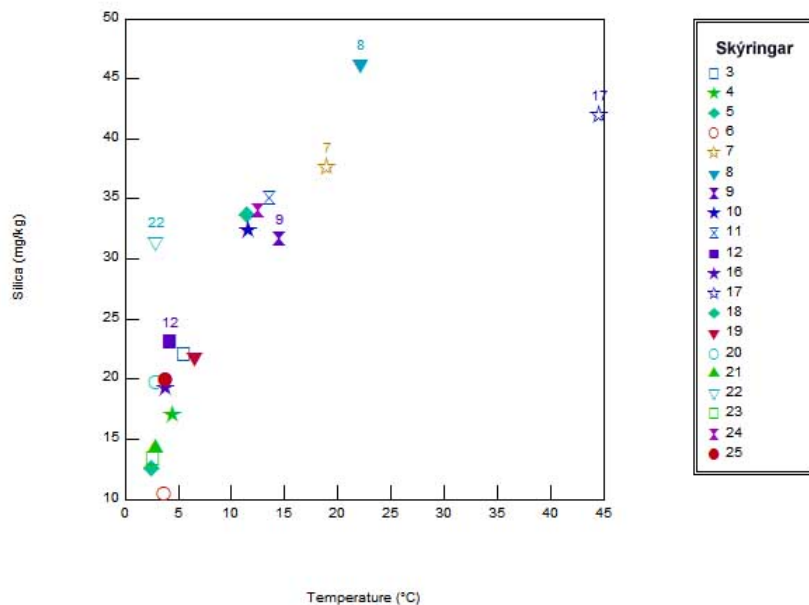
Mynd 10. Styrkur kísils á móti styrk magnesíums fyrir grunnvatnssýnin. Styrkur í mg/L.

Á Mynd 10, sem sýnir styrk kísils á móti styrk magnesíums kemur fram að styrkur magnesíums eykst með hækkuðum styrk kísils í köldu og volgu sýnunum, en þetta samband breytist svo þegar hitastig hækkar, þar sem uppleysanleiki flestra magnesíumsambanda lækkar með hitastigi. Sýnið frá Þeistareykjum sker sig þannig úr og einnig sum volgu sýnanna. Söltu sýnunum er sleppt þar sem styrkur þeirra er á allt öðrum mælikvarða og dreifing í styrk hinna mundi hverfa ef þau væru með á sama línuriti.



Mynd 11. Styrkur kísils á móti sýrustigi (pH) fyrir grunnvatnssýnin. Styrkur kísils í mg/L.

Dreifing pH á móti kísli (Mynd 11) sýnir ekki mikla fylgni, utan þess að kísilsnaðustu sýnin hafa hæst pH. Söltu volgu sýnin og sýnið frá Hljóðaklettum hafa lægsta pH-ið. Flest hin sýnin falla innan þeirra marka fyrir pH sem algengt er um kalt grunnvatn úr basaltberggrunni.



Mynd 12. Styrkur kísils á móti hitastigi fyrir grunnvatnssýnin. Styrkur kísils í mg/L.

Samband styrks kísils og hitastigs (Mynd 12) er ekki mjög reglulegt, enda vart við því að búast í svo köldu vatni og að hluta til blönduðu við heitara vatn. Þó má sjá línulegt samband milli þessara þátta fyrir volgu sýnin við Keldunes og Höfðabrekku.

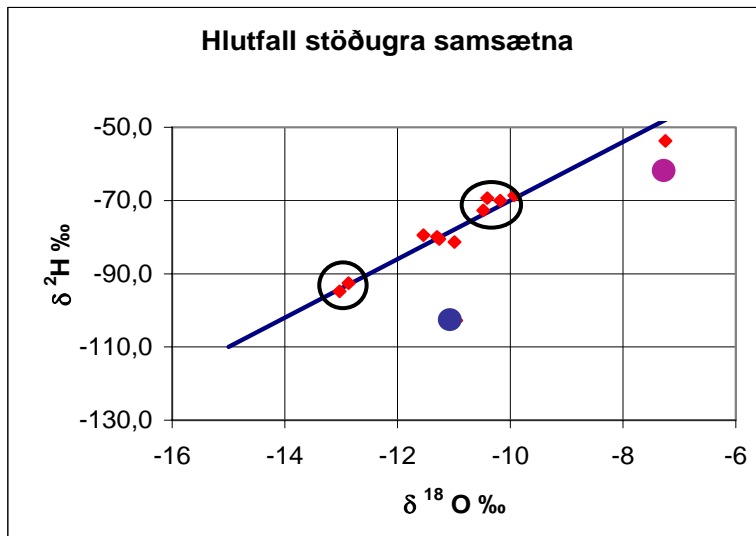
Það hversu vel afmörkuð efnasamsetning kalda grunnvatnsins er bendir til þess að möguleg áhrif frá affallsvatni jarðhitavirkjana mundu koma fljótt og skýrt í ljós væri haft eftirlit með heildarefnainnihaldi vatnsins eða rafleiðni og hlutfalli klóríðs og karbónats ásamt sýrustigi.

Snefilefnainnihald sýnanna er mjög lágt eins og fram kemur á töflum 4, 5 og 6, að undanskildum ákveðnum efnum í söltu sýnunum. Þannig er innihald þeirra efna er einkum fylgja áhrifum frá háhitasvæðum, arsens (As), kadmíums (Cd) og kvikasilfurs (Hg) í mörgum tilvikum innan greiningarmarka og í öllum tilvikum langt innan allra umhverfismarka og marka fyrir drykkjarvatn (As= 10. µg/L; Cd= 10. µg/L; Hg= 1,0 µg/L). Hæsti mældi styrkur fyrir As er í salta sýninu í Lóni rétt rúmt µg/L, en í salta sýninu frá Núpum var mælt með hærri næmnimörkum svo það er skráð sem <4 µg/L. Í volgu sýnunum er styrkur arsens um og undir 0,5 µg/L og enn lægri í köldu sýnunum. Styrkur kadmíums er innan næmnimarka greiningar í öllum sýnum utan þriggja þar sem hann er rétt yfir mörkum. Þar sem styrkur kvikasilfurs er yfir næmnimörkum er hann yfirleitt aðeins örfá nanogrömm í lítra, hæstur í söltu sýnunum og að jafnaði hærri í volgu sýnunum en þeim köldu. Styrkurinn er hins vegar svo lágur og nálægt næmnimörkum að ekki er mikið hægt að túlka dreifinguna. Styrkur ákveðinna snefilefna er allhár í söltu sýnunum eins og við er að búast í sýnum af sjávaruppruna. Þetta á einkum við efnin, bróm (Br), járn (Fe), líþíum (Li), mangan (Mn), molybden (Mo), rubídíum (Rb) og strontíum (Sr). Almenn gildir fyrir öll önnur sýni að styrkur allra snefilefna er mjög lágur og oft undir greiningarmörkum. Þetta er ekki óeðlilegt miðað við grunnvatn á Íslandi sem er yfirleitt mjög lítið mengað af þungmálum og öðrum snefilefnum.

Vegna lítils styrks snefilefna gæti möguleg hækkun í þeim snefilefnum sem fylgja jarðhitavatni jafnframt sést mjög fljótt í grunnvatninu. Sum þeirra efna gætu þó bundist á leiðinni við síun og hvörfun í gropnum, sprungnum jarðlögum. Einnig verður mikil þynning þar sem affallsvatnið er hlutfallslega í mjög litlu magni miðað við grunnvatnsstraumana.

### 6.3.2 Samsætumælingar

Í eldri sýnum af grunnvatni hefur ekki verið mikið mælt af stöðugum samsætum vetnis og súrefnis, en þó er til nokkuð af gögnum. Á Mynd 13 er sýnt hlutfall stöðugra samsætna  $\delta^2\text{H}$  og  $\delta^{18}\text{O}$  í nokkrum grunnvatnssýnum af svæðinu (Kristmannsdóttir o.fl., 2007, Hildur Vésteinsdóttir, 2006, Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2006, Gagnagrunnur Orkustofnunar, óbirt gögn). Rauðu tíglarnir eru allt köld grunnvatnssýni. Sýnin innan hringjanna eru annars vegar dæmigerð grunnvatnssýni frá hálendinu (léttari sýnin) og hins vegar sýni af staðbundnum uppruna (þyngri sýnin) Bragi Árnason, 1976). Mitt á milli falla svo sýnin, sem eru undir áhrifum frá vatni úr sprungusveimunum. Bláa línan á myndinni er regnvatnslína Norðurhvelsins (Craig, 1961). Blái hringurinn er sýni af jarðhitavatni frá Skógalóni og fjólublái hringurinn er salt volgt vatn frá Núpum. Rauði tígullinn rétt við Núpavatnið er úr ísaltri grunnvatnslind rétt við Kópasker. Eins og fram kemur á myndinni eru sýnin af jarðhitavatninu mjög létt og talið er að þau séu að hluta til vatn sem er eldra en síðasta ísöld (Kristmannsdóttir et al., 2007). Þau sýna jafnframt talsvert mikla súrefnisauðgun. Þar sem ekki fengust mælingar á vetnissamsætuhlutföllum er ekki hægt að sýna niðurstöður mælinga á nýjum sýnum grafískt til samanburðar. Samanburður á súrefnissamsætunum sem mældar voru í nýju sýnunum frá grunnúttekinni sýnir ekki neinar marktækar breytingar frá eldri mælingum.



Mynd 13. Hlutfall stöðugra samsætna  $\delta^2\text{H}$  og  $\delta^{18}\text{O}$  í grunnvatnssýnum (rauðir tíglar) af svæðinu. Blái hringurinn er sýni úr jarðhitasvæðinu í Skógarlóni og fjólublái hringurinn er salt volgt vatn frá Núpum. Regnvatnslína Norðurhvelsins er sýnd til samanburðar (Craig, 1961).

Þess ber að gæta að ekki eru til mælingar á stöðugum samsætum frá nema hluta þeirra staða sem rannsakadir voru í núverandi grunnúttekt. Verulegur munur er á samsætuhlutfalli staðbundins vatns og vatns upprunna frá hálandinu og frá jarðhitasvæðunum og því líklegt að breytingar gætu sést fljótt og greinilega ef aðrennsli til lindanna breyttist. Áhrif frá affallsvatni jarðhitasvæðanna mundu væntanlega verða þau að vatnið léttist og mögulega gætu sést áhrif súrefnisauðgunar.

## 7 SAMANBURÐUR VIÐ ELDRI EFNAGREININGAR

Eins og fram kom í kafla 2 fóru fram talsvert miklar rannsóknir á grunnvatnskerfum á Öxarfjarðarsvæðinu á árunum 1984-1990 og rannsóknir á jarðhita þar fram til um 1993.

Einnig fóru fram viðamiklar jarðhitarannsóknir og boranir á Bakkasvæðinu á árunum 2000-2004. Frá 1989 eru lítil gögn til um kalt og volgt grunnvatn á Öxarfjarðarsvæðinu þar til 2005 þegar aftur var byrjað að rannsaka grunnvatn á svæðinu, bæði snefilefni og samsætur og síðan almenn grunnúttekt á grunnvatnskerfinu sem hófst 2007 með þessu verkefni.

Miklar breytingar urðu á grunnvatnskerfunum í kjölfar umbrotanna í Kröflu og m.a. hitnaði grunnvatn sem tengt er Kröflusprungusveiminum og efnasamsetning þess hefur líklega einnig breyst. Þessar breytingar voru ekki að fullu gengnar til baka á þeim árum sem fyrrgreindar grunnvatnsrannsóknir stóðu yfir.

Í töflu 7 eru sýndar nokkrar eldri efnagreiningar á vatni frá sömu svæðum og nú voru rannsökuð. Ekki er víst að í öllum tilfellum sé um nákvæmlega sömu lindir að ræða, en sömu lindasvæði eru valin. Á þeim tíma sem eldri grunnvatnsrannsóknirnar voru gerðar var ekki unnt að efnagreina eins mörg snefilefni með nægilegri nákvæmni og nú er unnt og voru því mun færri efni greind. Við samanburð á sýnunum frá Nesgjá Auðbjargarstöðum og vatnsbóli Fjallabæja þá er ekki mikinn munur að sjá á efnagreiningunum með tilliti til þess að greiningaraðferðir voru nokkuð aðrar. Klóríðstyrkur er nokkru hærri í Nesgjá í gamla

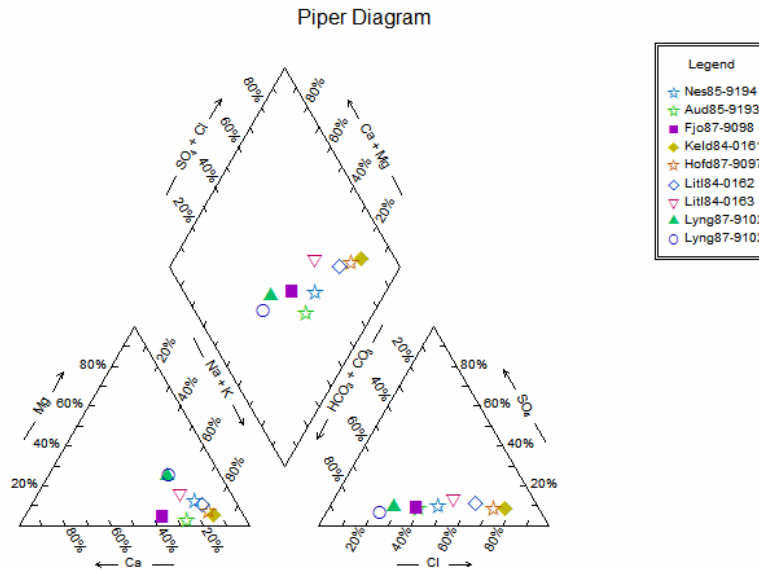
sýninu en í því nýrra, en það gæti stafað af mismunandi árstíma og veðurfari. Munurinn er líka varla meiri en svo að mismunandi greiningaraðferðir gætu líka verið orsök.

Allnökkurt frávik kemur fram í Na styrk í þessum sýnum, en það efni er mælt með mismunandi aðferðum í gömlu sýnunum og þeim nýju og munurinn er ekki meiri en svo að það er líkleg orsök. Þar sem ekki er vitað nákvæmlega úr hvaða lindum var tekið í gömlu sýnunum er erfitt að bera saman sýni frá Keldunesi-Höfðabrekku og lindanna við Litluá. Heitasta sýnið við Keldunes er svipað í báðum tilvikum utan þess að pH er mun lægra í gamla sýninu og það virðist hafa verið nokkru heitara og efnaríkara. Gamla sýnið frá Höfðabrekku er mun heitara en sýnið frá 2007 og tilsvareandi efnaríkara. Við rannsóknina 2007 fundust engar lindir við Litluá sem voru eins heitar og heitara sýnið frá 1984 og ekki voru heldur sambærileg sýni við það kaldara.

Tafla 7. Efnagreiningar af eldri sýnum frá rannsóknarsvæðinu (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1989, Þórólfur H. Hafstað. 1989).

Sýni númer.	85-9194	85-9193	87-9098	84-0161	87-9097	84-0162	840163	84-0165	87-9102
Staðsetning	Nesgjá	Auðbjargar-	Fjöll	Keldunes	Brunn-Höfð	Litlaá	Litlaá	Lyngás	Lyngásgjá
Dagsetning	26.07.1987	13.09.1985	26.07.1987	1984	26.07.1987	1984	1984	1984	27.7.1987
Hitastig °C	3,4	2,6	3,0	23,0	21,4	16,5	7,2	4,5	4,8
pH/°C	8,56/21,7	9,30/21,8	8,95/18,9	7,1/14	8,37/19,7	8,0/14	8,0/14	8,6/22	7,83/20
SiO <sub>2</sub> mg/L	15,5	11,85	11,4	46,2	39,1	34,4	28	22,6	20,5
B µg/L	-	-	-	0,13	-	<0,1	<0,1	<0,1	-
Na mg/L	18,6	15,33	11,25	90,6	75,78	51,5	24,0	12,0	12,1
K mg/L	0,83	0,17	0,14	8,8	7,84	5,6	2,6	1,1	1,18
Ca mg/L	4,25	4,88	5,82	13,0	12,51	9,7	7,9	4,9	4,82
Mg mg/L	1,72	0,31	0,45	3,26	3,88	4,0	3,51	3,09	3,20
Al µg/L	-	-	-	0,02	-	0,01	0,02	0,005	-
Fe	-	-	<0,025	-	<0,025	-	-	<0,1	<0,025
Mn	-	-	<0,05	-	<0,05	-	-	-	<0,05
CO <sub>2</sub> mg/L	25,36	22,8	20,6	50,2	45,9	48,5	37,6	29,9	42,5
Leiðni µS/cm at.25°C	125,5	99,5	82,0/21,8	-	479/21,8	-	-	-	-
δ <sup>2</sup> H ‰	-	-	-	-79,5	-	-	-	-	-
δ <sup>18</sup> O ‰	-	-	-	-11,54	-	-	-	-	-
SO <sub>4</sub> mg/L	4,42	3,05	2,83	19,5	15,7	15,7	9,6	3,3	2,88
Cl mg/L	16,26	10,67	8,9	133,9	99,5	67,2	28,3	7,9	8,12
F mg/L	0,056	0,042	0,043	0,25	0,17	0,22	0,13	0,12	0,114
Uppleyst efni. mg/L	65,5	37,3	46,5	347	290	207	121	52	63,8
Br	-	-	-	0,5	-	0,2	0,1	0,3	-
I	-	-	-	<0,001	-	-	-	-	-

Gögn um stöðugar samsætur eru of lítil til að unnt sé að gera neinn marktækan samanburð við eldri sýni.



Mynd 14. Piper línurit af eldri sýnum úr töflu 7.

Talsvert mikið var tekið af sýnum til greininga á fáeinum völdum þáttum í eldri rannsókninni og við samanburð á þeim sýnum sjást ekki miklar né marktækar breytingar utan merkja um lítilsháttar kólnum á því svæði sem hitnaði í kjölfar umbrotanna. Á Mynd 14 er sýnt Piper línurit af sýnunum úr töflu 7. Sýnin sýna svipaða dreifingu og flokkast svipað og sýnin úr nýju úttektinni í alkálí-bíkarbónat til alkálí-klóríð vatn. Skipting í tvö vel aðgreind vatnskerfi er þó ekki eins greinileg og flokkunin á sýnum í þeirri úttekt.

Eins og fram kom hér á undan eru ekki sjáanlegar breytingar á hlutfalli súrefnissamsætna í grunnúttektinni og frá eldri gögnum. Gögnin eru þó of víðalítil til að unnt sé að fullyrða um þennan þátt.

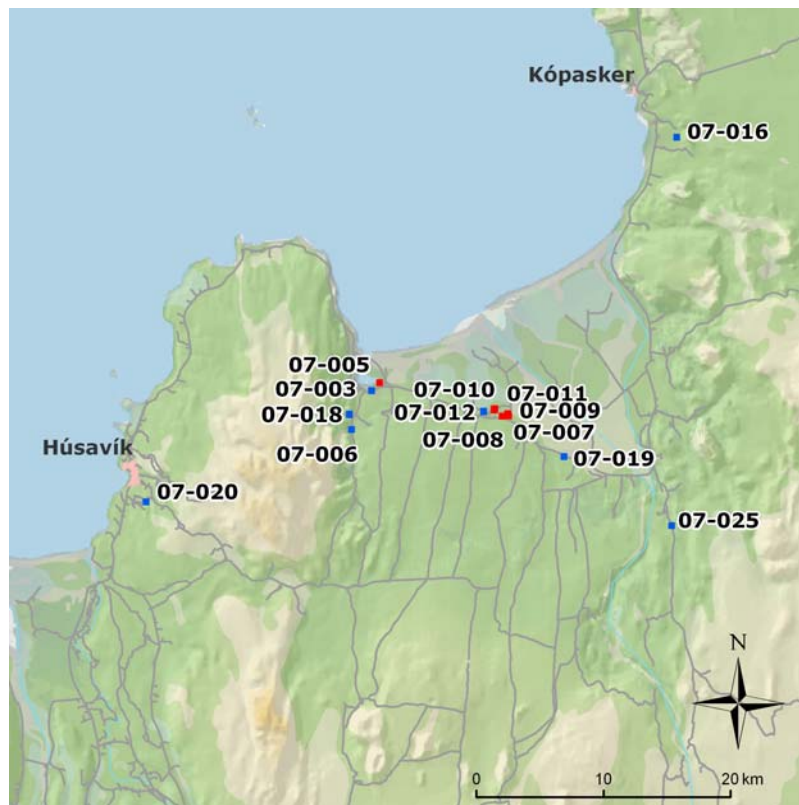
## 8 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Kalda grunnvatnið á Öxarfjarðarsvæðinu er dæmigert alkálí-bíkarbónat vatn eins og algengast er um grunnvatn á Íslandi. Volgu grunnvatnssýnin flokkast hins vegar sem alkálí-klóríð eða alkálí-klóríð/bíkarbónatvatn. Sýnin frá lindunum við Húsavík eru einnig alkálí-bíkarbónat vatn, en eru greinilega úr öðru vatnskerfi. Sýnið úr Hljóðaklettum flokkast fremur sem kalsíum bíkarbónatvatn. Þessi sýni hafa öll lægri styrk magnesíums en vatnið á Öxarfjarðarsvæðinu. Greinilegur munur er á hlutfalli stöðugra samsætna í þeim lindum sem eiga uppruna sinn að hluta til úr sprungusveimnum og hinna sem hafa staðbundinn uppruna. Samanburður á súrefnissamsætunum sem mældar voru í nýju sýnunum frá grunnúttektinni sýnir ekki neinar marktækar breytingar frá eldri mælingum, en ekki eru til eldri mælingar á stöðugum samsætum frá nema hluta staðanna.

Það hversu vel afmörkuð efnasamsetning og samsætuhlutfall kalda grunnvatnsins er bendir til þess að möguleg áhrif frá affallsvatni jarðhitavirkjana mundu koma fljótt og skýrt í ljós væri haft eftirlit með heildarefnainnihaldi og samsætuhlutföllum vatnsins. Vegna lítils styrks snefilefna ætti hugsanleg hækkun í þeim snefilefnum sem fylgja jarðhitavatni jafnframt að sjást mjög fljótt í grunnvatninu. Sum þeirra efna gætu bundist á leiðinni við síun og hvörfun í gropnum, sprungnum jarðlögum. Einnig verður mikil þynning þar sem affallsvatnið er hlutfallslega í mjög litlu magn miðað við grunnvatnsstraumana.

## 9 TILLÖGUR UM FRAMTÍÐAREFTIRLIT

Lagt er til að fylgst verði reglulega með mögulegum breytingum á efnasamsetningu og samsætu hlutföllum vatns í helstu grunnvatnskerfunum. Til að styrkja þann grunn sem nú er kominn væri æskilegt að taka aftur að ári sýni til heildarefnagreiningar og mælinga á samsætum, en jafnframt er lagt til að tekin verði tíðari sýni til mælinga á þeim stöðum sem eru vel aðgengilegir (.07-016, 07-025, 07-020, 07-010, 07-011, 07-012, 07-007, 07-008, 07-009, 07-019, 07-003, 07-005, 07-006, 07-018). Yfirlit yfir þá sýnatökustaði sem gerð er tillaga um er sýnd á Mynd 15. Hæfilegt er talið í framhaldinu að taka sýni til hlutgreiningar árlega. Í þeim sýnum verði mælt hitastig og rafleiðni á staðnum, og tekin sýni til mælinga á sýrustigi, karbónati, klóríði og stöðugum samsætum. Einu sinni á ári verði jafnframt tekið sýni til mælinga á öllum aðal- og snefilefnum. Verði vatnið fyrir áhrifum frá affallsvatni jarðhitasvæða er talið líklegt að þau sjáist einna fyrst á hækkaðri seltu, hlutfallslegum styrk klóríðs og bikarbónats og hlutfalli stöðugra samsætna. Því er lagt til að fylgjast einna best með þessum þáttum, eða tvisvar á ári. Einnig gætu komið fram breytingar í styrk þeirra snefilmálma sem fylgja jarðhitavirkni, einkum As og Hg og því er lagt til að mæla snefilefni í vatninu árlega. Komi fram marktækar breytingar verður gripið til frekari aðgerða sem metnar verða af ráðgjafahópi um eftirlit með grunnvatnssvæðunum. Tillagan gerir ráð fyrir talsvert mörgum sýnatökustöðum en til að byrja með þykir rétt að fylgjast með fleiri stöðum en beinlínis er talið nauðsynlegt. Síðan þegar góð grunnlína hefur fengist mætti fækka stöðunum niður í u.þ.b. helming.



Mynd 15. Kort af rannsóknarsvæðinu, sem sýnir staði þar sem lagt er til að tekin verði sýni til eftirlits í byrjun eftirlitsins. Númerin vísa til sýna í grunnúttektinni. Volg vatnsból eru merkt með rauðu en köld með bláu.



Áætlun um tíðni og efnispætti eftirlitsins verður endurskoðuð að tveimur árum liðnum og ný tillaga byggð á niðurstöðum eftirlits fram að því og jafnframt á þeim virkjunarfrankvæmdum sem í gangi eru hverju sinni.

## 10 HEIMILDASKRÁ

Axel Björnsson, Kristján Sæmundsson, Freysteinn Sigmundsson, Páll Halldórsson, Ragnar Sigbjörnsson og Jónas Þór Snæbjörnsson, 2007. *Geothermal projects in Iceland at Krafla, Bjarnarflag, Gjástykki and Theistareykir. Assessment of geo-hazards affecting energy production and transmission systems emphasizing structural design criteria and mitigation of risk.* Landsnet-07025, LV-2007/075. Reykjavík, 157p.

Axel Björnsson, Grímur Björnsson og Hjörtur Tryggvason, 1984. *Breytingar á sprunguvídd og grunnvatnshita í Kröflueldum 1975-1983.* OS-84085/JHD-37 B, 54s.

AqQa, 2005. Spreadsheet for water analyses, RockWare, Golden.

Ármannsson, H., Kristmannsdóttir H. and Ólafsson, M. 2000. Geothermal influence on groundwater in the lake Myvatn area, north Iceland. *Proceedings World Geothermal Congress 2000, Japan*, 515-520.

Bjarni Richter, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Guðlaugur Hermannsson, Kjartan Birgisson, Sigvaldi Thordarson, Sverrir Þórhallsson og Sveinbjörn Þórisson. 1999. *Hola BA-02. Áfangaskýrsla 2. Borun 4. áfanga.* Reykjavík: Orkustofnun. Skýrsla, OS99074

Björn Jóhannesson 1977: Um grunnvatnsstrauma á landræmu frá Dyngjufjöllum og norður í Öxarfjörð. *Tímarit verkfræðingafélags Íslands*, 62, 33-38

Bragi Árnason. 1976. Groundwater systems in Iceland traced by deuterium. Reykjavík. *Societas Scientiarum Islandica*, 236s.

Craig, H. 1961. Isotopic variations in meteoric waters. *Science*, 133, 1702-1703.

Drever, J. I., 2002. *The geochemistry of natural waters.* Surface and groundwater environments. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ, 436 p.

Guðmundur Ómar Friðleifsson, Grímur Björnsson, Bjarni Richter, Kjartan Birgisson, Sverrir Þórhallsson og Sveinbjörn Þórisson. 1999. *Hola BA-02. Áfangaskýrsla 3. Borun fyrir vinnslufóðringu.* Reykjavík: Orkustofnun. Skýrsla, OS-99079, 24s.

Guðmundur Ómar Friðleifsson, Bjarni Richter, Kjartan Birgisson, Arnar Hjartarson, Steinar Þór Guðlaugsson, Grímur Björnsson, Sverrir Þórhallsson og Þórir Sveinbjörnsson. 2000. *Bakkahlaup Öxarfirði. Hola BA-03. Borun, jarðlög og mælingar.* Reykjavík: Orkustofnun. Skýrsla, OS-2000/058, 20s.

Guttormur Sigbjarnarson, Haukur Tómasson, Jónas Eliasson og Stefán Arnórsson 1974. *Álitsgerð um mengunarhættu vegna affallsvatns frá gufuvirkjun við Kröflu eða Hverarönd*. Orkustofnun, OS JHD 7427, OS ROD 7421, 16 bls.

Halldór Ármannsson 1995: *Um affallsvatn frá Kröfluvirkjun. Niðurstöður athugana á holu AB-02, Búrfellshrauni*. Orkustofnun, OS-95046/JHD-30 B: 14 s.

Halldór Ármannsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Magnús Ólafsson, 1998. *Krafla - Námafjall. Áhrif eldvirkni á grunnvatn*. OS-98066, 33 s.

Heiðrún Guðmundsdóttir, 2000. *Grunnvatnsrennsli austan Mývatns*. M.S. ritgerð í umhverfisfræði. Líffræðiskor, Raunvísindadeild, Október, 2000, 45 s.

Hildur Vésteinsdóttir, 2006. *Úttekt á jarðhita í Öxarfirði með tilliti til atvinnusköpunar*. Lokaverkefni á Umhverfisbraut. Háskólinn á Akureyri. 76s.

Hrefna Kristmannsdóttir. 2004a. *Sýnataka á heitu og köldu vatni til jarðefnafræðilegra mælinga.. Verkleifar leiðbeiningar fyrir námskeiðið Vatnafræði og gæði vatns VAG1103*. Háskólinn á Akureyri, Auðlindadeild, Skýrsla HK- 04/10, 11 s.

Kristmannsdóttir, H. 2004b. "Chemical characteristics of potable water and water used in district heating systems in Iceland". *Proceedings 13th Scandinavian Corrosion Congress*, Reykjavík, 2004, (Thorarinsdóttir, ed.), 6pp.

Hrefna Kristmannsdóttir, Halldór Ármannsson og Steinunn Hauksdóttir, 1999. *Jarðvarmavirkjun í Bjarnarflagi. Mat á umhverfisáhrifum. Áhrif losunar gastegunda og affallsvatns*. Unnið fyrir Landsvirkjun. OS-99105. 29 s+ viðaukar 80 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Guðni Axelsson, Steinunn Hauksdóttir, Snorri Páll Kjaran, Heiðrún Guðmundsdóttir, 2001. *Ferilprófun með kalíumjodíði í Bjarnarflagi*. OS-2001/042, Orkustofnun. Unnið fyrir Landsvirkjun, 49 s.

Hrefna Kristmannsdóttir, Hildur Vésteinsdóttir, Elvar Árni Lund, 2006. *Jarðhiti í Öxarfirðisóknarfæri til atvinnusköpunar*. *Orkuþing 2006*, 506-510.

Klemensson, V., 2007. *Effects of geothermal utilization on the groundwater systems north of Peistareykir and Gjástykki*. Meistararitgerð við Tækniháskólann í München, Reykjavík (í útgáfu), 70p.

Kristmannsdóttir H. and Ólafsson, M., 1989. Manganese and iron in saline groundwater and geothermal brines in Iceland. *Proc. of the 6th-Symposium on Water-Rock Interaction*, Malvern, 3-8 August, 1989, 393-396.

Kristmannsdóttir, H. and Ármannsson, H. 2004. Groundwater in the lake Mývatn area, North Iceland: Chemistry, origin and interaction. *Aquatic Ecology*, 38, 115-128.

Kristmannsdóttir H., Sveinbjörnsdóttir, Á. E. and Heinemeier, J., 2007. Evolution and origin of geothermal brines in Öxarfjörður NE Iceland. *Water-Rock Interaction*. Bullen & Wang (eds.), Taylor and Francis Group, London, 223-227.

Kristján Sæmundsson og Þórólfur Hafstað, 2007. *Norðausturgosbelti Grunnvatn, bergskrokkar og misleitni. Framlag til grunnvatnslíkans af gosbeltinu norðan við Kröflu*. Landsvirkjun LV-2007/028-Ísor 2007/009, 19 s.

Kölb, R., 1995. *Zur Hydrologie und Hydrochemie im Südlichen Einzugsgebiet der Jökulsá á Fjöllum, Nordisland*. Diplomarbeit an der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Christian-Albrechts-Universität zu Kiel, Kiel, 117 p.

Lúðvík S. Georgsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Magnús Ólafsson, Ómar Sigurðsson og Þórólfur Hafstað, 1989. *Skilyrði til fiskeldis í Öxarfirði. Ferskvatn, jarðsjór, jarðhiti og rannsóknarboranir. Sérverkefni í fiskeldi 1987 og 1988*. Reykjavík: Orkustofnun, Skýrsla OS-89041/JHD-08, 61 s.

Lúðvík S. Georgsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Magnús Ólafsson, Ólafur G. Flóvenz, Guðmundur Ingi Haraldsson og Gunnar V. Johnsen. 1993. *Rannsóknir á jarðhita og setlögum í Öxarfirði og Kelduhverfi*. Reykjavík: Orkustofnun. Skýrsla -93063/JHD-15, 63s.

Lúðvík S. Georgsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Magnús Ólafsson og Ólafur G. Flóvenz. 2000. The geothermal exploration of the Öxarfjörður high-temperature area, NE-Iceland. *Proceedings World Geothermal Congress 2000*, 1157-1162.

Ólafsson, M. og Kristmannsdóttir, H. 1989: The influence of volcanic activity on groundwater chemistry within the Námafjall geothermal system, north Iceland. Í *Water-Rock Interaction* (Ritstjóri: D.L. Miles). Balkema, Rotterdam: 537-540.

Truesdell, A.H., 1991. Effects of physical physical process on geothermal fluids. In: D'Amore, F. (coordinator), *Application of geochemistry in geothermal reservoir development*. UNITAR/UNDP publication, Rome, 71-92.

Þórólfur H. Hafstað. 1989. *Öxarfjörður. Grunnvatnsathuganir 1987-1988. Framlag til sérverkefnis í fiskeldi*. Reykjavík: Orkustofnun. Skýrsla OS-89039/VOD-08B, 22s.

Vatnaskil, 2007. *Norðausturland. Framvinduskýrsla um gerð grunnvatnslíkans í gosbeltinu norðan við Kröflu*. Unnið fyrir Landsvirkjun. Reykjavík, júlí 2007. Skýrsla 07.18, 52 s.

## 11 VIÐAUKI I: AÐFERÐIR VIÐ SÝNATÖKU OG GREININGAR

### 11.1 Framkvæmd sýnatöku

Sýnum úr lindum var safnað með því að dæla vatninu upp gegnum silíkonslöngu með Cole Parmer Masterflex sýnatökudælu, þar sem sýnin komast ekki í neina snertingu við annað en silíkonslönguna, sem liggur um hausinn á dælunni. Sýnin voru síuð með 0,2 µm síu í síuhaldara úr tefloni. Við sýnatöku á sýni til málm- og snefilefnagreiningar voru notaðir einnota latexhanskar, svo og við sýringu sýnanna. Sýra til sýringar var sérhreinsuð og háhrein fullmettuð HNO<sub>3</sub> og var skammtað með einnota pípettuoddum. (Hrefna Kristmannsdóttir, 2004).

*Safnað var eftirfarandi tegundum sýna:*

1. Í 300 ml brúna glerflösku með fylltum tappa, ómeðhöndluðu sýni (**Ru**), til mælinga á pH, karbónati og rafleiðni.
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 1000 ml brúna glerflösku síuðu sýni (**Fu**), til kolefnissamsætumælinga.-Settir í 5-6 dropar af mettaðri kvikasilfurklóríðlausn.
5. Í 200 ml sýruþvegna flösku, síuðu sýrðu sýni (**Fa**), sýrðu með með 1 ml af háhreinni, mettaðri saltpétursýru (HNO<sub>3</sub>), sérhreinsaðri frá rannsóknarstofunni í Luleå í Svíþjóð, til mælinga á aðalmálmum, brennisteini og snefilefnum.
6. Í 250 ml glerflösku ómeðhöndluðu sýni (**Ru**), til mælinga á Radoni.

### 11.2 Mælingar

Rafleiðni er mæld í mörkinni með feltmæli af gerðinni YSI EC 300.

Sýni til mælinga á pH, karbónati og rafleiðni (sýni nr. 1) eru látin standa yfir nótt á rannsóknarstofu. Þá er mælt í þeim pH, basavirkni (alkalínitet)/karbónat og rafleiðni með nákvæmari mæli en í mörkinni, Cole Parmer, EC 1481-61. pH er mælt beint í flösku- hrært í með segulhræru á meðan. Heildarstyrkur karbónats er mældur með pH títrun (með 0,1 N HCl) niður í pH 3,8 og er baktítrað eftir að búið er að blása köfnunarefni í gegnum sýnið í um 15 mínútur til að losna við CO<sub>2</sub> úr því. Títrað svo tilbaka (með 0,1 N NaOH) upp í ca. 8,3. Basavirkni og heildarkarbónat var einnig mælt með 794 Basic Titrino títrator.

Anjónirnar klóríð (Cl) og flúor (F) (sýni nr. 2) eru mæld á jónagreini á rannsóknarstofu í Luleå. Í þeim tilvinum þar sem styrkur flúors var lægri en 0,15 mg/L voru mælingarnar endurteknar á sömu rannsóknarstofu með selektróduaðferð.

Stöðugar samsætur, vetni, súrefni og kolefni 13 ( $^{13}\text{C}$ ) (í sýni nr. 3) verða mældar á massagreini Raunvísindastofnunar Háskóla Íslands og kolefni 14 ( $^{14}\text{C}$ ) (í sýni nr. 4) er mælt af samstarfsaðilum þeirra í Danmörku með svokölluðum hraðli til að auðga sýnið.

Helstu málmar, natríum (Na), kalíum (K), kalsíum (Ca), magnesíum (Mg), járn (Fe), ál (Al), strontíum (Sr) svo og efni kísill ( $\text{SiO}_2$ ), bór (B), og brennisteinn (S) voru mæld á ICP-AES tæki í Luleå (sýni nr. 5).

Snefilefni silfur (Ag), ál (Al), arsen (As), gull (Au), bór (B), baríum (Ba), bróm (Br), kadmíum (Cd), kóbalt (Co), króm (Cr), sesíum (Cs), kopar (Cu), járn (Fe), gallíum (Ga), germaníum (Ge), kvikasílfur (Hg), jóð (I), líþíum (Li), mangan (Mn), molybden (Mo), nikkell (Ni), fosfór (P), blý (Pb), rúbídíum (Rb), antímon (Sb), selen (Se), tin (Sn), strontíum (Sr), þóríum (Th), títan (Ti), þallíum (Tl), úran (U), vanadíum (V), volfram (W) og sínk (Zn) eru mæld (sýni 5) á ICP-MS tæki á rannsóknarstofu í Luleå í Svíþjóð .

Radon er mælt í ómeðhöndluðu sýni (sýni 6) með geislanema innan viku á Raunvísindastofnun Háskóla Íslands.

Sum efni geta eins og kemur fram af upptalningunni verið ýmist aðalefni eða snefilefni. Í þeim sýnum sem kalíum er í lægri styrk en 0,5 mg/L er það endurmælt með atómísogaðferð til að fá meiri næmni.

## 12 VIÐAUKI II: LÝSING SÝNATÖKUSTAÐA



Lón ullarþvottalind  
N 66°05,8320  
W 16°55,351  
Hæll 1  
**Sýni 07-003**





Nesgjá  
N 66°05,884  
W 016°55,797  
Hæll 2  
**Sýni 07-004**





Rifós seiðaeldisstöð

N 66°06,148

W16°54,476

Hæll 3

**Sýni 07-005**





Fjöll, lind S bæjar  
Hæll 4  
N 66°04,219  
W16°57,566  
**Sýni 07-006**



Fjöll  
Vatnsból bæjarins  
Vestan við bæinn  
N 66°04,864  
W16°57,719  
sýni **07-018**





Vestan Kelduness  
Hæll 5  
N 66°04,579  
W16°41,142

**Sýni 07-007**



Vestan Kelduness,  
austast á  
vatnsbakkanum  
Hæll 6  
N 66°04,581  
W16°41,842  
**Sýni 07-008**





Höfðabrekka-vestan  
við syðstu vatnstotuna  
Hæll 7

N 66°04,633

W16°41,279

**Sýni 07-009**



Árlax

Hæll 8

N 66°04,852

W16°42,662

**Sýni 07-010**





Brunnárósar  
Hæll 9  
N 66°04,871  
W16°42,585  
**Sýni 07-011**







Krossdalur, Hæll 8  
N 66°04, 781  
W16°43,753  
**Sýni 07-012**







Hljóðaklettur  
N 65°55,848  
W 16°34,073  
Sýni 07-022





Katastaðalind-  
vatnsból  
Kópaskers  
N 66°16,070  
W16°22,488



Rifós borhola  
(Mynd tekin að vetrarlagi)  
N 66°07,045  
W16°55,071  
**Sýni 07-017**





Lyngásgjá  
N 66°02,754  
W16°35,560  
**Sýni 07-019**



Þorvaldsstaðaá  
N 66°01,408  
W17°19,128  
**Sýni 07-020**







Bakkaárlind  
N 66°03,224  
W17°17,821  
**Sýni 07-021**







Auðbjargarstaðavatnsból  
Nýtt fyrir vatnsveitu í  
vestanverðu Kelduhverfi.  
N 66°05,985  
W16°57,766  
**Sýni 07-023**





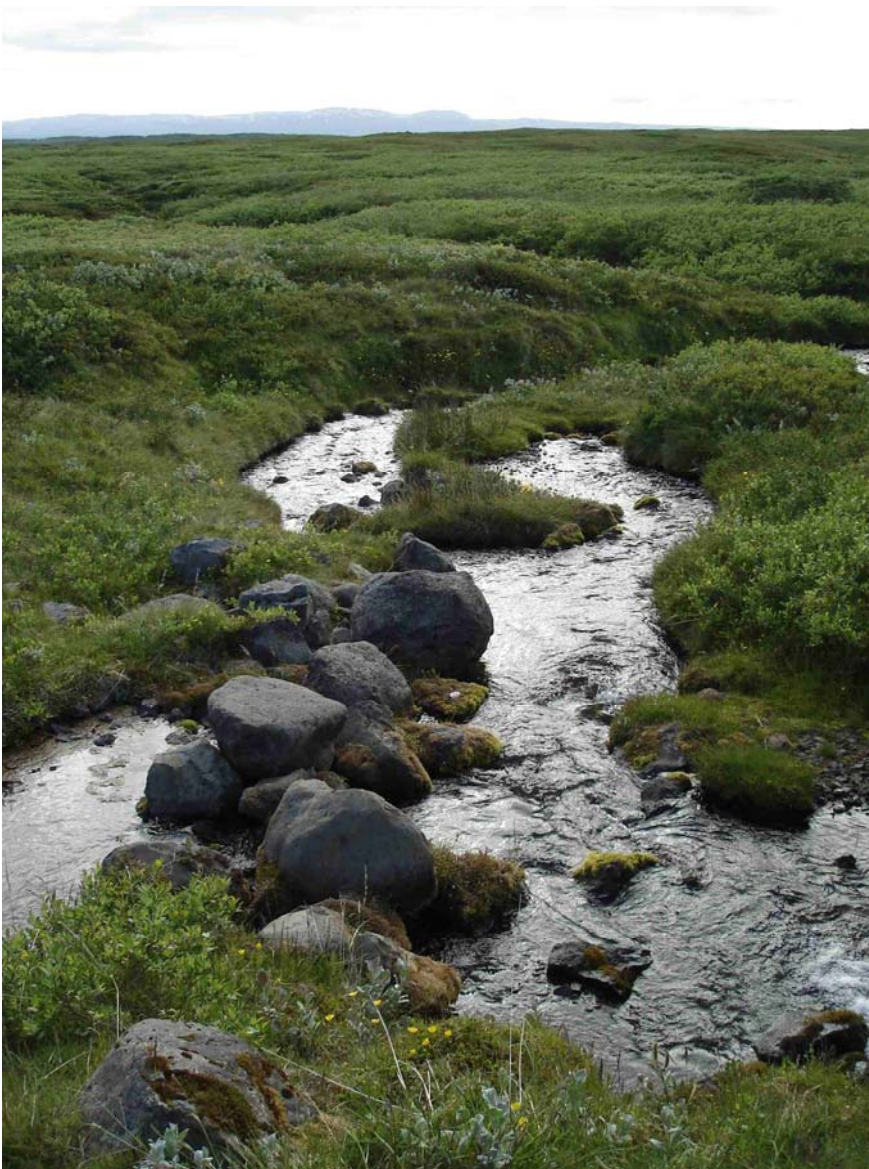
Eyvindarstaðir  
Borhola  
N 66°03,322  
W16°40,517  
**Sýni 07-024**







Landsá  
N 65°59,644  
W16°24,688  
**Sýni 07-025**





Þeistareykir  
Borhola  
N 65°53,882  
W16°57,931  
**Sýni 07-027**