



Jarðhitaauðlindir

Tækifæri til atvinnusköpunar
og byggðaeftlingar á Norðausturlandi
með heilsutengdri ferðaþjónustu

Dr. Hrefna Kristmannsdóttir

© Ferðamálasetur Íslands, apríl 2008

Útgefandi: Ferðamálasetur Íslands, Borgum v/ Norðurslóð, IS-600 Akureyri
Sími: (+354) 460-8930 Fax: (+354) 460-8919
Rafpóstur: edward@unak.is
Veffang: www.fmsi.is

Höfundur: Hrefna Kristmannsdóttir
Kápa: Ásprent-Stíll og Ferðamálasetur Íslands
Prentun: Stell (www.stell.is)
Titill: Jarðhitaauðlindir: Tækifæri til atvinnusköpunar og byggðaeflingar á
Norðausturlandi með heilsutengdri ferðaþjónustu.

Númer: FMSÍ-S-03-2008
ISBN: 978-9979-834-65-6

Forsíðumynd er tekin yfir Öxarfjörð með jarðhitasvæðið í Skógalóni í baksýn Öxarfirði,
© Axel Björnsson

Skýrslan er prentuð á 100 gr. Clairfontane pappír.

Öll réttindi áskilin. Skýrslu þessa má ekki afrita með neinum hætti, svo sem með ljósmyndun, prentun, hljóðritun eða á annan sambærilegan hátt, að hluta eða í heild, án skriflegs leyfis útgefanda.

Jarðhitaauðlindir:
Tækifæri til atvinnusköpunar og
byggðaeftlingar á Norðausturlandi
með heilsutengdri ferðaþjónustu

FERÐAMÁLASETUR ÍSLANDS
FEBRÚAR 2008

EFNISYFIRLIT

Bls

1	FORMÁLI.....	6
2	INNGANGUR.....	7
3	JARÐHITI Á ÍSLANDI.....	9
3.1	Jarðhitasvæði.....	9
3.2	Nýting jarðhita á Íslandi.....	10
3.3	Efnainnihald í jarðhitavatni.....	11
3.4	Jarðhitaleir og útfellingar.....	12
4	FYRRI RANNSÓKNIR VARÐANDI HEILSUTENGDA FERÐAMENNSKU.....	15
5	SAMANBURÐUR Á MEÐFERÐ Í BAÐLÆKNINGUM MILLI LANDA.....	17
6	JARÐHITASVÆÐI Á NORÐAUSTURLANDI.....	21
6.1	Lághitasvæði í Eyjafirði.....	21
6.1.1	Siglufjörður.....	21
6.1.2	Ólafsfjörður.....	21
6.1.3	Svarfaðardalur, Árskógsströnd, Dalvík.....	21
6.1.4	Hrísey.....	21
6.1.5	Akureyri og Eyjafjarðarsveit.....	21
6.2	Lághitasvæði í Þingeyjarsýslum.....	22
6.2.1	Svalbarðsströnd.....	22
6.2.2	Grýtubakkahreppur.....	22
6.2.3	Hverastrytur í Eyjafirði.....	22
6.2.4	Fnjóskadalur.....	22
6.2.5	Stóru Tjarnir.....	22
6.2.6	Bárðardalur.....	22
6.2.7	Skútustaðahreppur.....	22
6.2.8	Reykjadalur.....	23
6.2.9	Aðaldalur.....	23
6.2.10	Laxárdalur.....	23
6.2.11	Reykjahverfi.....	23
6.2.12	Húsavík.....	23
6.2.13	Öxarfjörður.....	23
6.3	Háhitasvæði.....	24
6.3.1	Þeistareykir.....	24
6.3.2	Gjástykki.....	24
6.3.3	Krafla.....	24
6.3.4	Námafjall.....	24
6.3.5	Fremri-námar.....	24
6.3.6	Askja.....	25
7	EFNASAMSETNING JARÐHITAVATNS.....	26
7.1	Lághitasvæði.....	26
7.2	Háhitasvæði.....	30
8	FLOKKUN SAMKVÆMT HEILSUVATNSSTÖDLUM.....	32
8.1	Lághitasvæði.....	32
8.2	Háhitasvæði.....	33

9	RANNSÓKNIR Á LEIR.....	35
10	FERSKVATN	37
11	AÐRAR AUÐLINDIR	41
12	ÁHUGAVERÐIR STAÐIR OG UPPBYGGING HEILSUTENGDRAR FERÐAÞJÓNUSTU.....	42
12.1	Eyjafjörður	42
12.2	Þingeyjarsýslur.....	42
13	HELSTU NIÐURSTÖÐUR	44
14	HEIMILDIR	45
15	VÍÐAUKI I: AÐFERÐIR VIÐ SÝNATÖKU VATNS OG EFNAGREININGU	50
15.1	Frankvæmd sýnatöku.....	50
15.2	Mælingar	51

LISTI YFIR MYNDIR

Bls

Mynd 1. Einfaldað jarðfræðikort af Íslandi, sem jafnframt sýnir dreifingu jarðhita á Íslandi.	10
Mynd 2. Samanburður á hitastigi heilsubaða í Japan og Evrópu.	17
Mynd 3. Yfirlitsmynd yfir Þeistareykjasvæðið, sem sýnir ummyndunarskellur, setlög með leir að hluta rofin af nýrri ummyndun.	35
Mynd 4. Snefilefnainnihald í leir frá Þeistareykjum, Hveragerði og nokkrum erlendum heilsuhælum.	36
Mynd 5. Schoeller línurit fyrir ferskvatn á NA-landi. Reikningar gerðir með forritinu AqQa (2005).	38
Mynd 6. Piper línurit fyrir ferskvatn á NA-landi. Reikningar gerðir með forritinu AqQa (2005).	40
Mynd 7. Sýnataka á lindarvatni. Allur helsti búnaður sést á myndinni, dæla, síuhaldari ílát o.fl.	52

LISTI YFIR TÖFLUR

Bls

Tafla 1. Meðhöndlun sjúkdóma með mismunandi gerðum heilsuvatns	19
Tafla 2. Samanburður á efnasamsetningu salts jarðhitavatns á Íslandi, vatni í Baden-Baden og meðalsjávar. Styrkur í mg/L, nema annað sé tekið fram.	20
Tafla 3. Efnasamsetning valdra sýna af jarðhitavatni frá lághitasvæðum á NA-landi	28
Tafla 4. Snefilefnasamsetning valdra sýna af jarðhitavatni frá lághitasvæðum á NA-landi.	29
Tafla 5. Yfirlit yfir efnasamsetningu vatns á háhitasvæðum á NA landi.....	30
Tafla 6. Yfirlit yfir lághitasvæði með jarðhitavatn sem flokkast til heilsuvatns.	33
Tafla 7. Efnasamsetning ferskvatns úr völdum vatnsbólum á NA-landi.	39

1 FORMÁLI

Þessi skýrsla er sú fyrsta sem Ferðamála­setur Íslands gefur út um heilsutengda ferðaþjónustu. Þessi grein ferðaþjónustu er af mörgum talin eiga mikla vaxtarmöguleika hér á landi ekki síst í ljósi heitavats­sauðlinda okkar. Fremst í flokki hefur Bláa Lónið farið í uppbyggingu aðstöðu til heilsutengdrar ferðaþjónustu en fleiri bætast stöðugt við og nú síðast Jarðböðin í Mývatnssveit. Frá fornu fari hefur fólk sótt í lindir til heilsu­bótar og margir af þekktustu ferðamannastöðum heims hafa byggst í kringum þær s.s. Karlovy Vary (Karlsbad) og Bath í Englandi.

Þessi skýrsla er úttekt á efnaeiginleikum vatns á jarðhitasvæðum á Norðausturlandi, lág- og háhitasvæðum, sem og leirs og ferskvatns og hvernig þessar auðlindir geti nýst til heilsubaða og lækninga líkt og gert er í Evrópu og Japan. Er von okkar að skýrslan komi þeim að notum sem hyggjast byggja upp slíka aðstöðu og eða ferðaþjónustu á Íslandi.

Aðilar að verkefninu eru Auðlindasvið Viðskipta- og raunvísindadeildar Háskólans á Akureyri, Ferðamála­setur Íslands, Atvinnuþróunarfélag Þingeyinga, Þekkingarsetur Þingeyinga og Heilbrigðisstofnun Þingeyinga. Jafnframt eru Byggðastofnun, Orkusjóður, Landsvirkjun, Orkuveita Húsavíkur, Norðurorka og Háskólasjóður KEA styrktaraðilar og eru þeim öllum færðar bestu þakkir fyrir sitt framlag og ómetanlega aðstoð. Einnig er höfundu þökkun vel unnin störf og jafnframt vonum við að lesningin verði fróðleg og hvetji til dáða í grein ferðaþjónustu sem við gætum staðið sterk á.

Dr. Edward H. Huijbens

Forstöðumaður

2 INNGANGUR

Mikill áhugi hefur verið á því undanfarna áratugi að nýta jarðhita á Íslandi til uppbyggingar heilsutengdrar ferðaþjónustu. Íslendingar eiga góða möguleika á mikilli uppbyggingu á þessu sviði vegna gnægs og fjölbreytts jarðhita, mikils magns af hreinu neysluvatni að ógleymdri tæknivæddri og góðri lækniþjónustu (Útflutningsráð og Orkustofnun, 1994, Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2000, Samgönguráðuneytið, 2000). Nýting jarðhitans er jafnframt mikilvæg og við fjölnýtingu jarðhita eru böð og heilsutengd ferðaþjónusta góður kostur samhliða annarri nýtingu eins og t.d. raforkuframleiðslu og hitun. Heilsutengd ferðaþjónusta hefur einnig þann kost fram yfir hefðbundna ferðaþjónustu að líklegra er að slík þjónusta sé nýtt allt árið en ekki eingöngu yfir sumarmánuðina og tekur því á viðvarandi árstíðavanda í íslenskri ferðaþjónustu.

Í þessari skýrslu er fjallað um tækifæri til atvinnusköpunar og byggðaeftlingar með uppbyggingu heilsutengdar ferðaþjónustu á svæðinu frá Eyjafirði til Öxarfjarðar með áherslu á Norðurþing. Einkum er fjallað um möguleg hráefni, nýtingarmöguleika þeirra og sérstöðu svæðisins. Þau atriði sem einkum skipta máli og varða sérstöðu Íslands eru orka, jarðhiti, gnægð vatns, hrein ímynd, lítil mengun og falleg náttúra. Í skýrslunni er einnig fjallað um neysluvatn, loftgæði, möguleika á vistvænni matvælaframleiðslu og tengsl við aðra ferðamennsku og afþreyingu.

Jarðhitinn á þessu landsvæði er mjög margbreytilegur en á því eru bæði háhitasvæði og allmörg lághitasvæði af mismunandi gerðum. Í Öxarfirði og á Hveravöllum í Reykjahverfi eru sjóðandi lághitakerfi. Einnig er talvert um saltblandað vatn í Öxarfirði og einnig á Húsavíkurhöfða. Vegna þessar fjölbreytni í vatnsgerðum eru möguleikar á mjög mismunandi baðkostum.

Í þessari skýrslu er birt stutt yfirlit yfir þá jarðhitastaði, sem ítarlega er fjallað um í framvinduskýrslu um verkefnið (sjá Ólöf H. Jósefsdóttir og Hrefna Kristmannsdóttir, 2005). Einnig er gerð stutt úttekt á eldri rannsóknum og þeim forsendum sem nauðsynlegar eru til uppbyggingar á heilsutengdri ferðaþjónustu. Gerð er ítarleg grein fyrir því sem vitað er um eiginleika jarðhitavatns á svæðinu, bæði frá eldri rannsóknum og rannsóknum sem gerðar voru í tengslum við verkefnið sjálft. Skýrslur um rannsóknir á leir auk nokkurra greina, sem hafa verið birtar á undanförunum árum eru einnig teknar saman. Þá er eiginleikum ferskvatns gerð skil og gefið yfirlit yfir nýlegar rannsóknir á því sviði. Almennur inngangur er fremst í skýrslunni um jarðhita á Íslandi, eðli hans, eiginleika og nýtingu og jafnframt er stutt yfirlit um eldri verkefni um heilsutengda ferðaþjónustu. Einnig er fjallað

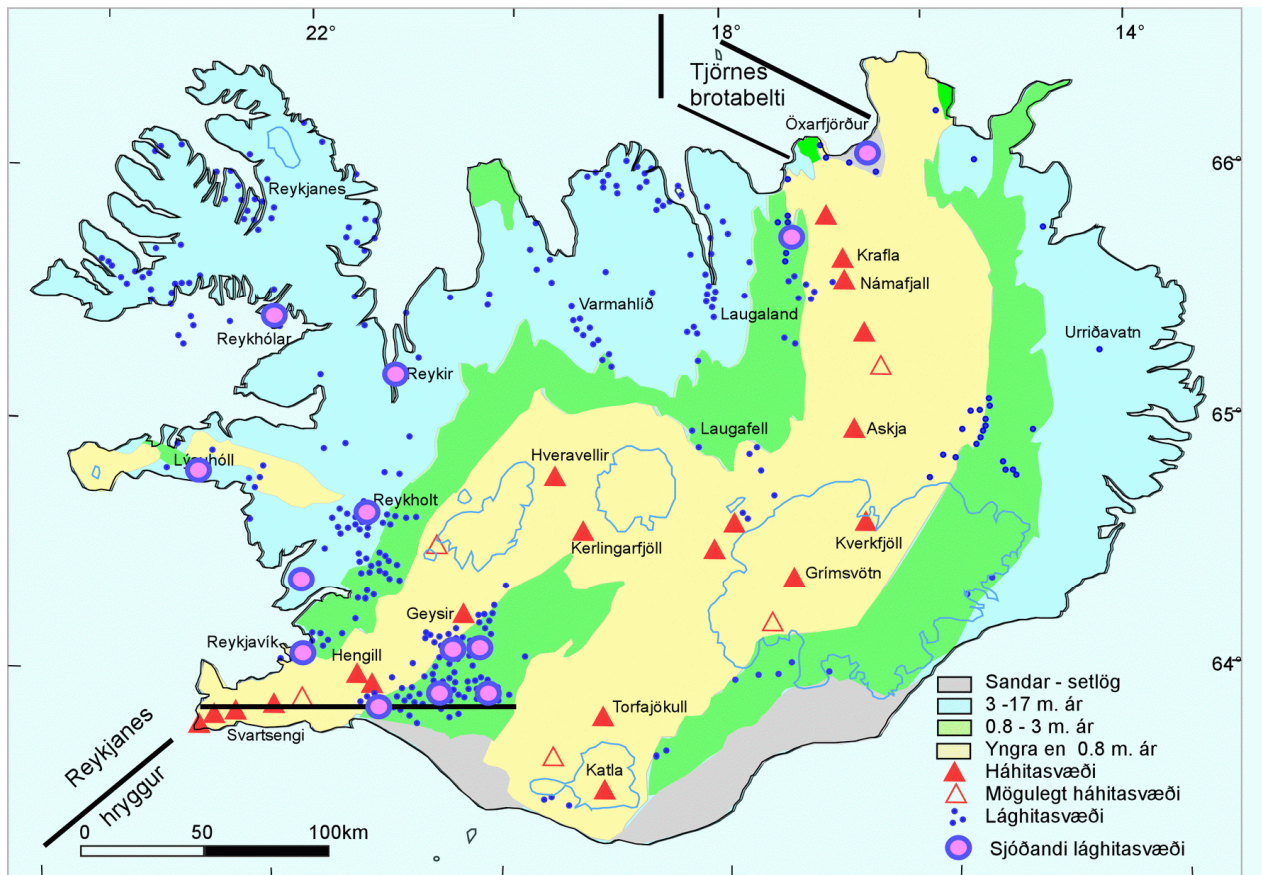
um mismunandi meðferðarhefðir eftir heimshlutum og vitneskju um tengsl eiginleika vatns og leirs við heilsuþaðameðferð.

3 JARÐHITI Á ÍSLANDI

3.1 Jarðhitasvæði

Jarðhitasvæðum á Íslandi er skipt í háhitasvæði sem eru í gosbeltinu og eru yfir 200 °C heit á 1 km dýpi og lághitasvæði sem eru í eldra Kvarter og í Teríer bergi og eru með hitastig undir 150 °C á 1 km dýpi. Jarðhitasvæðin eru staðbundin hringrásarkerfi þar sem kalt grunnvatn hríslast niður í jörðina og nemur varma úr heitu bergi eða kviku, stígur síðan aftur hærra upp í jarðskorpuna og hluti þess kemur fram á yfirborði um sprungur og glufur. Þannig nemur vatnið stöðugt varma úr dýpri jarðlögum og flytur hann hærra upp í jarðskorpuna. Þessi hringrás er rekin áfram af eðlisþyngdarmun heits og kalds vatns. Kalda grunnvatnið er yfirleitt að uppruna rigningarvatn, en einnig eru dæmi um sjávaruppruna vatnsins.

Á lághitasvæðum er það einkum *lekt* og *hitastigull* sem ráða legu og hitastigi jarðhitasvæðanna. *Lekt* gefur til kynna hversu sprungið bergið er og því hve greiðlega vatn kemst um það, en *hitastigull* vísar til þess hve hratt hitinn í berginu rís eftir því sem neðar dregur. Háhitasvæði eru alltaf tengd eldstöðvum og þar myndast staðbundin hringrás í sprungnu bergi yfir kvikuhólfi eða kólnandi innskoti á fárra kílómetra dýpi í jarðskorpunni. Á mynd 1 er sýnd dreifing jarðhitasvæða á Íslandi, bæði há- og lághitasvæða.



Mynd 1. Einfaldað jarðfræðikort af Íslandi, sem jafnframt sýnir dreifingu jarðhita á Íslandi.
Heimild: Byggt á korti Axels Björnssonar o.fl. (1990)

3.2 Nýting jarðhita á Íslandi

Ísland er í efsta sæti í heiminum hvað varðar hlutfall endurnýjanlegra orkugjafa af orkunotkun og er yfir 60 % af orkunotkun Íslendinga nú úr jarðvarma (Orkustofnun, 2008a). Í Íslandssögum frá 13. öld kemur fram að laugar voru nýttar til lækninga og leika. Uppgröftur í Reykholti sýnir forna hitaveitu, sem líklega hefur verið gufuveita (Guðrún Sveinbjarnardóttir pers. uppl.). Leifar eftir mismunandi nýtingu jarðhita sjást víðs vegar um landið, svo sem gömul ketilhús/þvottahús og sauðfjárþvottahús. Húshitun með jarðhita hófst hins vegar ekki fyrr en um 1900 samkvæmt rituðum heimildum (Axel Björnsson, 2005; Árni Ragnarsson, 2006 og Guðmundur Pálmason, 2005).

Fyrstu boranir eftir jarðhita voru 1755 þegar Eggert Ólafsson og Bjarni Pálsson fengu hingað jarðnafar danska vísindafélagsins. Komust þeir á 32 m dýpi í Krýsuvík og þá gaus upp sjóðandi leirblanda í um 2,5 m hæð. Einnig boruðu þeir félagar í Laugarnesi í Reykjavík en þar skammt frá hófst fyrsta nýting jarðhita til húshitunar í stórum stíl með lagningu hitaveitu frá Þvottalaugunum í Reykjavík árið 1930, fyrst í Hnitbjörg, hús listamannsins Einars Jónssonar á Skólavörðuhæð.

Formlegur rekstur Hitaveitu Reykjavíkur hófst síðan þegar hitaveita var lögð frá Reykjum í Mosfellssveit árið 1943. Í kjölfar olíuverðshækkana á áttunda áratugnum höfðu stjórnvöld frumkvæði að aukinni hitaveituvæðingu sem leiddi til þess að hlutur jarðhita í orkunotkun við húshitun hér á landi jókst úr 43% árið 1970 í nær 90% í dag. Raforkuvinnsla með jarðhita hefur aukist mikið á undanförunum árum og uppsett afl jarðhitavirkjana er nú alls um 412 MWe. Elsta jarðgufuvirkjunin tók til starfa í Mývatnssveit við Námafjall (3 MWe) árið 1969.

Löng hefð er fyrir heilsuþöðum *-Spa-* í Evrópu, en á Íslandi eru aðrar hefðir á nýtingu jarðhita til baða, sem að hluta til tengist gerð jarðhitans hér og að hluta til menningu þjóðarinnar og umhverfisvitund. Sundlaugarnar á Íslandi eru sérstakar og það að fara í sund í útlaugum allan ársins hring er hluti af íslenskri menningu og hefð (sjá Örn D. Jónsson og Edward H. Huijbens, 2005). Ástæðan fyrir fjölda útlauga er einnig gnægð jarðhita og því ekki mikil þörf á orkusparnaði. Fyrsta eiginlega heilsulindin sem nýtti jarðhitavatn var Heilsustofnun Hveragerðis, sem komið var á fót árið 1955 af Náttúrulækningafélagi Íslands og byggði á

heildrænum lækningum. Í því samhengi er heilsuvandi einstaklinganna skoðaður með það í huga að líta þurfi á andlegt, líkamlegt og félagslegt ástand í samhengi. Meðferðarstefnan felur m.a. í sér þá viðleitni að koma á og viðhalda eðlilegum og heilbrigðum tengslum á milli einstaklingsins og umhverfis hans og efla varnir líkama og sálar gegn hverskonar vanheilsu og sjúkdómum (Arni Gunnarsson, 1998).

Eitt helsta fyrirtækið sem í dag nýtir jarðhitavatn til lækninga er Bláa lónið hf sem var stofnað árið 1992 og er meginmarkmið stofnunarinnar að vera í forystu um uppbyggingu heilsutengdrar ferðaþjónustu á Íslandi. Öll starfsemin byggir á sérkennum og eiginleikum jarðsjávarins undir Reykjanesi sem inniheldur steinefni, kísil og þörungum svo og nálægð við jarðhitavirkjun og einstakt umhverfi hennar (Bláalónsnefnd, 1996). Bláa lónið er einstakt í veröldinni og ástæðan er sú að annars staðar er förgun affallsvatns á yfirborði ekki leyfð og því ekki orðið viðlíka „umhverfisslys“ annars staðar.

3.3 Efnainnihald í jarðhitavatni

Bæði þegar kalt vatn hríslast niður í berggrunn og hitnar og þegar það stígur upp og sýður eða kólnar þá verða efnaskipti milli bergsins og vatnsins. Úrkoma sem slík er efnasnauð. Mest af þeim uppleystu efnum sem mælast í úrkomu eru ættuð úr sjónum og er styrkur þeirra breytilegur eftir vindátt og öðrum veðurþáttum. Styrkur uppleystra efna í regnvatni er mestur næst ströndinni. Þegar vatnið fer svo um bergið hitnar það og hvarfast við berggrunninn og þá breytist efnasamsetning

vatnsins en jafnframt falla önnur efni út úr því. Með tímanum kemst á æstætt (e. *steady state*) jafnvægisástand, uns aðstæður breytast aftur. Styrkur flestra efna eykst en þó minnkar styrkur sumra. Gerð berggrunnnsins er ráðandi um efnasamsetningu vatnsins ásamt því hitastigi sem vatnið og bergið hvarfast við (Stefán Arnórsson o.fl., 1983).

Sum efni í vatni leysast upp í hlutfallslegu magni eftir hitastigi, yfirleitt í meira magni við hækkað hitastig, en önnur skolast út jafnt og þétt með rennsli vatns gegnum bergið. Efni í vatni geta ýmist verið hvarfgjörn eða óhvarfgjörn (utangarðsefni). Hvarfgjörnu efnin mynda ummyndunarsteindir með hvörfun við bergið en óhvarfgjörnu efnin taka lítið þátt í slíkum hvörfum. Í jarðhitavatni eru klór og bór í hópi óhvarfgjarnra efna en kísill, ál, járn, kalsíum magnesíum og kalíum eru í hópi þeirra hvarfgjörnu. Styrkur kísils í jarðhitavatni er í beinu hlutfalli við hitastig jarðhitakerfa þar sem leysni kísilsteinda er mjög hitaháð og er kísilstyrkur jarðhitavatns notaður sem efnahitamælir til að segja fyrir um hitastig á meira dýpi í jarðhitasvæðinu. Nokkur önnur efni og efnahlutföll eru líka notuð á þann hátt. Mörg efnasambönd magnesíums eru mjög torleyst í heitu vatni og leysni þeirra minnkar með auknu hitastigi. Þess vegna er styrkur magnesíums í jarðhitavatni aðeins brot af styrk magnesíums í köldu vatni. Heildarstyrkur karbónats í lághitavatni lækkar líka með hækkuðu hitastigi vatnsins. Í háhitavatni er hins vegar mikið magn koltvíoxíðgass uppleyst í vatninu.

3.4 Jarðhitaleir og útfellingar

Auk jarðhitavatns fást önnur mikilvæg hráefni til uppbyggingar heilsubaða frá jarðhitasvæðunum svo sem útfellingar og leir. Útfellingarnar verða til vegna yfirmettunar ákveðinna efna í jarðhitavökvanum þegar hann sýður og/eða kólnar. Einkum er um að ræða kísil, kalk, brennistein og brennisteinssambönd. Leir á háhitasvæðum myndast við ummyndun bergs á yfirborði, einkum í leirhverum þar sem er nægilegt vatn til að slík ummyndun geti orðið. Í ummyndunarskellum á yfirborði háhitasvæða er hrærigrautur af mismunandi mikið ummynduðu bergi og jarðvegi. Í miðjum skellunum eru gjarna ýmist leirhverir eða brennisteinshraukar og yst í skellunum eru oft rauðir flákar (Halldór Kjartansson, 1972). Leir myndast helst þar sem vatn er nægilegt til að sjóðandi leirhver myndist. Þá leysast upp mörg efni úr berginu og eftir sitja efni eins og kísill og ál, sem eru aðaluppistaðan í leirsteindum og einnig torleystir málmar eins og títan. Leirinn verður þannig til við útleysingu efna úr bergi og endurkristöllun í kjölfarið. Efnin sem leysast upp falla mörg hver út aftur í útfellingasteindum eins og járn-súlfíðum sem gefa leirnum steingráan lit. Jarðhitaleirinn er yfirleitt blanda af ýmsum gerðum leirsteinda, hálfniðurbrotnu bergi og útfellingum.

Sams konar eða mjög svipaðar útfellingar fást frá íslenskum háhitajarðhitasvæðum og frá erlendum svæðum, en leirinn er yfirleitt allfráfrugðinn þeim leirgerðum sem algengastar eru á erlendum jarðhitasvæðum. Jarðhitaútfellingar eru í sumum tilvikum notaðar til baða og sem minjagripir. Framleiðsla úr útfellingum af svipuðu tagi væri tiltölulega einföld á íslenskum jarðhitasvæðum. Kísilútfellingar í Bláa lóninu eru notaðar til að hreinsa burt dauða húð og exemskánir og er auk þess dýrmætt hráefni við framleiðslu snyrtivara. Kísilleðjan þar virðist vera nægilega vel kristölluð til að binda vatn í kristalgrindinni og sumir málmar, eins og ál, járn og mangan virðast bindast kísilleðjunni og skolast ekki burt við þvott (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1996). Þetta gæti mögulega haft áhrif á eiginleika kísilleðjunnar og virkni hennar á húð. Kísilleðjan í lóninu í Bjarnarflagi er annarrar gerðar og minna um bundin snefilefni (Alfred Geptner pers. uppl.).

Leir, bæði hveraleir og setleir, er notaður til heitra bakstra og baða. Talið er að styrkur snefilefna í leir skipti máli fyrir virkni leirs í heilsuöðum. Ekki eru mjög aðgengilegar upplýsingar að því hvaða efni eru gagnleg og hvers vegna. Í sumum tilvikum virðist gjarna notuð svipuð hugmyndafræði og í smáskammtalækningum, þ.e. að eiturefni í mjög litlum styrk, eins og ýmis kolvetni (PAH), séu gagnleg í leir sem notaður er við heilsubaðameðhöndlun (Alfred Geptner pers. uppl.). Mögulegt er einnig að leirinn hafi áhrif á þann hátt að sumar gerðir leirsteinda geti virkað gerilsneiðandi (Williams o.fl., 2004). Það sem þó skiptir örugglega einna mestu máli er sá eiginleiki leirsins að leggjast þétt að líkamanum og hafa litla varmaleiðni og því tilvalinn í heitra bakstra. Mjög oft er notaður setleir við heilsuöð erlendis. Setleir er óalgengur á Íslandi og þar sem hann finnst er hann snauður af eiginlegum leirsteindum og er aðallega úr fínmöluðum lítið ummynduðum frumsteindum úr basalti (Halldór Kjartansson, 1972).

Hveraleir hefur verið notaður um árabíl við ýmiss konar meðhöndlun á heilsuhælum. Í flestum jarðhitalöndum utan Japan er gerð hveraleirs allfrábrugðin þeim íslenska. Orsökina er sú að bergið sem ummyndast er annarrar gerðar. Yfir 90 % af bergi á Íslandi er basalt en í flestum öðrum jarðhitalöndum er bergið á jarðhitasvæðunum annað hvort setberg eða súrt/ísúrt gosberg. Það veldur því að íslenski leirinn er yfirleitt kísilsnauðari og járnrikari en erlendur hveraleir og þó sumar leirsteindir séu þær sömu eða svipaðar þá myndast einnig aðrar leirsteindir sem ekki eru algengar í erlendum hveraleir. Þannig myndast allt aðrar tegundir smektíts, sem er algengur vatnsríkur leirsteindaflokkur á íslenskum jarðhitasvæðum, en á jarðhitasvæðum með berggrunn úr setlögum eða ísúru gosbergi (Hrefna Kristmannsdóttir, 1985). Smektít myndað á síðarnefndu svæðunum er nánast eingöngu úr kísil- og áloxíðum, en smektítíð sem myndast á íslensku jarðhitasvæðunum er járn- og

magnesiumríkt. Einnig er líklegt að talsverður munur sé á snefilefnainnihaldi leirsins vegna þess að hann myndast við ummyndun bergs með mjög mismunandi upprunalegt snefilefnainnihald, en það hefur lítið verið rannsakað. Jarðhitaleir er að finna á öllum íslenskum háhitasvæðum, en erfitt að vinna hann nema þar sem hann hefur náð að skolast og setjast síðan til og er þannig orðinn eins konar setleir. Slíkar leirnámur finnast í Hveragerði og eru nýttar fyrir Heilsustofnun Hveragerðis. Mjög litlar rannsóknir hafa farið fram á yfirborðsummyndun og leir á íslenskum jarðhitasvæðum og langt síðan eitthvað var gert í þeim efnum. Síðustu og reyndar nánast einu rannsóknir sem fram hafa farið á yfirborðsummyndun á jarðhitasvæðunum á Norðausturlandi fóru fram fyrir rúmum 35 árum síðan (Halldór Kjartansson, 1972).

Sem hluti af þessu verkefni var ráðist í rannsóknir á útbreiðslu, leirsteindagerðum og eiginleikum leirsins. Sá þáttur var unninn af rússneskum vísindamönnum undir forystu dr. Alferd Geptner við rússnesku vísindaakademíuna. Búið er að gera talsvert ítarlegar greiningar á leirnum, bæði steindagreiningar, aðal- og snefilefnagreiningar (Geptner, 2004; 2005). Nú er unnið að því að bera saman eiginleika íslenska leirsins við leir sem notaður er í heilsuhælum í Rússlandi og mið-Evrópu. Nokkrar niðurstöður þessarar vinnu eru teknar saman í kafla 9 hér á eftir. Reynist leirinn heppilegur til nota í heilsuöðum þarf að leggja í talsvert mikla vinnu við nákvæma kortlagningu á mögulegum námum.

4 FYRRI RANNSÓKNIR VARÐANDI HEILSUTENGDA FERÐAMENNSKU

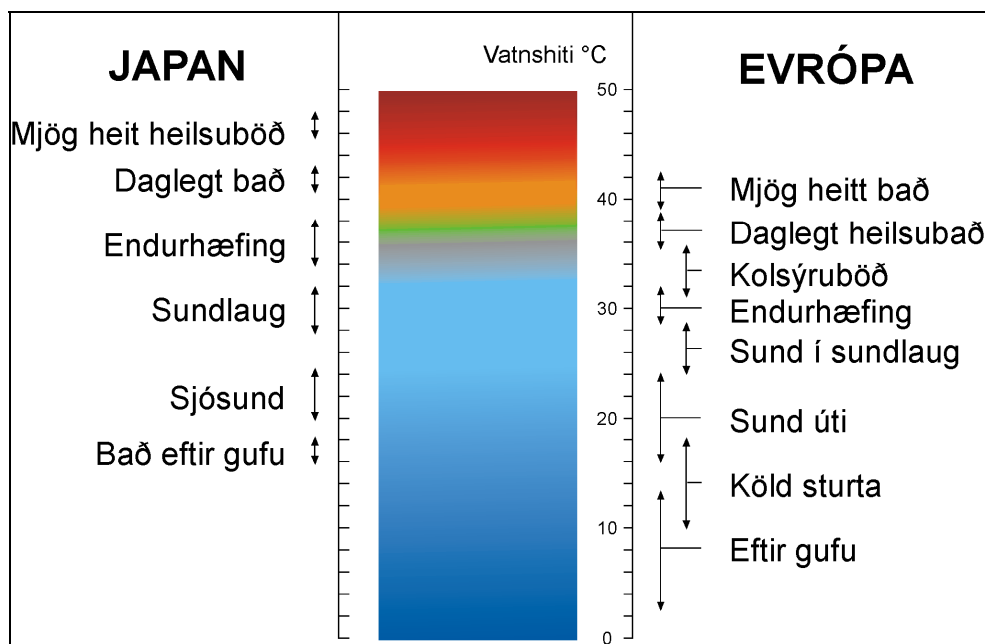
Þær rannsóknir sem gerðar hafa verið á nýtingu jarðhitauuðlinda til heilsutengdrar ferðaþjónustu á Íslandi hafa að mestu leyti verið frumrannsóknir á öllu landinu og hafa miðað að því að afmarka ákveðin svæði til nánari athugunar. Að hálfu Samgönguráðuneytisins var gert átak í rannsóknum á þessu sviði á 8. áratug síðustu aldar og gefnar voru út nokkrar skýrslur, en engin stórfelld uppbygging fór af stað (Checci og Company, 1975). Í tengslum við mikla uppbyggingu Bláa Lónsins voru gerðar talsverðar staðbundnar rannsóknir og eru þær hvað víðamestar sem gerðar hafa verið á einum stað (sjá m.a. Skýrslu Bláalónsnefndar, 1996 og Jón Hjaltalín Ólafsson, 1996). Á árunum 1991-1994 fóru fram rannsóknir á möguleikum heilsuferðaþjónustu á landinu að tilstuðlan Útflutningsráðs, bæði markaðskannanir og rannsóknir á jarðhitauuðlindum. Þessar rannsóknir voru ekki mjög ítarlegar og aftur lögð áhersla á að frekari rannsóknir þyrfti að gera (Útflutningsráð og Orkustofnun, 1994).

Árin 1998-2000 var ein ítarlegasta rannsókn á sviði heilsutengdrar ferðaþjónustu fram að þeim tíma unnin. Reynt var að skilgreina markahópa heilsubaðnotenda og bent á að skipta megi þeim sem sækjast eftir að stunda jarðhitaböð í þrjá meginflokka. Sumir geri það í lækningaskyni, aðrir sækjast eftir endurhæfingu og slökun og loks eru þeir sem stundi böð sem afþreyingu. Í verkefninu var allt jarðhitavatn sem tekið var til greiningar flokkað m.t.t. flokkunarkerfis þýska heilsubaðasambandsins og flokkunar á japönskum heilsuböðum. Gerð var efnafræðileg og læknisfræðileg úttekt á eiginleikum og notagildi íslensks vatns til heilsubaða og frumathugun á markaðsmöguleikum (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2000; Ólafur Grímur Björnsson, 2000). Meginniðurstöður voru þær að töluvert mikið sé til af söltu jarðhitavatni og einnig allmikið af brennisteins- og flúoríðríku vatni. Háhitavatn er skilgreint sem efnaríkt vatn og bent á möguleika á nýtingu jarðhitaleirs og ýmissa jarðhitaútfellinga á háhitasvæðum. Jafnframt er bent á möguleika þess að útbúa mismunandi gerðir baða með íblöndun gufu. Í lok skýrslunnar er tekið fram að athuganir á öllum þessum þáttum séu enn af skornum skammti og þar af leiðandi séu nákvæmari rannsóknir og kortlagning svæða, með tilliti til heilsuferðaþjónustu, lykilatriði fyrir framhaldið. Einnig er bent á ýmsa staði sem þykja áhugaverðir til frekari athugana. Á vegum Heilsueflingar Stykkishólms var svo haldið áfram að þróa viðskiptahugmynd um uppbyggingu heilsuhælis í nágrenni Stykkishólms (Hrefna Kristmannsdóttir og Ólafur Grímur Björnsson, 2003; Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2005a). Ekki tókst að fjármagna þetta verkefni og varð ekki af framkvæmdum að sinni.

Árið 2000 lét Samgönguráðuneytið vinna skýrslu um möguleika heilsutengdrar ferðaþjónustu og hélt í kjölfarið stóra ráðstefnu um málið (Samgönguráðuneytið, 2000). Í skýrslunni er kallað eftir samanburði við jarðböð og heilsulindir í Evrópu og beðið um úttekt, að vissu leyti svarar þessi skýrsla því kalli.

5 SAMANBURÐUR Á MEÐFERÐ Í BAÐLÆKNINGUM MILLI LANDA

Ólafur Grímur Björnsson læknir gerði á árinu 2000 mjög ítarlega úttekt á læknisfræðilegum ritum um ‘baðlækningar, (e. *balneology*), læknavísindi og menningu’ og birti niðurstöðurnar í bæklingi með þeim titli sem og í ofangreindri skýrslu vinnuhóps Orkustofnunar, Orkusjóðs og Útflutningsráðs (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2000; Ólafur Grímur Björnsson, 2000).



Mynd 2. Samanburður á hitastigi heilsuþöða í Japan og Evrópu

Heimild: Agishi o.fl. (1996)

Mynd 2, sem sýnir samantekt um mismunandi hitastig þöða við heilsuþöðmeðferð í Japan og Evrópu er unnin upp úr töflu í japönsku læknisfræðitímariti og þar er einnig rætt um áberandi mismunandi hitaþol manna af mismunandi kynþáttum. Niðurstöður Ólafs voru þær helstar að baðmenning sé ólík eftir löndum. Mið-Evrópubúar og Þjóðverjar eiga sér miklar hefðir í þessum efnum, sama er að segja um Rússa og Japana. Jarðhitaböð hafa mælanleg áhrif á líkamsstarfsemi og eru áhrif hita og þrýstings á starfsemi ýmissa líffæra vel þekkt og mælanleg, en erfiðara er að sanna áhrif mismunandi efnasamsetningar. Hafið er yfir allan vafa að baðlækningar eyða stundum sjúkdómseinkennum en ekki er unnt að fullyrða að baðlækningar lækni sjúkdóma þannig að þeir séu þar með að öllu upprættir. Þó áhrif hita og þrýstings á starfsemi líkamans séu vel þekkt þá virðast hefðir og menning einnig skipta máli fyrir hitastig þöða sem beitt er í baðlækningum og þær aðferðir sem beitt er við meðferð sjúklinga á mismunandi stöðum í heiminum er mjög mismunandi einnig hvað varðar hitastig og lengd einstakra þöða og heildarmeðferð (Agishi o.fl., 1996; Ólafur Grímur Björnsson, 2000).

Augljóslega þola Japanir mun hærra hitastig, en köldustu böðin eru líka mun heitari en algengt er í Evrópu. Lengd baða er einnig mismunandi. Þannig standa heitustu japönsku böðin, 47°C, einungis yfir í 3 mínútur í einu, en oft á dag. Algengara er að í evrópskum heilsuhælum taki hvert bað lengri tíma en séu þá einungis einu sinni á dag, tvisvar til þrisvar í viku. Ekki er algengt að notuð séu leirböð eða jarðvegsböð í Japan og þar er ekki mikið um drykkjarkúra né áherslu á loftslag eða ferskt loft. Stelling sjúklunga meðan á böðum stendur er líka ólík og heildarlengd meðferðar er heldur styttri að meðaltali í Japan en í Evrópu. Sams konar upplýsingar um baðmeðferð í öðrum Asíulöndum en Japan hafa ekki fengist. Varðandi Bandaríkin þá virðist vera lítið um eiginlega lækni-meðferð með heilsböðum en því meira um afslöppun og afþreyingarmeðferð (Ólafur Grímur Björnsson, 2000).

Varðandi áhrif mismunandi efnainnihalds vatns við heilsubaðmeðferð þá er erfitt að fá vísindalega rökstuddar upplýsingar um tengsl efnasamsetningar vatns og meðferðareiginleika og áhrif mismunandi jarðhitavatns á ákveðna sjúkdóma (Ólafur Grímur Björnsson, 2000). Í töflu 1 er sýnd samantekt úr japönsku riti um heilsböð, sem sýnir að mismunandi vatn getur nýst við meðhöndlun sama sjúkdóms og að oft er ferskt jarðhitavatn talið gagnlegt við slíka meðhöndlun jafnt og vatn sem flokkast undir sérstakt heilsuvatn (Hotta and Ishiguro, 1986). Í þýskum reglugerðum um náttúrulækningar eru talin upp ýmis snefilefni, sem greina eigi í heilsuvatni; brómíð, bór, járn, mangan, líþíum, arsen, kadmíum, króm, kvikasilfur, nikkell, blý, antimon, selen, baríum, kopar sínk, kóbalt, molybden vanadíum, tin, silfur, ál ofl. Sum eru talin gagnleg, en önnur ekki og styrkur skiptir þar væntanlega meginmáli.

Tafla 1. Meðhöndlun sjúkdóma með mismunandi gerðum heilsuvatns

Heimild: Hotta and Ishiguro (1986) og Ólafur Grímur Björnsson (2000).

Vandamál	Gerð vatns
Blóðleysi	Drekka: Járnrikt, karbónat, sulfatvatn.
Lungnapípu vandamál Astma	Baða sig í: Brennisteinsríku, natríumklóríðvatni með natríumbíkarbónati. Anda að sér gufu og skola kverkar.
Blóðrásarvandamál	Baða sig í: fersku jarðhitavatni , ölkelduvatni, brennisteinsríku, sulfíðvatni. Drekka sulfatvatn, natríumklóríðvatn.
Sykursýki, þvagsýrugigt	Baða sig í: brennisteinsríku, súru vatni. Drekka: sulfatvatn, geislavirkt vatn.
Sár á líkama	Baða sig í: fersku jarðhitavatni , ölkelduvatni, natríumbíkarbónat-, kalsíumsulfat-, natríumklóríðvatni.
Gallsteinar	Baða sig í: fersku jarðhitavatni , natríumbíkarbónat-, sulfat-, geislavirku vatni. Drekka: natríumbíkarbónat, sulfat, geislavirkt vatn.
Hörðun slagæða, lömun	Baða sig í volgu: fersku jarðhitavatni , ölkelduvatni, sulfatríku, brennisteinsríku, geislavirku vatni.
Gyllinæð	Baða sig í: fersku jarðhitavatni , natríumklóríð, (lágur styrkur), ölkelduvatni, bíkarbónat, sulfat, járn-, brennisteinsríkt, geislavirkt, súrt vatn.
Taugahvot (e. neuralgia), gigtveiki	Baða sig í heitu: fersku jarðhitavatni , natríumklóríð, sulfat, járn-, brennisteinsríku, geislavirku, súru vatni.
Taugaveiklun	Baða sig í volgu vatni mjög lengi.
Offita	Baða sig í: sulfat, brennisteins, bíkarbónatvatni. Drekka: sulfat, brennisteinsríkt, bíkarbónat vatn. Sandbað er einnig áhrifaríkt.
Húðsjúkdómar	Baða sig í: súru, bíkarbónat, brennisteins, sulfat, natríumklóríð, fersku jarðhitavatni .
Magasjúkdómar	Drekka: natríumklóríð-, ölkelduvatn, natríum eða kalsíumsulfatvatn, súrt, járn-sulfat, geislavirkt vatn.

Ljóst er að í söltu og efnaríku vatni er léttara að hreyfa sig og það er því heppilegt til endurhæfingar. Þær fáu vönduðu lækisfræðilegu athuganir sem til eru benda til þess, að sá árangur, sem næst við meðhöndlun stoðkerfissjúklinga með baðlækningum, sé óháður steinefnainnihaldi baðvatnsins. Eðlisfræðilegir eiginleikar vatnsins (varmi, vatnsþrýstingur, sýrustig) og hvíld sjúklinganna hefur þar mest og ef ekki allt að segja. Stærstur hluti sjúklinga, sem nú nýtur baðlækninga, hefur einhvers konar stoðkerfissjúkdóma. Þar næst koma sjúklingar með húðsjúkdóma, einkum psoriasis og exem. Böð í heitu og súru vatni hafa reynst vel gegn vissri tegund af exemi. Böð í söltu vatni (jarðsjó) eru notuð til að eyða húðskellum vegna psoriasis-sjúkdómsins, en orsakasamhengið er ekki þekkt að fullu. Líklegt er að þar eigi bæði þátt lægra sýrustig í salta vatninu en í fersku jarðhitavatni og hár styrkur uppleystra efna. Lægra sýrustig er heppilegt þar sem það er nær sýrustigi líkamans og þurrkar því húðina minna. Einnig hefur verið bent á að hjá psoriasissjúklingum geti upptaka brómíðs gegnum skaddaða húð haft lækandi eða róandi áhrif (Ólafur Grímur Björnsson, 2000).

Áhrif efnasamsetningar salts jarðhitavatns eru lítt könnuð. Í töflu 2 er sýndur samanburður á vatni í Baden-Baden og söltu jarðhitavatni á Íslandi. Einnig meðalsamsetning venjulegs sjávar.

Tafla 2. Samanburður á efnasamsetningu salts jarðhitavatns á Íslandi, vatni í Baden-Baden og meðalsjávar. Styrkur í mg/L, nema annað sé tekið fram.

Heimildir: Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. (2005), Ólafur Grímur Björnsson (2000) og Wedepol (1969).

Staður	Seltjarnar- nes SN-12	Stykkishólmur HO-01	Öxarfjörður Æ-3	Húsavíkur höfði	Baden- Baden	Meðal- sjór
Hitastig °C	107	87	116	70	56	-
pH/°C	8,41/21	8,45/23	6,9/22	8,88/23	8,2/20	8,0/25
Heildkarb.(CO ₂)	6,8	9,0	23,2	2,1	20,4	102
Brennistv.H ₂ S	0,12	0,07	0,24	0,1	-	-
Kísill (SiO ₂)	106	73	172	84,8	167	3
Uppleyst efni	3.620	4.260	3.081	3.020	3.115	35.000
Natríum (Na)	656	731	949	827	851	10.800
Kalíum (K)	12,9	13,9	46	26,2	32,9	390
Magnesium (Mg)	0,44	0,51	0,31	0,015	58	1.290
Kalsíum (Ca)	602	1.150	178	237	144	410
Strontíum (Sr)	2,6	-	7,3	0,85	4,3	8
Flúoríð (F)	0,78	1,07	0,28	0,15	0,6	1,3
Klóríð /(Cl)	1.900	2.920	1.671	1.760	1.442	19.400
Brómíð (Br)	6,6	9,9	5,4	6,15	1,6	67
Súlfat (SO ₄)	339	325	99	83	209	2.700
Radon Bq/L	1,1	0,016	16,9	3,1	26	

Vatn frá Seltjarnarnesi, Stykkishólmi, Húsavíkurhöfða og í Öxarfirði er talsvert líkt að efnainnihaldi því vatni, sem frá forsögulegum tímum hefur verið notað til baða á þekktum miðevrópskum baðstöðum eins og t.d. Baden-Baden í Þýskalandi. Á öllum þessum stöðum hafa psoriasisjúklingar notað vatnið til baða og talið sig hafa bata af. Í Baden-Baden beinist þaðmeðferð einkum að stoðkerfissjúkdómum, það er iktsýki og slitgikt, eftirmeðferð vegna slysa/skurðaðgerða á beinum og liðum, eftirmeðferð vegna lamana, eða þaðmeðferðin er til hjálpar sjúklingum með öndunarvegssjúkdóma.

Vatnið í Baden Baden er kaldara en salta jarðhitavatnið í Stykkishólmi, Seltjarnarnesi og í Öxarfirði. Þó selta sé svipuð þá eru hlutföll katjóna ólík, einkum er áberandi hvað magnesium er miklum mun hærra og kalsíum lægra en á íslensku svæðunum. Lægri brómíðstyrkur og meiri geislavirkni er einnig áberandi. Megindrættir í efnasamsetningu eru þó ótrúlega svipaðir miðað við þann ólíka berggrunn sem vatnið hefur hvarfast við. Upplýsingar um innihald annarra snefilefna í vatnsinu í Baden Baden eru ekki tiltækar.

6 JARÐHITASVÆÐI Á NORÐAUSTURLANDI

Í áfangaskýrslu frá 2005 (Ólöf Harpa Jósefsdóttir og Hrefna Kristmannsdóttir, 2005) var gerð samantekt á öllum þekktum jarðhitasvæðum á Norðausturlandi frá þekktum heimildum einkum jarðhitakorti Helga Torfasonar (2003). Í þessum kafla er útdráttur úr þeirri samantekt, en varðandi nánari upplýsingar vísast til þeirrar skýrslu.

6.1 Lágheitsvæði í Eyjafirði

6.1.1 Siglufjörður

Jarðhitasvæðið í Skútudal er nýtt fyrir Hitaveitu RARIK á Siglufirði Einnig er jarðhitasvæði í Skarðdal og volgrusvæði við Vatnsenda í Héðinsfirði (Helgi Torfason, 1989, 2003).

6.1.2 Ólafsfjörður

Jarðhiti er víða í Ólafsfirði. Svæðin sem Hitaveita Ólafsfjarðar nýtir eru í Skeggjabrekkudal og Laugarengi (Helgi Torfason, 1994; Guðni Axelsson, 1991).

6.1.3 Svarfaðardalur, Árskógsströnd, Dalvík

Allmikið er um jarðhita á þessu svæði. Hitaveita Dalvíkur nýtir jarðhitasvæðin við Hamar og Brimnesborgir á Árskógsströnd. (Árni Hjartarson, 1985, Guðni Axelsson, 1988, Magnús Ólafsson o.fl., 2006).

6.1.4 Hrísey

Tveir þekktir náttúrlegir jarðhitastaðir eru á eyinni, en vatn sem hitaveitan nýtir er unnið úr borholu sem tengist sömu jarðhitasprungum (Guðmundur Ómar Friðleifsson, 1989).

6.1.5 Akureyri og Eyjafjarðarsveit

Nokkuð víða var að finna náttúrlegar laugar í Eyjafirði áður en þar voru boraðar djúpar vinnsluholur; Grýtulaug, Stokkahláðalaug, Kristneslaug, Garðsárlaug og Ytragilslaug. Norðurorka nýtir sjö vinnslusvæði, flest í innanverðum Eyjafirði við; Botn, Ytri Tjarnir, Syðra-Laugaland og Reykhús. Einnig nýtir hún svæðin í Glerárdal, Laugalandi á Þelamörk og við Hjalteyri. Í sjónum norðan við Hjalteyri hafa byggst upp hverastrýtur á sprungu samhliða jarðhitasprungunni sem borholurnar vinna vatn sitt úr (Axel Björnsson og Kristján Sæmundsson, 1975, Guðni Axelsson o.fl., 1999).

6.2 Lágheatasvæði í Þingeyjarsýslum

6.2.1 Svalbarðsströnd

Þrjár heitar náttúrulegar uppsprettur voru þekktar á svæðinu fyrir borun. Boranir hafa gefið lítinn árangur og er hitaveitan nú sameinuð Norðurorku (Axel Björnsson o.fl., 1980).

6.2.2 Grýtubakkahreppur

Í landi Grýtubakka eru nokkrar volgrur og borhola sem einnig gefur volgt vatn (um 26 °C).

6.2.3 Hverastrýtur í Eyjafirði

Út af Ystuvíkurhólum eru neðansjávar jarðheatasvæði þar sem byggst hafa upp háar hverastrýtur (Viggó Þór Marteinsson o.fl. 2001, Geptner o.fl., 2002).

6.2.4 Fnjóskadalur

Jarðhiti í Fnjóskadal er mestur á Reykjum, en einnig er nokkur jarðhiti á Draflastöðum (Axel Björnsson og Kristján Sæmundsson, 1975).

6.2.5 Stóru Tjarnir

Á Stóru Tjörnum voru fyrir boranir laugar með allt að 53 °C heitu vatni (Axel Björnsson og Kristján Sæmundsson, 1975). Alls hafa verið boraðar þar 7 holur og er vatnið allt að 70 °C heitt..

6.2.6 Bárðardalur

Volgt vatn er á mörgum stöðum í Bárðardal, en ekki talið líklegt að fá megi þar mjög heitt vatn (Magnús Ólafsson o.fl., 1989).

6.2.7 Skútustaðahreppur

Nokkrir jarðhitastaðir eru í Skútustaðahreppi (Helgi Torfason, 2003). Jarðhiti er að Gautlöndum í Mývatnssveit, með um 65 °C af fersku vatni. Heitt og volgt grunnvatn, affall frá háheatasvæðunum í Námafjalli og Kröflu er sunnan Bjarnarflags og í gjánum þar eru þekktir baðstaðir.

6.2.8 Reykjadalur

Jarðhita er víða að finna í Reykjadal (Helgi Torfason, 2003). Hitaveita Reykdælahrepps nýtir vatn úr holu á Laugum, um 62 °C heitt.

6.2.9 Aðaldalur

Að Haftralæk í Aðaldal er jarðhiti og borhola með 72 °C heitu vatni nýtt til húshitunar á svæðinu og í sundlaug á staðnum (Valgarður Stefánsson o.fl., 1974).

6.2.10 Laxárdalur

Í Presthvammi í Laxárdal er heit laug, um 60 °C þar sem steyppt hefur verið sundlaug.

6.2.11 Reykjahverfi

Jarðhitasvæðið á Hveravöllum, sem hitaveita Húsavíkur nýtir til hitaveitu og rafmagnsframleiðslu með tvívökvatækni er mjög öflugt sjóðandi lághitasvæði. Úr hverum á svæðinu renna tugir lítra sjóðandi vatns í sjálfrennsli og er það nýtt til hitaveitu í Aðaldal, Kinn og Reykjahverfi, fyrir m.a. gróðurhús á svæðinu og í fiskeldi (Hreinn Hjartarson o.fl., 2002).

6.2.12 Húsavík

Jarðhiti við Húsavík er nátengdur miklu misgengi sem hefur stefnuna NV-SA. Allmargar uppsprettur voru á Húsavíkurhöfða, sumar yfir 60 °C (Jens Tómasson o.fl., 1969). Nokkrar borholur hafa verið boraðar og gefa allt að 90 °C heitt vatn. Vatn úr holu 1 á Húsavíkurhöfða hefur um langt skeið verið nýtt til baða fyrir psoriasissjúklinga. og er nú leitt að sundlaug bæjarins.

6.2.13 Öxarfjörður

Mikill jarðhiti er í Öxarfirði. Um héraðið liggja þrjú sprungubelti sem öll tengjast virkum eldstöðvarkerfum og ráða þau miklu um uppruna og dreifingu jarðhitans á svæðinu, þótt þar séu ekki eiginleg háhitasvæði. Jarðhiti finnst víða á yfirborði á láglandinu í Kelduhverfi og Öxarfirði og er þar um að ræða bæði sjálfstæð hitasvæði og volgt lindavatn (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1989, 1993, 2000). Volga vatnið er að uppistöðu kalt grunnvatn sem blandast hefur afrennslisvatni frá háhitasvæðum inni á heiðum. Sjór á greiða leið inn í grunnvatnskerfi Öxarfjarðar og því algengt að jarðhitavatnið sé salt. Jarðhitasvæðin við Skógalón og Bakkahlaup eru heitust, bæði sjóðandi lághitasvæði. Mestur hiti í byggð er nálægt 100 °C að Skógalóni og nýtir hitaveita Öxarfjarðarhrepps vatn þaðan. Nýverið var borað í Keldunesi og fannst þar nær 80 °C heitt vatn, svolítið saltblandað.

Talsvert er um volgt vatn í Öxarfirði, bæði ferskt og saltblandað (Hildur Vésteinsdóttir, 2006; Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2006, 2007; Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1989, 1993, 2000).

6.3 Háhitasvæði

Að minnsta kosti sex virk háhitasvæði eru á svæðinu og eru tvö þegar nýtt að einhverju leyti og rannsóknir og boranir hafnar á tveimur til viðbótar (Axel Björnsson o.fl., 2007, Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1995, Orkustofnun, 2008b og c).

6.3.1 Þeistareykir

Jarðhitasvæðið á Þeistareykjum er í tengslum við megineldstöð og um hana gengur 4-5 km breitt sprungukerfi, með stefnu nánast N-S. Sprungukerfið nær suður frá Mývatni og norður til sjávar í Kelduhverfi. Er það lítið eldvirkt en stórir jarðskjálftar eru nokkuð algengir innan þess. Jarðhitaboranir eru í gangi á svæðinu og benda til mjög hás hita (Gestur Gíslason o.fl., 1984).

6.3.2 Gjástykki

Gjástykki er sigdalur sem liggur norður af Kröflu og er í sama sprungukerfi og sjálft Kröflusvæðið. Ekki hafa átt sér stað eiginlegar jarðhitarannsóknir á svæðinu.

6.3.3 Krafla

Jarðhitasvæðið í Kröflu er í gamalli öskju sem er nærri full af móbergi og hraunum. Vinnslusvæði Kröfluvirkjunar eru nefnd Suðurhlíðar, Hveragil og Leirbotnar. Jarðhitakerfið er tvískipt með um 200 °C heitan efri hluta sem nær niður á 1000 m dýpi og 300 °C heitan neðri hluta (Halldór Ármannsson o.fl., 1982; Orkustofnun, 2008b).

6.3.4 Námafjall

Jarðhitasvæðið við Námafjall liggur í sprungusveimi Kröflukerfisins 4 km sunnan við Kröfluöskjuna. Það er mjög virkt gossvæði (Orkustofnun, 2008c).

6.3.5 Fremri-námar

Fremri-námar er fremur lítið háhitasvæði í Ketildyngju, þar sem á sínum tíma voru brennisteins-námur. Mjög litlar rannsóknir hafa farið fram á svæðinu (Orkustofnun, 2008a, Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 1995).

6.3.6 Askja

Askja er sigdæld í Dyngjufjallaeldstöðinni. Sprungusveimur Dyngjufjallaeldstöðvarinnar nær frá jaðri Vatnajökuls um 100 km til norðurs. Litlar eiginlegar jarðhitarannsóknir hafa farið fram í Öskju, enda mun það svæði ekki verða virkjað um fyrirsjáanlega framtíð.

7 EFNASAMSETNING JARÐHITAVATNS

Hér á eftir verður gerð grein fyrir efna- og snefilefnasamsetningu valdra sýna af jarðhitavatni frá sumum þeim lághitasvæðum á NA-landi sem nefnd voru að ofan.

7.1 Lághitasvæði

Mikill breytileiki er í efnainnihaldi lághitavatns á svæðinu þar sem jarðfræði þess spannar yfir allt frá meira en tíu milljón ára gömlum Tertíer jarðmyndunum, sem eru orðnar þéttar og ummyndaðar á vesturhluta svæðisins yfir í mjög ungt, ferskt og oft glerríkt berg á virku beltunum á austurhluta þess. Einnig eru uppruni og rennislisleiðir vatnsins ólíkar, allt frá því að vera að uppruna nánast staðbundin rigning til þess að hafa runnið tugi kílómetra leið í berggrunni að jarðhitasvæðinu. Einnig er talsvert um jarðhitavatn af sjávaruppruna á svæðinu. Efnaeiginleika má sjá á töflu 3 hér að neðan.

Vatn frá vestanverðum Eyjafirði er ósalt og efnasnautt og með hátt sýrustig (pH). Vatn í Hrísey sýnir nokkra sjávarblöndun, um 2,5% af sjávarseltu, eða <0,9% seltu. Frá hlutföllum stöðugra samsætna vetnis og súrefnis má ráða að jarðhitavatn í Ólafsfirði hafi staðbundinn uppruna úr nálægu fjalllendi, en vatn frá Dalvík, Hrísey og Hjalteyri eigi uppruna sinn frá hálendinu norðan jökla. Vatnið á Hjalteyri er eina vatnið sem hefur nokkurt brennisteinsvetni. Vatn sunnan í Eyjafirði er einnig ósalt og efnasnautt og með talsvert hátt pH. Það er jafnframt upprunið frá hálendinu norðan jökla miðað við samsætu hlutföll þess. Vatnið í Hólsgerði syðst í Eyjafirði er nokkru efnaríkara en annað vatn í firðinum og efnasamsetning þess ber þess merki að hafa hvarfast við súrt berg í Torfufellsmegineldstöðinni. Þetta vatn flokkast þó ekki undir efnaríkt vatn. Vatnið á Stóru Tjörnum er mjög svipað vatni í Eyjafirði að öðru leyti en því að styrkur brennisteinsvetnis er verulega hærri, enda er berggrunnur orðinn verulega yngri. Vatnið á Gautlöndum er mjög efnasnautt og hefur sömu einkenni og vatn á jarðhitasvæðum við jaðra gosbeltisins (Hafralækjarskóli, Laugar, Brún í Reykjadal) að pH er mjög hátt. Dæmi eru um pH allt að 11 í jarðhitavatni á þessu svæði (Hrefna Kristmannsdóttir, 2004a). Á sjóðandi lághitasvæðinu á Hveravöllum er ferskt vatn, en vegna hás upprunahitastigs er styrkur kísils mun hærri en á hinum svæðunum, pH lægra og styrkur brennisteinsvetnis hærri. Vatnið hefur svipaðan uppruna og jarðhitavatn vestar á svæðinu. Vatnið á Húsavíkurhöfða er salt og samsætu hlutföll þess benda til að það sé mjög gamalt (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2007). Vatnið í sjóðandi lághitasvæðinu í Ærlækjarseli er einnig saltblandað og að hluta til talið gamalt vatn. Í Kelduhverfi og Öxarfirði er einnig til mun saltara lághitavatn, með 10-13 % seltu (Lúðvík Georgsson o.fl., 1993, 2000, Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2006). Þar er

einnig vatn með svipaða eða nokkru hærri seltu en vatnið í Hrísey (Hildur Vésteinsdóttir, 2006, Hrefna Kristmannsdóttir, 2006). Í töflu 4 er sýnd snefilefnasamsetning sömu vatnssýna og í töflu 3. Almenn séð þá er snefilefnasamsetning ósöltu sýnanna mjög lág, en styrkur flestra snefilefna hærri í þeim saltari. Þetta á einkum við um brómíð, bór, jod, járn, mangan og líþíum, sem allt eru efni sem talin eru geta haft áhrif í baðmeðferð. Styrkur arsens er að jafnaði einnig hærri í söltu sýnunum. Undantekning á þessu er ál, sem er í lægri styrk í söltu sýnunum en í jafnheitu fersku vatni og er það þekkt fyrirbæri. Álstyrkur er líka verulega hærri í vatni með hátt pH en vatni með lægra pH, enda hefur pH veruleg áhrif á uppleysanleika áls. Nánast ekkert kvikasilfur mælist nema í heitustu sýnunum.

Tafla 3. Efnasamsetning valdra sýna af jarðhitavatni frá lághitasvæðum á NA-landi

Heimild: Hrefna Kristmannsdóttir o.fl. (2005, 2006).

Staður	Sýni	02-085 Ólafsfjörður	02-086 Dalvík	02-088 Hrisey	02-032 Hjalteyri	02-033 Glerárgil	03-046 Hólsgerði	02-037 S-Laugarland	05-002 Störu Tj.	05-001 Gautbönd	04-057 Hveravellir	03-112 Húsavík	06-001 Ærtækjar-sel
Hola/laug	SK-12	2002	HA-10	HR-10	HJ-19	GYN-7	Laug	LJ-5	ST-07	GL-1	HV-01	H-01	Æ-3
Dagsetning	2002	2002	2002	2002	04.12.02	04.12.02	24.06.03	06.12.02	01.02.05	1.02.05	26.11.04	14.08.03	30.01.06
Hitastig °C	56,3	64,5	76,7	85,7	60,5	60,5	40,7	94,4	66,2	65,6	128,0	70	116
pH/°C	10,11 / 23	10,17 / 23	9,26 / 23	10,07 / 20	9,87 / 21	9,87 / 21	9,63 / 24	9,72 / 20	9,70 / 21	10,44 / 20	9,32 / 23	8,88 / 23	6,9 / 22
SiO ₂ mg/L	65,9	85,8	58,9	114,2	75,5	75,5	81,6	97,4	102,5	77,4	173,5	84,8	172,0
B mg/L	0,02	0,08	0,10	0,19	0,22	0,22	0,28	0,16	0,113	0,05	0,07	0,14	1,26
Na mg/L	34,07	48,59	236,17	55,48	45,95	45,95	81,1	52,37	53,8	55,8	57,8	827	949
K mg/L	0,69	0,81	4,53	0,92	0,52	0,52	1,49	1,19	0,87	0,62	2,27	26,2	46,0
Ca mg/L	1,82	1,93	86,15	1,79	2,45	2,45	5,76	2,85	2,44	1,91	1,69	237	178,0
Mg mg/L	<0,002	<0,002	0,0438	<0,002	<0,002	<0,002	0,0355	<0,002	0,002	0,001	0,002	0,015	0,311
CO ₂ mg/L	13,1	13,8	3,2	12,9	16,4	16,4	22,1	17	19,9	20,1	35,9	2,1	23,2
H ₂ S mg/L	<0,03	0,06	0,04	0,289	0,053	0,053	0,015	0,066	1,04	0,01	1,42	0,096	0,24
Leiðni µS/cm/25°C	-	-	-	255	236	236	437	263	241	269	-	5195	5615
O ₂ µg/l	300	-	-	0	0	0	4,5	0	0	0	-	0	0
Rn Bq/l	-	-	-	2,6	2,6	2,6	-	2,6	2,00	1,65	-	3,1	16,9
δ D ‰	-78	-104	-109,2	-101	-100	-100	-105,6	-96,6	-102,7	-98,3	-100,0	-124,1	-102,8
δ ¹⁸ O ‰	-11,53	-14,76	-14,85	-14,17	-13,87	-13,87	-14,29	-13,33	-13,82	-13,41	-13,78	-14,89	-10,96
d (tvív.auki)	14,2	14,1	9,6	12,4	11,0	11,0	8,7	10	7,9	9,0	10,2	-4,98	-15,1
SO ₄ mg/L	4,4	13,2	60,1	17,6	33,0	33,0	74,9	39,8	29,0	14,4	30,7	83	99,0
Cl mg/L	7,55	9,26	500	10,9	11,3	11,3	38,8	12,5	15,7	8,8	11,3	1760	1671
F mg/L	0,11	0,50	0,26	1,77	0,60	0,60	4,25	0,38	0,80	1,04	0,95	0,15	0,28
Upp. Efnir mg/L	121,0	167,0	952,0	214,0	178,0	178,0	344,0	216,0	205,0	160,4	303	3020	3136
NO ₂ µg/L	4,7	1,2	2,9	-	-	-	-	2,1	-	-	-	-	-
NO ₃ µg/L	18,8	<5,0	<6,0	-	-	-	-	3,9	-	-	-	-	-
NH ₃ µg/L	<1,0	10,0	22,8	-	-	-	-	33,3	-	-	-	-	-

Tafla 4. Snefilefnasamsetning valdra sýna af jarðhitavatni frá lágheatasvæðum á NA-landi.

Heimild: Heimild: Hrefna Kristmannsdóttir o. fl. (2005, 2006).

Staður	Ólafsfj.	Dalvík	Hrísey	Hjalteyri	Gletargil	Hölsgerði	S-Laugal.	Stóru Tj.	Gautlind	Hverav	Húsav.	Ærtisel
Ag µg/L	0,0026	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,050	<0,002	<0,001	<0,001	0,0078	<0,050	<0,5
Al µg/L	99,7	77,8	14,6	129,0	40,9	56,0	131,0	27,0	236	205	47,5	25,5
As µg/L	1,27	2,77	2,49	13,10	6,24	6,11	5,38	6,97	0,47	1,14	13,2	12,0
Au µg/L	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0010	<0,0005	0,0003	0,0003	0,0008	<0,001	<0,01
B µg/L	22,4	79,8	88,4	194,0	217,0	276,0	157,0	113	49,7	71,3	135	1260
Ba µg/L	0,02	0,02	1,12	0,09	0,12	0,16	0,50	0,11	0,07	0,79	1,98	7,76
Br µg/L	43,1	42,0	1660,0	44,3	38,5	80,4	43,0	5,0	5,0	5,0	6150	5390
Cd µg/L	0,0030	<0,002	0,0059	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	0,033	<0,05
Co µg/L	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,005	<0,05
Cr µg/L	0,011	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,05	0,18	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	0,197
Cs µg/L	0,010	0,011	0,250	0,170	0,070	0,110	0,190	0,077	<0,03	0,563	4,860	1,340
Cu µg/L	0,133	0,122	0,137	0,033	0,144	<0,1	0,329	0,11	<0,1	<0,1	<0,1	<0,05
Fe µg/L	1,4	0,7	1,0	3,0	1,7	1,1	1,7	<0,001	<0,001	0,0078	0,9	44,8
Ga µg/L	4,90	5,20	1,54	5,94	3,90	3,39	4,92	3,55	0,781	3,99	1,17	0,21
Ge µg/L	0,37	0,99	0,45	2,03	0,84	1,76	0,65	2,290	0,781	3,990	2,54	3,50
Hg µg/L	0,00	<0,002	0,01	<0,002	0,00	0,025	<0,002	<0,002	<0,002	0,584	0,017	0,14
I µg/L	1,68	2,46	78,90	3,54	3,54	3,9	6,96	18,3	38,3	2,1	59,6	106,0
Li µg/L	0,7	2,2	15,0	6,1	3,9	8,53	6,7	6,81	0,64	16,6	261	364
Mn µg/L	0,040	<0,03	0,400	<0,03	0,038	0,078	0,065	0,15	0,17	0,10	1,41	23,0
Mo µg/L	0,99	7,23	6,60	5,80	10,70	65,50	11,70	12,0	10,10	10,20	15,5	24,0
Ni µg/L	0,057	<0,02	<0,02	0,029	<0,02	<0,05	<0,02	<0,05	<0,05	0,06	<0,05	1,30
P µg/L	1,58	0,62	0,20	0,31	0,39	6,1	0,32	<1	1,0	<1	<1,0	<40
Pb µg/L	0,172	0,246	0,013	0,016	0,031	0,025	0,054	0,020	0,017	0,029	0,019	<0,3
Rb µg/L	1,04	1,44	12,80	3,65	1,71	3,58	3,63	2,94	0,69	8,66	150,0	219,0
Sb µg/L	0,0080	0,0100	0,0120	0,0240	0,0160	0,058	0,0150	0,196	0,021	0,116	0,190	<0,1
Sr µg/l	1,6	1,7	167,0	12,4	10,6	7,5	19,9	4,4	1,7	6,1	0,190	726
Ti µg/l	<0,02	<0,02	<0,02	0,09	0,03	0,08	0,07	0,15	0,03	0,10	0,02	0,154
Tl µg/L	0,002	0,002	0,019	0,003	0,003	<0,030	0,005	<0,003	<0,003	<0,003	0,077	<0,05
U µg/L	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0104	<0,0005	<0,0001	<0,0001	0,0004	<0,000	<0,01
V µg/L	2,380	0,895	0,325	0,542	0,163	6,83	1,010	1,61	9,87	1,79	0,19	0,284
W µg/L	0,218	1,450	0,555	3,630	1,990	5,83	1,380	1,940	1,350	1,400	0,46	<0,5
Zn µg/L	1,52	0,56	0,07	0,78	1,41	0,20	2,88	0,6	0,7	0,9	0,34	2,87
Se µg/L	0,091	0,034	0,027	0,016	<0,008	-	0,012	0,037	0,085	-	0,1	<0,02

7.2 Háhitasvæði

Efnagreiningar á vatni frá þeim þremur háhitasvæðum sem upplýsingar eru til um, Kröflu, Námafjalli og Þeistareykjum eru í töflu 5.

Tafla 5. Yfirlit yfir efnasamsetningu vatns á háhitasvæðum á NA landi

Heimild: Gagnagrunnur Orkustofnunar

Staður	Þeistareykir ÞG-1	Krafla KG-5	Krafla KJ-13	Krafla KJ-20	Námafjall BN-9	Námafjall BJ-11
Sýni nr.	2003-0253	4-60105	4-60113	4-60120	4-52109	4-52111
Djúphiti °C	280	205	230	280	250	270
VATN						
pH/°180	8,0	7,97	7,79	7,48	7,96	7,82
SiO ₂ mg/L	754	324	480	817	567	702
B mg/L	1,7	0,5	1,1	2,4	0,8	2,4
Na mg/L	118	175	244	244	143	113
K mg/L	24	16	28	51	19	18
Ca mg/L	0,5	3,6	4,0	2,0	2,5	0,6
Mg mg/L	0,004	0,009	0,01	0,01	0,01	0,01
CO ₂ mg/L	27	36	94	194	38	37
H ₂ S mg/L	22	32	45	44	102	70
SO ₄ mg/L	9,3	228	350	17	74	25
Cl mg/L	106	40	36	219	38	45
F mg/L	1,0	1,0	1,2	1,5	0,8	3,4
Uppl. efni mg/L	1185	778	1233	1580	1018	1060
Fe µg/L	7,0	129	23,6	42,5	6,2	6,4
Al µg/L	2040	797	1190	1002	959	1850
As µg/L	7,19	2,24	5,82	25,8	2,75	22,4
Ba µg/L	0,369	-	-	-	-	-
Cd µg/L	<0,005	0,0067	0,0176	0,0026	<0,002	<0,002
Co µg/L	<0,005	-	-	-	-	-
Cr µg/L	0,0402	1,29	1,02	0,369	0,0945	0,0674
Cu µg/L	0,155	0,132	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Hg µg/L	0,0499	0,062	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Mn µg/L	1,81	-	-	-	-	-
Mo µg/L	18,1	-	-	-	-	-
Ni µg/L	0,204	2,19	0,936	0,334	<0,05	0,137
P µg/L	2,60	<1	<1	2,83	<1	<1
Pb µg/L	0,0420	0,0541	0,0426	0,0222	0,0265	0,0394
Sr µg/L	1,66	-	-	-	-	-
Zn µg/L	6,31	22,5	16,1	17,7	21,8	22,1
GUFA						
CO ₂ mg/L	1279	1749	6482	24948	1900	2521
H ₂ S mg/L	238	367	742	1400	1213	1161
H ₂ mg/L	22	2,29	35	50	104	88
O ₂ mg/L	0,4	7,6	6,7	51	5,4	1,5
CH ₄ mg/L	0	3,6	0,3	3,3	32	8,7
N ₂ mg/L	30	66	2,5	208	81	39

Bæði vatnsfasinn og gufufasinn er fyrir öll sýnin reiknaður miðað við suðu við 180°C svo unnt sé að gera raunhæfan samanburð. Í töflunni er sýnd efnasamsetning nokkurra misheitra sýna frá Kröflu og Námafjalli. Efnaeiginleikar háhitavatnsins sýna talsverðan breytileika, þótt það sé allt ósalt. Vel kemur fram hversu mikið efnainnihald eykst með hitastigi. Heildarstyrkur uppleystra efna er fremur lágur í öllum sýnunum miðað við háhitavatn og lægstur í kaldasta sýninu (úr KG-5). Styrkur kísils og áls sýnir mjög greinileg tengsl við hitastig og innan sama svæðis er styrkur sumra snefilefna eins og arsens í mjög beinu samhengi við hitastig. Gasstyrkur og hlutföll mismunandi gastegunda eru mjög breytileg eftir svæðum. Langhæstur styrkur af jarðhitagasi er í sýnum úr Kröflu og þá í heitustu sýnunum, úr neðra jarðhitakerfinu. Koltvíoxíðgas er í langmestu magni. Hlutfallslega hæstur styrkur vetnis- og brennisteinsvetnisgass er í holunum í Námafjalli. Með því að að bóla gasi og gufu úr þessum mismunandi jarðhitakerfum gegnum ferskt vatn mundi því fást heitt vatn með mjög mismunandi efnasamsetningu.

Efnagreiningar eru til úr affallslóninu í Námafjalli og sýna þær heildarstyrk uppleystra efna ívið hærri en í greiningum af vatnsfasanum úr borholunum við 180°C, en lægri styrk kísils og allhækkaðan styrk margra snefilefna (Halldór Ármannsson o.fl., 1998, Hrefna Kristmannsdóttir og Halldór Ármannsson, 2004). Þó ekki séu til efnagreiningar frá baðtjörninni í Víti í Öskju þá er nokkuð ljóst að þar er ekki um að ræða jarðhitavatn heldur staðbundið vatn sem er hitað upp með þéttri gufu og er því væntanlega mjög súrt en fremur efnasnautt.

8 FLOKKUN SAMKVÆMT HEILSUVATNSSTÖÐLUM

Til að fá mat á jarðhitavatninu á Norðausturlandi sem mögulegt heilsubaðvatn eftir erlendum stöðlum er stuðst við flokkunarstaðla sem teknir voru saman í skýrslunni *Nýting jarðhita til ferðaþjónustu - einkum með tilliti til baðlækninga*, sem gefin var út árið 2000 (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2000). Sú flokkun var aðallega unnin eftir flokkunarkerfi þýska heilsubaðasambandsins en einnig flokkunar sem notuð er fyrir heilsuþöð í Japan.

Flokkun vatnsins er byggð á eftirfarandi styrk efna:

- A) **Ölkelduvatn:** Vatn með yfir 300 mg/l af kolsýru (CO_2 (T))
- B) **Brennisteinsvatn:** Vatn með yfir 1 mg/l af brennisteinsvetni (H_2S) og a.m.k. baðheitt ($\sim 40^\circ\text{C}$)
- C) **Efnaríkt vatn:** Vatn með yfir 1000 mg/l af uppleystum efnum (TDS) og a.m.k. baðheitt ($\sim 40^\circ\text{C}$)
- D) **Járnríkt vatn:** Vatn með yfir 20 mg/l af jární ($\text{Fe}^{(II)}$) og a.m.k. baðheitt ($\sim 40^\circ\text{C}$)
- E) **Flúorvatn:** Vatn með yfir 2 mg/l af flúor (F) og a.m.k. baðheitt ($\sim 40^\circ\text{C}$)

8.1 Lágheitsvæði

Út frá ofangreindri flokkun má skilgreina nokkra lágheitsstaði á Eyjafjarðarsvæðinu sem heilsuvatn og einnig eru jarðhitastaðir í Þingeyjarsýslunum með vatn sem fellur undir einhvern þessara flokka. Í Eyjafirði er nær einungis um að ræða laugar með flúorríku vatni og falla þá undir flokk E. Úr borholu í Hrísey er vatnið efnaríkt og fellur því sem næst í flokk C, heildarstyrkur uppleystra efna er >950 mg/L. Í Þingeyjarsýslunum eru nokkrir staðir með brennisteinsríkt vatn sem falla þá í flokk B. Nokkrir staðir eru með efnaríku vatni, einkum í Öxarfirði, Kelduhverfi og einnig á Húsavíkurhöfða. Þar finnst einnig einn staður með flúorríku vatni og einn staður með kolsýruríku og efnaríku vatni. Í töflu 6 er yfirlit yfir þá staði sem eru með jarðhitavatn sem fellur í einhvern af fyrrnefndum flokkum. Jafnframt sýnir hún hitastig vatnsins og í hvaða flokk vatnið fellur.

Tafla 6. Yfirlit yfir lághitasvæði með jarðhitavatn sem flokkast til heilsuvatns.

Sýsla	Staður	Hreppur	Flokkur	Hiti °C
Eyjafjarðarsýsla	Torfufellslaug	Eyjafarðarsveit	E	24,4
“	Hrísey	Hríseyjarhreppur	C	76,8
“	Hólsgærði	Saurbæjarhreppur	E	54,6
“	Laugareyri laug	Skriðuhreppur	E	56,4
“	Mjaðmárdalur	Öngulstaðahreppur	E	33,3
S-Þingeyjarsýsla	Húsavíkurhöfði	Húsavík	C	68
“	Hveravellir	Reykjahreppur	B	98
“	Ystihver	Reykjahreppur	B	98
“	Grjótagjá	Skútustaðahreppur	B	57
“	Stóragjá	Skútustaðahreppur	B	40,2
“	Stóru Tjarnir	Ljósavatnshreppur	B	63,3
N-Þingeyjarsýsla	Bakki	Norðurþing	C	78,5
“	Keldunes	Norðurþing	C	76,5
“	Skógar	Norðurþing	C E	34,6
“	Ærlækjarsel	Norðurþing	A C	32,5

Eins og fram kemur í töflunni fellur vatn af svæðinu í alla fyrrgreinda flokka nema járnríkt vatn.

8.2 Háhitavæði

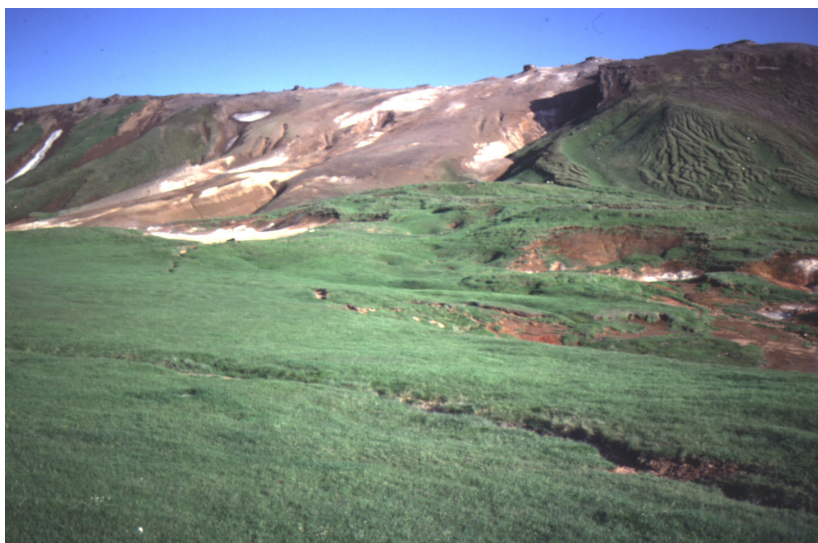
Efnagreiningar sýna að vatn á öllum háhitavæðunum er efnaríkt og hefur nær undantekningarlaust heildarstyrk uppleystra efna yfir 1000 mg/L. Þar með fellur það nær allt undir flokk C, eftir heilsuvatnsflokkuninni. Stöku borholur sem vinna vatn úr efra kerfinu í Kröflu hafa vatn með lægri efnastyrk, eins og sést á efnagreiningu úr holu KG-5 í töflu 5. Vatn úr borholum á Námafjallssvæðinu liggur aðeins rétt yfir mörkunum, enda er það vatn óvenju efnasnautt miðað við háhitavatn. Jafnframt eru öll háhitavæðin rík af kolsýru (heildarkarbónati) og brennisteinsvetni og falla þá einnig undir flokkana A og B. Sum svæðanna eru nokkuð flúorrík og falla þá líka undir flokk E. Volgt grunnvatn á Námafjallssvæði er affallsvatn frá Bjarnarflagi og að hluta til Kröflusvæðinu svo

Það getur fallið í flokk brennisteinsríks vatns, en nær ekki að verða nægilega efnaríkt til að falla í flokk C.

9 RANNSÓKNIR Á LEIR

Leir á háhitasvæðunum í Þingeyjarsýslum hefur nýlega verið rannsakaður með tilliti til steinda-samsetningar og gerðar ítarlegar efnagreiningar á honum (Geptner, 2004, 2005; Alfred Geptner pers. uppl.). Einnig voru gerðar samanburðargreiningar á leir sem notaður er til heilsuþaða annars staðar í heiminum til að skoða eiginleika leirsins með tilliti til heilsuþaðanotkunar. Einnig eru til mun eldri rannsóknir á leir á Námafjalls-, Kröflu- og Þeistareykjasvæðinu þar sem kortlagðar voru leirskellur og gerðar ýmsar greiningar (Halldór Kjartansson, 1972). Steindagreiningar í þeirri rannsókn voru þó fremur ófullkomnar og rannsóknir á eiginleikum og efnasamsetningu leirsins miðuðust aðallega við mögulega notkun hans í iðnaði og leirlist.

Á Námafjalls-, Kröflusvæði og á Þeistareykjum er mikið magn af leir á yfirborði, en eins og algengt er á háhitasvæðum er hann ósamleitur og blandaður hálfniðurbrotnu bergi og útfellingum og fleiri gerðir leirsteinda blandast saman í útfellingaskellunum. Á Þeistareykjum er talsvert um leir sem hefur skolast til og safnast saman í setlög á yfirborði (Mynd 3). Sá leir er þó talsvert ósamleitur, en líklegt að þar mætti vinna nýtanlegan leir til heilsuþaðsmeðferðar (Geptner, 2004, 2005).

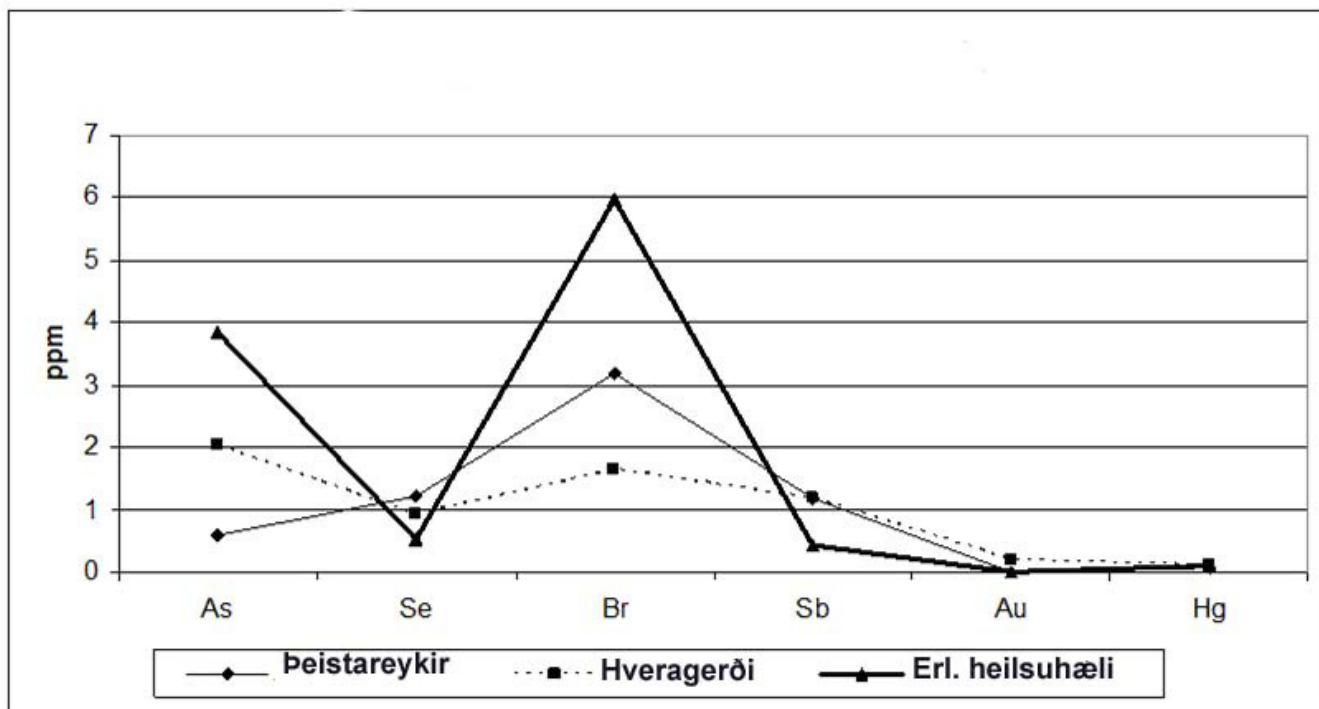


Mynd 3. Yfirlitsmynd yfir Þeistareykjasvæðið, sem sýnir ummyndunarskellur, setlög með leir að hluta rofin af nýrri ummyndun.

Ljósmynd: Alfred Geptner, 2005

Rannsóknirnar sýna að miðað við óummyndað berg er aukning í leirnum á ýmsum þeim snefilefnum, sem talin eru geta haft æskileg áhrif í leirbaðameðferð: silfur (Ag), gull (Au), arsen (As), jöð (I), selen (Se), antímon (Sb), króm (Cr) og kvikasilfur (Hg). Jafnframt er veruleg aukning á ákveðnum fjölhringja aromatískum kolvetnum (PAH), sem þó þau séu flest eitruð gætu mögulega haft jákvæð áhrif í smáum skömmtum (Alfred Geptner pers. uppl). Það verður þó að segjast að staðgóðar

upplýsingar um áhrif efna í leirbakstrameðferð liggja ekki á lausu og virðast áhrif efnainnihalds á heilsuþaðseiginleika leirsins vera enn óljósari en fyrir jarðhitavatnið.



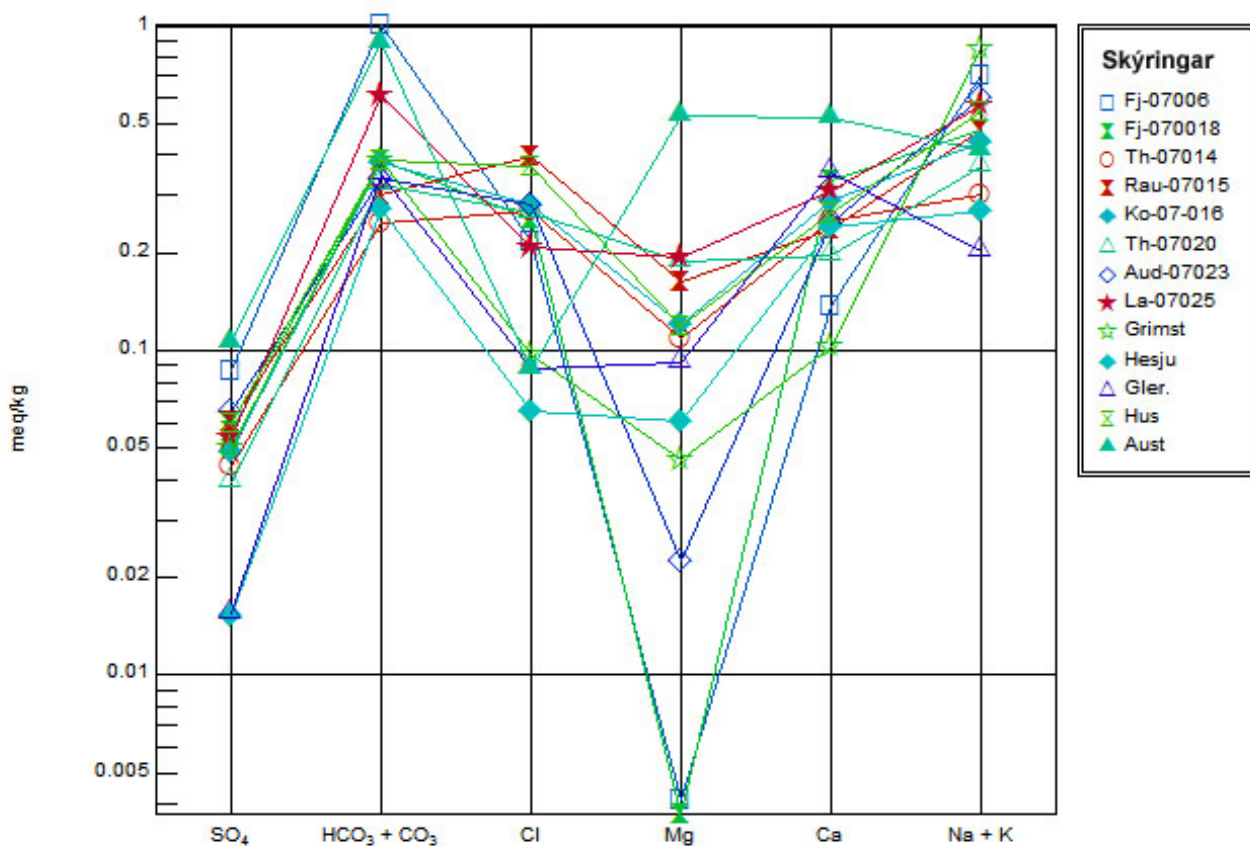
Mynd 4. Snefilefnainnihald í leir frá Þeistareykjum, Hveragerði og nokkrum erlendum heilsuhælum. Heimild: Alfred Geptner (pers. uppl.).

Samanburður sem gerður var við sýni af leir sem notaður er til heilsuþaða annars staðar í heiminum (sýni frá Búlgaríu, Rússland og Ísrael) sýnir að snefilefnainnihald leirsins er mjög breytilegt, en flest sýni hafa nokkuð háan styrk af arseník og brómíði. Leir á Þeistareykjasvæðinu hefur nokkuð svipaða snefilefnasamsetningu og leir úr Hveragerði (Mynd 4). Leirinn þaðan hefur jafnframt langhæstan styrk silfurs (Ag) af öllum þeim leir sem rannsakaður var. Hvaða gagn þessi snefilefni mögulega gera og áhrif þeirra á meðhöndlun með leirnum hefur ekki tekist að finna haldgóðar heimildir um fremur en um áhrif efnasamsetningar þáðvatns.

10 FERSKVATN

Nýlega hafa farið fram talsvert miklar rannsóknir á ferskvatni á svæðinu og eru nú tiltæk góð gögn um eiginleika þess (Hrefna Kristmannsdóttir, 2003, 2004a, Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2005, Hrefna Kristmannsdóttir og Helga Rakel Guðrúnardóttir, 2007, Hrefna Kristmannsdóttir og Valur Klemensson, 2007). Nánast eingöngu er notað grunnvatn til neyslu, enda er nægilegt magn þess. Magn grunnvatns er mun ríkulegra á austurhluta svæðisins þar sem berggrunnurinn er yngri og lekari, en vinna má einnig verulegt magn á vesturhluta svæðisins. Efnasamsetning vatns á svæðinu er breytileg og spannar nánst allar gerðir fersks grunnvatns, sem finnast á Íslandi (Hrefna Kristmannsdóttir, 2004c). Jarðfræði svæðisins hefur þarna áhrif, en eins og fram kom fyrr í skýrslunni er gamalt Tertíer basalt vestast á svæðinu, síðan tekur við Kvartert berg og loks er ungt gosberg inni í gosbeltinu austast á svæðinu. Í töflu 7 að neðan eru sýndar efnagreiningar úr vatnsbólum stærri vatnsveitna á svæðinu og einnig nokkrum minni vatnsbólum. Vatnið á Eyjafjarðarsvæðinu er dæmigert fyrir kalt íslenskt lindarvatn í jafnvægi við basaltberggrunn af Tertíer-Kvarter aldri og svipað vatn er í vatnsbólum við Húsavík. Hins vegar er vatnið inni í gosbeltinu og við gosbeltisröndina nokkuð ólíkrar gerðar. Vatn sem rennur um ferskt móberg eins og vatnið í lindum sunnan Fjalla í Kelduhverfi og á Grímsstöðum á Fjöllum sker sig úr hvað varðar pH og er nánast últrabásískt. Vatnið úr Austaraselslindum sem er vatnsból Reykjahlíðar í Mývatnssveit er hins vegar greinilega með svolítil jarðhitaeinkenni, t.d. lágt pH og hátt heildarkarbonsat.

Algengast er að vatnið á svæðinu sé af natríum-bíkarbónatgerð. Á myndum 5 og 6 á undan og eftir töflu 7 hér að neðan er vatn á svæðinu flokkað eftir hefðbundnum aðferðum í flokkunarlínuritum, sem kennd eru við höfunda viðkomandi flokkunaraðferða, Scoeller- og Piperlínuritum. Í Scoeller línuritinu er jafngildisstyrkur efnanna súlfats, heildarkarbonsats, klóríðs, magnesíums, kalsíums og summa alkalíjónanna 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.



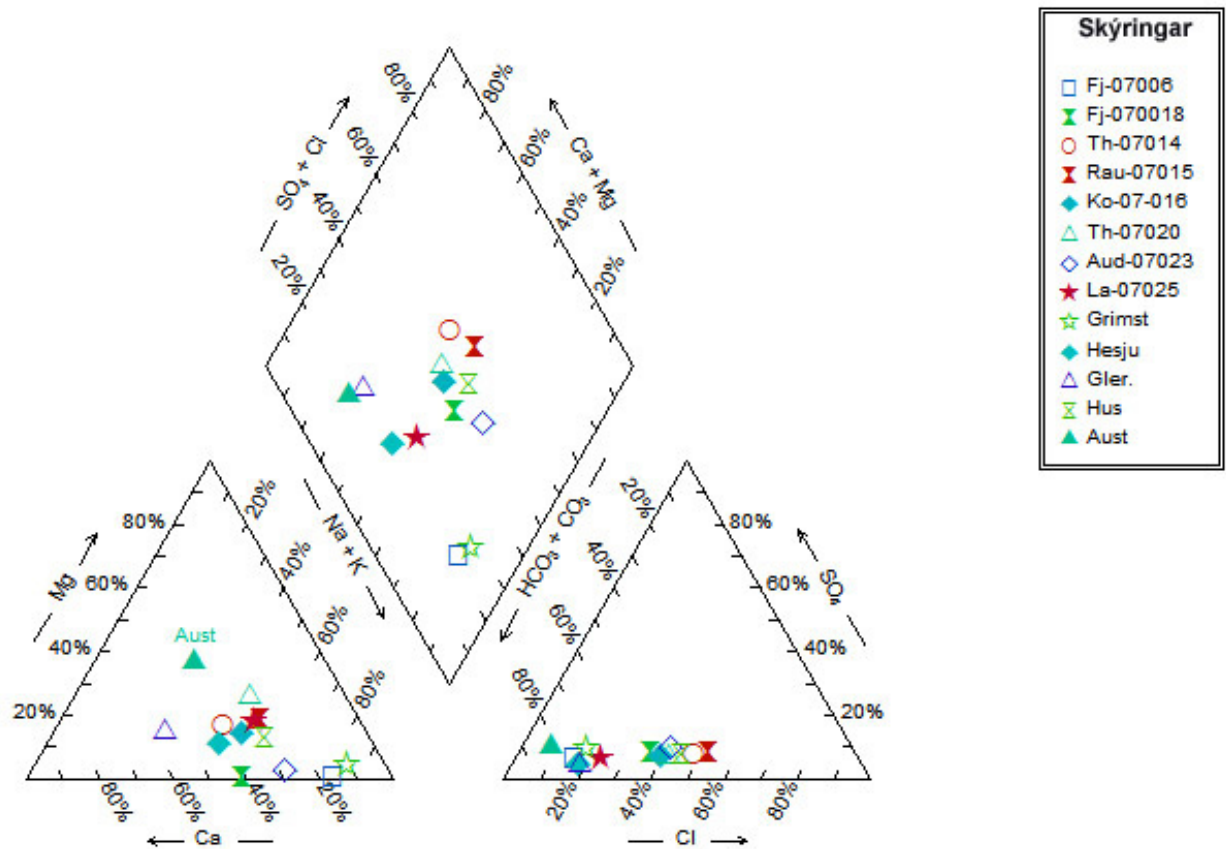
Mynd 5. Schoeller línurit fyrir ferskvatn á NA-landi. Reikningar gerðir með forritinu AqQa (2005).

Á mynd 6 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). Öll sýni af ferskvatni svæðinu flokkast mjög svipað á Scoellerflokkunarlínuritinu á mynd 5, utan últrasísku sýnanna og sýnis frá Austaraselslindum. Á línuritinu eru sýni frá Hesjuvallalindum (Hesju) og Glerárdal (Gler) í Eyjafirði, Vatnsbóli Húsvíkinga (Hus), Kópaskers (07016), Raufarhafnar (07015), Þórshafnar (07014) og auk þess nokkrum öðrum vatnsbólum af svæðinu: Þorvalsstöðum við Húsavík (07020), Fjöllum (07018) og Auðbjargarstöðum (07023) í Kelduhverfi, Landsá í Öxarfirði (07025), Austaraselslindum og frá Grímsstöðum á Fjöllum (Grimst).

Tafla 7. Efnasamsetning ferskvatns úr völdum vatnsbólum á NA-landi.

Sýni nr.	02-040	02-039	03-112	07-020	07-006	07-018	07-023	03-119	03-116	07-016	07-015	07-014	07-025
Staðsetning	Hesjuv.	Glerd.	Húsavík	Porv.st.	Fjöll	Fjöll	Auðbj.	Austaras.	Grímst.	Kópasker	Raufarh.	Bórshöfn	Landísá
Dagsetning	7.12.02	7.12.02	14.08.03	2.7.07	22.05.07	19.6.07	2.7.07	28.09.03	28.09.03	5.6.07	5.6.07	5.6.07	2.7.07
Hmit N	-	-	66°2,213	66°01,408	66°04,219	66°04,864	66°05,985	65°38,561	65°38,585	66°16,070	66°23,320	66°09,753	65°59,644
Hmit V	-	-	17°18,663	017°19,13	016°57,57	016°57,72	16°57,766	16°50,452	16°7,241	016°22,49	15°56,629	15°05,828	16°24,688
Hæð	-	-	115±20	119±28	36±150	-	78	-	-	48	47±48	-	191±66
Hitastig	2,9	3,1	5,0	2,9	3,8	2,6	2,7	4,2	3,3	3,9	3,4	1,7	3,9
pH/°C	8,60/21	7,60/21	8,35/23	8,7/21	9,52/22	8,82/23	9,26/22	7,52/19	9,55/20	8,54/23	7,79/22	8,4/23	8,31/22
SiO ₂ mg/L	16,5	16,8	15,2	19,7	10,5	12,6	13,4	27,7	23,1	19,2	19,3	19,3	19,9
Na mg/L	4,5	4,3	12,4	8,0	16,1	11,0	13,8	8,8	19,5	9,7	10,5	6,7	12,4
K mg/L	2,9	0,55	0,31	0,85	0,01	0,10	0,07	1,13	0,08	0,57	0,78	0,41	1,17
Ca mg/L	4,8	7,1	5,33	4,0	2,7	6,7	4,9	10,5	2,06	5,8	4,7	5,0	6,2
Mg mg/L	0,73	1,11	1,44	2,28	0,050	0,045	0,274	6,4	0,559	1,46	1,98	1,33	2,35
Fe mg/L	0,001	0,0007	<0,0004	<0,0004	0,0005	<0,0004	<0,0004	0,014	0,0008	0,006	0,001	0,001	0,0004
Al mg/L	0,002	0,0003	0,011	0,007	0,015	0,005	0,005	0,003	0,016	0,008	0,005	0,006	0,006
CO ₂ mg/L	16,5	23,0	23,8	19,7	56,8	23,2	19,8	58,8	27,5	23,0	19,3	15,1	37,5
SO ₄ mg/L	0,73	0,74	2,86	1,9	4,2	2,7	3,1	5,1	2,4	2,3	2,9	2,1	2,6
Cl mg/L	2,3	3,1	13,0	9,4	7,7	9,0	10,0	3,1	3,45	9,9	14,0	9,6	7,4
F mg/L	0,04	0,04	0,05	0,06	0,04	0,04	0,04	0,10	0,14	0,06	0,05	0,04	0,09
P µg/L	44,3	36,8	25,8	41,1	8,9	18,5	19,7	49,0	42,4	31,6	20,8	50,4	38,2
Leiðni µS/cm	51	66	115	90	90	96	99	139	105	93	97	72	118
Uppleyst efni mg/L	41	45	62	61	70	65	69	92	64	68	72	57	80
δ ² H ‰	-89,4	-88,6	-72,8	-	-	-	-	-86,2	-88,2	-	-	-	-
δ ¹⁸ O ‰	-12,53	-12,39	-10,5	-10,16	-10,42	-10,32	-9,94	-12,18	-12,27	-10,38	-9,90	-9,20	-10,99

Á Piper flokkunarlínuritinu á mynd 6 kemur vel fram að sýnin eru aðallega dæmigert alkali-bíkarbónatvatn, en einnig er alkali-klóríðvatn og kalsíum-bíkarbónatvatn.



Mynd 6. Piper línurit fyrir ferskvatn á NA-landi. Reikningar gerðir með forritinu AqQa (2005).

Það sem er dæmigert fyrir vatnið á svæðinu samanborið við ferskvatn í nágrennalöndum okkar er hversu efnasnautt og ferskt það er og með hátt pH. Þó allt vatnið á svæðinu sé basískt þá er pH almennt mun hærra á austurhluta svæðisins þar sem berggrunnur er yngri. Snefilefnainnihald sýnanna er mjög lágt. Almennt gildir fyrir öll ferskvatnssýni að styrkur allra snefilefna er mjög lágur og oft undir greiningarmörkum. 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 (Umhverfissráðuneytið, 2001). Styrkur kadmíums er nær ávallt innan næmnimarka greiningar og sama má segja um styrk kvikasilfurs. Þetta er ekki óeðlilegt miðað við grunnvatn á Íslandi sem er yfirleitt mjög lítið mengað af þungmálum og öðrum snefilefnum. Allt vatnið er prýðilegt neysluvatn þó það sé ólíkt að gerð.

11 AÐRAR AUÐLINDIR

Andrúmsloftið á svæðinu er ferskt og trúlega alveg ómengað, en það atriði hefur reyndar ekki verið sannað með mælingum. Mælingar hafa farið fram um nokkurt skeið á Akureyri en ekki er vitað um neinar slíkar mælingar í dreifbýli. Nauðsynlegt er að gera grunnmælingar á andrúmslofti vegna markaðssetningar á heilsutengdri ferðamennsku.

Aðgengi er gott að fersku og ómenguðu hráefni til matvælaframleiðslu. Ekki má gleyma því að jarðhitinn nýtist líka til matvælaframleiðslu og stuðlar að hagkvæmri fjölnýtingu jarðhitans (Hrefna Kristmannsdóttir o.fl., 2006). Þannig eru óvíða betri forsendur til fiskeldis en í Öxarfirði og möguleikar á að rækta þar ýmsar tegundir sjávarfangs, sem ekki hafa verið framleiddar áður á Íslandi (Hildur Vésteinsdóttir, 2006). Forsendur eru jafnframt til að rækta grænmeti og ávexti á svæðinu, bæði með jarðvegshitun og í gróðurhúsum.

Í Þingeyjarsýslum hefur verið horft til þess að byggja upp heilsuhótel til afslöppunar og endurhæfingar en þó ber einnig að athuga að máli skiptir fyrir ímynd svæðisins hvernig aðgengi er að lækniþjónustu og hversu góð og þróuð slík þjónusta er. Í því sambandi telst það til auðlinda, ef svo má að orði komast, að Fjórðungssjúkrahúsið á Akureyri er tæknivætt nútímasjúkrahús, sem vafalaust gæti veitt þjónustu sem nýttist heilsutengdri ferðaþjónustu á svæðinu. Öldrunarlækningar, sem nýta m.a. baðmeðferð eru þegar stundaðar á Kristnesi og því er þar hefð og reynsla. Heilbrigðisstofnun Þingeyinga er öflug og hefur burði til að þjóna stærri markaði, auk þess sem það mundi styrkja innviði stofnunarinnar.

12 ÁHUGAVERÐIR STAÐIR OG UPPBYGGING HEILSUTENGDRAR FERÐAÞJÓNUSTU

12.1 Eyjafjörður

Eins og fram hefur komið er mikið af jarðhita á nær öllu Eyjafjarðarsvæðinu og eru það allt lághitasvæði. Hitastig og afkastageta einstakra svæða er mjög mismunandi en mikið magn af heitu vatni er ónýtt á Eyjafjarðarsvæðinu. Þau svæði sem best eru rannsökuð eru vinnslusvæði hitaveitna og hefur nýting þeirra þar af leiðandi miðast við það. Þó er hægt út frá tiltækum upplýsingum að meta afkastagetu hvers svæðis einnig með tilliti til heilsutengdrar ferðaþjónustu. Nær allt vatnið á þessu svæði er gott vatn og tilvalið til nýtingar í sundlaugar og almenn böð. Mestallt jarðhitavatn á svæðinu er þó ferskt og efnasnautt og fellur ekki í flokk neinna heilsustaðla.

Ferskt kalt vatn á svæðinu er gott neysluvatn og tiltækt í talsvert miklu magni. Aðrir kostir Eyjafjarðarsvæðisins eru góð almenn þjónusta, mjög góð heilsugæsla og stórt sjúkrahús á staðnum. Góð reynsla er af nýtingu jarðhitavatns til endurhæfingar, þjálfunar og öldrunarlækninga á Kristnesi. Sundlaug Akureyrarbæjar er með þeim allra bestu á landinu og reyndar má telja að hún sé þegar vísir að eins konar *Baðlandi*. Einnig er alþjóðaflugvöllur á svæðinu og þannig möguleiki á að fljúga beint til Akureyrar erlendis frá, með ferðamenn sem kæmu til að dvelja á heilsuhótelum á Eyjafjarðarsvæðinu eða í nágrannasveitarfélögum.

12.2 Þingeyjarsýslur

Svæðið sem Þingeyjarsýslurnar ná yfir er stórt og með fjölbreyttar jarðfræðilegar aðstæður og endurspeglast það í fjölbreyttri vatnsgerð á lághitasvæðunum og því að þar eru háhitasvæði. Hvað lághitasvæðin varðar eru eins og fram kom hér á undan nokkur svæði með vatn sem fellur undir heilsuvatnsflokkun. Uppbygging ýmiss konar heilsuferðaþjónustu kemur vel til greina á mörgum stöðum. Nú þegar hefur salt vatn af Húsavíkurhöfða verið nýtt til heilsubaða fyrir fólk með húðsjúkdóma með ágætum árangri. Húsavík er líka ágætlega staðsett með góða almenna þjónustu og mjög góða heilsugæslu, sem mögulega gæti verið í tengslum við heilsuferðaþjónustu. Einnig eru þar og á svæðinu umhverfis ágætis möguleikar til fjölbreyttrar afþreyingar og náttúruskoðunar. Fremur stutt er að fara þaðan að háhitasvæðum og möguleikar að nýta þau í tengslum við Húsavíkursvæðið. Ferskt fiskfang er vel aðgengilegt á svæðinu, bæði frá veiðum og fiskeldi. Einnig eru ferskar landbúnaðarvörur og möguleikar á ræktun grænmetis í gróðurhúsum. Mjög gott ferskvatn í miklu magni er á svæðinu.

Í Kelduhverfi og Öxarfirði er mikið um salt jarðhitavatn, allt frá nánast fersku vatni og upp í vatn með rúmlega þriðjungsseltu sjávar. Þar eru flestir sömu kostir og taldir voru upp fyrir Húsavík og raunar enn betri aðstæður hvað varðar matvælaframleiðslu, ferskvatn og náttúrufegurð.

Á háhitasvæðunum eru möguleikar á að búa til vatnsböð af mismunandi gerðum með íblöndun gufu í ferskvatn og nýtingar á affallsvatni. Háhitasvæðin í Þingeyjarsýslunum gefa þannig enn meiri möguleika á vatni sem flokka má sem heilsuvatn. Við suðu háhitavatns myndast gasrík gufa sem unnt er að nota til að búa til súrt vatn með því að leiða hana í ferskvatn. Þannig vatn myndast náttúrlega á háhitasvæðunum eins og þekkt er frá Víti í Öskju. Með blöndun affallsvatns og gufu og/eða ferskvatns má þannig fá fram vatn með mjög mismunandi eiginleika, sem gefur mikla möguleika við heilsuferðaþjónustu. Á háhitasvæðunum er jafnframt unnt á vinna hveraleir og jarðhitaútfellingar sem oft eru nýttar til baða og baðmeðhöndlunar. Á Námafjallssvæðinu er þegar hafin uppbygging á þessu sviði með jarðböðunum og miklir möguleikar á að halda henni áfram. Þar eru líka möguleikar á að nýta lághitasvæði eins og við Gautlönd. Vatnið þar er mjög basískt sem trúlega gæti hentað til einhvers konar baða.

13 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Uppbygging heilsutengdrar ferðaþjónustu fer mikið eftir því hvers konar ferðamönnum er ætlað að sækja þjónustuna, þ.e. hverjir markhóparnir eru. Norðausturland í heild gefur góða möguleika á alls konar heilsutengdri ferðaþjónustu. Vatnið þar er fjölbreytt, bæði jarðhitavatnið og ferskvatnið og aðrar auðlindir sem þarf til uppbyggingar eru tiltækar. Möguleikar á samnýtingu á mörgum þáttum milli mismunandi svæða kæmu vel til greina og væntanlega mætti miða uppbygginguna við marga mismunandi markhópa og síðan gætu mismunandi svæði sérhæft sig og lagað sig að þörfum einstakra markhópa. Mismunandi markhópar vilja mismunandi þjónustu, en hluti þjónustunnar eins og skoðunarferðir, náttúruferðir, matvælaframleiðsla og ferska loftið og vatnið er sameiginlegt.

Eftir er að kanna mikið af þeim þáttum sem snúa að markaðssetningu. Einnig er eftir að taka saman og rannsaka nánar nokkuð af þeim frumþáttum sem snúa að heilsutengdri ferðaþjónustu. Þar má nefna þætti eins og loftgæði og aðstæður svæða. Loftmælingar hafa farið fram á Akureyri, en ekki er vitað um fleiri staði á svæðinu og er það þáttur sem nauðsynlegt er að hafa gögn um vegna markaðssetningar.

Ljóst má vera að ógerlegt er að sinna þörfum mismunandi markhópa á sama stað þótt líklega sé unnt að samnýta ákveðna aðstöðu. Gera þarf ítarlega markaðsúttekt sniðna að mismunandi markhópum tengdum þeim möguleikum sem skilgreindir hafa verið til uppbyggingar á heilsuferðamennsku í byggðarlaginu. Þeirri markaðsúttekt þarf svo að fylgja eftir með því að vinna nokkrar mismunandi viðskiptahugmyndir sem mögulega gætu tengst á einhvern hátt. Þó tekið verði tillit til hefða mismunandi markhópa er æskilegt að byggja að hluta til á íslenskum hefðum. Verði rétt að verki staðið er það alls ekki fjarlægur draumur að á allra næstu árum muni uppbygging heilsuhæla og sérstakra baðlanda og stranda verða að veruleika, byggð á erlendri hefð og reynslu en með íslenskum blæ og sérstöðu.

14 HEIMILDIR

Agishi, Y., Ohtsuka, Y., Watnabe, I., Yabunaka, N. og Noro, H. 1996: 'Present features of medical balneology in Japan' Í Y. Agishi og Y. Ohtsuka (ritstj.) *Recent progress in medical balneology and climatology* Hokkaido: Hokkaido University Medical Library Series 34, 1-10.

Axel Björnsson 2005: 'Development of thought on the nature of geothermal fields in Iceland from medieval times to present' Í R. Horne og E. Okandan (ritstj.) *World Geothermal Congress*. Antalya: International Geothermal Association.

Axel Björnsson, Guðni Axelsson og Ólafur G. Flóvenz 1990: 'Uppruni og eðli jarðhitasvæða á Íslandi' *Náttúrufræðingurinn* 60, 15-38.

Axel Björnsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Sigmundur Einarsson 1980: *Jarðhitarannsóknir við Svalbarðseyri 1977-1979* Reykjavík: Orkustofnun. (Skýrsla: OS-80007/JHD03)

Axel Björnsson og Kristján Sæmundsson 1975: *Jarðhiti í nágrenni Akureyrar* Reykjavík: Orkustofnun. (Skýrsla: OS-JHD 75 57)

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* Reykjavík: Landsnet. (Skýrsla: LV-2007/075)

Árni Gunnarsson 1998: 'HNLFI wishes you well and means it', *Iceland business*, 2, 18.

Árni Hjartarson 1985: *Laugahlíð í Svarfaðardal-Jarðhiti* Reykjavík: Orkustofnun. (Skýrsla: OS-85086/JHD-45 B)

Árni Ragnarsson 2006: 'Orkunotkun á Íslandi' Í *Orkuþing* Reykjavík: Samorka, 45-58.

Bláalónsnefnd 1996: *Skýrsla Bláalónsnefndar heilbrigðisráðuneytisins* Reykjavík: Heilbrigðisráðuneyti.

Checchi og Company (1975). *Tourism in Iceland. Volume II: Technical Reports. Feasibility analyses of specific tourism projects and a tourism development program for the republic of Iceland* Washington: Checchi and Company/ The Architects Collaborative, Inc.

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

Fresenius W. og Kußmaul H. 1998: 'Einführung in die Chemie und Charakteristik der Heilwässer und Peloiden' Í W. Fresenius o.fl. (ritstj.) *Deutscher Bäderkalender* Gütersloh: Flöttmann Verlag 45-67.

Geptner, A. 2004: *Composition of clayey and silica deposits at the Theistareykir and Námafjall geothermal fields* Moskva: Geological Institute Russian Academy of Sciences.

- Geptner, A. 2005: *The depositional environments of clay matter at the active geothermal fields Theistareykir, Námafjall* Moskva: Geological Institute Russian Academy of Sciences.
- Geptner A., H. Kristmannsdóttir, J. Kristjánsson og V. Marteinson 2002: 'Biogenic Saponite From An Active Submarine Hot Spring, Iceland' *Clay and Minerals*, 50 (2), 174-185.
- Gestur Gíslason, Gunnar V. Johnsen, Halldór Ármannsson, Helgi Torfason og Knútur Árnason 1984: *Þeistareykir. Yfirborðsrannsóknir á háhitasvæðinu* Reykjavík: Orkustofnun. (Skýrsla: OS-84089/JHD-16)
- Guðmundur Ómar Friðleifsson 1989: *Jarðfræðipunktur um Hrísey 1989* Reykjavík: Orkustofnun. (Greinargerð GÓF/89-05)
- Guðmundur Pálmason. 2005: *Jarðhitabók: Eðli og nýting auðlindar* Hið íslenska bókmenntafélag: Reykjavík.
- Guðni Axelsson 1988: *Jarðhitasvæðið að Hamri í Svarfaðardal – Um afköst vinnsluhola Hitaveitu Dalvíkur* Reykjavík: Orkustofnun.(Skýrsla: OS-88053/JHD-11)
- Guðni Axelsson 1991: *Jarðhitasvæðið á Laugarengi í Ólafsfirði – Prófun og vatnsborðsspár* Reykjavík: Orkustofnun. (Skýrsla: OS-91012/JHD-03)
- Guðni Axelsson, Steinunn Hauksdóttir, Ólafur G. Flóvenz og Guðrún Sverrisdóttir 1999: *Hitaveita Akureyrar – Eftirlit með jarðhitasvæðum 1998 og horfur í orkubúskap veitunnar* Reykjavík: Orkustofnun. (Skýrsla: OS-99087)
- Halldór Ármannsson, G. Gíslason og T. Hauksson 1982: 'Magmatic gases in well fluids aid the mapping of the flow pattern in a geothermal system' *Geochim. Cosmochim. Acta*, 46, 167-177.
- Halldór Ármannsson, Hrefna Kristmannsdóttir og Magnús Ólafsson 1998: *Krafla - Námafjall. Áhrif eldvirkni á grunnvatn* Reykjavík: Orkustofnun. (Skýrsla: OS-98066)
- Halldór Kjartansson 1972: *Leirmyndanir í Dalasýslu og Þingeyjarsýslum. Lokaskýrsla um jarðfræðilega frumrannsókn* Reykjavík: Orkustofnun.
- Helgi Torfason 1989: *Hitaveita Siglufjarðar. Borun hitastigulshola í október 1988* Reykjavík: Orkustofnun. (Skýrsla: OS-89019/JHD-47)
- Helgi Torfason 1994 *Rannsóknir á jarðhita í Ólafsfirði 1993 og 1994* Reykjavík: Orkustofnun. (Skýrsla: OS-94031/JHD-17)
- Helgi Torfason 2003: *Jarðhitakort af Íslandi og gagnasafn um jarðhita* Reykjavík: Orkustofnun og Náttúrufræðistofnun Íslands. (Skýrsla: OS-2003/062, NÍ-03016)
- Hildur Vésteinsdóttir 2006: *Úttekt á jarðhita í Öxarfirði með tilliti til atvinnusköpunar Akureyri*: Háskólinn á Akureyri.
- Hotta, A. og Ishiguro, Y. 1986: *A guide to Japanese hot springs* Tokyo: Kodansha International.

Hrefna Kristmannsdóttir 1985: 'The Role of Clay Minerals in Geothermal Energy Research' Í N.A. Shaikh og N.G. Wik (ritstj.) *Proceedings of the Nordic Symposium. Clay Minerals-Modern Society*, Uppsala, 125-132.

Hrefna Kristmannsdóttir 2003: *Niðurstöður innan verkefnisins Vatnsauðlindir Íslands á efnasamsetningu jarðhitavatns og kalds neysluvatns í vatnsbólum Norðurorku Akureyri*: Háskólinn á Akureyri. (Skýrsla: HK-03/02)

Hrefna Kristmannsdóttir 2004: 'Chemical characteristics of potable water and water used in district heating systems in Iceland', Í Ragnheiður Inga Þórarinsdóttir (ritstj.) *Proceedings 13th Scandinavian Corrosion Congress*, Reykjavík

Hrefna Kristmannsdóttir 2004a: *Efnasamsetning kalds neysluvatns á Húsavík, vatns frá Húsavíkurhöfða og Hafralækjarskóla Akureyri*: Háskólinn á Akureyri. (Skýrsla HK-04/04)

Hrefna Kristmannsdóttir 2004b: *Sýnataka á heitu og köldu vatni til jarðefnafræðilegra mælinga. Verklegar leiðbeiningar fyrir námskeiðið Vatnafræði og gæði vatns VAG1103 Akureyri*: Háskólinn á Akureyri. (Skýrsla HK- 04/10)

Hrefna Kristmannsdóttir 2006: *Vinnslueiginleikar jarðhitavatns úr holu K-2 í Keldunesi Akureyri*: Háskólinn á Akureyri. (Skýrsla HK- 06/03)

Hrefna Kristmannsdóttir og Helga Rakef Guðrúnardóttir 2007: *Efnæiginleikar vatns í nokkrum minni vatnsveitum í Norðurþingi Akureyri*: Viðskipta- og Raunvísindadeild Háskólans á Akureyri. (Skýrsla TS0702)

Hrefna Kristmannsdóttir og Valur Klemensson 2007: *Grunnvatnsrannsóknir á Norðausturlandi. Skilgreining á grunnástandi og tillögur um framtíðareftirlit með hugsanlegum breytingum á grunnvatnsstraumum í kjölfar vinnslu á háhitasvæðum Reykjavík*: Landsvirkjun. (Skýrsla: LV 2007/086)

Hrefna Kristmannsdóttir, Halldór Ármannsson, Sverrir Þórhallsson, Helgi Torfason, Magnús Ólafsson, Hjálmar Eysteinnsson, Knútur Árnason, Benedikt Steingrímsson og Ásgrímur Guðmundsson 1995: *Umhverfisrannsóknir á þeim háhitasvæðum sem næst standa virkjun vegna stóriðjuáforma Reykjavík*: Orkustofnun. (Skýrsla: OS-95058/JHD-38 B)

Hrefna Kristmannsdóttir, Guðrún Sverrisdóttir og Kristján H. Sigurðsson 1996: *Efnasamsetning vatns og kísilleðu í Bláa lóninu á Reykjanesi. Styrkur þungmálma og helstu ólífrænna sporefna Reykjavík*: Orkustofnun. (Greinargerð HK/GSv/KHS-9605)

Hrefna Kristmannsdóttir, Ólafur Grímur Björnsson, Steinunn Hauksdóttir, Helga Tulinius og Hannes Hjálmarsson 2000: *Nýting jarðhita til ferðaþjónustu einkum með tilliti til baðlækninga Reykjavík*: Orkustofnun. (Skýrsla OS-2000/035)

Hrefna Kristmannsdóttir og Ólafur Grímur Björnsson 2003: 'Balneological prospects in Iceland using geothermal resources. Multiple Integrated Uses of Geothermal Resources' Í Ingvar Birgir Friðleifsson og Einar Tjörvi Elíasson (ritstj.) *Proceedings International Geothermal Conference IGC-2000, Reykjavík: Geothermal Association of Iceland*, 19-26.

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

Hrefna Kristmannsdóttir, Stefán Arnórsson, Árný E. Sveinbjörnsdóttir og Halldór Ármannsson, 2005: *Verkefnið Vatnsauðlindir Íslands. Lokaskýrsla um niðurstöður verkefnisins Akureyri*: Háskólinn á Akureyri. (Skýrsla HK- 05/04)

Hrefna Kristmannsdóttir, Sveinbjörnsdóttir, Á.E., og Sturludóttir, Á. 2005a: 'Geochemistry, Origin and Balneological Properties of a Geothermal Brine at Hofsstadir near Stykkishólmur, Iceland' Í R. Horne og E. Okandan (ritstj.) *World Geothermal Congress*. Antalya: International Geothermal Association.

Hrefna Kristmannsdóttir, Hildur Vésteinsdóttir og Elvar Árni Lund 2006: 'Jarðhiti í Öxarfirðisóknarfæri til atvinnusköpunar' Í *Orkuþing* Reykjavík: Samorka, 506-510.

Hrefna Kristmannsdóttir, Sveinbjörnsdóttir, Á.E. og Heinemeier, J. 2007: 'Evolution and origin of geothermal brines in Öxarfjörður NE Iceland' Í T.D. Bullen og X. Wang (ritstj.) *Water-Rock Interaction* London: Taylor and Francis Group, 223-227.

Hreinn Hjartarson, Runólfur Mack og Sigþór Jóhannesson 2002: *Orkuveita Húsavíkur. Fjölnýting jarðhita. Thermie verkefni nr. GE 321/98/IS/DK* Húsavík: Orkuveita Húsavíkur, VGK og Fjarhitun.

Jens Tómasson, Guðmundur Pálmason, Jón Jónsson og Sveinbjörn Björnsson 1969: *Jarðhiti við Húsavík*. Reykjavík: Orkustofnun. (Skýrsla Jarðhitadeildar Marz 1969)

Jón Hjaltalín Ólafsson 1996: The blue lagoon in Iceland and psoriasis. *Clinics in Dermatology* 14, 647-651.

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)

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)

Lúðvík S. Georgsson, Guðmundur Ómar Friðleifsson, Magnús Ólafsson og Ólafur G. Flóvenz 2000: 'The geothermal exploration of the Öxarfjörður high-temperature area, NE-Iceland' Í E. Iglesias o.fl. (ritstj.) *Proceedings World Geothermal Congress 2000 Japan*: International Geothermal Association, 1157-1162.

Magnús Ólafsson, Ólafur G. Flóvenz og Guðrún Sverrisdóttir 1989: *Jarðhiti í Bárðardal – Efnasamsetning, hiti og rennsli* Reykjavík: Orkustofnun. (Skýrsla: OS-89056/JHD-28 B)

Magnús Ólafsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Sverrir Þórhallsson og Axel Björnsson 2006: *Hitaveita Dalvíkur. Súrefnisupptaka í miðlunartanki á Brimnesborgum og tæring í veitunni á Árskógsströnd* Reykjavík: Ísor og Háskólinn á Akureyri. (Skýrsla: HK-06/01)

Orkustofnun 2008a: 'Orkuauðlindir' á: <http://www.os.is/jardhiti/>, skoðað 1.4, 2008

Orkustofnun. 2008b: 'Krafla' á: <http://www.os.is/jardhiti/krafla.htm>, skoðað 1.4, 2008

Orkustofnun 2008c: 'Námfjall' á: <http://www.os.is/jardhiti/namafjall.htm>, skoðað 1.4, 2008

Ólafur Grímur Björnsson 2000: *Baðlækningar læknávisindi og kúltúr*. Reykjavík: Orkustofnun. (Skýrsla: OS-2000/027)

Ólöf Harpa Jósefsdóttir og Hrefna Kristmannsdóttir 2005: *Jarðhitaauðlindir: Tækifæri til atvinnu- sköpunar og byggðaeftlingar - Framvinduskýrsla um möguleika Heilsutengdrar ferðaþjónustu á Norðausturlandi. I. Samantekt heimilda um jarðhitasvæði, flokkun og möguleika á nýtingu Akureyri: Háskólinn á Akureyri. (Skýrsla: HK-05/06)*

Samgönguráðuneytið 2000: *Heilsutengd ferðaþjónusta. Skýrsla nefndar um heilsutengda ferðaþjónustu* Reykjavík: Samgönguráðuneytið.

Stefán Arnórsson, Einar Gunnlaugsson og Hörður Svavarsson 1983: 'The chemistry of geothermal waters in Iceland II. Mineral equilibria and independent variables controlling water compositions' *Geochim. Cosmochim. Acta* 47, 547-566.

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

Umhverfiráðuneytið 2001: *Reglugerð 536/2001 um neysluvatn*.

Útflutingsráð Íslands og Orkustofnun 1994: *Ísland-Heilsuparadís í Norðri? Nýir möguleikar í ferðaþjónustu*. Reykjavík: Útflutningsráð Íslands og Orkustofnun.

Valgarður Stefánsson, Rúnar Sigfússon og Kristján Sæmundsson 1974: *Öflun heits vatns fyrir Nesbæi í Aðaldal*. Reykjavík: Orkustofnun. (Skýrsla: OS-JHD74 30)

Viggó Þór Marteinsson, Sigurbjörg Hauksdóttir, Cedric F.V. Hobel, Hrefna Kristmannsdóttir, Guðmundur Óli Hreggviðsson og Jakob K. Kristjánsson 2001: 'Phylogenetic Diversity Analysis of Subterranean Hot Springs in Iceland' *Applied and Environm. Microbiol*, 67(9), 4242-4248.

Wedepol, K.H. (Ritstj.)(1969). *Handbook of Geochemistry*. Berlin: Springer Verlag.

Williams, L.B., Holland, M., Eberl, D.D., Brunet og Brunet de Courrou, L. 2004: 'Killer clays! Natural antibacterial clay minerals' *Min. soc. Bull*, 139, 3-8.

Örn D. Jónsson og Edward H. Huijbens 2005: 'Félagsvist heita vatnsins' Í I. Hannibalsson (ritstj.) *Rannsóknir í Félagsvísindum VI*. Reykjavík: Félagsvísindastofnun Háskóla Íslands, 577-592.

15 VIÐAUKI I: AÐFERÐIR VIÐ SÝNATÖKU VATNS OG EFNAGREININGU

15.1 Framkvæmd sýnatöku

Sýnin voru tekin samkvæmt reglum um sýnatöku til nákvæmra jarðefnafræðilegra greininga (Hrefna Kristmannsdóttir, 2004b). 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 (Mynd 7). Jarðhitasýni úr borholum voru kæld undir þrýstingi við sýnatöku í kælispiral úr ryðfríu stáli. Sýnin voru síuð með 0,2 μm síu í síuhaldara úr tefloni. Við sýnatöku á sýnum til málm- og snefilefnagreininga voru notaðir einnota latexhanskar, svo og við sýringu sýnanna. Sýra til sýringar var sérhreinsuð og háhreinn fullmettuð HNO_3 og var skammtað með einnota pípettuoddum.

Safnað var eftirfarandi tegundum sýna:

1. Í 300 ml glerflösku 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 (5-6 dropar af mettaðri kvikasilfurklóríðlausn settir í sýnið).
5. Í 200 ml sýrupvegna flösku, síuðu sýrðu sýni (**Fa**), sýrðu með með 1 ml af háhreinni, mettaðri salpétursýru (HNO_3) (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.

15.2 Mælingar

Rafleiðni er mæld í mörkinni með feltmæli af gerðinni YSI EC 300. Sýni til mælinga á pH, karbónati og rafleiðni með nákvæmari mæli, Cole Parmer, EC 1481-61 en í mörkinni (sýni nr. 1) eru eru látin standa yfir nótt á rannsóknarstofu og þá er mælt pH, basavirkni (alkalínitet)/karbónat og leiðni. Þessir þættir eru mældir við Háskólann á Akureyri og í sumum sýnum var einnig mælt klóríð, kalsíum og magnesíum.

pH er mælt beint í flösku- hrært í með segulhræru á meðan. Heildarstyrkur karbónats er mælt 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 CO₂ úr því. Títrað svo tilbaka (með 0,1 N NaOH) upp í ca. 8,3. Basavirkni og heildarkarbónat er einnig mælt með 794 Basic Titrino títrator (Mynd 10).

Anjónir 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 með selektróðu við sömu rannsóknarstofu.

Stöðugar samsætur, vetni, súrefni og kolefni 13 (¹³C) (í sýni nr. 3) eru mældar á massagreini Raunvísindastofnunar Háskóla Íslands og kolefni 14 (¹⁴C) (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), strontium (Sr) svo og efnin kísill (SiO₂), bór (B), og brennisteinn (S) voru mæld á ICP-AES tæki í Luleå (sýni nr. 5). Í þeim sýnum sem kalíum er í lægri styrk en 0,5 mg/L var það endurmælt með atómisogsaðferð til að fá meiri næmni.

Snefilefnin 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), kvikasilfur (Hg), jöð (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), titan (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.



Mynd 7. Sýnataka á lindarvatni. Allur helsti búnaður sést á myndinni, dæla, síuhaldari ílát o.fl.
Ljósmynd: Hrefna Kristmannsdóttir, 2007.



FERÐAMÁLASETUR
ÍSLANDS

APRÍL 2008