



ORKUSTOFNUN
Jarðhitadeild

Hrefna Kristmannsdóttir, Orkustofnun
Sigfús Johnsen, Raunvísindastofnun Háskólans

EYJAFJÖRÐUR

Efnainnihald og ísótópahlutföll
jarðhitavatns

OS81023/JHD14

Reykjavík, október 1981



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Hrefna Kristmannsdóttir, Orkustofnun
Sigfús Johnsen, Raunvísindastofnun Háskólans

EYJAFJÖRÐUR

Efnainnihald og ísótópahlutföll
jarðhitavatns

OS81023/JHD14
Reykjavík, október 1981



ÁGRIP

Í þessari skýrslu er fjallað um rannsóknir á efnainnihaldi og ísotópa-hlutfalli í jarðhitavatni í Eyjafirði. Rannsóknirnar eru liður í heild-arkönnun jarðhitasvæða á þessum slóðum. Sýni voru tekin úr öllum lindum á rannsóknarsvæðinu auk þess sem djúpsýni voru tekin úr nokkrum borholum til athugunar á dýpri hluta vatnskerfa viðkomandi jarðhitastaða. Tilgangur rannsókna var einnig að athuga neysluhæfni vatnsins og metahættu á útfellingum og tæringu.

Rannsóknarsvæðið nær frá Laugalandi á Delamörk í norðri suður að innstu laugum í Eyjafjarðardal. Auk þess eru Reykir í Fnjóskadal teknir með. Jarðhita í Eyjafirði sunnan Akureyrar er í umfjöllun þessari skipt á norðursvæði og suðursvæði. Norðursvæðið nær suður fyrir Grýtu að austan og suður að Stokkahlöðum að vestanverðu í dalnum.

Jarðhitavatnið í Eyjafirði er snautt af uppleystum efnum og sýrustig (pH) þess hátt. Á norðursvæðinu er lítill munur á jarðhitavatni hvað efna-innihald varðar og samkvæmt því virðist þar vera um eitt megin vatnskerfi að ræða. Á suðursvæðinu er meiri munur á vatni einstakra lauga og það virðist koma úr nokkrum aðskildum vatnskerfum.

Samkvæmt ísotópamælingum virðist allt jarðhitavatn á rannsóknarsvæðinu, að undanskildum Torfufells- og Hólsgærðislaugum, vera upprunnið í norð-vestanverðum Vatnajökli. Súrefnisísotópa-hlutföll í djúpsýnum úr borholum á norðursvæði benda þó til að einhver munur sé á heita vatninu af Laugalandssvæðinu og vatni af hinum vinnslusvæðunum.

Heita vatnið er yfirleitt vel hæft til neyslu. Einu undantekningarnar eru vatn úr Hólsgærðis-, Torfufells- og Mjaldmárdalslaugum sem er of flúor-ríkt til beinnar neyslu. Lítil hætta er á tæringu eða útfellingum í dreifi-kerfi hitaveitu við vinnslu vatnsins.

Á grundvelli rannsókna virðist álitlegast að beina vatnsleit að Garðs-árslaug og Mjaldmárdalslaug. Frumniðurstöður sýna að engar marktækar breyt-ingar hafa orðið á jarðhitavatninu að Laugalandi og Ytri-Tjörnum síðan vinnsla hófst þar.

EFNISYFIRLIT

	Bl.s.
ÁGRIP	3
EFNISYFIRLIT	5
MYNDASKRÁ	6
1 INNGANGUR (HK).....	7
2 AFMÖRKUN RANNSÓKNARSVÆÐIS (HK).....	9
3 NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA Á EFNAINNIHALDI VATNSSÝNA (HK).....	11
3.1 Almennar niðurstöður	11
3.2 Djúphitastig jarðhitavatns	15
3.3 Flúor	18
3.4 Klór, bór og klór/bór hlutfall (Cl/B)	21
4 VETNIS- OG SÚREFNISÍSOTÓPAHLUTFÖLL (SJ/HK)	23
4.1 ÓD í vatnssýnum	23
4.2 Ó18 í vatnssýnum	27
4.3 Niðurstöður ísotópamælinga	28
5 VINNSLUHÆFNI OG NEYSLUHÆFNI JARÐHITAVATNS (HK).....	31
6 VINNSLUEFTIRLIT Á JARÐHITASVÆÐUNUM (HK).....	33
7 HELSTU NIÐURSTÖÐUR (HK).....	34
HEIMILDASKRÁ	36
VIÐAUKI A Töflur 1 og 2	39
VIÐAUKI B Skýrgreining hugtaka	43
VIÐAUKI C Greiningaraðferðir	47

MYNDASKRÁ

	Bls.
1 Svæðaskipting jarðhitastaða í Eyjafirði	10
2 Kalkmettun jarðhitavatns í Eyjafirði	13
3a $\text{Log Na}^+/\text{H}^+$ á móti $1000/\text{T SiO}_2$ í jarðhitavatni í Eyjafirði ...	14
3b $\text{Log K}^+/\text{H}^+$ á móti $1000/\text{T SiO}_2$ í jarðhitavatni í Eyjafirði	14
4a Mælt hitastig í laugum á móti kalsedónhitastigi	16
4b Mælt vatnshitastig í borholum á móti útreiknuðu kalsedónhitastigi	16
4c Alkalífeldspatahitastig á móti kalsedónhitastigi lauga og borhola á Eyjafjarðarsvæðinu	17
4d Alkalífeldspatahitastig á móti mældu hitastigi í borholum á Laugalandi, Grísará og Botnslaug	17
5 Cl/F á móti t SiO_2 í jarðhitavatni í Eyjafirði	20
6 Cl á móti B í jarðhitavatni í Eyjafirði	20
7 δD á móti δ^{18} í jarðhitavatni í Eyjafirði	24
8 Yfirlitskort sem sýnir δD gildi í jarðhitavatni á Eyjafjarðarsvæðinu	25
9 Yfirlitskort sem sýnir δ^{18} gildi í jarðhitavatni á Eyjafjarðarsvæðinu	26
10 δ^{18} í vatnssýnum úr borholum í Eyjafirði	30

1 INNGANGUR

Árið 1977 var gerð allitarleg úttekt á efnainnihaldi jarðhitavatns á Eyjafjarðarsvæðinu og birtust niðurstöðurnar í skýrslu Orkustofnunar 1978 (Axel Björnsson o.fl. 1978). Síðan þá hefur vitnast um fleiri laugar á svæðinu og allmargar holur hafa verið boraðar. Ekki var aðstaða til mælinga á vetnis- og súrefnisísotópasamsetningu vatnsins 1977, en hefur fengist síðar. Í þessari skýrslu eru aðallega niðurstöður efnagreininga á vatni vegna jarðhitaleitar, og djúpkönnunar á einstökum svæðum. Einnig eru birtar frumniðurstöður vinnslueftirlits á Laugalandi- og Ytri-Tjarnasvæðinu. Í skýrslunni eru teknar með, auk nýrra efnagreininga, niðurstöður efnagreininga, sem gerðar voru 1977-1978. Er það gert vegna þess að sumar úrvinnsluáferðir hafa breyst og eru því línurit og myndir í skýrslunni frá 1979 að hluta úrelt og ekki alveg sambærileg við framsetningu í þessari skýrslu. Þá eru og birtar niðurstöður mælinga á ísotópahlutfalli í jarðhitavatninu, og er sú vinna samvinnuverkefni milli Orkustofnunar og Raunvísindastofnunar Háskólans.

Megintilgangur rannsókna á efnainnihaldi laugavatns við jarðhitaleit er að afmarka vatnskerfi, finna aðaluppstreymisrásir og meta hversu heitt vatn gæti fengist með borun á hverjum stað. Einnig er metið hvort vatnið er neysluhæft og hvort líkur séu á tæringu eða útfellingu í dreifikerfi. Rannsókn á vetnis- og súrefnisísotópahlutföllum miðar að því að kanna uppruna vatnsins á hverjum stað og greina mismunandi vatnskerfi á þeim grundvelli (Bragi Árnason 1976).

Eftir að borað hefur verið á jarðhitasvæði beinist rannsókn á borholuvatninu að því að meta nánar þá sömu þætti og metnir voru við rannsókn á laugavatninu og skera endanlega úr um neyslu- og vinnsluhæfni þess. Auk sýna af heildarrennsli er æskilegt að taka djúpsýni til efnagreininga og ísotópagreininga úr öllum vatnsæðum í hverri holu í þeim tilgangi að kanna hvort sama vatnskerfi fæði allar vatnsæðarnar.

Eftir að vinnsla er hafin á svæði er fylgst reglubundið með efnainnihaldi vatnsins, því breytingar vegna vinnslu geta sést á efnainnihaldi áður en hita- og þrýstingsbreytingar verða verulegar. Nauðsyn á slíku eftirliti og líkleg gagnsemi þess fer mjög eftir sérkennum svæðanna.

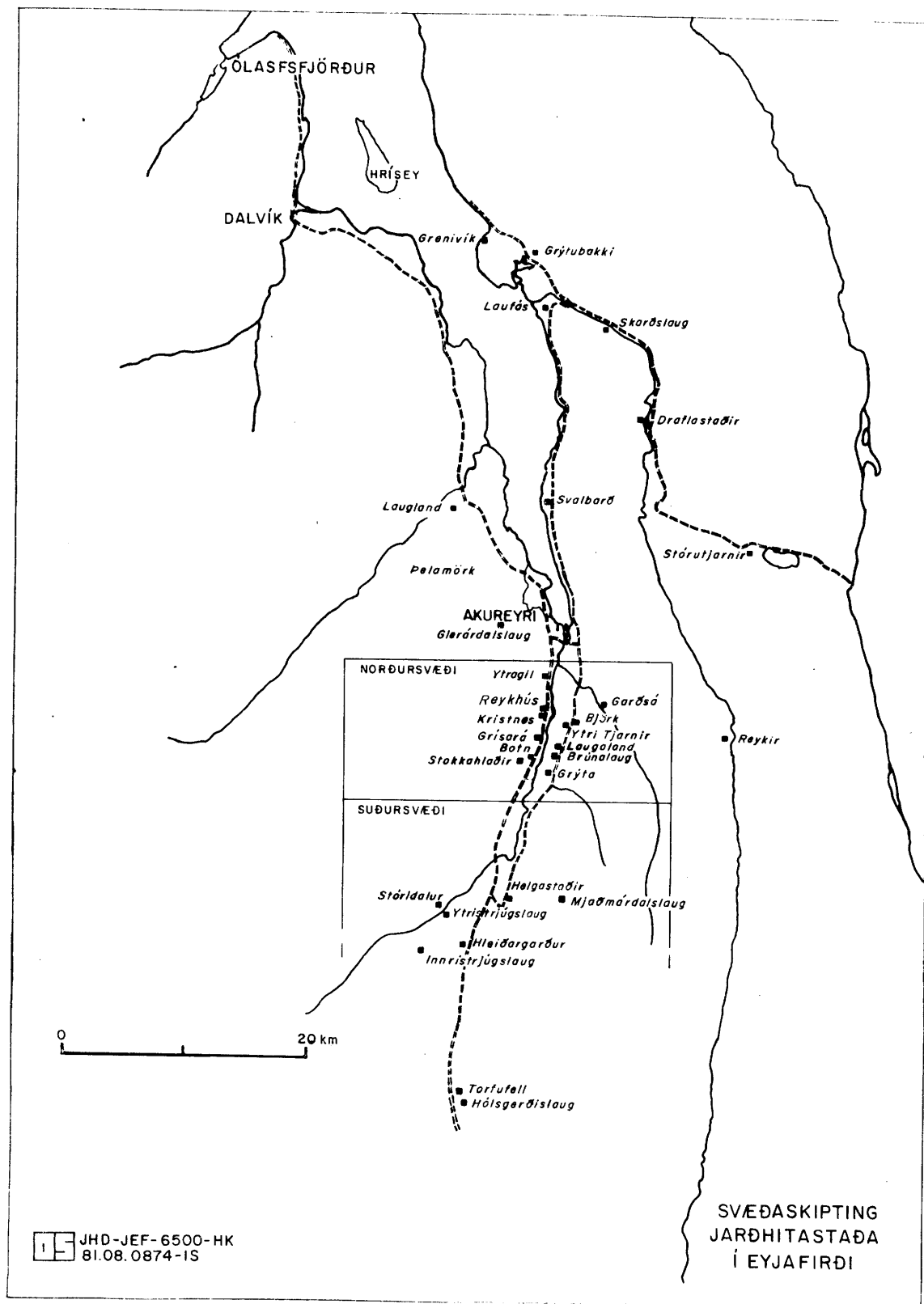
Í viðaukum við skýrsluna er skýrgreining á hugtökum, lýst efnagreininga- aðferðum og hvernig djúphiti er reiknaður í þessari skýrslu. Við útreikning á virkni efna í vatni og reikninga á djúphita var notað forritið Watch-2 (Stefán Arnórsson o.fl. 1981 og Hörður Svavarsson 1981).

2 AFMÖRKUN RANNSÓKNASVÆÐIS

Sýnum var safnað úr öllum þekktum laugum í Eyjafirði og úr borholum frá Laugalandi á Þelamörk að norðan og suður eftir Eyjafjarðardal bæði að vestan og austan. Einnig var tekið sýni á Reykjum í Fnjóskadal. Á síðustu árum hefur verið leitað að jarðhita fyrir flesta þéttbýlisstaði við Eyjafjörð og athuguð vatnssýni þaðan. Á yfirlitskortum í skýrslunni eru mæld ísotópahlutföll í sýnum frá ýmsum þéttbýlisstöðum við utanverðan Eyjafjörð tekin með til hliðsjónar, en ekki er fjallað um þessi svæði að öðru leyti í skýrslunni. Til að spara málalengingar eru skýrgreind heiti notuð um undirsvæði á rannsóknasvæðinu (sjá mynd 1).

Laugaland á Þelamörk, Reykir í Fnjóskadal og Glerárgil eru talin sérstök jarðhitasvæði.

Svæðið sem afmarkast af Ytragilslaug og Garðsárlaug að norðan og Stokkahláðalaug og Grýtulaug að sunnan er kallað norðursvæði. Á norðursvæði er sums staðar í umfjöllun skilið á milli austur- og vesturhluta og skilur Eyjafjarðará þar á milli. Til suðursvæðis teljast allar laugar sunnan við norðursvæðið, þ.e. Mjadmárdalslaug, Stóradalslaug, Helgastaðalaug, Hleiðargarðslaug, Ytri- og Innri-Strjúgsárlaug, Torfufellslaugar og Hólsgarðislaug.



MYND 1

Svæðaskipting jarðhitastaða í Eyjafirði.

3 NIÐURSTÖÐUR MÆLINGA Á EFNAINNIHALDI VATNSSÝNA

3.1 Almennar niðurstöður

Í töflu 1 í Viðauka A eru niðurstöður efnagreininga á uppleystum efnum í sýnum af jarðhitavatni úr Eyjafirði sem efnagreind hafa verið síðan skýrsla kom út síðast um svæðið (Axel Björnsson o.fl. 1978). Einnig eru í töflunni greiningar á sýnum teknum 1977 (með leiðréttu sýrustigi) og aðrar eldri greiningar sem notaðar eru í þessari skýrslu. Í töflunni eru sýnd tvö útreiknuð djúphitastig fyrir hvert sýni, kalsedón- og alkalífeldspatahitastig. Í fáeinum eldri sýnum er alkalífeldspatahita sleppt vegna vafasamrar greiningar kalíums. Í eftirfarandi köflum verður fjallað nánar um einstök efni, djúphitastig og ísotópahlutföll í heita vatninu.

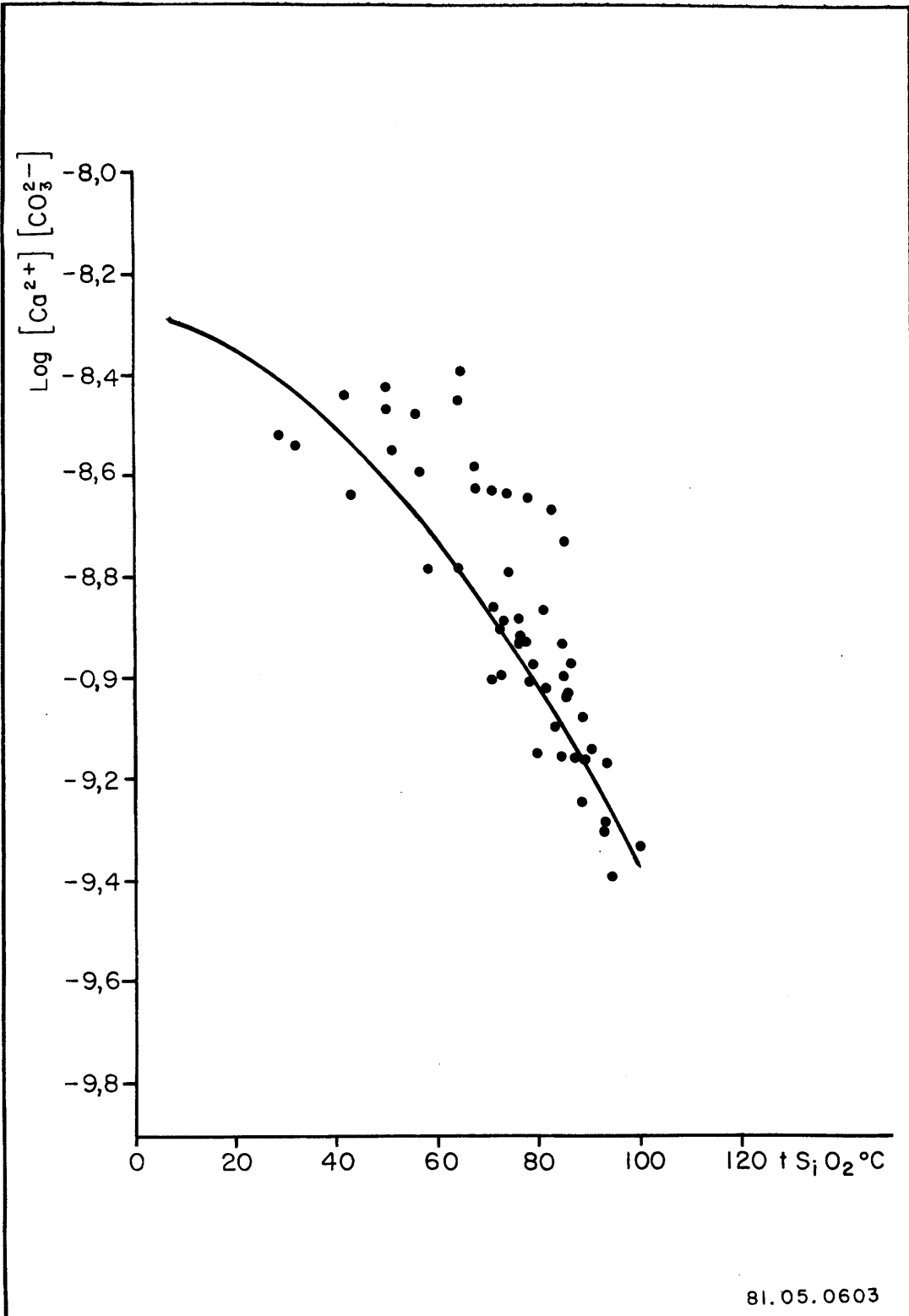
Almennt gildir um jarðhitavatnið að það er snautt af uppleystum efnum eins og algengt er um ósalt lághitavatn á basaltsvæðum og sýrustig (pH) þess er hátt. Þar sem heildarmagn uppleystra efna er mjög lítið í vatninu er mismunur í efnainnihaldi jarðhitavatsins oft svo lítill að hann er af sömu stærðargráðu og nákvæmni í mælingu efnanna. Torveldar það aðgreiningu vatnskerfa og krefst mikillar nákvæmni í meðhöndlun og efna- greiningu þessa vatns.

Jarðhitavatnið er yfirleitt nálægt kalkmettun miðað við kalsedónhita (sbr. mynd 2). Jarðhitavatn er nákvæmlega kalkmettað þegar það er í jafnvægi við berggrunninn og frávik frá því stafar af ójafnvægi eða ónákvæmni í greiningu. Allmörg sýnanna sýna talsverða reiknaða yfirmettun, einkum úr fremur köldum laugum með tregt rennsli, þar sem líkur eru á að kalkmettunarjafnvægi hafi breyst við upprennisli og kælingu. Djúpsýni úr borholum, sem tekin voru fyrir mitt ár 1979 sýna einnig oft yfirmettun af kalki sem líklega stafar af afloftun við sýnatöku. Djúpsýnatökutæki var síðan lagað 1979 þannig að mun minni hætta er á afloftun vatns við sýnatöku. Mörg þeirra djúpsýna, sem tekin voru árið 1979 reyndust hins vegar vera af kyrrstæðu vatni og sýndu merki hvörfunar við gel eða steypu. Þeim sýnum er sleppt í töflu 1 í Viðauka A. Þau sýni sem reiknast undirmettuð af kalki raða sér á feril (mynd 2) sem er samhliða kalkmettunarferlinum. Miðað er við kalsedónhitastig og reglu-

bundin skekkja í útreikningi þess (vegna of háa sýrustigs eða skekkju í kleyfnistuðli kísilsýru) gæti valdið frávikinu. Eins og vikið er að síðar er kalsedónhitastig í djúpsýnum frá Laugalandi og Gríсарá oft lægra en mældur hiti í vatnsæðum í holunum.

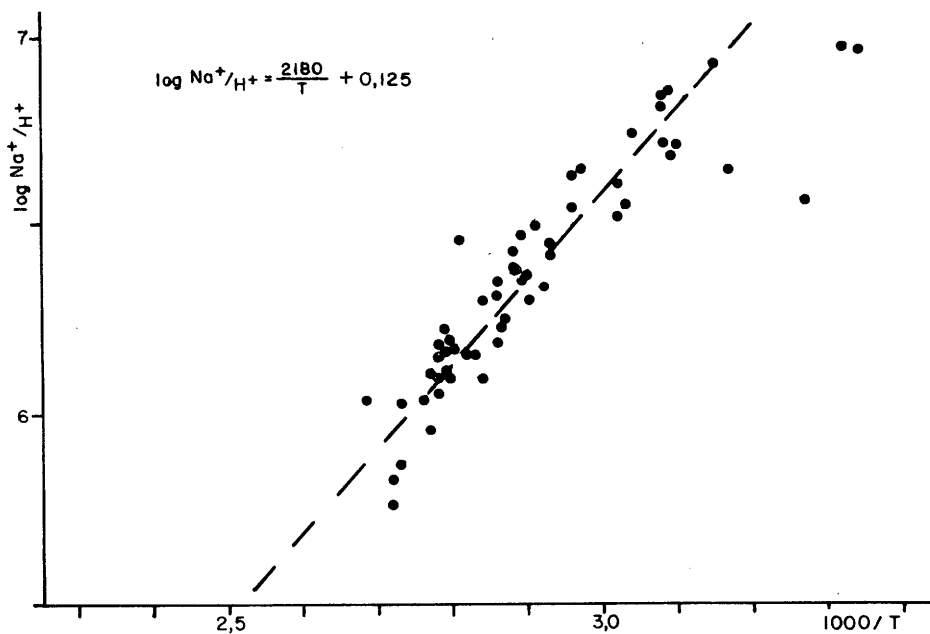
Á árinu 1979 voru tekin 14 djúpsýni úr borholum Hitaveitu Akureyrar í Eyjafirði. Sýnin voru úr nýjum holum á Laugalandi og Ytri-Tjörnum og einnig var tekið úr holu LJ-8 til að athuga, hvort sá munur í efnainnihaldi vatns í mismunandi æðum, sem þar kom fram í sýnum frá 1977, væri marktækur. Samtímis var eitt sýni tekið úr holu GG-1 á Gríсарá, á 1206 m dýpi, þar sem sýnataka 1977 var ófullnægjandi. Reiknað var með, að unnt væri að ná marktækum sýnum úr vatnsæðum í holunum þótt niðurdráttur hefði átt sér stað vegna vinnslu á svæðunum. Ekki var unnt að rennslismæla holurnar við vatnsæðarnar samtímis sýnatöku. Djúpsýnin voru tekin í tveim áföngum, í júlí og september 1979, en þau voru efnagreind í einum áfanga til að fá betri samkvæmni í niðurstöðum. Efnainnihald í sýnunum frá Laugalandi og Ytri-Tjörnum ber öll merki þess, að vatnið sé kyrrstætt. Sýrustig í sumum þessara sýna var um 11, sem er næst hæsta gildi, sem mælst hefur í vatni hérlendis. Sýrustigshækkunin og breytingar á magni katjóna miðað við efnainnihald djúpsýna frá 1977 eru einkennandi fyrir hvörfun vatns við borleðju eða steypu. Að athuguðu máli er talið að ísotópahlutfall δD og δ^{18} hafi ekki tekið marktækum breytingum í þessu vatni, en fjallað er sérstaklega um ísotópamælingar hér á eftir.

Logaritminn af virknihlutfalli katjóna og vetnisjóna í jarðvatni sem er í jafnvægi við berg sýnir línulegt samband við hitastig (sjá Pálmason o.fl. 1978). Þetta samband var athugað fyrir helstu katjónir í vatnsýnunum úr Eyjafirði (mynd 3a og b) og sýna þau því sem næst línulegt samband á milli $\log X^+/H^+$ og $1000/T$. ($X^+ = Na; K; \sqrt{Ca}; \sqrt{Mg}$). Örfá sýni úr köldustu laugunum sýna talsvert frávik frá meðallínu. Stærst er frávik í vatni úr laugunum við Helgastaði og Strjúgsá. Lega og halli línanna víkur smávægilega frá áður birtum niðurstöðum (Pálmason o.fl. 1978), en samræmi getur talist gott þar sem hér er athugað fremur þröngt hitabil.



MYND 2

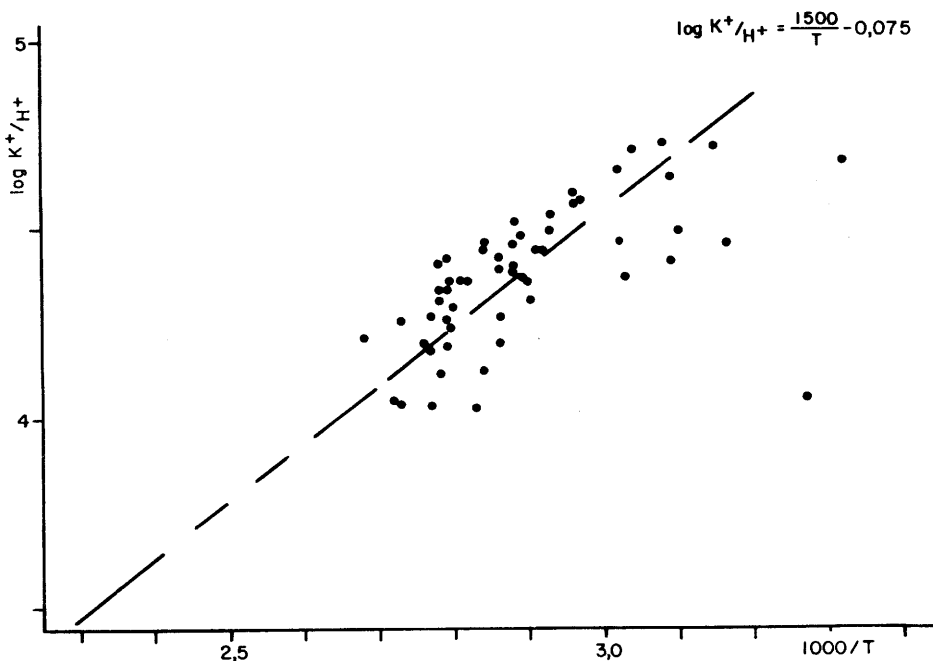
Kalkmettun jarðhitavatns i Eyjafirði.



81.05-0610

MYND 3 a

Log Na^+/H^+ á móti $1000/T \text{ SiO}_2$ í jarðhitavatni í Eyjafirði.



81.05.0609

MYND 3 b

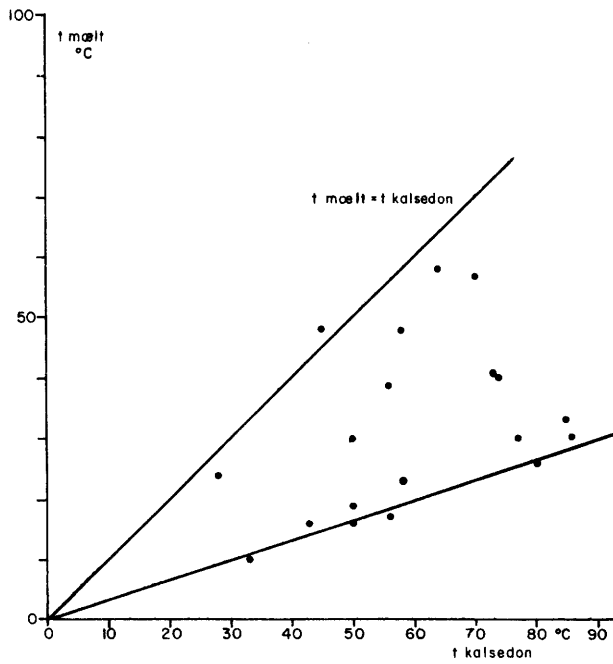
Log K^+/H^+ á móti $1000/T \text{ SiO}_2$ í jarðhitavatni í Eyjafirði.

3.2 Djúphitastig jarðhitavatns

Í Viðauka C eru skýrðar aðferðir notaðar við útreikning á djúphitastigi út frá efnainnihaldi vatns. Í töflu 1 í Viðauka A er sýndur samanburður á mældu hitastigi, kalsedónhitastigi og alkalífeldspatahitastigi. Ekki eru sýnd reiknuð gildi annarra efnahitamæla, þar sem þeir hafa ekki reynst nothæfir fyrir íslenskt lághitavatn enda verða þau efnahvörf sem þeir byggja á tæpast milli vatns og basalts við svo lágt hitastig.

Í töflunni eru tekin með endurskoðuð gildi fyrir sýni frá 1977, þar sem gildi birt í áður nefndri skýrslu frá 1978 (Axel Björnsson o.fl.) reyndust ónákvæm við síðari athugun. Í fyrsta lagi voru stuðlar sem útreikningur kalsedónhitastigs byggðist á ekki nógu ábyggilegir. Í öðru lagi reyndust mælingar á sýrustigi vatnsins vera rangar og hafa þær verið leiðréttar eftir því sem tók voru á. Þessir tveir þættir hafa áhrif á kalsedónhitastig, annar til lækkunar og hinn til hækkunar. Því eru breytingarnar frá því sem birt var 1978 í fáum tilvikum verulegar.

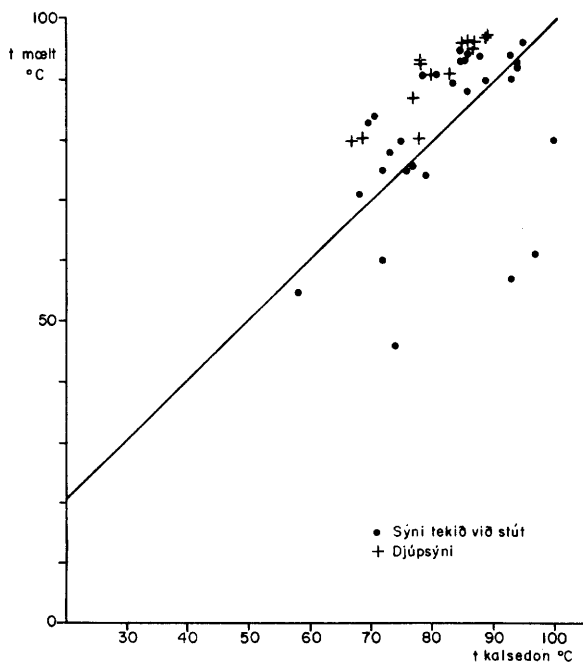
Bent skal á að kalsedónhitastig sýnir það lágmarkshitastig sem vænta má í jarðhitageyminum og óvissa á hitabilinu 30-90°C er vart undir $\pm 15^\circ\text{C}$. Á myndum 4a og 4b er sýndur kalsedónhiti á móti mældu hitastigi í laugum og borholum af öllu rannsóknarsvæðinu. Djúpsýni eru merkt sérstaklega og þar er hitastigið fengið frá hitamælingum í borholunni. Sé litið á laugarnar fyrst þá er mælt hitastig í öllum nema einni lægra en kalsedónhiti. Ekki eru til nægilega góðar upplýsingar um rennsli í öllum þessum laugum, en í flestum þeirra, þar sem mestu munar á mældu hitastigi og kalsedónhitastigi, er mjög lítið rennsli. Sé litið á samsvarandi línurit fyrir borholurnar mælist í nokkrum tilfellum lægra hitastig í holum en kalsedónhitastig. Öll þessi sýni eru úr grunnum borholum (≤ 1000 m). Um þriðjungur hinna punktanna falla nálægt jafngildislinunum og tveir þriðju ofan við hana, nálægt samsíða línu með mældu hitastigi um 10°C hærra en kalsedónhitastig. Öll djúpsýni falla ofan línunnar. Á mynd 4c er sýnt alkalífeldspatahitastig á móti kalsedónhitastigi í öllum sýnunum. Rúmur helmingur sýnanna gefur sama alkalífeldspatahitastig og kalsedónhitastig. Örfá falla neðan við, en öll hin ofan við línuna. Sýni ofan við línuna með kalsedónhitastig $\geq 70^\circ\text{C}$ eru úr borholum á Laugalandi, Gríсарárholunni og lauginni við Grýtu. Á



81.05.0601

MYND 4 a

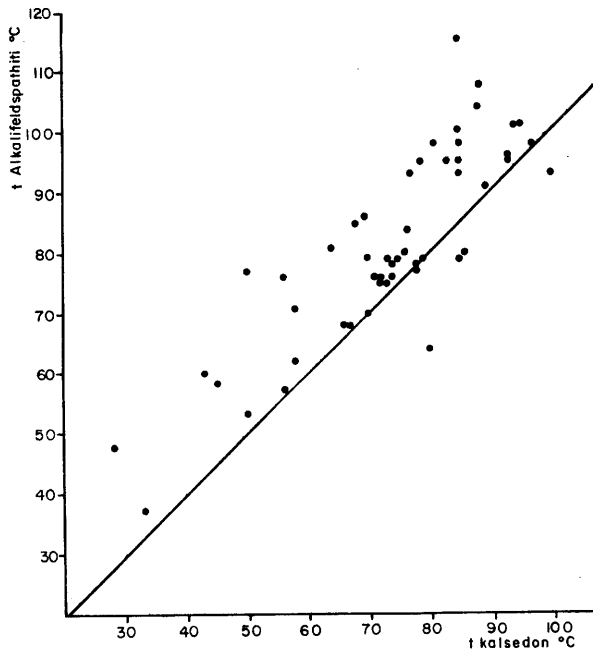
Mælt hitastig í laugum á móti kalsedónhitastigi.



81.05.0602

MYND 4 b

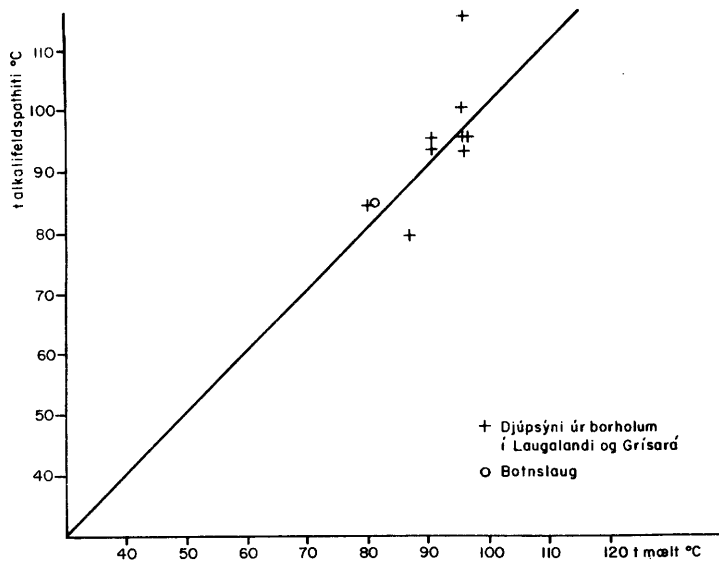
Mælt vatnshitastig í borholum á móti útreiknuðu kalsedónhitastigi.



81.05.0607

MYND 4 c

Alkalifeldspatahitastig á móti kalsedónhitastigi lauga og borhola á Eyjafjarðarsvæðinu.



81.05.0604

MYND 4 d

Alkalifeldspatahitastig á móti mældu hitastigi í borholum á Laugalandi, Grísará og Botnslaug.

Grísará og Laugalandi er kalsedónhitastig í borholunum lægra en mælt hitastig, en alkalífeldspatahitastig er jafnt eða hærra en mældur hiti (mynd 4d). Hin sýnin með kalsedónhitastigi $\leq 70^\circ\text{C}$ eru úr laugum við Strjúgsá, Ytragil, Hleiðargarð, Glerárgil og Botnslaug.

Við Botnslaug hefur nú verið borað og mælist hitastig við vatnsæðina í borholunni það sama og alkalífeldspatahitastig laugarinnar. Í sýni úr holustút HW-9 á Hrafnagili ber alkalífeldspatahitastigi hins vegar saman við kalsedónhitastig og er mælt hitastig í holunni 14°C hærra.

Í Glerárgili hefur verið borað nýlega og er hitastig við vatnsæð þar sama og kalsedónhitastig. Holan er grunn og vatnsæðin er á rúmlega 100 m dýpi, svo heitara vatn gæti verið á meira dýpi. Á Laugalandi gaf kalsedónhitastig laugavatns t.d. ekki vonir um heitara vatn en um 65°C . Efstu æðar í holunum þar voru um 60°C heitar og fyrst með djúpbörðun fékkst yfir 90 stiga heitt vatn. Efnagreiningin af laugavatninu þar er gömul og ekki nógu ábyggileg til að reikna út alkalífeldspatahita. Draga má þá ályktun af þessum gögnum að alkalífeldspatahitamælir gefi raunhæfar spár um djúphitastig vatns á Eyjafjarðarsvæðinu, a.m.k. ef djúphitinn er yfir 80°C .

Þar sem þetta er reynslubundin niðurstaða er ekki hægt að yfirfæra hana athuganalaust yfir á önnur svæði og hitabil. Fræðilegar forsendur alkalífeldspatahitamælisins standast vart við lághitaaðstæður. Þau hvörf sem stjórnin virkni natríum og kalíumjóna í vatninu eru önnur en þessi efnahitamælir miðast við. Jafnvægi við smektít og zeolít ræður í kerfinu en ekki jafnvægi við alkalífeldspöt. Hins vegar er um svipaða gerð jafnvægishvarfa að ræða í báðum tilfellum og gætu því jafnvægisferlarnir verið nær samfallandi. Ekki eru til varmafræðileg gögn til að reikna fræðilega jafnvægisferla fyrir raunverulegt jafnvægi til að sanna eða afsanna þessa ágiskun.

3.3 Flúor

Magn flúors í heitu vatni er aðallega háð gerð berggrunns sem vatnið hvarfast við. Flúormagn í bergi vex að jafnaði með kísilinnihaldi þar

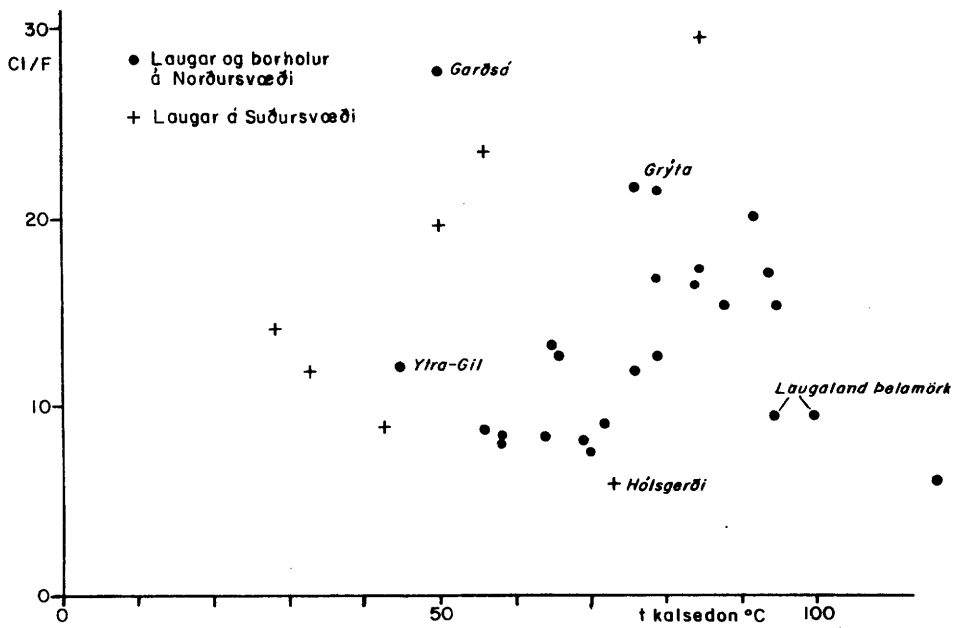
sem flúor gengur ekki inn í helstu frumsteindir storkubergs. Súrt berg er því mun flúorríkara en basalt. Heitt vatn, sem rennur um berggrunn úr súru bergi tekur upp mun meiri flúor heldur en þar sem berggrunnurinn er eingöngu basaltlög. Setlög, einkum sjávarset, eru oft flúorrík. Þau eru jafnframt mjög klórrík (klórríkari en súrt berg) og klór/flúorhlutfall í vatni sem hverfast við setlög verður því mun herra en í vatni sem hverfast við súrt berg, þótt flúormagn geti verið svipað. Klórmagn vex einnig í vatni sem hverfast við súrt berg, en mun minna en við hvörfun við sjávarsetlög.

Ekki er vitað hvaða flúorsteindir ráða jafnvægi flúors í lághitavatni héraendis. Flúorít og flúorapatít, sem eru með algengustu flúorsteindum, finnast yfirleitt ekki í basalti. Lághitavatn í Eyjafirði er undirættað með tilliti til þessara steinda.

Magn flúors í vatni úr laugum og borholum á Eyjafjarðarsvæðinu er sýnt í töflu 1. Fyrir norðurhluta svæðisins kemur fram mjög svipuð mynd og í fyrrnefndri skýrslu frá 1978 (Axel Björnsson o.fl.). Magn flúors er minnst á Laugalandi og eykst í allar áttir þaðan. Gögnin gefa ekki tilefni til að skilja austur- og vesturhluta þessa svæðis að. Garðsár- laug sker sig úr og fellur ekki inn á heildarmynd svæðisins.

Mjaðmárdalslaug og Hólsgerðis- og Torfufellslaugar á suðursvæði eru mjög flúorríkar. Hólsgerðis- og Torfufellslaugar eru nálægt Torfufellseldstöð og því líklegt að vatnið hafi hverfast við súrt berg. Jarðfræðilegar aðstæður eru ekki vel þekktar við Mjaðmárdalslaug. Klórmagn er þrefalt meira í vatninu þar en í Hólsgerðis- og Torfufellslaugum, sem gæti bent til setlaga í berggrunninum. Flúormagn í laugunum við Helgastaði, Hleiðargarð og Strjúgsár- laugum er 0,4 - 0,6 ppm eins og í norðurhluta Eyjafjarðar. Í Stóradalslaug er flúormagn 0,95 ppm. Flúormagn í Glerárgilslaugum er um 0,6 ppm eða svipað og hæstu gildi á norðursvæði. Á Reykjum í Fnjóskadal er heldur minna flúormagn eða svipað og á Ytri-Tjörnum og Grýtulaug. Verulegt flúormagn er í borholuvatni frá Laugalandi á Þelamörk, um 0,8 ppm.

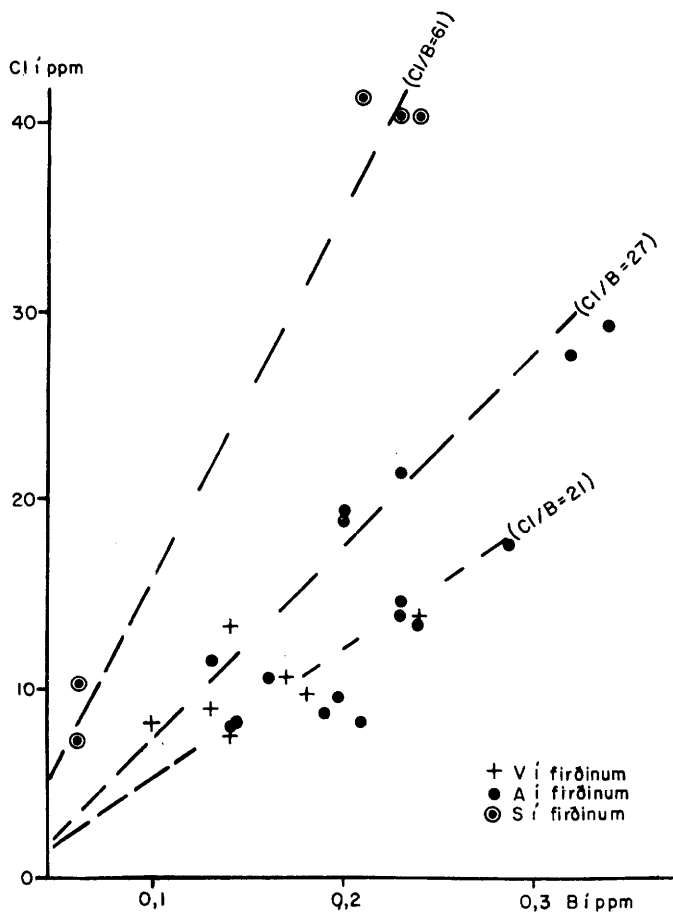
Á mynd 5 er sýnt klór/flúor hlutfall á móti kalsedónhita fyrir sýnin. Magn Cl er ekki hitaháð en líklegt er að magn flúors stjórnist af jafn-



81.05.0600

MYND 5

Cl/F á móti t SiO₂ í jarðhitavatni í Eyjafirði.



81.05.0606

MYND 6

Cl á móti B í jarðhitavatni í Eyjafirði.

vægi við steindir í berginu þótt undirnettun sé miðuð við flúorít og flúorapatít. Samband virðist vera á milli klór/flúor hlutfalls og kalsedónhita fyrir flest sýnin af norðursvæði en dreifing er þó talsverð. Sýni frá Garðsá, Ytragili, Grýtu og suðursvæði sýna ekki kerfisbundna dreifingu að því er best verður séð.

3.4 Klór, bór og klór/bór hlutfall (Cl/B)

Hlutfallið á milli styrks klórs og bórs í jarðhitavatni er heppilegt til að skilja á milli mismunandi vatnskerfa. Hvorugt þessara efna tekur neinn verulegan þátt í efnahvörfum við ummyndun bergs. Styrkur þeirra ræðst af útskolun úr bergi og upphaflegum styrk þeirra í úrkomu. Þótt vatnið sjóði eða kólni ættu upphafleg hlutföll þessara efna ekki að raskast. Íslenskt basalt er mjög klórsnautt og er styrkur klórs í vatni lítill nema við ströndina og þar sem sjávarsetlög eru í berggrunni.

Klór er mælt í öllum vatnssýnum, sem tekin eru til greiningar. Bór er hins vegar ekki meðal þeirra efna, sem mæld eru í hverju vatnssýni, sem tekið er. Ástæðan er fyrst og fremst sú að heppileg aðferð til bórgreininga hefur verið í þróun og er enn ekki komin á rútínustig. Bór var greint í öllum sýnum teknum 1979-1980 á efnarannsóknastofu Jarðhita-deildar Orkustofnunar. Einnig var mældur bór á Raunvísindastofnun H.Í. í sýnum, sem safnað var 1977. Notaðar voru mismunandi aðferðir við greiningu þessara sýnahópa og sést greinilegur munur í styrk á milli þeirra. Samkvæmni innan hvors hóps er hins vegar góð. Hluti af sýnunum frá 1977 var endurmældur með 1979/1980 sýnunum. Mæling á magni efna í lausn, sem staðið hefur í 3 ár í flöskum er fremur óörugg, þar sem flöskuveggir og sér í lagi grugg í vatninu getur sogað að sér efni úr vatninu. Munurinn, sem fékkst á milli mælinga frá R.H.Í. og OS var notaður til að endurreikna styrk bórs í fáeinum öðrum sýnum frá 1977 (mældum á R.H.Í.). Þau gildi sem þannig fengust voru mjög svipuð gildum í sýnum frá sama stað, sem safnað var 1979/1980 og mæld á OS. Þar sem reiknuðu gildin eru vel sambærileg við mæld gildi í sýnum frá sama stað eru þau tekin með í þeim tilvikum, sem ekki eru til nýrri sýni en eru merkt sérstaklega í töflu 1. Á mynd 6 er sýnt Cl á móti B fyrir jarðhitavatn í Eyjafirði. Á Laugalandi, Tjörnum og Grísará er um meðal-

gildi að ræða, en á öðrum stöðum annaðhvort eina gildið sem til er eða það nýjasta. Dregnar eru línur fyrir mismunandi Cl/B gildi (tölurnar eru atómhlutfall) sem falla nálægt punktadreifingunni. Á myndinni er skilið milli gilda frá vestur- og austurhluta norðursvæðis og suðurhluta Eyjafjarðar.

Meðal Cl/B gildi á norðurhluta rannsóknarsvæðisins er 23 ± 6 . Garðsár-
laug sker sig úr á þessu svæði með Cl/B = 33 og ekki sést munur á gild-
um frá vestur- og austurhluta Eyjafjarðar. Lindir frá suðurhluta svæð-
isins hafa hins vegar verulega frábrugðin gildi, 53 ± 9 . Ytri Strjúgs-
árlaug sker sig úr á þessu svæði með Cl/B = 36. Miðað við Cl/B hlutfall
kemur fram eitt aðalvatnakerfi í norðurhluta Eyjafjarðardals, en Garðsár-
laug virðist tilheyra öðru vatnskerfi. Þótt Cl/B hlutfall sé eins gæti þó
verið um fleiri vatnskerfi af svipuðum uppruna að ræða og þarf að athuga
fleiri jarðefnafræðilega þætti áður en endanleg ályktun er dregin. Í suður-
hluta dalsins eru vatnskerfi sem virðast jarðefnafræðilega aðskilin frá
meginkerfinu miðaða við Cl/B hlutfall. Líklegt er að suðursvæðið sé ekki
eitt vatnskerfi eins og síðar kemur fram í skýrslunni heldur fleiri og að
sama Cl/B hlutfall fáiist vegna svipaðra staðbundinna aðstæðna. Ísótópagögn
styðja einnig þá ályktun. Vatn úr Glerárdalslaug og borholum á Laugalandi
á Þelamörk hefur Cl/B hlutfall svipað og á norðursvæði. Í vatni frá Reykjum
í Fnjóskadal er Cl/B hlutfall um 33.

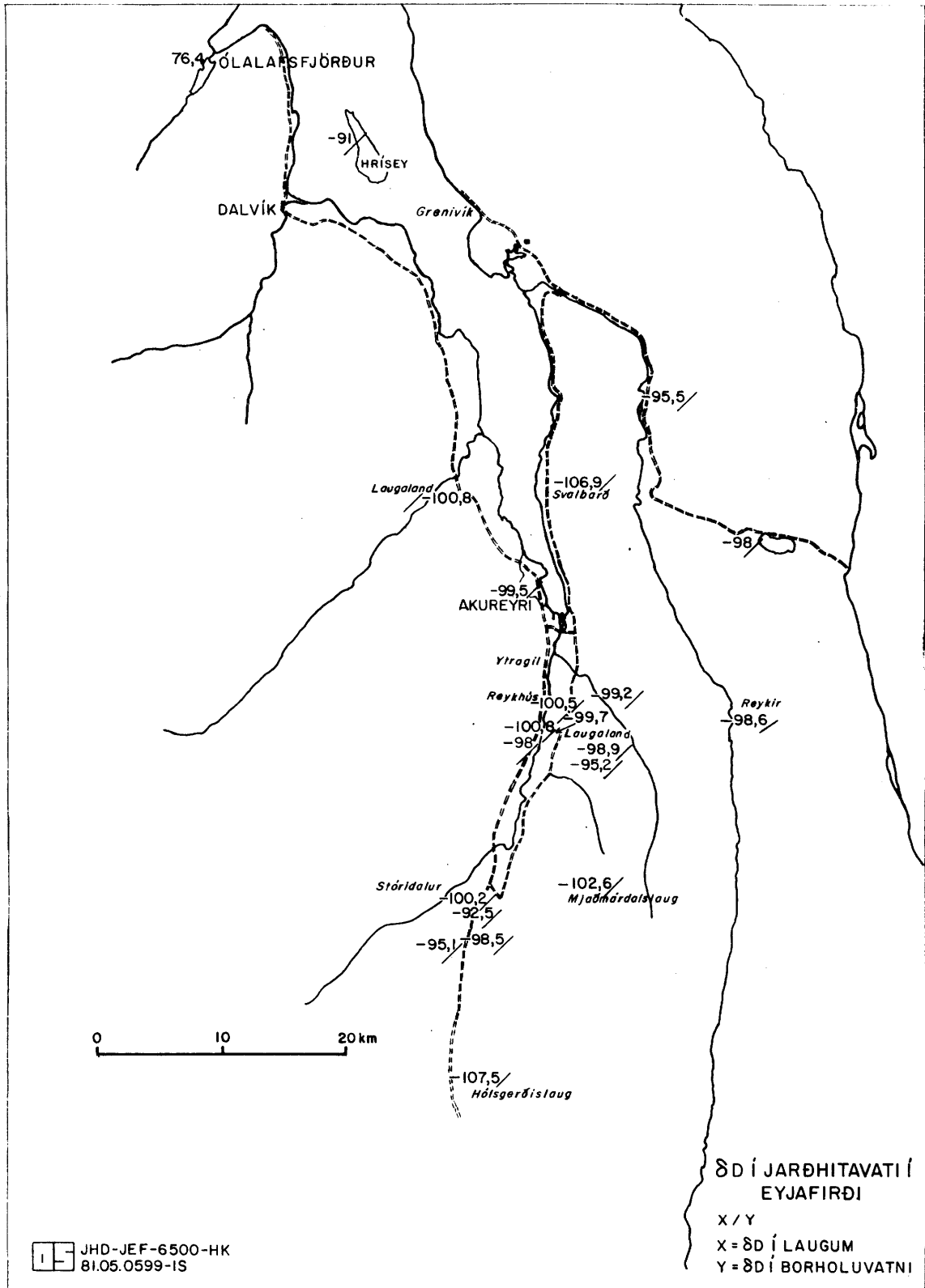
4 VETNIS- OG SÚREFNISÍSOTÓPAHLUTFÖLL

Á myndum 8 og 9 eru sýnd vetnis- og súrefnisísotópahlutföll í sýnum af jarðhitavatni í Eyjafirði. Vetnisísotópagildin eru flest af laugavatni nema á Grísará og Laugalandi í Öngulstaðahreppi og Laugalandi á Þelamörk eru gildi frá borholuvatni. Hluti af sýnunum var mældur á Raunvísindastofnun Háskóla Íslands en önnur eru tekin úr ritgerð Braga Árnasonar (1976). Öll súrefnisísotópagildin voru mæld á síðasta ári á ísotóparannsóknarstofu við Kaupmannahafnarháskóla, nema gildin frá Dalvík og Reykjum í Fnjóskadal, sem eru úr ritgerð Braga Árnasonar.

Á mynd 7 er sýnt δD á móti $\delta 18$ fyrir sýnin. Lína dregin gegnum punktana fellur nálægt meðallínu fyrir úrkomu á Norðurhveli jarðar. Nokkrir punktanna falla alllangt utan við bestu línu ("best-fit") fyrir Eyjafjarðarsýnin. Sýnin frá Reykhúsa-, Botnslaugar-, Laugalands-, Tjarnarsvæðinu sýna talsverða dreifingu í $\delta 18$, en svipuð gildi í δD . $\delta 18$ hlutfall var mælt í mun fleiri sýnum en δD hlutfall og eru gildin á kortinu meðaltöl allra mældra sýna. Sýnið úr Mjaðmárdalslaug fellur þó lengst frá bestu línu (best-fit) sem tengir sýnin af svæðinu og hefur það hlutfallslega herra $\delta 18$ en hin sýnin. Aukning á $\delta 18$ miðað við δD (oxygen shift) er algeng í háhitajarðhitakerfum (Ellis og Mahon 1977, Bragi Árnason 1976), en er alls ekki líkleg á svæðum eins og í Eyjafirði þar sem ekki er staðbundinn hitagjafi og hríngrás á vatninu. Hins vegar má benda á það að hlutfall δD og $\delta 18$ fyrir Mjaðmárdalssýnið liggur nær meðallínu fyrir úrkomu á Íslandi en hlutföll í öðrum sýnum á Eyjafjarðarsvæðinu og dreifing sem fellur milli meðallínu fyrir úrkomu á Norðurhveli og úrkomu á Íslandi verður að teljast innan leyfilegra marka.

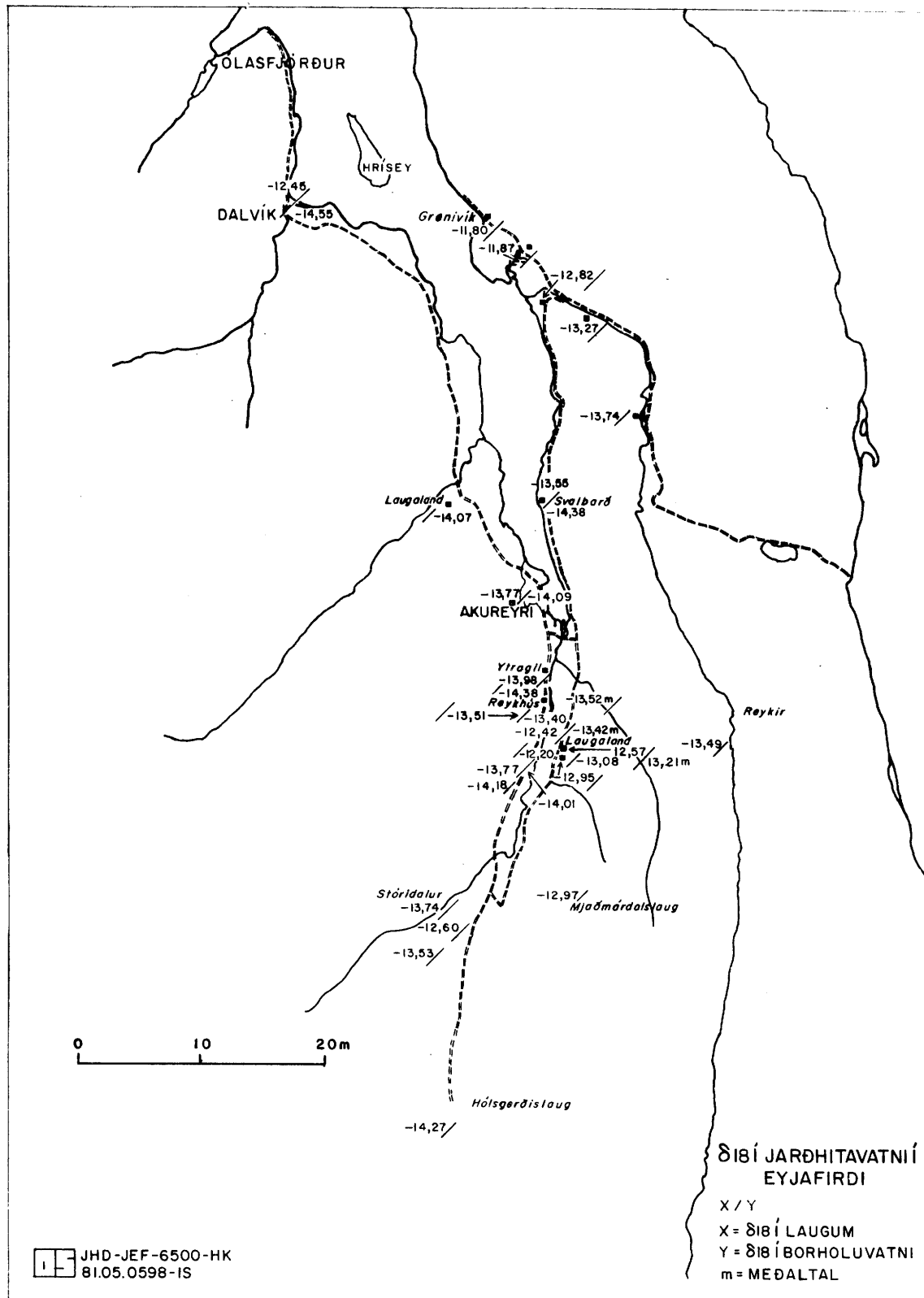
4.1 δD í vatnssýnum

Eins og kom fram í inngangi og sýnt er í töflu 2 (í Viðauka A) og á mynd 8 er δD í jarðhitavatni á Eyjafjarðarsvæðinu mjög lítið breytilegt. Meðalgildi sýna frá Laugalandi á Þelamörk og Svalbarðseyri að norðan að Hólsgarði að sunnan er $+99 \pm 4$. Þótt svæðið sé afmarkað við Eyjafjarðardal einungis fæst sama meðalgildi $+99 \pm 4$.



MYND 8

Yfirlitskort sem sýnir 8D gildi í jarðhitavatni á Eyjafjarðarsvæðinu.



MYND 9

Yfirlitskort sem sýnir 18 gildi í jarðhitavatni á Eyjafjarðarsvæðinu.

Einu sýnin á svæðinu sem skera sig marktækt úr eru sýnin frá Hólsgærði, Torfufelli og Stóradal. Sýnin frá Innri-Strjúgsárlaug, Brúnalaug og Hrafnagili eru í þyngra lagi miðað við önnur sýni, en frávikið er tæplega marktækt. Hrafnagilsgildið er meðaltal af tveim mælingum (+ 92 og + 98,7) og gæti herra gildið verið ónákvæm mæling. Vatnið í Mjaðmárdalslaug er í léttara lagi en frávikið er tæplega marktækt.

Á grundvelli þessara niðurstaðna er því dregin sú ályktun að allt jarðhitavatn á svæðinu nema vatnið í Hólsgærðis og Torfufellslaugum og Stóradalslaug geti haft sama uppruna. Miðað við tvívetriskort Braga Árnasonar (1976) er vatnið ættað frá NV-Vatnajökli. Vatnið í Stóradalslaug gæti hafa blandast staðbundnu grunnvatni, en óÐ hlutfall í Hólsgærðis og Torfufellslaugum verður ekki skýrt á þann hátt.

4.2 δ18 í vatnssýnunum

Flest gildin af δ18 í jarðhitavatni á Eyjafjarðarsvæðinu, sem sýnd eru á mynd 9 voru mæld sérstaklega vegna þessarar úttektar. Gildi fyrir jarðhitavatn á Dalvík og Reykjum í Fnjóskadal, sem sýnd eru á kortinu, eru þó úr ritgerð Braga Árnasonar (1976). Samhliða mælingum á δ18 í jarðhitavatni var hlutfallið mælt í sýnum úr köldum laugum við Grísará og úr Eyjafjarðará. δ18 er -11,65 að meðaltali í köldu laugunum og -12,59 í Eyjafjarðará. Þar sem sumar laugar á Eyjafjarðarsvæðinu hafa þornað við borun á svæðinu eru einu tiltæku sýnin úr þeim orðin talsvert gömul. Vegna niðurdráttar á vinnslusvæðunum er heldur ekki hægt að ná þar lengur marktækum djúpsýnum.

Ísotópasamsetning breytist tæplega við geymslu sýna í nokkur ár nema ef uppgufun verður. Séu sýni geymd í stórum, fylltum og vel lokuðum ílátum ætti ísotópasamsetningin því að haldast óbreytt. Sýnin sem mæld voru eru frá árunum 1976-1980 og eitt frá 1973. Þau voru geymd í 1 l plastbrúsum, sem fæstir voru fullir en taldir vel þéttir. Frá mörgum stöðum hafði einnig verið geymt sýni á 100 ml brúsum. Til að athuga hugsanleg áhrif geymslu voru greind bæði ný og gömul sýni úr sömu lauginni og sýni sem geymd höfðu verið í stórum og litlum ílátum.

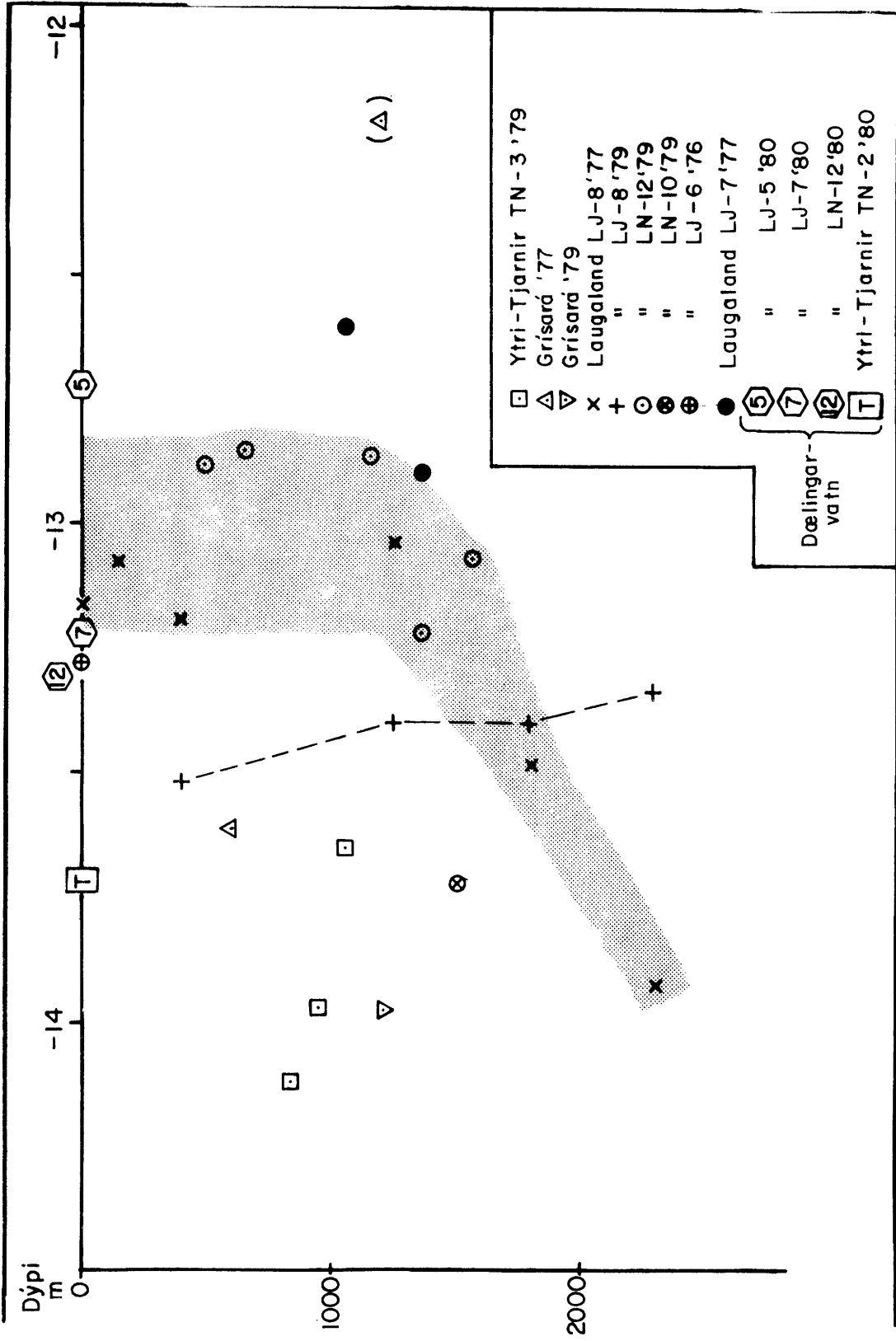
Nokkur frávik komu fram og einkum í sýnunum, sem geymd voru í litlu ílátunum. Sýnið frá 1973 reyndist verulega þyngra en sýni frá 1979 úr sömu laug. Að fengnum þessum samanburði eru því í þessari úttekt aðallega notuð gildi mæld í sýnum frá 1979 og 1980 og úrval sýna frá 1976 og 1977 sem geymd höfðu verið á tryggilegan hátt.

Meðalgildi δ^{18} í vatnssýnum úr laugum í Eyjafirði sunnan Akureyrar er $13,3 \pm 0,6$ ($n = 10$) en í laugum og borholum $13,3 \pm 0,5$ ($n = 17$). Meðaltal δ^{18} í vatnssýnum úr borholum á Laugalandi er $13,2 \pm 0,5$ ($n = 19$). Í austanverðum Eyjafirði er meðalgildi δ^{18} $13,2 \pm 0,5$ og í vestanverðum Eyjafirði $13,5 \pm 0,4$. Í suðurhluta Eyjafjarðar er $\delta^{18} m = 13,3 \pm 0,7$. δ^{18} gildi sýna því mjög lítinn breytileika í jarðhitavatni í Eyjafirði. Einungis vatnið í Hólsgerðis- og Stóradalslaugum sýnir marktækt frávik frá meðalgildi. Þessi sömu sýni höfðu einnig afbrigðilegt vetnisísotópahlutfall. δ^{18} í vatnssýni frá Mjaðmárdal sker sig ekki marktækt úr. Gildin sem sýnd eru á mynd 8 fyrir aðaljarðhitavæðin eru meðaltalsgildi margra sýna. Á mynd 10 eru sýnd δ^{18} gildi í öllum djúpsýnum sem tekin hafa verið í borholum á svæðunum ásamt nokkrum sýnum af dælingarvatni. Í sýnum ofan 1100 m dýpis og af dælingarvatni frá Laugalandi er δ^{18} um -13 . Í djúpsýnum neðan 1100 m lækkar hins vegar δ^{18} og er $-13,92$ í sýni frá 2300 m dýpi úr LJ-8. Sýni úr LJ-8 sem tekin voru á árinu 1979 þegar orðinn var niðurdráttur í holunni og vatnið kyrrstætt hafa hins vegar öll gildi sem liggja mitt á milli (um $-13,4$) og stafar það líklega af hringstreymi í holunni. Gildi frá Tjörnum og Grísará liggja öll á bilinu frá $-13,6$ til $-14,1$. Vatnið á Laugalandi er heitara en á Tjörnum og Grísará og ef vatnið næði að sjóða mundi δ^{18} hlutfall hækka. Hins vegar er hætta á suðu mest í vatni úr dýpstu æðunum og þar er δ^{18} hlutfallið lægra. Því er talið að þessi munur sé upprunalegur, en stafi ekki af fasabreytingum í vatninu.

4.3 Niðurstöður ísotópamælinga

Niðurstöður ísotópamælinga sýna að allt jarðhitavatn í Eyjafjarðardal nema Stóradals-, Hólsgerðis/Torfufellslaugar og Mjaðmárdalslaug, er líklega upprunnið af sömu slóðum frá norðvestanverðum Vatnajökli. Smávægi-

legur munur sést á $\delta 18$ gildum milli austurhluta og vesturhluta norðursvæðis í Eyjafirði, en hann er varla marktækur. Sé hins vegar litið á djúpsýni úr borholum á þessu svæði eingöngu kemur fram marktækur munur á milli vatns úr aðalvatnsæðunum á Laugalandi annars vegar og Tjarna- og Grísarársvæðanna hins vegar. Dýpri vatnsæðar (smáæðar) í borholum á Laugalandi hafa nær sama $\delta 18$ hlutfall og vatnssýni frá Tjörnum og Grísará. Í jarðhitakerfum eins og í Eyjafirði er talið ólíklegt að $\delta 18$ hlutfall í vatninu breytist á rennslisleiðinni vegna hvörfunar við berg. Því er dregin sú ályktun frá þessari athugun að borað sé í tvö eða þrjú vatnskerfi á aðaljarðhitasvæðunum í Eyjafirði.



MYND 10

81.05.0608

Þ18 í vatnssýnum úr borðolium í Eyjafirði.

5 VINNSLUHÆFNI OG NEYSLUHÆFNI JARÐHITAVATNSINS

Lítið hefur verið fjallað um vinnsluhæfni heita vatnsins í Eyjafirði í skýrslum til Hitaveitu Akureyrar. Ástæðan er sú, að vatnið á Laugalandi og Ytri Tjörnum hefur verið talið vel neysluhæft og lítil hættu á útfellingum og tæringu við vinnslu þess.

Í skýrslu OS, JHD "Borun við Syðra-Laugaland, Hóla LJ-5" (útg. apríl 1976) var fjallað um neysluhæfni vatnsins úr LJ-5. Bein umsögn um þennan þátt hefir ekki komið fram í skýrslum síðan, en sýni hafa verið tekin úr öllum nýjum holum með sjálfrennsli fljótlega eftir borun og vinnsluhæfni vatnsins metin.

Þau efni sem helst gætu fallið út úr vatninu, sem dælt er upp á Laugalandi/Ytri-Tjarna svæðinu eru kísill og kalk, en lítil líkindi eru til þess að kalkútfellingar verði í vatninu við þær aðstæður sem nú eru. Nokkrar kísilútfellingar gætu orðið í síum og krönum húsa þar sem rennsli er hægt en ekki í dreifikerfinu. Miðað við reynslu frá Hitaveitu Reykjavíkur, þar sem hiti vatnsins er svipaður eða hærri, er ólíklegt að þetta geti orðið mikið vandamál og ekki er veruleg hættu á að vatnið tæri leiðslur.

Miðað við staðla um drykkjarvatn, sem Heilbrigðiseftirlit ríkisins notar, er magn flúors í jarðhitavatni í Eyjafirði vel neðan hættumarka (0,8 - 1,7 ppm) og jafnvel lægra en æskilegt er talið. Undantekning frá þessu er þó vatn í Hólsgærðis- og Mjaldmárdalslaug þar sem magnið er 2-3 sinnum hærra en hættumörk. Brennisteinsvetni er 0,03 - 0,14 ppm sem er um eða heldur yfir hættumarki í drykkjarvatni (0,05 ppm). Brennisteinsvetni í Laugalandsvatni er þó tífalt minna en í vatni frá Reykjum í Mosfellssveit, sem notað hefur verið í áratugi í Reykjavík. Í vatni frá Laugalandi á Þelamörk er brennisteinsvetni meira en í öðru jarðhitavatni í Eyjafirði, en þó helmingi minna en í vatni frá Reykjum í Mosfellssveit. Magn klórs og súlfats í vatninu er langt neðan þeirra marka, sem talin eru óæskileg í drykkjarvatni. Sýrustig (pH) vatnsins er hærra en æskilegt er talið, en getur ekki talist hættulegt. Styrkur ýmsra efna sem talin eru óæskileg í drykkjarvatni eins og nítrats, arsens, blýs, kopars, sinks og járns hefur ekki verið mældur í vatninu.

Ekki hefur þótt ástæða til að mæla þessi efni, þar sem þekkt er frá sam-
bærilegu jarðhitavatni héraendis að magn þeirra er ávallt langt neðan
hættumarka.

Þar sem vatnið í Hitaveitu Akureyrar stenst að flestu leyti þær kröfur
sem gerðar eru til drykkjarvatns hvað varðar efnainnihald er óhætt að
fullyrða að það er nothæft til hvers konar iðnaðar og matargerðar og
getur ekki talist óhollt til drykkjar. Vatnið í sumum djúpsýnanna, sem
tekin voru í holum á Laugalandi og Ytri-Tjörnum haustið 1979, var hins
vegar bæði óneysluhæft og tærandi. Var þar um að ræða kyrrstætt vatn,
sem hafði hvarfast við borleðju eða sement í holuveggjunum. Slík sam-
setning vatns hlýtur að koma fyrir einungis í sjálfri holunni og í þor-
um fáa sentimetra út frá henni. Líklega væri þó öruggara að senda ekki
fyrstu 200 tonn af vatni (3 holufyllingar), sem dælt er úr holum eftir
langa hvíld, út í dreifikerfið. Þótt magn mengaðs vatns sé lítið getur
það orðið talsverður hluti (20-40% eftir dælingu) heildarvatnsmagns frá
svæðinu fyrstu klukkustundina, sem dælt er úr holunni.

6 VINNSLUEFTIRLIT Á JARÐHITASVÆÐUNUM

Þar sem vinnsla við Laugaland og Ytri-Tjarnir er að komast í end-
anlegt horf þótti rétt að koma á fastmótuðu kerfi til að fylgjast með
breytingum sem langtímavinnsla kann að hafa á jarðhitakerfið. Þessu
eftirliti er til að byrja með (fyrstu 2 árin) hagað á þann veg að tekin
eru sýni tvisvar á ári úr öllum vinnsluholum Hitaveitu Akureyrar.

Með tilliti til efnasamsetningar djúpsýna frá 1979 úr holum LN-12 og
LJ-8 var einnig lagt til í greinargerð OS í júní 1980 að tekin væru sýni
í byrjun dælingar úr holum, sem hafa verið kyrrstæðar lengi. Slík sýna-
taka gæfi upplýsingar um hvort sams konar hvörfun og varð í sýnunum frá
1979 ætti sér stað áfram og hversu langan tíma hún tæki.

Í apríl 1980 voru tekin dælingarsýni úr holum LJ-5, LJ-7, LN-12 og TN-2.
Í október 1980 voru tekin sýni úr LJ-5, LJ-7 og TN-4, en ekki var hægt
að komast í aðrar vinnsluholur. Niðurstöður mælinga á þessum fyrstu
sýnum (tafla 1) sýna að ekki hafa átt sér stað marktækar breytingar á
jarðhitavatninu á vinnslusvæðunum frá því að vinnsla hófst. Ekki hefur
enn gefist kostur á að taka sýni úr vinnsluholum í byrjun dælingar eftir
langa kyrrstöðu.

Í apríl 1980 voru tekin dælingarsýni úr holum LJ-5, LJ-7, LN-12 og TN-2.
Í október 1980 voru tekin sýni úr LJ-5, LJ-7 og TN-4, en ekki var hægt
að komast í aðrar vinnsluholur. Í maí 1981 voru tekin sýni úr LJ-5, 7,
LN-12 og TN-4. Niðurstöður mælinga á þessum fyrstu sýnum (tafla 1) sýna
að ekki hafa átt sér stað marktækar breytingar á jarðhitavatninu á vinnslu-
svæðunum frá því að vinnsla hófst. Ekki hefur enn gefist kostur á að taka
sýni úr vinnsluholum í byrjun dælingar eftir langa kyrrstöðu.

7 HELSTU NIÐURSTÖÐUR

Jarðhitavatn á norðursvæði er jarðefnafræðilega mjög svipað. Laugarnar við Garðsá og Grýtu skera sig þó úr þar sem tvöfalt meira af klór er uppleyst í vatninu. Garðsárlaus sker sig einnig úr heildarmyndinni hvað varðar flúormagn og Cl/B hlutfall. Ísotópaathuganir benda til að vatnið í Garðsár- og Grýtulaugum gæti verið upprunið í norðvestanverðum Vatnajökli eins og annað vatn á norðursvæði. Niðurstöður ísotópaathugana á vatnssýnum úr borholum benda þó til þess að vatnið í aðalvatnsæðunum á Laugalandi sé úr öðru vatnskerfi en aðalvatnsæðar á Ytri-Tjörnum og Grísará.

Á norðurhluta svæðisins er því eitt meginvatnskerfi, en líklega má skipta því upp í tvö eða þrjú undirkerfi. Djúphiti vatns úr Garðsárlaus er fremur lágur, en staðurinn gæti vegna legu sinnar nýst vel til vinnslu.

Á suðursvæði virðist vatn í laugunum koma úr nokkrum aðskildum vatnskerfum. Efnainnihald vatnsins í Mjaðmárdalslaus er mjög frábrugðið efnainnihaldi annars jarðhitavatns í Eyjafirði og sama er að segja um Hólsgerðis- og Torfufellslaugar. Samkvæmt niðurstöðum ísotópagreininga er laugavatn í suðurhluta Eyjafjarðar upprunið af sömu slóðum og í norðurhlutanum að undanskildu vatninu í Stóradals- og Torfufells-Hólsgerðislausum. Vatnið í Stóradalslaus er líklega blanda af vatni frá sömu slóðum og annað jarðhitavatn í Eyjafirði og staðbundnu grunnvatni, en vatnið í Torfufells- og Hólsgerðislausum á sér annan uppruna. Djúphiti í laugunum við Strjúgsá og Helgastaði er of lágur til að þær verði nýttar og er tæplega nógu hár í jarðhitavatninu í Stóradals- og Hleiðargarðslausum til að nein áhersla verði lögð á frekari rannsókn þeirra. Þessar laugar eru allar mjög langt frá vinnslusvæðum Hitaveitu Akureyrar. Hólsgerðis-Torfufellssvæðið er vænlegt hvað djúphita varðar, en svo afskekkt og langt frá þéttbýli að það verður vart nýtt þess vegna. Mjaðmárdalssvæðið hefur háan djúphita og lega þess er ekki mjög óhagkvæm til tengingar við vinnslusvæði hitaveitunnar. Allar niðurstöður þessarar rannsóknar mæla með frekari rannsókn þessa svæðis með yfirborðsmælingum og jafnvel tilraunaborun.

Glerárdalssvæðið er jarðefnafræðilega séð mjög svipað norðursvæðinu í Eyjafirði. Vegna legu þess er þó sennilega um sérstakt jarðhitakerfi að ræða. Þessi rannsókn bendir til að djúphiti á Glerárdalssvæðinu geti verið rúmlega 70°C.

Allt jarðhitavatn á norðursvæði, í Glerárdalslaug og á Laugalandi á Þelamörk er vel neysluhæft og ekki talin hætta á útfellingum eða tæringu við vinnslu þess. Flúormagn í Hólsgerðis- Torfufellslaugum og Mjaðmárdalslaug er of mikið til beinnar neyslu, en að öðru leyti er jarðhitavatn á suðursvæði neysluhæft.

Frumniðurstöður athugana á því vatni sem dælt er úr Laugalands og Ytri-Tjarnasvæðunum sýna að engar marktækar breytingar hafa orðið á því síðan vinnsla hófst.

HEIMILDASKRÁ

Axel Björnsson, Kristján Sæmundsson, Sigmundur Einarsson, Freyr Þórarinsson, Stefán Arnórsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Ásgrímur Guðmundsson, Benedikt Steingrímsson, Þorsteinn Thorsteinsson 1978: Hitaveita Akureyrar. Rannsókn jarðhita í Eyjafirði. Áfangaskýrsla. Orkustofnun, OSJHD 7827.

Axel Björnsson, Hrefna Kristmannsdóttir & Stefán Arnórsson 1976: Borun við Syðra-Laugaland. Hóla LJ-5. Orkustofnun, OSJHD 7628.

Bragi Árnason 1976: Groundwater systems in Iceland, Traced by Deuterium. Soc. Sci. Islandica, Publ. 42, 236 pp.

Dansgaard, W. 1961: The isotopic composition of natural waters. Meddelelser om Grønland, 165, 2. Copenhagen.

Ellis, A.J. and Mahon, W.A.J. 1977: Chemistry and geothermal systems. Academic Press, N.Y., 392 p.

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

Guðmundur Pálmason, Stefán Arnórsson, Ingvar B. Friðleifsson, Hrefna Kristmannsdóttir, Kristján Sæmundsson, Valgarður Stefánsson, Benedikt Steingrímsson, Jens Tómasson & Leó Kristjánsson 1979: sjá Pálmason, G., Arnórsson, S., Friðleifsson, I.B., Kristmannsdóttir, H., Sæmundsson, K., Stefánsson, V., Steingrímsson, B., Tómasson, J. & Kristjánsson, L. 1979.

Helgeson, H.C. 1969: Thermodynamics of hydrothermal systems at elevated temperatures and pressures. Amer. J. Sci., 267, 729-804.

Hrefna Kristmannsdóttir 1980: Athugun á efnainnihaldi jarðhitavatns í Eyjafirði. Orkustofnun, greinargerð H.K.-80/02.

Hörður Svavarsson 1981: Forritin "Watch 1" og "Watch 3". Hjálpartaki til túlkunar efnagreininga á jarðhitavatni. Leiðbeiningar fyrir notendur. Orkustofnun, OS81007/JHD03, 70 s.

Pálmason, G., Arnórsson, S., Friðleifsson, I.B., Kristmannsdóttir, H., Sæmundsson, K., Stefánsson, V., Steingrímsson, B., Tómasson, J. & Kristjánsson, L. 1979: The Iceland crust: Evidence from drill-hole data on structure and processes. Am Geophys. Union, Ewing Series, 43-65.

Stanton, R.E. and McDonald, A.J. 1966: The colorimetric determination of boron in soils, sediments and rocks with methylen blue. The Analyst, 91, 775-778.

Stefán Arnórsson, Sven Sigurðsson & Hörður Svavarsson 1981: The chemistry of geothermal waters in Iceland I. Calculation of chemical speciation. Í undirbúningi.

VIÐAUKI A

Tölur 1 og 2

TAFLA 1 Magn uppleystra efna í jarðhitavatni í Eyjafirði í ppm

No	t°C	pH/°C	SiO ₂	Na	K	Ca	Mg	CO ₂	SO ₄	H ₂ S	Cl	F	B	Uppleyst efni	Kalsedón hiti °C	Alkalífeldepata hiti °C
Laugaland Þel hola 1790105	80	9,62/21	129	60,6	1,54	1,80	0	25,5	32,1	0,46	14,8	0,84	0,23	265	100	93
- " - hola 5 800054	61	9,79/25	132,2	59,1	1,52	2,08	0	25,9	33,2	0,20	14,0	0,81	0,23	297	97	98
Glerárgil laug 690111	48	9,94/23	72	40,5	0,93	2,44	0,03	15,0	27,8	<0,1	7,5	0,6		209	58	91
- " - 790102	39	9,83/20	79	48,7	0,75	2,31	0	20,7	31,9	0,08	9,7	0,6	0,18	199	56	76
Glerárgil HY-5 810034	55	9,35/22	79,7	49,7	0,60	2,29	0,035	18,8	41,2	0,24	8,3	0,65	0,209	205		63
- " - HY-7 810091	54,7	10,0 /24	78,1	48,7	0,72	2,16	0,059	13,8	31,15	<0,1	8,8	0,60	0,190	218	58	71
Ytra-Gil laug 770182	48	10,04/22	61,0	51,5	0,53	2,92	0,015	18,5	36,1	0,11	14,0	0,62	"0,24"		45	58
- " - 810092	48	9,86/34	61,4	53,5	0,95	0,96	0,251	13,7	44,6	0	17,8	0,54	0,287	218	42	78
Reykhus laug 770176	75	9,84/23	93,9	56,1	1,04	2,21	0,003	22,9	41,1	0,13	13,4	0,61	"0,14"	236	76	80
- " - RWN-7 810087	75,4	9,87/23	94,3	55,2	1,10	3,67	0,005	10,6	47,6	<0,1	13,6	0,57	0,239	261	77	84
Kristnes laug 770177	60	9,85/23	88,4	50,7	0,84	1,92	0,002	24,4	34,4	<0,1	10,7	0,64	"0,17"	249	72	76
Grisará GG-1, stútur 770161	71	10,03/16	82,8	49,7	1,01	3,99	0,005	20,7	34,0	<0,1	7,5	0,62		213	68	85
- " - GG-1, 500m 770162	80	10,0 /16	82,8	49,8	1,0	3,84	0,013	20,6	32,9	<0,1	7,5	0,61		267	70	84
- " - GG-1, 1206m 770165	87	9,95/14	88,0	50,2	0,92	2,56	0,076	22,4	33,4	<0,1	7,5	0,64	0,17	243	78	78
- " - GG-1 790114	80	9,78/22	88,0	48,5	0,86	3,47	0,081	17,7	38,6	0	9,0	0,60	0,13	217	77	77
Hrafnagil HW-9 790058	84	9,93/24	95,0	54,0	0,80	3,10	0,02	24,2	45,1	0	9,2	0,61		236,7	71	70
- " - Botnslaug 770164	57	9,97/14	80,4	49,7	0,86	2,09	0,018	18,7	36,0	0,17	7,5	0,64	"0,14"	204	71	76
Botnslaug 790103	58	9,73/21	83,0	49,7	0,95	2,76	0	15,9	41,6	0,15	9,3	0,60	0,10	229	64	81
Botn HN-10 810088	82,7	9,83/24	81,3	48,6	1,02	3,48	0,004	11,6	43,3	<0,1	8,3	0,60	0,143	233	70	86
Stokkahláðalaug 810089	23,3	9,93/24	71,9	50,7	0,60	4,01	0,051	10,4	47,1	<0,1	9,7	0,63	0,196	225	58	62
Stóridalur laug 790097	17	9,59/18	59,0	60,5	0,68	6,70	0,22	17,8	30,0	0,07	41,5	0,95	0,21	197	56	58
Ytri Strjúgsárlaug 790099	24	9,72/21	38,0	32,4	0,27	1,58	0,023	20,2	9,0	0,07	10,3	0,4	0,06	114	28	49
Innri - " 790100	16	9,62/21,5	48,0	34,1	0,40	1,86	0,041	20,4	6,4	0,03	7,1	0,43	0,06	103	43	60
Hólsgerði laug 690114	42	9,76/24	81,0	71,0	1,18	5,84	0,06	8,5	66,2	<0,1	37,7	2,6		324	73	75
- " - 770181	46	9,72/21	80,6	80,3	1,4	3,73	0,015	25,5	63,6	<0,1	40,6	4,51	0,23	302	74	76
- " - 790098	40	9,51/21	82,0	83,0	1,53	6,05	0,004	21,7	76,7	0,14	40,5	3,16	0,24	305	74	79
Hleiðargarður laug 690113	16	9,92/24	64,0	45,0	0,78	2,57	0,03	26,0	17,3	<0,1	21,0	0,6		196	51	77
Helgastaðir laug 770169	10	9,60/22	29,7	32,8	0,18	2,28	0,038	26,6	11,2	<0,1	10,4	0,47	0,18	117	33	37
Mjadmárdalslaug 790096	33	9,20/21	81,0	132,3	2,45	13,7	0,12	14,6	107,4	<0,1	118,8	2,17	0,62	465	85	79
Grýtulaug 760051	30	9,55/18	92,0	60,6	1,30	4,1	0,01	30,4	65,7	<0,1	24,6	0,61		310	77	88
- " - 770168	30	9,62/22	91,5	75,2	1,35	3,24	0,005	34,5	56,9	<0,1	29,5	0,6	"0,34"	302	86	80
Laugaland LJ-5, stútur 760004	90	9,83/20	96,0	47,5	1,30	3,30	0,02	22,7	30,5	<0,1	10,8	0,36		244	82	98
- " - dælingarvatn 800040	93	9,58/21	101,8	54,8	1,47	2,73	0	17,5	38,0	0,07	11,1	0,35	0,12	248	94	101
- " - LJ-5 810086	89,5	9,81/23	101,6	51,9	1,16	2,39	0,006	13,6	34,0	<0,1	12,2	0,40		273	84	91
- " - stútur 770166	93	9,88/16	101,7	51,1	1,20	1,79	0,003	25,5	27,2	0,17	10,3	0,38		206	86	93
- " - " 770178	94	9,76/20	97,9	51,8	1,21	1,76	0,002	26,4	28,7	0,14	10,5	0,37	"0,16"	236	86	93
- " - 1050 m 770179	91	9,82/25	101,3	51,0	1,19	1,76	0,015	26,6	27,4	0,12	11,0	0,38		218	81	93
- " - 1360 m 770180	91	9,76/25	98,6	50,2	1,25	1,98	0,2	26,0	29,2	<0,1	11,0	0,36		230	83	95
- " - LJ-7 dæling 790044	93	9,68/20	96,5	51,0	1,46	2,88	0,06	17,5	38,9	0,09	11,3	0,39	0,14	248	88	104
- " - " 800041	94	9,63/18,5	100,4	55,0	1,38	3,15	0,02	19,3	37,1	0,07	11,7	0,36	0,13	249	93	95
- " - " 800153	94	9,77/21	102,0	50,9	1,50	2,79	0,004	18,0	38,1	0,06	11,6	0,43		242	88	108
- " - " 8100083	95	9,79/23	102,3	53,5	1,31	2,76	0,007	14,1	40,7	<0,1	12,3	0,38		256	85	95
- " - LJ-8 stútur 770167	88	9,84/20	105,6	55,3	1,35	2,10	0,003	26,4	35,5	<0,1	10,5	0,44	"0,17"	233	86	95
- " - " 150 m 770170	96	9,84/18	102,3	56,0	1,35	2,29	0,037	26,0	34,4	<0,1	10,6	0,44		270	87	93
- " - " 400 m 770171	96	9,82/21	104,6	55,8	1,37	2,20	0,020	27,5	35,9	<0,1	11,5	0,46		275	86	95
- " - " 1250 m 770172	97	9,78/20	106,2	55,8	1,37	2,24	0,08	27,3	36,3	0,03	10,3	0,44		276	89	95
- " - " 1800 m 770174	96	9,76/22	102,3	67,1	1,79	5,77	0,081	24,0	66,7	<0,1	17,3	0,41	0,19	296	87	100
- " - " 2300 m 770173	96	9,92/23	116,1	72,1	2,59	3,87	0,087	27,7	63,9	<0,1	13,8	0,53		304	85	115
- " - LN-12 dæling vatn 800039	96	9,60/19	101,9	55,3	1,54	2,96	0	17,5	38,2	0,03	10,8	0,38	0,14	256	95	101
Laugaland LN-12 810085	90,4	9,86/23	98,4	53,3	1,31	2,90	0,051	18,5	40,1	<0,1	13,2	0,33		250	79	95
Hólslaug borhola 730044	57	9,81/17	109,5	57,7	1,0	2,30	0,04	18,5	34,4	<0,1	11,2	0,3		254	93	
Ytri Tjarnir TN2-500m 790056	75	10,03/24	94,5	48,6	0,7	3,87	0,06	24,6	40,1	0	11,8	0,48		245,7	66	68
- " - " 900m 790057	84	10,04/24	94,0	48,9	0,7	3,63	0,14	22,2	40,4	0	11,7	0,50		-	66	68
" TN2 dælingarv. 800042	74,5	9,70/19,5	82,8	54,8	0,99	3,59	0	18,5	38,4	0,08	10,4	0,44	0,16	235	79	79
" TN4 dælingarv. 800155	80	9,95/21	92,3	53,2	0,96	3,60	0,006	13,3	43,0	0,09	11,4	0,47		223	75	79
- " - TN-4 810084	78,4	9,85/23	86,9	55,5	0,99	3,35	0,021	10,7	45,5	<0,1	13,5	0,43		253	73	79
Bjarkarlaug 770163	26	9,87/16	91,5	50,0	0,63	1,59	0,009	24,2	21,5	<0,1	8,0	0,48	"0,14"	184	80	64
Garósárlaug 770175	19	9,82/23	55,9	54,0	0,50	3,64	0,009	22,0	40,3	<0,1	21,6	0,4	0,23	204	50	53
- " - 790101	19	9,82/22	57,0	54,5	0,55	4,74	0,004	17,5	47,9	0,03	19,6	0,38	0,20	202	50	53
Reykir Fhjóskað. laug 800037	90	9,80/24	123,0	49,2	1,22	1,75	0	25,7	17,0	0,20	7,5	0,42	0,07	237	93	96

" " aðgreinir börmagn, sem reiknað er út, sbr. texta s. 21.

TAFLA 2 ÓÐ og Ó18 í jarðhitavatni

Staður	sýni nr	ÓÐ	Ó18	Staður	sýni nr	ÓÐ	Ó18	Staður	sýni nr	ÓÐ	Ó18		
Siglufljóður	*	+76,8		Hólsgerðislaug	790098	+106,4		Laugaland LN-12	655m	790074	+91,9	+12,85	
Ólafsfjörður h-1	*	+75,3		" - "	*	+107,5		" - "	1160m	790076	+93,3	+12,86	
" - h-8	*	+77,5		Torfuflélla	*	+107,0		" - "	1370m	790110	+95,2	+13,22	
Daivík, efsta uppspr	760083		+12,45	Helðargarðslaug	*	+98,5		" - "	1570m	790073	+93,1	+13,07	
"- h-10	770148		+14,55	Helgastaðalaug	770169		+12,23	Bjarkarlaug		770163		+12,42	
"- h-10	810082		+14,91	Mjadmárdalslaug	790096	+102,6		Ytri-Tjarnir TN-2		800042		+13,71	
Hrísey	*	+91,3		Brúnalaug	*	+95,2	+13,08	" - "	" - "	500m	790056	+13,92	
Laugaland, Del. h-1	790105	+101,6	+14,10	Laugaland, brunmur	760050		+12,97	" - "	TN-3	850m	790113	+103,4	+14,12
" - h-5	800054		+14,07	" - LJ-5	800040		+13,31	" - "	" - "	950m	790112	+102,2	+13,97
" - "	*	+100,0		" - "	800154		+13,48	" - "	" - "	1025m	790111	+99,1	+13,65
Glerárgiislaug	790102	+100,3	+13,77	" - LJ-7	810086		+13,57	" - "	TN-4	800155		+14,12	
Glerárgil GM-7	810091		+14,09	" - "	800041		+13,32	" - "	" - "	810084		+14,27	
Ytra-Giislaug	770182		+13,98	" - "	800153		+13,37	Garðsárlaug		770175		+13,49	
" - "	810092		+14,30	" - "	810083		+13,55	" - "	" - "	790101	+99,2	+13,55	
Reykhus, þró	770176		+13,40	" - "	770179		+12,60	Svalbarðslaug		*	+106,9	+13,95	
" - RMN-7	810087		+14,37	" - "	770180		+12,91	Svalbarðsáryri SN-1		790054		+14,27	
Kristnes	770177		+13,51	" - LJ-8	770167		+13,17	" - "	" - "	500m	790056	+13,92	
" - "	*	+100,5		" - "	770170		+13,08	" - "	" - "	620m	790055	+14,40	
Grísaró GG-1	500m	770162	+13,61	" - "	770171		+13,19	" - "	" - "	700m	790053		
" - " 1206m	790114	+100,8	+13,98	" - "	770172		+13,04	Grytubakkalaug		800053		+11,87	
Hrafnagil	*	+92,0		" - "	770174		+13,48	Grenivík, laug		800045		+11,80	
" - "	*	+98,7		" - "	770173		+13,92	Köld uppspretta		800044		+11,73	
Botnslaug	770164		+13,80	" - "	790116	+98,1	+13,52	Við Grísaró					
" - "	790103	+98,0	+13,72	" - "	790117		+13,40	Köld uppspretta		800045		+11,80	
Botn RMN-10	810088		+14,03	" - "	790118		+13,40	ofan Grísararþæjar		*	+98,6	+13,49	
Stokkahljóðir	810089		+14,18	" - "	790119		+13,34	Reykir í Fnjóskadal		*	+98,0		
Stóradaalslaug	790097	+100,3		" - "	790115	+99,5	+13,72	Stóru-Tjarnir		*	+95,5		
Ytri-Strjúgsárlaug	790099	+92,5		" - LN-10	1500m		+13,28	Draflastaðalaug		*		+13,74	
Innri-Strjúgsárlaug	790100	+95,1		" - LN-12	800039		+13,41	Skarðslaug		810072		+13,27	
Hólsgerðislaug	770181			" - "	810085		+12,88	Laufásalaug		810073		+12,82	

* Gildi frá Braga Árnasýni (1976).

VIÐAUKI B

Skýrgreining hugtaka

SKÝRGREINING HUGTAKA

Djúphiti

Djúphiti er það hitastig sem fæst með nálgunarreikningi út frá efnasamsetningu vatnssýnis teknu á yfirborði (í laug eða holutoppi). Miðað er við að vatnið hafi verið í jafnvægi við berggrunn og hafi ekki hvarfast í uppstreymisrásum og að engin efni hafi fallið út á leiðinni.

Efnahiti

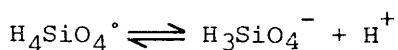
Styrkur og virknihlutfall efna í lausn er háð hitastigi og fyrir sum efni er til kvörðun miðað við hitastig. Slík kvörðun er ýmist reynslubundin eða byggð á rannsóknarstofutilraunum. Frá mældu magni og hlutfalli slíkra efna í jarðhitavatni má því reikna út djúphitastig vatnsins. Efnahitamælarnir gefa þannig til kynna líklegan vatnshita í jarðhitageyminum sem fæðir viðkomandi svæði. Engar ályktanir er hægt að draga um lekt, líklegt dýpi eða aðra staðsetningu jarðhitageymisins frá efnafræðilegum aðferðum eingöngu. Þeir efnahitamælar, sem notaðir eru til að reikna út djúphitastig í þessari skýrslu, er kalsedónhitastig og alkalífeldspatahitastig.

Útreikningur kalsedónhitastigs

Styrkur kísils í jarðhitavatni er mælikvarði á hitastig vatnsins og ræðst hann af uppleysanleika kísilsteinda. Í lághitavatni er miðað við uppleysanleika kísilsteindarinnar kalsedóns. Samband hitastigs og kísils er reiknað út samkvæmt jöfnunni:

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{1032}{4,69 - \log \text{SiO}_2} - 273,15 \text{ (Fournier, 1977)}.$$

Aðeins sá hluti uppleystrar kísilsýru sem er óklofin tekur þátt í jafnvægi við kísilsteindirnar. Við útreikning á þeim hluta kísils sem er óklofinn er stuðst við líkingarnar:



$$K_{H_4SiO_4} = \frac{(H^+) (H_3SiO_4^-)}{(H_4SiO_4^{\circ})}$$

$$-\log |H^+| = pH \text{ (sýrustig)}$$

$K_{H_4SiO_4}$ = kleyfnistuðull kísilsýru; | | :styrkur; () :virkni; γ : virknistuðull

$$(H_3SiO_4^-) = \frac{|H_3SiO_4^-|}{\gamma_{H_3SiO_4^-}} \quad ; \quad (H_4SiO_4^{\circ}) = |H_4SiO_4^{\circ}|$$

Útreikningur alkalifeldspatahitastigs

Virknihlutfall Na og K er miðað beint við hitaháð jafnvægi milli alkali-feldspata (mikroklíns og lágalbíts) í vatni: $KAlSi_3O_8 + Na^+ \rightleftharpoons NaAlSi_3O_8 + K^+$ samkvæmt gögnum frá Helgeson (1969).

Vinnsluhæfni

Með vinnsluhæfni er hér átt við hversu vel vatnið sé fallið til notkunar í hitaveitu, þ.e. hvort það tæri leiðslur eða hvort hætta sé á útfellingum í leiðslum eða krönum.

Neysluhæfni

Mat á neysluhæfni miðast við það hvort vatnið sé hæft til drykkjar, þvotta og til notkunar í matvælaíðnaði.

Ísotópahlutfall

Er gefið upp sem δ = aukning á þyngri ísotópum miðað við staðlað meðalgildi í sjó (SMOW). Gildin eru reiknuð út samkvæmt líkingunum:

$$\delta D^0/00 = \left(\frac{(D/H) \text{ sýni} - (D/H) \text{ SMOW}}{(D/H) \text{ SMOW}} \right) 1000 \quad \text{og}$$

$$\delta 18 = \left(\frac{(O^{18}/O^{16}) \text{ sýni} - (O^{18}/O^{16}) \text{ SMOW}}{(O^{18}/O^{16}) \text{ SMOW}} \right) 1000$$

Fjallað er um framkvæmd mælinga, staðla og nákvæmni mælinganna í ritgerð Braga Árnasonar (1976) og Dansgaard (1961).

Laug

Laug er í þessari skýrslu notað sem samheiti yfir náttúrulegt útstreymi á volgu eða heitu vatni. Oft er venja að skilja á milli linda og lauga eftir hitastigi vatnsins, en hér er allt vatn heitara en 4°C talið vera laugavatn.

Lindir

Uppsprettur með vatni sem er $\geq 4^\circ\text{C}$ heitt eru í þessari skýrslu kallaðar lindir (eða kaldar lindir).

Vatnskerfi

Hugtakið vatnskerfi hefur verið notað almennt í jarðhitarannsóknum um langt skeið, en þó virðist skilningur manna á því vera misjafn. Í þessari skýrslu er hugtakið notað um aðskilda rennslisleið, sem jarðhitavatn fylgir. Vatn í sama vatnskerfi er upprunnið á sama svæði á hálendinu og hefur fylgt sömu aðrennslisæðum á leið sinni til uppstreymisstaðar. Sé munur á ísotópahlutfalli vatns frá tveim stöðum hefur það fallið sem regn á mismunandi stöðum á hálendinu og ekki blandast á leið sinni til uppstreymisstaðar. Sé ísotópahlutfall frá tveim stöðum hið sama en efnainnihald mismunandi gæti það verið upprunnið frá sömu slóðum, en ekki hafa fylgt sömu aðstreymisæðum. Í báðum tilvikum er talað um að vatnið sé úr mismunandi vatnskerfum.

VIÐAUKI C

Greiningaraðferðir

GREININGARADFERÐIR

Greining sýna frá 1979 og síðar

Sýnum til mælinga á sýrustigi (pH) og rokgjörnum efnum var safnað í loftþétta gastúbu. Sýrustig (pH), koldíoxíð og brennisteinsvetni var síðan mælt í sýnunum innan tveggja sólarhringa. Koldíoxíð var ákvarðað með pH-títrun. Brennisteinsvetni var ákvarðað með títrun með kvikasílfuracetati og dithízon indikator. Alkalímálmur (Na,K) og jarðalkalímálmur (Ca,Mg) voru greindir með atomísogsaðferðum. Kísill var mældur með litrófsaðferð sem molybdat kompleks. Klór var greint með Mohr-títrun. Flúor var mælt með selektróðu. Súlfat var mælt með Thorin-títrun. Bór var mælt með litrófsmæli (staðferð aðferð Stanton & McDonald 1967). Viðnám vatnssýnanna var mælt með leiðnimæli við stofuhita. Heildarmagn uppleystra efna var mælt með því að hita 100 ml af sýni í teflondeiglu á sandbaði uns allt vatn var gufað upp og vega magn þurr-efna.

Greining sýna frá 1977

Eftirfarandi lýsing er stytting á greinargerð, sem Evar Jóhannesson og Sigurður Steinþórsson við Háskóla Íslands sömdu og fylgdi niðurstöðum þeirra greininga er þeir gerðu á jarðhitavatni úr Eyjafirði veturinn 1977 til 1978.

Sýrustig (pH) og hitastig var mælt á staðnum, sömuleiðis karbónat með títrun, og brennisteinsvetni í fáeinum sýnum. Sömuleiðis voru 9 sýni tekin sérstaklega, og H_2S bundið með zink-acetati, og síðan greint á Raunvísindastofnun.

Na, K, Ca og Mg voru greind með Atomic Absorption (AA). Allir staðlar voru útbúnir sérstaklega, og bornir saman við staðla frá SPEX.

Klór var títrað með $AgNO_3$ með selektróðu í stað indikators eins og í hinn hefðbundnu Mohrs-aðferð. Auk þess var klór mælt beint með selektróðu.

Flúor var mælt pótentiometrískt með F-selektróðu.

Súlfat var mælt túrbidmetrískt með kólorímetri. Blönduð hvarflausn (reagent):

25 ml glycerín
15 ml conc. saltsýra
50 ml ethyl alkóhól
20 g barium klóríð
36 g NaCl

fyllt í 200 ml með vatni, 0,5 ml af hvarflausn sett í mælistaukinn (selluna), 2 ml af sýni pípetteraðir saman við og hrist saman. Látið standa í 4 mín. og gagnsæi mælt á 420 nm. Borið saman við staðla 10, 20, 40, 80 ppm. Eimað vatn notað sem "blank" í einum stauk. Mæling þessi var gerð í eintaki, en þótti takast vel.

Brennisteinsvetni var títrað með jóð-aðferð.

Bór var mælt kólorímetrískt. Hvarfblanda (reagent):

1 l conc. H_2SO_4
45 ml Kinalizarín

10 ml af hvarfblöndunni pípetteraðir í plastglas. 1 ml af sýni bætt út í og hrært vel saman. Látið kólna, og gagnsæi lausnarinnar mælt á 620 nm. Borið saman við staðla 0,1, 0,2, 0,5 og 1,3 ppm. Lausn af 10 ml hvarfblöndu og 1 ml tvíeimuðu vatni notuð sem blindur í sellu 1.

Kísill var mældur með litrófsaðferð.

Þurrefni voru mæld þannig: 50 ml af lausn voru settir í skilvindu í 10 mínútur. 40 ml pípetteraðir í Ni-deiglu og þurrkað í þurrkofni. Látið kólna í desiccator, og deiglan vegin.

Viðnám lausnanna var mælt við 24°C með Griffin elektróðu nr. 1,46.