



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

## JARÐHITI Í KÖLDUKVÍSLARBOTNUM

Guðmundur Ómar Friðleifsson, Magnús Ólafsson  
og Jón Örn Bjarnason

Unnið fyrir Landsvirkjun

OS-96014/JHD-04

Mars 1996



**ORKUSTOFNUN**  
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 630 050

## JARÐHITI Í KÖLDUKVÍSLARBOTNUM

Guðmundur Ómar Friðleifsson, Magnús Ólafsson  
og Jón Örn Bjarnason

Unnið fyrir Landsvirkjun

OS-96014/JHD-04

Mars 1996

ISBN 9979-827-70-X

13649 11

## ÁGRIP

Jarðhitasvæðið í Köldukvíslarbotnum var kannað síðla sumars 1995, og birtast hér niðurstöður þeirrar forathugunar. Útbreiðsla jarðhitans á yfirborði var kortlögð, og sýni af gufu, vatni, bergi og jarðhitaútfellingum tekin til efnagreininga. Um leið var jarðhitasvæðið í Vonarskarði lauslega athugað.

Jarðhitasvæðið í Köldukvíslarbotnum er á ýmsan hátt mjög sérstætt meðal íslenskra háhitasvæða. Það er að mestu á kafi í aur, sem líkast til hefur fyllt upp gamalt vatnstæði. Skýr tengsl háhitakerfisins við unga eldvirkni og virk sprungukerfi er ekki að sjá, gagnstætt því sem venja er. Bein tengsl við háhitasvæðið í Vonarskarði sjást ekki heldur. Hugsanlega tengist jarðhitinn í Köldukvíslarbotnum eldvirkni í Bárðarbungukerfinu, en úr því fæst ekki skorið án frekari athugana.

Útbreiðsla virka jarðhitans bendir til þess að háhitasvæðið sé að minnsta kosti 10 km<sup>2</sup> að flatarmáli. Sé hins vegar miðað við öll jarðhitaummerki á yfirborði gæti stærð þess verið allt að 40 km<sup>2</sup>. Viðnámsmælingar gætu gefið nákvæmari mynd af umfangi kerfisins.

Af efnasamsetningu gass úr gufuaugum má ráða að hiti í jarðhitakerfinu í Köldukvíslarbotnum sé um 290°C, og um 305°C í Vonarskarði.

Helstu áhrif Hágöngumiðlunar á jarðhitasvæðið í Köldukvíslarbotnum yrðu þau að færa yfirborðshitann í kaf mestan hluta ársins. Hins vegar er ekki talið líklegt að fyrirhugað lón spilli jarðhitakerfinu sjálfu að ráði. Ætla má þó að lónið geri virkjun jarðhitans dýrari en ella.

Lauslegt mat á afli og orkugetu kerfisins bendir til þess að það geti skilað a.m.k. 90 MWe og 750 GWh/a, ef gengið er út frá því að flatarmál svæðisins sé 10 km<sup>2</sup>, en 360 MWe og 3000 GWh/a sé stærð þess talin 40 km<sup>2</sup>.

## EFNISYFIRLIT

ÁGRIP	2
TÖFLUSKRÁ	4
MYNDASKRÁ	4
1. INNGANGUR	5
2. JARÐFRÆÐI OG JARÐSAGA	5
3. JARÐHITI	10
3.1 Gamall jarðhiti	12
3.2 Virkur jarðhiti	13
3.3 Efnagreiningar á jarðhitaútfellingum og bergi	23
3.4 Jarðhiti í Vonarskarði	25
4. EFNASAMSETNING GUFU OG LINDAVATNS	26
4.1 Sýnataka	26
4.2 Niðurstöður efnagreininga	28
4.3 Efnahiti í jarðhitakerfi	30
5. UMHVERFISÁHRIF	31
6. ORKUGETA JARÐHITASVÆÐISINS	32
7. NIÐURSTÖÐUR OG TILLÖGUR	33
HEIMILDIR	34
VIÐAUKI A	36
VIÐAUKI B	38



## TÖFLUSKRÁ

Tafla 1. Efnasamsetning bergs og útfellinga	24
Tafla 2. Sýnatökustaðir	26
Tafla 3. Hnit sýnatökustaða	28
Tafla 4. Efnasamsetning gufu	29
Tafla 5. Efnasamsetning vatns	30
Tafla 6. Gashiti	31

## MYNDASKRÁ

Mynd 1. Jarðfræðikort af hluta Íslands	6
Mynd 2. Hæðarlínúmódel af hluta Íslands	9
Mynd 3. Jarðhitakort af Köldukvíslarbotnum	11
Mynd 4. Köldukvíslarbotnar frá Syðri-Hágöngu	14
Mynd 5. Köldukvíslaraurar og jarðhitinn	15
Mynd 6. Jarðhiti og Syðri-Háganga	15
Mynd 7. Jarðhitagufur í Köldukvíslarbotnum	16
Mynd 8. Hverasalt, járnútfellingar og gufuaugu	17
Mynd 9. Vatns- og leirhverir	17
Mynd 10. Hverasalt	18
Mynd 11. Slettur úr leirhver	18
Mynd 12. Safnað úr gufuauga	19
Mynd 13. Baðsíki við bakka Köldukvíslar	19
Mynd 14. Dreif af járnnoxíðútfellingum	20
Mynd 15. Sýnatökugryfja og mislitur leir	20
Mynd 16. Jarðhitastaður í Sveðjuhrauni	21
Mynd 17. Jarðhitastaður í Sveðjuhrauni	21
Mynd 18. Staðsetning sýna úr gufuaugum og lindum	27

## 1. INNGANGUR

Nú um hríð hefur Landsvirkjun haft á þrjónunum áform um að stífla Köldukvísl við Syðri-Hágöngu og gera þar lón, sem miðla á vatni til virkjana í Þjórsá og Tungnaá (Landsvirkjun og Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf, 1994; Landsvirkjun og Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen, 1995a). Verði þessum fyrirætlunum hrint í framkvæmd mun lónið færa í kaf jarðhita, sem er að finna á aurunum austan Hágangna. Gert er ráð fyrir að yfirfallshæð fyrirhugaðs lóns verði 816 m y.s. en lægsta vatnsborð 798 m y.s. Stærð lónsins við efri mörk verður mest 40 km<sup>2</sup>, en 10 km<sup>2</sup> við lægstu vatnsborðsstöðu (Landsvirkjun og Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen, 1995b). Jarðhitasvæðið á söndum Köldukvíslar er um og ofan við 800 m y.s. og kemur því hitasvæðið á þurrt við lægstu stöðu lónsins. Upplýsingar sem legið hafa fyrir um eðli og útbreiðslu jarðhitans þar eru fremur fátæklegar, enda hefur svæðið lítið verið rannsakað. Til að auka þar nokkru við, var í ágúst 1995 gerð könnun á útbreiðsla jarðhitans og tengslum hans við umhverfið, sýnum safnað af vatni, gufu og jarðhitaútfellingum, og fjölmargar ljósmyndir teknar í heimildaskyni. Niðurstöðum hefur verið lýst lauslega í greinargerð (Guðmundur Ó. Friðleifsson o.fl., 1995). Mynd 1 sýnir yfirlit af svæðinu og umhverfi þess, en hún er hluti af jarðfræðikorti í mælikvarða 1:500.000 (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1989).

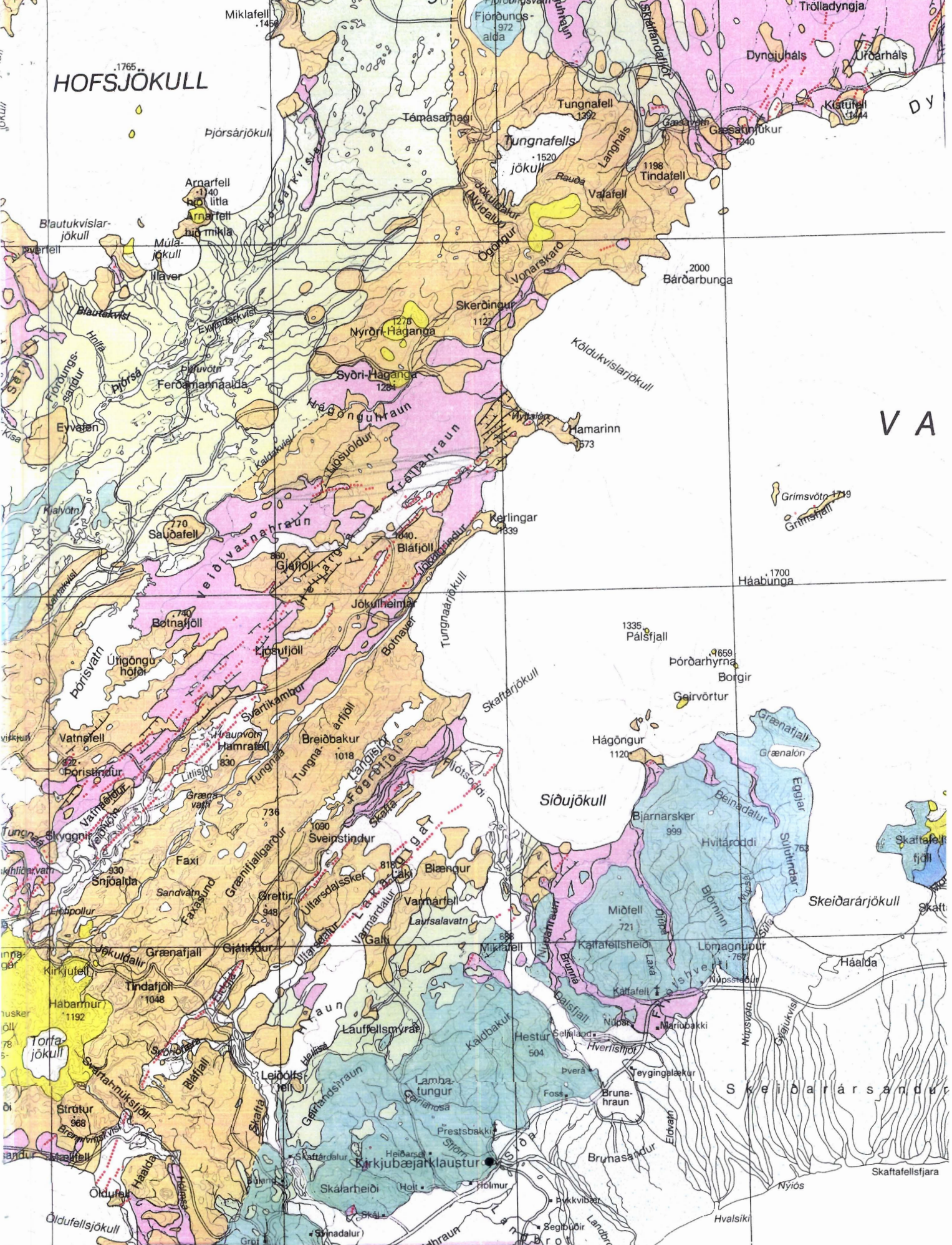
Tilgangurinn með rannsókninni var tvíþættur, annars vegar sá að afla nauðsynlegra grunngagna til mats á orkugetu jarðhitasvæðisins, og hins vegar að leggja mat á áhrif fyrirhugaðs miðlunarlóns á jarðhitann. Rannsóknin var gerð að beiðni Landsvirkjunar.

## 2. JARÐFRÆÐI OG JARÐSAGA

Elsa G. Vilmundardóttir og Ingibjörg Kaldal (1995) hafa rannsakað jarðfræði Hágöngusvæðisins vegna fyrirhugaðs miðlunarlóns. Hér er stuðst við skýrslu þeirra og aldursmat Elsu á berggrunni eldstöðvakerfisins (munnlegar upplýsingar). Þá er höfð hliðsjón af aldursmati annarra, t.d. Abratis og Arnold (1993), en í prófritgerð þeirra er gerð grein fyrir flestum heimildum um svæðið. Þær eru fáar, því svæðið hefur lítið verið rannsakað jarðfræðilega.

Nafngift eldstöðvakerfisins er nokkuð á reiki. Vel má hugsa sér að Hágöngusvæðið sé sjálfstæð megineldstöð, svipað og Kerlingarfjöll suður af Hofsjökli. Líklega er þó nærtækara að líta á samstæðuna Tungnafellsjökul - Hágöngur líkt og Grímsvatnaeldstöðina og líparítvsæðið þar til suðvesturs allt suður í Geirvörtur (25 km), eða eins og samstæðuna Bárðarbungu - Hamarinn, sem sennilega er af svipuðum toga spunnin (Sigurður Þórarinnsson o.fl., 1973). Í stað þess að tala um þrjár sjálfstæðar megineldstöðvar, Tungnafellsjökul, Vonarskarð og Hágöngur, er því hér sá kostur valinn að líta á allt svæðið sem heild og kenna það við Vonarskarð.





Mynd 1: Hluti af jarðfræðikorti (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1989).



Vegalengdin frá Syðri-Hágöngu miðri í líparíthrygginn Skrauta, sem er áberandi í fjarska á mynd 4, er um 20 km í NA-SV stefnu ( $N40^\circ A$ ), en minnsta fjarlægð milli háhitasvæðanna í Köldukvíslarbotnum og Vonarskarði er rúmir 12 km. Það er nokkru lengra en á milli háhitasvæðanna í Kröflu og Námaskarði (7 km), sem bæði eru í eldstöðvakerfi sem kennt er við Kröflu. Eðlilegt er því að reyna að tengja háhitasvæðin í Köldukvíslarbotnum og Vonarskarði á svipaðan hátt einu sprungukerfi. Málið er þó heldur flóknara því yngsta gossprungukerfið á Vonarskarðssvæðinu liggur á ská mitt á milli háhitakerfanna, með um  $25^\circ$  austlægari stefnu ( $N65^\circ A$ ) en tengilína kerfanna, og þarfnast þetta nánari skýringa.

Kristján Sæmundsson (1982) getur þess í grein sinni um öskjur á virkum eldfjallasvæðum, að Tungnafellsjökull sé almennt ekki talinn með virkum eldfjöllum, enda ekki vitað til að hann hafi gosið eftir ísöld, utan hvað eitt eða tvö sprunguhraun hafa komið upp norðan hans. Kristján vitnar í Piper (1979) um sprungurein suðvestur úr Tungnafellsjökli með fjölda móbergshryggja, og getur þess að til norðausturs marki dauft fyrir henni. Kristján (1982) sýnir öskju í Tungnafellsjökli og aðra samlæga suðaustan við. Liggur sú að Vonarskarði, og markar Gjóstá norðurarm hennar en Skrauti suðvesturarminn. Líparítið og háhitasvæðið í Vonarskarði eru á öskjubrún og innan öskjunnar þar. Nútímahraun er ekki að finna innan hennar, en yngsta gosmyndun þar er stutt NA-SV gossprungu, sem túffkeilan Deilir er hluti af, og tveir fretgígar (freatískir gígar) sitt hvoru megin við hann. Hún gaus í lok síðjökultíma að mati Abratis og Arnold (1993), en gígarnir eru lítið sem ekkert rofnir og því óhjákvæmilega ungir. Þeir kortlögðu jafnframt helstu gossprungur, misgengi og sprungur, og tóku eftir þrískiptingunni í  $N65^\circ A$ ,  $N40^\circ A$  og NV sprungustefnur. Vikið er að fyrrnefndu stefnunum síðar, en NV-lægu sprungurnar töldu þeir vera sniðgengissprungur milli landrekskerfa, þar á meðal normalmisgengið í Gjóstuklifi sem markar norðurbrún Vonarskarðsöskju Kristjáns Sæmundssonar (1982). Þeirra skoðun var hins vegar að ekki væri askja í Vonarskarði. Einu nútímagosin sem þeir Abratis og Arnold (1993) ætla að tengd séu eldstöðvakerfinu í Vonarskarði eru hins vegar um 20 km norðan við Skrauta, annars vegar Tunguhraun, sem virðist gosið úr stökum gíg um 7 km norðan Tungnafellsjökuls, og hins vegar örlítill hraunsvunta við gígaröðina Dverga, sem myndaðist á stuttri gossprungu um 10 km norðaustan við Tungnafellsjökul, rétt vestan Skjálfafljóts, og stefnir sú sprungu um  $N80^\circ A$ .

Sé lítið á Jarðfræðikort af Íslandi (Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1989) á mynd 1, blasir við að eðlilegra er að tengja gígaröðina Dverga við Bárðarbungukerfið, enda sjást nokkrar gígaröðir með svipaða stefnu rétt vestan Bárðarbungu, nærri upptökum Köldukvíslar, og í Ljósuöldum um 10 km sunnan við Syðri-Hágöngu. Tunguhraun stendur þá eitt eftir nútímagosa sem e.t.v. mætti tengja Vonarskarðskerfinu. Gígaröðirnar eru sýndar með rauðum punktalínum á jarðfræðikortinu (mynd 1).

Eldstöðvakerfið í Vonarskarði er á undanhaldi og hefur svo verið um nokkur hundruð þúsund ár. Landreksásinn er nokkru austar í eldstöðvakerfi sem kennt er við Bárðarbungu. Það er a.m.k. 150 km langt í NA-SV stefnu ( $N40^\circ A$ ), og nær um Veiðivötn suðvestur í Torfajökul og norðaustur fyrir Trölladyngju. Vonarskarðskerfið er að líkindum um 0,5 - 1 milljón árum eldra, og elsta berg þess trúlega myndað í hliðstæðu NA-SV ( $N40^\circ A$ ) sprungukerfi, sem nú er meira og minna kaffært af yngra bergi. Athugunum Elnu G. Vilmundardóttur og okkar ber saman um að líparítið í Hágöngunum sé meðal

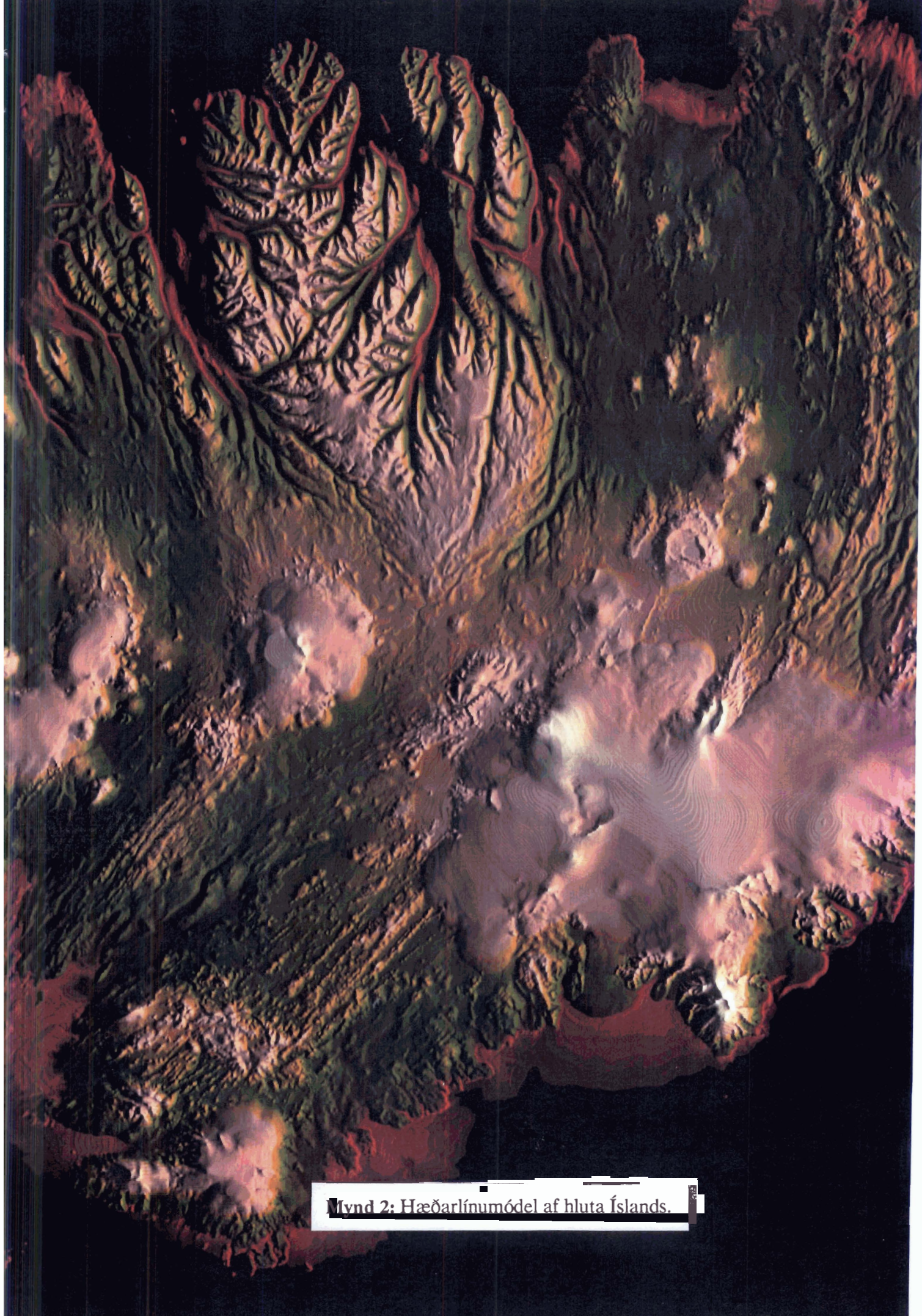
elsta bergs í nágrenni Köldukvíslarbotna. Abratis og Arnold (1993) héldu öðru fram í prófritgerð sinni, og verður það ásamt fleiri jarðfræðitúlkunum þeirra að skrifast á reynsluleysi og skort á tilsögn. Talsvert vantar þó upp á að ítarlegri jarðfræðikortlagningu sé lokið þarna, og nákvæm jarðsaga Vonarskarðskerfisins bíður því síns tíma.

Samkvæmt hinni almennu mynd af þróun megineldstöðvakerfa á Íslandi myndast öskjur og meginhluti líparíts og annarra þróaðra bergtegunda seint á líftíma hvers eldstöðvakerfis. Eftir því ætti líparítið í Hágöngum og í Vonarskarði að vera myndað á lokaskeiði Vonarskarðskerfisins. Í ljósi þess er því slegið fram að austlægara sprungu- og goshryggjakerfið (N65°A), sem mest er áberandi á yfirborði nú, sé yfirprentun á eldra N40°A sprungukerfi. N65°A sprungukerfið á sér ekki hliðstæðu á Mið-Íslands gosbeltinu í núverandi landslagi, og þarf að fara allt suður á Mælifellssand milli Torfajökuls og Tindfjallajökuls, og í Vatnafjalla- og Heklukerfið, til að sjá hugsanlega tektóníska hliðstæðu (mynd 2). Eins er sú hugmynd sett fram að Tungnafellsjökull sjálfur, sem virðist vera hluti af þessu yngra austlægara kerfi (N65°A), sé einhvers konar hliðstæða Heklu í rekbeltamynstrinu, þó eldri sé og þróaðri. Hugmynd sem þessi fæst ekki sannreynd nema með nákvæmri kortlagningu á stóru svæði. Á hæðarlínumódeli á mynd 2 sjást ungir móbergsgoshryggir vestan og sunnan Vatnajökuls einkar skýrt. Myndin er tölvuunnið módel byggt á AMS kortagrunni.

Aldur líparítsins í Hágöngunum er óþekktur, en allt berg á svæðinu er rétt segulmagnað og því yngra en 700.000 ára (Piper, 1979). Súra bergið í Hágöngum stingur kolli upp úr yngri gosmyndunum sem virðast geta verið 200-300 þúsund ára gamlar (Elsa G. Vilmundardóttir og Ingibjörg Kaldal, 1995). Líparítið er því varla yngra en 300 þúsund ára og trúlega nær 500 þúsund ára (Elsa G. Vilmundardóttir, munnlegar upplýsingar). Næst Köldukvísl að vestanverðu og allt suður að Syðri-Hágöngu er um 200 þúsund ára gamalt hlýskeyðshraun áberandi á yfirborði, svokallað Krosshnúkaþóleiít. Hágöngudílabasalt og Hágöngubóleiít telur Elsa að séu um 100 þúsund árum yngri, eða frá síðasta hlýskeyði, og virðast gosstöðvar vera vestan við Nyrðri-Hágöngu.

Elsa hefur flokkað móbergsmýndanir á svæðinu í fjórar einingar. Þær eru, í aldursröð: 1) Óskilgreint móberg, 2) Hágöngumóberg eldra, 3) Hágöngumóberg yngra og 4) Köldukvíslarmóberg. Það yngsta er myndað austan við Vonarskarðskerfið á síðasta jökulskeiði, en hin innan þess á næstsíðasta jökulskeiði og þaðan af fyrr, og er N65°A stefnan algengust í þessum móbergsmýndunum. Köldukvíslarmóbergið er myndað á síðasta jökulskeiði í Bárðarbungukerfinu, eins og nútímahraunin (Sveðjuhraun og Hágönguhraun). Samkvæmt þessu virðist enga gosmyndun í Vonarskarðskerfinu yngri en 100 þúsund ára vera að finna í nágrenni Köldukvíslarbotna. Til þess að sjá tiltölulega unga gosmyndun í þessu kerfi þarf að fara 20 km norður í Vonarskarðsöskjuna, í Deili.





Mýnd 2: Hæðarlínumódel af hluta Íslands.



Í þessu umhverfi þrífst háhitakerfið í Köldukvíslarbotnum. Aldur gosmyndana sýnir að háhitakerfið er komið nokkuð til ára sinna og ætti raunar að hafa runnið mestallt sitt skeið. Sama er uppi á teningnum sé lítið á sprungur og misgengi á svæðinu, því lítið ber á þeim. Flest eru þau hulin jökulbergi eða jökulruðningi, og ekki að sjá að þau hafi verið virk á nútíma. Helsta sprungusvæði í nágrenni Köldukvíslarbotna er við vesturjaðar Vonarskarðslægðarinnar, norðaustan Nyrðri-Hágöngu. Þar verður vart misgengja með ANA stefnu og lítilsháttar sigi til austurs (Elsa G. Vilmundardóttir og Ingibjörg Kaldal, 1995).

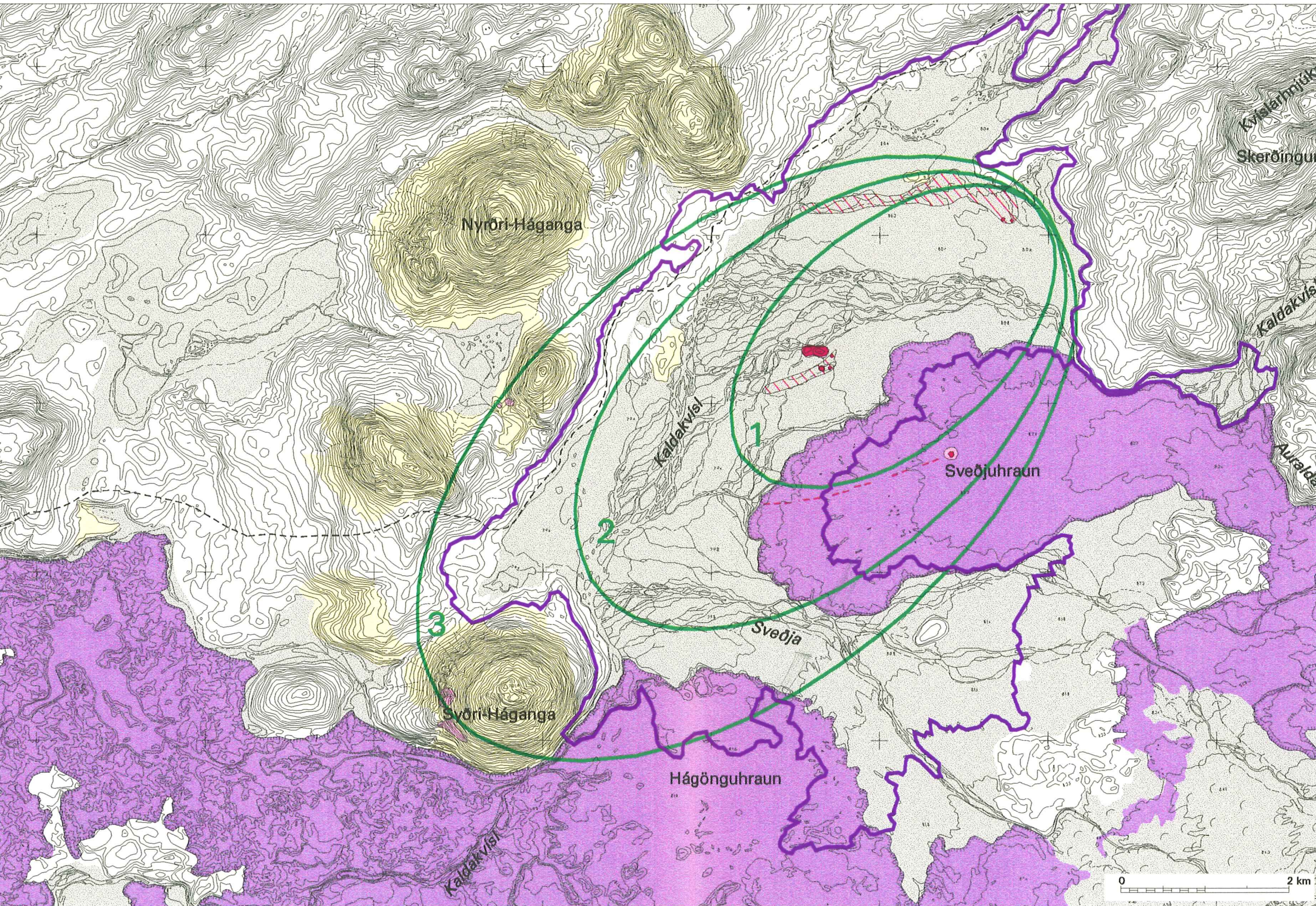
Yfirleitt er það svo hér á landi, að tengsl virks háhitakerfis við tiltölulega unga eldvirkni og virkt sprungukerfi eru næsta skýr, en því er ekki að heilsa um háhitakerfið í Köldukvíslarbotnum. Bein tengsl milli háhitasvæðanna í Vonarskarði og Köldukvíslarbotnum sjást ekki heldur. Fremur væri hægt að hugsa sér að jarðhitinn tengdist ANA sprungukerfinu, sem þó virðist ekki hafa gosið eða hreyfst að ráði í 100 þúsund ár. Þriðja möguleikanum mætti þó velta fyrir sér, en hann er sá að háhitavirknin í Köldukvíslarbotnum tengdist eldvirkni í Bárðarbungukerfinu á svipaðan hátt og gossprungurnar í Dvergum, og suður í Ljósuöldum, sem getið var að ofan (sjá mynd 1). Báðar eru þær jafnlangt vestan við rekás Bárðarbungukerfisins og háhitinn í Köldukvíslarbotnum. Úr þessu fæst þó ekki skorið að sinni, en benda má á að sprungukortlagning í móberginu norðan og austan Sveðjuhrauns gæti stutt hugmyndina. Viðnámsmælingar gætu að sama skapi styrkt tilgátu af þessu tagi. Helsta ályktun sem draga mætti af beinum jarðfræðilegum tengslum við Bárðarbungukerfið yrði trúlega sú að háhitakerfið í Köldukvíslarbotnum væri smátt í sniðum.

### 3. JARÐHITI

Útbreiðsla jarðhita og jarðhitaummerkja í Köldukvíslarbotnum er sýnd á sérstöku jarðhitakorti (mynd 3). Stuðst var við tiltæk gögn um svæðið (Haraldur Matthíasson, 1963; Guðmundur Kjartansson, 1965; Piper, 1979; Abratis og Arnold, 1993; Árni Hjartarson, 1994; Iðnaðarráðuneytið, 1994; og óbirt gögn í forum Orkustofnunar). Fjölmargar ljósmyndir af jarðhitasvæðinu og samsettar yfirlitsmyndir af Köldukvíslarbotnum voru teknar af fyrsta höfundinum þessarar skýrslu og hafa þegar verið birtar í skýrslu Landsvirkjunar og Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen hf (1995b, myndir 1, 4, 5, 13, 14, 15) um mat á umhverfisáhrifum. Óþarfi er að endurbirta þær allar hér, en dæmi um helstu yfirborðseinkenni jarðhitans eru sýnd á myndum 4 - 17.

Virku hitasvæðin eru eingöngu úti á söndunum við Köldukvísl (sjá jarðhitakort). Sveðjuhraun rann út á þessa sanda, líklega fyrir um 2000 árum, og huldi þar a.m.k. eitt hitasvæði sem síðan náði að lyfta sér upp úr því og ummynda hraunið á allstórum bletti. Bendir það ótvírætt til talsverðrar hitavirkni þar.





SKÝRINGAR

JARÐHITI

- Þyrping gufu- og leirhvera
  - Kaldar hveraskellur
  - Volgt svæði 10°-30°C
  - Volgt afrennsli undir hrauni
  - Áætluð stærð háhitasvæðis
- 1: Lágmark - 10 km<sup>2</sup>
- 2: 22.5 km<sup>2</sup>
- 3: Hámark - 40 km<sup>2</sup>

JARÐLÖG

- Líparít \*
- Nútímahraun \*
- Árset \*
- Nútímahraun undir seti \*

ANNAÐ

- Útbreiðsla lóns m. lónhæð 815 my.s.
- Slóð

\* Heimild: Elsa G. Vilmundardóttir og Ingibjörg Kaldal 1995:  
Hágöngumiðlun. Jarðfræðiathuganir sumarið 1995.  
OS-95059/VOD-09 B

**HÁGÖNGUMIÐLUN - Jarðhitakort**  
Guðmundur Ó. Friðleifsson - Orkustofnun JHD-JFR



### 3.1 Gamall jarðhiti

Gömul jarðhitaummyndun í berggrunni er ekki útbreidd á svæðinu og sést nær eingöngu í elsta berginu, sem er líparítið í Hágöngum. Kaldar jarðhitaskellur eru í líparítinu á tveimur stöðum (mynd 3). Sú stærri er vestan til í Syðri-Hágöngu, en sú minni á dálitlu svæði suðvestan í ónefndu líparítelli suður af Nyrðri-Hágöngu. Enginn hiti finnst á þessum svæðum nú og tengsl þeirra við virku svæðin eru óljós. Á síðjökultíma átti jökulá sér útfall við ísrönd rétt við nyrðri köldu jarðhitaskelluna samkvæmt athugunum Ingibjargar Kaldal (munnlegar upplýsingar).

Líparítið í Hágöngunum er a.m.k. 300 þúsund ára gamalt sem fyrr segir, og trúlega talsvert eldra. Efri hluti Syðri-Hágöngu virðist vera líparítgull, sem tróðst upp í jökul, fremur en að þar sé um eiginlega stapamyndun ræða. Hallafletir þar eru samhverfir og vísa út frá miðju og nálgast að vera láréttir utantil og ofan. Bergið í klettabeltunum er með nær láréttum flæðiböndum en lóðréttri stuðlun. Heita má að bergið þar sé óummyndað, þó aðeins votti fyrir staðbundnum hitaáhrifum. Neðan við 950 m hæð er líparítið hins vegar víðast hulið grófum skriðum og opnur í undirstöðuna eru fáar. Vestan til í Hágöngunni, allra neðst, sér í lagskipta, dálítið súrlega eða blandaða samlímda gosmöl, sem kann að vera eldri en Hágangan, og sést meðal annars í svipað berg í gula blettinum vestast á jarðhitakortinu. Efnagreining á sýni K-7 leiðir þó í ljós að þetta ljósyrjotta og vikurkennda berg við Syðri-Hágöngu er basískt og því trúlega eldra en hún sjálf. Undirstaða Syðri-Hágöngu er hins vegar úr súru brotabergi úr hálfgrerjuðu feldspatdílóttu gulleitu líparíti og dekkri sprunginni hrafnatinnu eða biksteini. Bergið í opnunum sem skoðaðar voru er allt morkið að sjá vegna ummyndunar, sem þó er það lítilfjörleg að hún gæti tengst skammlífu jarðhitakerfi, sem líklega varð til um leið og Hágangan kólnaði. Allt eins kemur þó til greina að ummyndunin hafi orðið á jaðri aðaljarðhitasvæðisins vestast í Hágöngunni. Þar eru tvær áberandi jarðhitaskellur sem ótvírætt gefa umtalsverða jarðhitavirkni til kynna. Nánari skoðun gæti varpað skýrara ljósi á tengsl jarðhitavirkinnar, en ummerkin voru ekki skoðuð til neinnar hlítar, enda utan við fyrirhugað miðlunarlon.

Ummyndun líparítsins utan hveraskellanna er tiltölulega væg. Þar sem hún er minnst sjást jarðhitaáhrifin sem ljósar æðar í sprungnum roðaslegnum biksteini, en síðan stigvex hún yfir í ljósgult eða hvítt og morkið líparít, sem heldur upphaflegum textúr þó sprungið sé og porótt. Smágert kvars sést sums staðar í holrými og plötulaga-járnútfellingar annars staðar, en mestur hluti þess er ófylltur. Ummyndun yfir í ljósan leir sést varla í handsýnum. Útlit stærstu jarðhitaskellanna í Syðri-Hágöngu bendir þó til þess að þar hafi hveravirkni verið á yfirborði, en ekki undir vatni á jökulskeiði. Hitaskellurnar eru hins vegar nokkuð rofnar af leysingavatni. Hið sama virðist eiga við um hina jarðhitaskelluna sunnan við Nyrðri-Hágöngu (sjá jarðhitakort), en þar er leir þó ekki eins áberandi og jarðhitaummerkin heldur ellilegri að sjá. Aldur jarðhitavirkinnar í Hágöngunum er óþekktur. Ekki er þó að sjá að jökull hafi skriðið yfir hveraskellurnar þó jökulberg sé í næsta nágrenni beggja staða. Það gæti bent til þess að hveraskellurnar hafi verið heitar á síðjökultíma og jafnvel snemma á nútíma. Tekin voru nokkur sýni (viðauki A) af jarðhitaummyndun og bergi úr Hágöngunum til samanburðar við virka jarðhitann, og er vikið að þeim síðar.

### 3.2 Virkur jarðhiti

Stærsta virka jarðhitasvæðið myndar tvær áberandi hveraskellur úti á sandinum rétt vestur af Sveðjuhrauni, austan Köldukvíslar (myndir 3 og 4). Sú nyrðri liggur meðfram ánni í A-V stefnu, og hefur þar byggst upp 1,5 - 2 m hár ávalur árbakki, límdur saman af leir og dökkrauðum járnútfellingum (mynd 13). Lítilsháttar volgt afrennsli kemur undan árbakkanum. Er við skoðuðum svæðið var þar dálítið vik úr Köldukvísl með rúmlega 30°C heitu vatni (mynd 13). Aðalhitasvæðið er litlu ofar á bakkanum, en hveraskellan í heild þekur svæði sem er tæplega 250 m langt og 100 m breitt. Hún skiptist í tvær lágur bungur með viki á milli. Virknin er mest um miðbik hvorrar bungu og eru þar fjölmargir leirhverir, vatnspyttir og gufuaugu (myndir 7 - 15). Á þessu svæði voru tekin sýni úr þremur gufuaugum, og nokkur sýni af hveraútfellingum.

Þegar svæðið var skoðað seint í ágúst 1995 stóð vatnsborð lágt. Gufuaugu voru mörg og hveraleirinn víðast skorpinn og sprunginn. Á stöku stað bóluðu litaðir vatnshverir, en annars staðar leirhverir (mynd 9). Sumir þeirra slettu af sér öðru hvoru (mynd 11). Hverasölt, einkum pikingít (mynd 10), mynduðu þunna yfirborðsskán á leirhverunum vítt og breitt um svæðin, og sáust á öllum hitasvæðunum. Hrein brennisteinsaugu fundust ekki, en brennisteinsútfellingu mátti sjá á stöku stað. Hins vegar bar mikið á járnnoxíðútfellingum sem líta út eins og rauðbrún grjótdreif um hveraskellurnar, en oft þó í þyrpingum. Til dæmis sjást þær ágætlega innan um hverina á mynd 14. Magn járnnoxíðútfellinga kom nokkuð á óvart, og eins skýr lagskipting í hveraleirnum, og er vikið nánar að þessu í kafla 3.3.

Um 150 m sunnan við stærstu hveraskelluna er önnur ljós, leirrík og nær hringlaga skella u.þ.b. 60 m í þvermál (sjá mynd 6 og 7). Hún er að kalla umgirt köggjum úr samlímdum rauðum sandi, og að því leyti dálítið ólík hinum. Inni á skellunni eru nokkrir pyttir og gufaugu og var sýni tekið úr einu þeirra. Um 100 m þar austur af er önnur hveraþúfa um 20 × 35 m að stærð, og voru þar tveir virkir leirpyttir. Og loks um 200 m norðan þeirra fannst svolítil leirblettur, 7 × 10 m, þar sem hiti mældist rúmlega 62°C á 1 m dýpi. Um 1/2 km er milli vestasta og austasta hitans, en velgja fannst í farvegi, sem teygir sig um 1 km VSV frá syðsta blettinum. Allir eru þessir hitablettir sýndir á jarðhitakortinu (mynd 3).

Annað minna svæði er um 2,5 km norðaustur af aðalsvæðinu (sjá jarðhitakort). Þar má með nokkurri eftirgrennslan finna tvo sjóðandi pytti, sinn í hvorri hveraskellunni. Sýni var tekið úr gufuauga í þeirri vestari, en hún er um 15-20 m í þvermál.



**Mynd 4:** Horft til NA frá Syðri-Hágöngu yfir Köldukvíslarbotna. Ljósar jarðhitaskellur sjást austan Köldukvíslar, vínstra megin á myndinni. Líparítið í Skrauta er áberandi í fjarska fyrir miðri mynd.





**Mynd 5:** Horft í austur yfir Köldukvíslaraura. Í fjarska sést í virka jarðhitann.



**Mynd 6:** Horft í SV yfir syðsta jarðhitablettinn í átt til Syðri-Hágöngu.



Mynd 7: Horft til austurs yfir virkasta jarðhitasvæðið. Syðsta hitaskellan er hægra megin á myndinni.



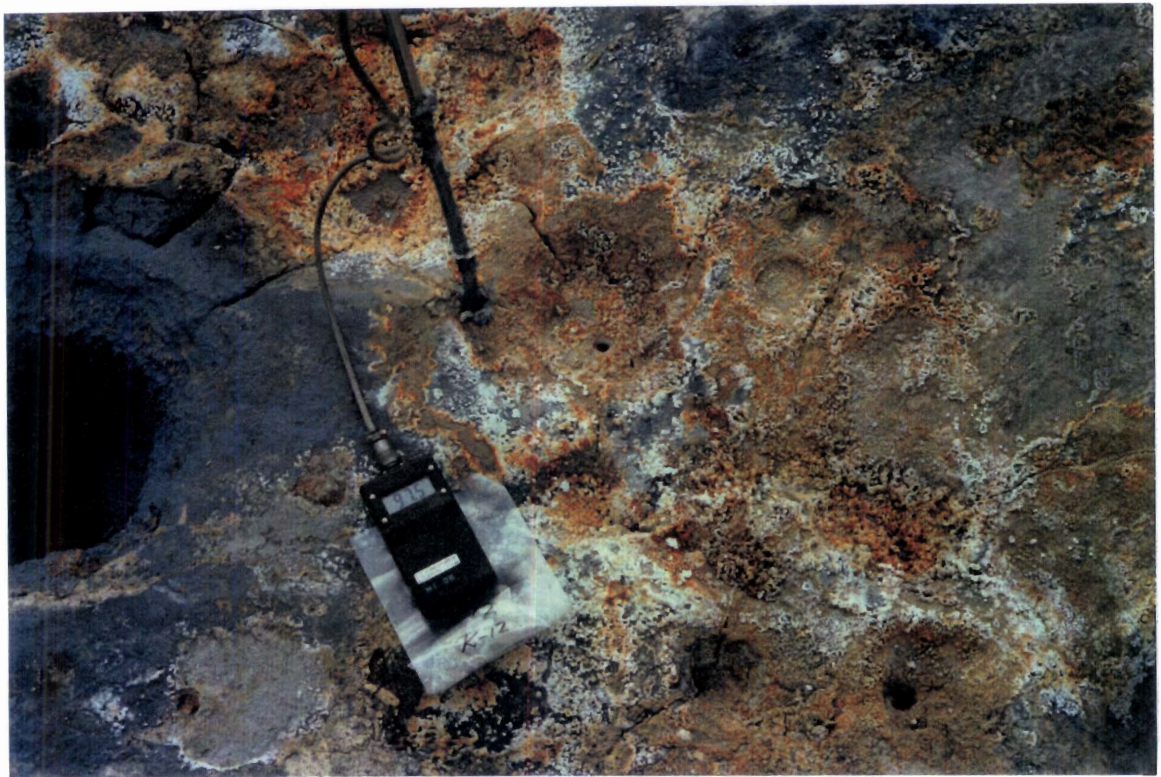


**Mynd 8:** Horft til norðurs yfir virkasta jarðhitablettinn. Yfirborðið einkennist af ljósu hverasalti (pikeringíti) og járnoxíðútfellingum.



**Mynd 9:** Dæmi um vatns- og leirhverfi.



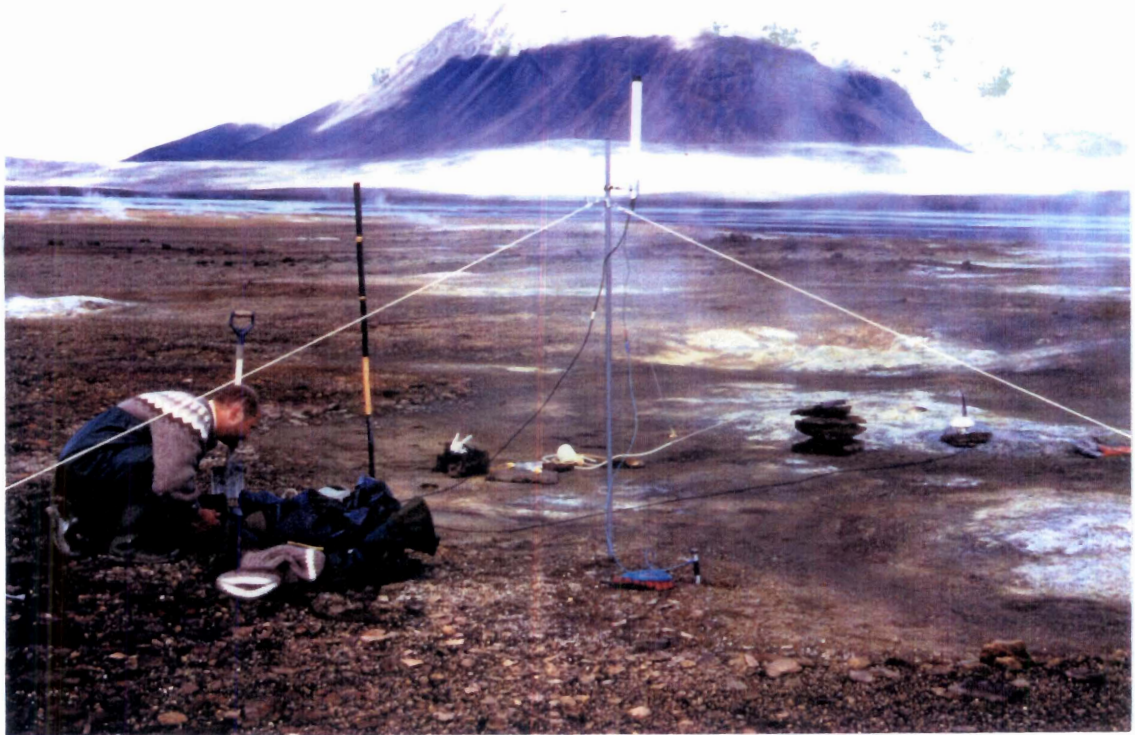


**Mynd 10:** Hverasaltið pikeringít myndar ljósar og rauðbrúnar skánir.



**Mynd 11:** Slettur úr leirhver.





**Mynd 12:** Sýni 95-0129 safnað úr gufuauga (hægra megin á myndinni). Á miðri mynd er leiðréttingarloftnet fyrir GPS-mælingu. Nyrðri-Háganga í baksýn.

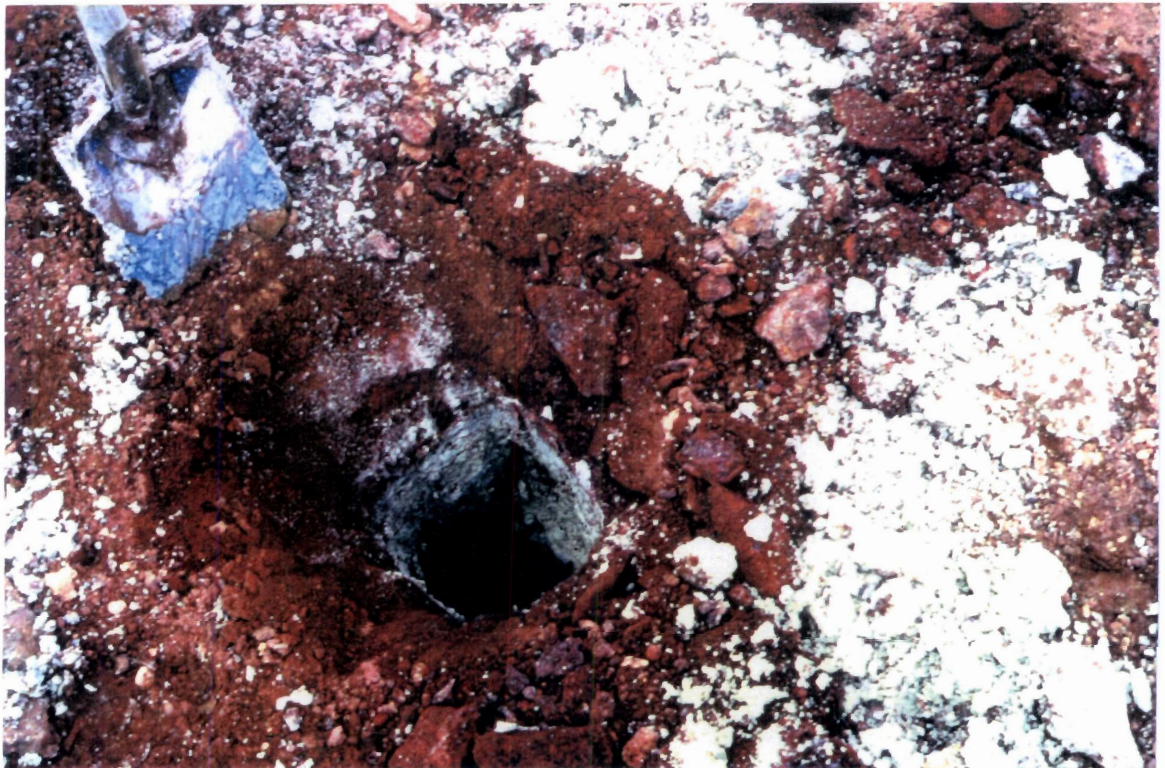


**Mynd 13:** Volgt vik úr Köldukvísl (baðsíkið), við norðurbrún virkasta jarðhitasvæðisins.





**Mynd 14:** Grjótdreif úr járnoxíðútfellingum er eitt af einkennum jarðhitans í Köldukvíslarbotnum.



**Mynd 15:** Sýnatökugryfja. Neðst er grár leir (sýni K-18, tafla 1), þá ljósgulur leir (sýni K-17) og efst rauður leir (sýni K-16).



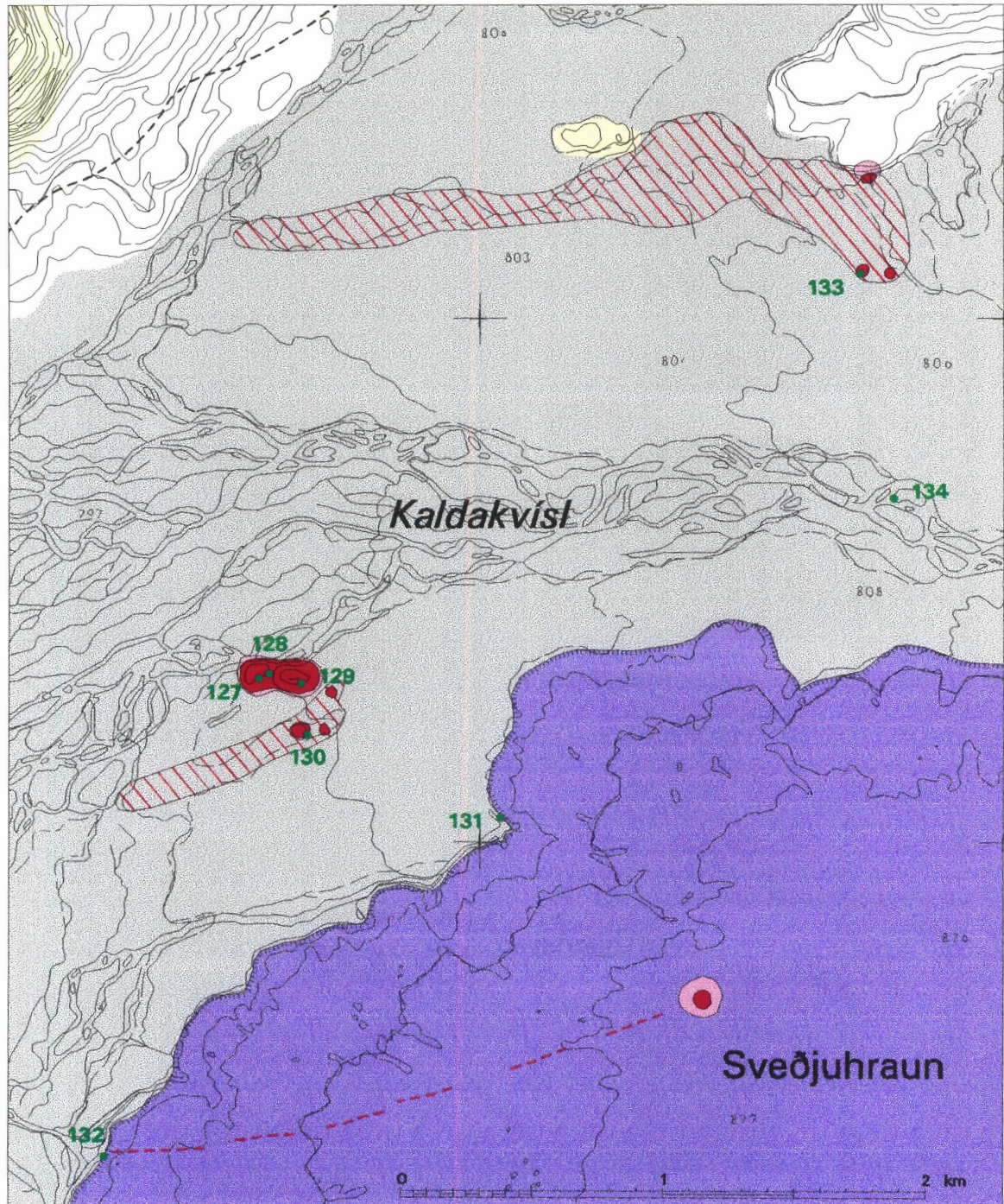


**Mynd 16:** Litið yfir jarðhitann í Sveðjuhrauni. Nyrðri-Háganga vinstra megin.







**Mynd 17:** Nærmynd af rauðri leirskellu í Sveðjuhrauni.







## HÁGÖNGUMIÐLUN - Sýnatökustaðir

### JARÐHITI

-  Þyrping gufu- og leirhvera
-  Kaldar hveraskellur
-  Volgt svæði 10°-30°C
-  Volgt afrennsli undir hrauni

-  Sýnatökustaður

### JARÐLÖG

-  Líparít
-  Nútímahraun
-  Árset



Sú austari er minni og gufuvirkni lítil, en að öðru leyti svipuð. Þessar skellur eru áþekkar jarðhitaskellunum á aðalsvæðinu að lit og öðru útliti, nema hvað lítið ber á þeim, enda eru þær í smádældum í sandinum. Norður af þessum skellum, í lækjarfarvegi sem liggur upp að móberginu norðan við, er víða hita að finna og mældist hann hæstur í lækjarbotni næst móberginu, 76°C. Móbergið er talsvert mikið ummyndað næst bakkanum á um 10 m löngum bletti, 4-5 m breiðum, en þar var ekki hiti. Þaðan til vesturs í átt að smáum líparíthól, sem rís upp úr sandinum, er hiti víða í farvegum og mældist hæstur tæpar 32°C nærri hólnum. Gróður í læknum ber hitanum ótvírætt vitni á öllu þessu svæði. Frá hólnum, um 1,5 km í vesturátt til Vonarskarðskvíslar, fannst líka greinilegur jarðhitavottur í lækjarfarvegi, víða mældur um og yfir 10°C, og var hiti oftast en ekki hærri í botni en í læknum sjálfum. Útbreiðsla hitans er sýnd á jarðhitakortinu (mynd 3).

Þriðja hitasvæðið er svo úti í Sveðjuhrauni, um 2 km suðaustan við stærsta svæðið (myndir 16 og 17 og jarðhitakort). Þar eru ekki hverir heldur misheitar ljósrauðar ummyndunarskellur í misummynduðu hraungrýti á hringlaga svæði, sem er um 100 m í þvermál. Ekki var reynt að ná gufusýni þarna, enda útstreymi harla lítið. Sýni voru tekin af jarðhitaleir og af ljósri útfellingu. Hæstur mældist hiti við suðumark, sem er 97-98°C í þessari hæð, en á nokkrum blettum reyndist hann 60-70°C.

Margar lindir streyma undan vesturjaðri Sveðjuhrauns (Árni Hjartarson, 1994). Hiti í nyrstu lindunum losar 2°C, en hækkar síðan eftir því sem sunnar dregur, þar til komið er á móts við vestasta tanga hraunsins, þar sem hiti mældist 9,2°C. Þar fyrir sunnan lækkar hann aftur. Sýni til efnagreininga var tekið úr einni af nyrstu lindunum og annað úr þeirri sem hæstan sýndi hitann. Árni Hjartarson (1994), sem fyrstur lýsti hitaskellunni í hrauninu, benti einnig á skýr áhrif hennar á lindirnar. Áætlaði hann að varmaígildi afrennslisins gæti numið 5-10 l/s af sjóðandi vatni. Afrennslisstefnan er sýnd á jarðhitakortinu.

Leitað var kerfisbundið að jarðhita á sandinum norðan við Sveðju, til norðausturs vestan við Sveðjuhraun, allt norður fyrir líparíthól í grennd við nyrsta hitasvæðið. Var það gert með því að ganga nokkrar línur og stinga hitastaf 10-20 cm niður í sandinn á 50 m fresti og mæla þar hita, ásamt því að skíma eftir minnstu jarðhitavísbendingum. Komu þá í ljós áður óþekkt volgrusvæði í næsta nágrenni aðalhitasvæðanna, sem fyrr er getið, og mældist hiti þar frá 10°C til 30°C. Samkvæmt korti Piper (1979) áttu auk þess að vera yfirborðsummerki um jarðhita sunnan við stærsta jarðhitablettinn allt suður að Sveðju. Þar var leitað kerfisbundið, en án árangurs. Samantekin niðurstaða er sýnd á jarðhitakortinu. Annars staðar á svæðinu var hitastaf eða hendi stungið í lindir og hvers kyns bleytur, en hvergi fannst hitavottur.

Sú mynd af útbreiðslu jarðhitans í Köldukvíslarbotnum, sem þessi könnun leiðir í ljós, er nokkuð frábrugðin þeirri sem stuðst var við í skýrslu Iðnaðarráðuneytisins (1994). Þar var stærð háhitasvæðisins áætluð 12-14 km<sup>2</sup>, og lögun þess talin mjó renna í NA-SV stefnu. Sú renna styttist talsvert, en breiðkar hins vegar vegna hitans í Sveðjuhrauni og volgrusvæðisins vestur af nyrsta hitablettinum. Stærð jarðhitasvæðisins má nú endurmeta á grundvelli fyrirliggjandi gagna.

Á jarðhitakortinu eru sýndir þrjár misstórir sporbaugar. Sá minnsti er um 10 km<sup>2</sup> að flatarmáli og nær nokkurn veginn til alls virka jarðhitans á yfirborði, sem gefur líklega

lágmarksstærð til kynna. Sá næststærsti er álíka langur í NA-SV stefnu og sá sem sýndur er í skýrslu Iðnaðarráðuneytisins sem áður er getið. Flatarmál hans er rúmir 22 km<sup>2</sup>. Stærsti sporbaugurinn nær síðan til allra jarðhitaummerkja á yfirborði, og er hann um 40 km<sup>2</sup> að flatarmáli, sem líta má á sem hugsanlega hámarksstærð hitasvæðisins. Vikið er nánar að þessu stærðarmati í kafla 6, þar sem hugsanlegt afl og orkugeta jarðhitasvæðisins eru áætluð.

### 3.3 Efnagreiningar á jarðhitaútfellingum og bergi

Nokkrum yfirborðssýnum var safnað á jarðhitastöðunum til greininga og varðveislu, auk þess sem tekinn var mikill fjöldi ljósmynda. Alls var safnað um 30 sýnum af bergi og útfellingum, en skrá um þau er að finna í viðauka A. Um þriðjungur sýnanna er af jarðhitaútfellingum á jarðhitastöðunum sem fara undir vatn, og annar þriðjungur af jarðhitaummyndun annars staðar á svæðinu.

Grafin var hola í aðra hitabunguna á aðalhitasvæðinu (mynd 15), og kom þá í ljós skýr lagskipting í hveraleirnum. Efst er um 20 cm lag af dökkrauðum leir (K-16), þá annað lag af svipaðri þykkt úr gulum jarðhitaleir (K-17), og neðst er grár leir (K-18) einráður. Lagskipting þessi kom nokkuð á óvart og væri verðugt rannsóknarefni. Sýni þessi voru send í heildar- og snefilefnagreiningu ásamt fleiri sýnum, til McGill University í Kanada, og eru niðurstöðurnar birtar í töflu 1.

Greiningarnar sýna, að rauði leirinn (K-16) er að mestu járnnoxíð, en sá guli (K-17) og sá grái (K-18) eru að stofni til kaólínít (vatnað ál-silíkat). Vatnsinnihald í leirnum (glæðitap) eykst með dýpi og er langhæst í gráa leirnum. Grái liturinn stafar trúlega af pýrítí (FeS<sub>2</sub>) eins og hátt brennisteinsinnihald (S) gefur til kynna. Kopar (Cu) og sink (Zn) aukast líka með dýpi en vanadíum (V) minnkar. Kvikasilfur (Hg) var greint í sömu sýnum. Styrkur þess er stærðargráðu hærri (tafla 1) en í sambærilegum sýnum úr virkri jarðhitaskellu undir Selfjalli í Grensdal upp af Hveragerði. Þar mældist styrkur kvikasilfurs í rauðum, gulum og gráum leir 1,61, 0,65 og 0,25 ppm (óbirt gögn í fór-um Orkustofnunar). Í ummynduðu síru bergi í Torfajökulseldstöðinni er algengt að hluti kvikasilfurs sé á bilinu 2 - 10 ppm (óbirt gögn). Ekki eru tók á að fjölyrða frekar um snefilefnainnihald leirsýnanna, eða bera þau saman við önnur háhitasvæði, því til þess skortir nákvæm gögn af öðrum svæðum.

Þegar efnagreiningar á ljósum leir (K-9) úr gömlu jarðhitaskellunni í Syðri-Hágöngu er bornar saman við ummyndað (K-10) og ferskt líparít (K-2) úr henni, kemur í ljós að hvíti leirinn er að stofni til líparít, vatnsinnihald er hæst í ummyndaða líparítinu, og lít-  
ilsháttar hreyfing er á alkalí- og jarðalkalímálmum.

Tafla 1. Efnasamsetning bergs og útfellinga (aðalefni þunga-%, snefilefni ppm)

	K-2	K-7	K-9	K-10	K-13	K-14	K-16	K-17	K-18	V-1	V-2
SiO <sub>2</sub>	77,15	45,7	70,04	69,27	7,68	34,42	16,22	45,24	40,0	90,32	8,73
TiO <sub>2</sub>	0,18	1,69	0,21	0,16	1,58	2,83	1,55	2,5	1,64	0,15	4,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,65	12,25	11,26	11,2	2,28	25,56	3,01	34,25	31,94	1,0	1,74
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,68	12,89	2,97	2,66	76,03	22,42	70,95	3,93	8,13	1,33	69,29
MnO	0,06	0,43	0,09	0,05	0,02	0,12	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01
MgO	0,03	2,51	0,12	0,21	0,25	1,46	0,05	0,2	0,14	0,33	ng
CaO	0,88	5,68	2,08	1,87	0,57	0,86	0,03	ng	0,01	0,79	0,05
Na <sub>2</sub> O	4,55	1,92	2,41	3,26	0,29	0,11	0,02	ng	ng	0,09	0,05
K <sub>2</sub> O	2,62	0,63	2,46	1,14	0,06	0,05	ng	0,02	0,02	0,04	0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01	0,73	0,02	0,01	0,44	0,23	0,34	0,05	0,02	0,02	1,02
Glæðit.	0,38	15,97	7,89	10,07	9,68	12,58	7,05	13,5	18,17	5,61	13,37
Summa	100,19	100,40	99,55	99,90	98,88	100,64	99,24	99,70	100,08	99,70	99,16
Ba	505	251	482	621	151	238	155	207	106	ng	581
Ce	166	52	151	176	ng	42	ng	32	ng	ng	21
Cu	19	53	27	11	14	213	14	40	2349	18	148
V	ng	85	ng	ng	1818	416	545	269	188	37	915
Zn	187	145	200	158	36	143	44	100	477	46	53
As	em	em	ng	em	em	em	3,1	ng	ng	ng	em
Sb	em	em	3,3	em	em	em	ng	2,7	ng	4,3	em
Hg	em	em	3,0	em	em	em	9,7	4,0	11,2	3,7	em
S	em	em	ng	em	em	em	1108	889	14347	679	em
Ga	25,9	18,9	25,9	23,2	48,9	25,9	29,5	50,7	69,4	3,5	62,5
Nb	83,0	21,8	77,1	67,4	9,6	18,7	9,3	16,7	13,0	6,1	35,1
Pb	5,3	2,5	4,3	4,1	7,7	2,7	6,8	ng	ng	ng	12,2
Rb	63,2	13,2	61,2	54,0	1,4	ng	1,4	ng	ng	ng	1,5
Sr	69,8	167,8	68,1	120,2	45,0	101,3	5,7	38,0	4,1	15,8	76,6
Th	9,6	5,3	8,1	7,6	18,1	5,9	17,3	ng	ng	ng	18,3
U	5,6	6,2	5,5	4,8	14,3	7,8	14,1	3,7	5,5	3,4	13,4
Y	174,0	61,1	150,3	130,0	10,1	19,7	8,5	7,3	7,9	9,9	12,3
Zr	420,7	349,1	418,8	422,6	89,4	167,7	90,3	153,7	99,8	7,0	416,2

em: ekki mælt ng: neðan greiningarmarka

Rauði leirinn í Sveðjuhrauni (K-14) er blanda af járnoxíði og kaólíníti og að því leyti ólíkur rauða leirnum á virkasta jarðhitablettinum.

Járnnoxíðútfelling (K-13) af virkasta jarðhitablettinum í Köldukvíslarbotnum er svipuð útfellingu úr Vonarskarði (V-2), en sú síðari er þó áberandi auðug af titáni (TiO<sub>2</sub>).

Flest efni, sem greind voru í bergi og útfellingum, sýna ákveðna fylgni með kísilsýruinnihaldi, ýmist jákvæða eða neikvæða. Þar sem fylgni er lítil sem engin, er jarðhitaummyndun væntanlega um að kenna.

Marktæk aukning ýmissa snefilefna, umfram hlut þeirra í bergi, sést í járnnoxíðútfellingunum þremur, (K-13, K-16 og V-2). Þar má nefna efni eins og vanadíum (V), blý (Pb), gallíum (Ga), úran (U) og þóríum (Th). Miklu minna rúbídíum (Rb) finnst hins vegar í þessum sýnum en í bergi. Hluti yttríums (Y) í öllum útfellingasýnunum er einnig miklu minni en í bergi, og er það í samræmi við fastheldni bergs á það efni. Við þessa athugun hefur hliðsjón verið höfð af óbirtum gögnum af Torfajökulssvæðinu, en

Þaðan hafa verið greind um 200 bergsýni, en því miður lítið af jarðhitaútfellingum enn sem komið er. Niðurstöður þær sem fengist hafa úr öllum þessum efnagreiningum eru athyglisverðar, og þarfnast nánari athugunar og samanburðar við önnur háhitasvæði, en þeim verða ekki gerð frekari skil hér.

### 3.4 Jarðhiti í Vonarskarði

Lauslega var lítið á jarðhitasvæðið í Vonarskarði og eitt sýni tekið úr gufuauga til samanburðar við sýnin úr Köldukvíslarbotnum. Jarðhitasvæðin í Vonarskarði og Köldukvíslarbotnum hafa stundum verið talin eitt jarðhitakerfi, kennt við Vonarskarð. Á milli þeirra eru þó 12 km þar sem enginn jarðhiti sést á yfirborði, né jarðhitaummerki að vitað sé. Hugsanlegt er að svæðin séu tengd á svipaðan hátt og jarðhitasvæðin í Kröflu og Námaskarði, enda er jarðhitinn í Vonarskarði og Köldukvíslarbotnum í sama megineldstöðvakerfinu eins og lýst hefur verið hér að framan. Hér eru hins vegar ekki tök á að lýsa jarðhitinum í Vonarskarði ítarlega, en yfirborðsvirkni þar er mjög mikil, og margföld á við þá í Köldukvíslarbotnum. Allt er þarna sundursoðið af jarðhita, mjög litskrúðugum. Vatn er mikið og allmargir litlir vatnshverir. Auk þess vekur athygli mikil litadýrð og dökkar útfellingar í sumum hverum, en eftirtektarverðast er þó mikið líf, mottur af bakteríum eða þörungum, hvítum og grænum, en sumum dökkleittum.

Í jarðfræðilýsingunni hér að framan var bent á að skálægt sprungu- og goshryggjakerfi (ANA), sem ekki virðist hafa verið virkt í 100 þúsund ár, liggur mitt á milli háhitasvæðanna og aðskilur þau að því er séð verður. Svæðin kunna þó að hafa verið tengd nokkur hundruð þúsund árum áður í NA-SV sprungukerfi, eins og rætt var framar. Í Vonarskarði var eldvirkni hins vegar uppi á síðjökultíma rétt austan við aðaljarðhitasvæðið, á stuttri gossprungu sem Deilir er hluti af, og gæti innskotavirkni henni tengd átt þátt í núverandi jarðhitavirkni í Vonarskarði.

## 4. EFNASAMSETNING GUFU OG LINDAVATNS

### 4.1 Sýnataka

Sýnum af gufu og vatni til efnagreininga var safnað síðla ágústmánaðar 1995, eins og fyrr var getið. Fimm sýni voru tekin úr gufuaugum í Köldukvíslarbotnum, tvö úr lindum sem spretta undan Sveðjuhrauni og eitt úr Köldukvísl. Að auki var farið í Vonarskarð og sýni tekið úr einu gufuauga til samanburðar. Tafla 2 sýnir yfirlit um þessa sýnatökustaði, en lýsingar á þeim er að finna í viðauka B.

Tafla 2. Sýnatökustaðir

Númer	Svæði	Staður	Heiti	Tegund
95-0127	Köldukvíslarbotnar	Kvíslarþúfa vestari	Gráðaostur	Gufuauga
95-0128	Köldukvíslarbotnar	Kvíslarþúfa vestari	Sunnan baðsíkis	Gufuauga
95-0129	Köldukvíslarbotnar	Kvíslarþúfa eystri	Við punkkoll	Gufuauga
95-0130	Köldukvíslarbotnar	Kvíslarþúfa syðri	Víðibakki	Gufuauga
95-0131	Köldukvíslarbotnar	Sveðjuhraunsbrún	Lind I	Lind
95-0132	Köldukvíslarbotnar	Sveðjuhraunsbrún	Lind II	Lind
95-0133	Köldukvíslarbotnar	Kvíslarþúfa nyrsta	Melabúi	Gufuauga
95-0134	Köldukvíslarbotnar	Aurar	Kaldakvísl	Jökulvatn
95-0135	Vonarskarð	Austan Eggju	Fúll á móti	Gufuauga

Sýni voru tekin með stöðluðum aðferðum, eins og venja er til á Efnafræðistofu Orkustofnunar, og hiti í lind eða gufuauga mældur um leið. Þessum aðferðum hefur verið lýst í skýrslu (Magnús Ólafsson, 1987), en þær hafa að vísu verið endurbættar nokkuð síðan hún kom út. Gufusýni voru kæld og hvoru tveggja safnað, gasi og þéttivatni (mynd 12).

Staðsetning sýnatökustaða var ákvörðuð með GPS gervitunglaviðtæki. Við gufuaugun var að auki stuðst við leiðréttingarmerki frá Skarðsfjöruvita, og fékkst þannig DGPS mæling, sem svo er kölluð. Við lindirnar undir jaðri Sveðjuhraunsins var hins vegar notuð leiðrétting frá vitanum á Skagatá, því þar náðist ekkert merki frá Skarðsfjöruvita. Ekki þótti ástæða til að ákvarða staðsetningu Köldukvíslarsýnisins jafn nákvæmlega og hinna, og því var engin tilraun gerð til leiðréttingar þar. Staðarákvörðunum var safnað á 30 sekúndna fresti og fengust þannig allt frá 15 upp í 90 gildi fyrir hvert sýni. Af þessum gildum var tekið meðaltal.

Sýnatökustaðirnir eru merktir á hluta úr jarðhitakortinu (mynd 18), en hnit þeirra eru skráð í töflu 3. Staðarákvarðanir voru gerðar í hnatthnitum með WGS-84 viðmiðun, en til hægðarauka hefur þeim einnig verið varpað í UTM og Lambert hnit með Hjörsey 1955 viðmiðun. Síðasti dálkur töflunnar sýnir fjölda staðarmælinga í hverju tilviki, en næstu tveir dálkar á undan staðalfrávik mælinganna.



Tafla 3. Hnit sýnatökustaða

Númer sýnis	Hnatthnit WGS-84		UTM Hjörsey 1955		Lambert Hjörsey 1955		$\sigma$ (m)		Fjöldi
	N-S	A-V	N-S	A-V	N-S	A-V	N-S	A-V	
	95-0127	64°34,4816	18°08,5434	7164349,1	7636842,8	452620,2	506845,4	0,7	
95-0128	64°34,4911	18°08,4947	7164368,6	7636880,9	452637,9	506806,4	0,9	0,8	90
95-0129	64°34,4718	18°08,3418	7164338,2	7637004,5	452601,7	506684,4	0,8	0,7	90
95-0130	64°34,3667	18°08,3108	7164144,2	7637038,0	452406,3	506660,0	0,8	0,9	90
95-0131	64°34,2000	18°07,3855	7163868,3	7637790,3	452095,1	505921,5	0,9	0,9	45
95-0132	64°33,4972	18°09,2736	7162496,1	7636342,3	450792,6	507433,1	2,0	1,4	15
95-0133	64°35,3186	18°05,6690	7166006,8	7639064,8	454171,3	504547,0	1,1	0,6	90
95-0134	64°34,857	18°05,508	7165155	7639232	453313	504420	40	10	50
95-0135	64°41,5215	17°54,0961	7177512,1	8361607,4	465697,7	495325,7	0,9	0,5	81

## 4.2 Niðurstöður efnagreininga

Sýnin voru öll efnagreind á efnafræðistofu Orkustofnunar, að því frátöldu að samsætu-  
hlutföll vetnis og súrefnis voru mæld á Raunvísindastofnun Háskólans.

Niðurstöður efnagreininga gufu eru sýndar í töflu 4. Þau efni gufunnar, sem mestu  
máli skipta við túlkun, eru gastegundirnar koldíoxíð ( $\text{CO}_2$ ), brennisteinsvetni ( $\text{H}_2\text{S}$ ),  
vetni ( $\text{H}_2$ ), köfnunarefni ( $\text{N}_2$ ) og metan ( $\text{CH}_4$ ). Svonefnd gasleif, sem inniheldur súr-  
efni ( $\text{O}_2$ ) og argon (Ar), var ekki sundurgreind.

Styrkur gass í gufu er á því bili sem algengt er að mælist í gufuaugum á háhitasvæðum  
landsins. Hlutföll einstakra gastegunda innbyrðis geta tæplega talist afbrigðileg heldur,  
en hluti metans í gasinu er þó óvenju hár í Köldukvísarbotnum. Greinilegur munur  
milli svæða kemur einnig fram í hlutföllum gastegundanna. Þannig eru hlutar metans  
og köfnunarefnis í gasinu miklu hærri í Köldukvísarbotnum en í Vonarskarði. Um  
vetni og brennisteinsvetni er þessu hins vegar öfugt farið. Hlutar þeirra í gasinu, eink-  
um þó vetnis, eru miklu hærri í Vonarskarði en Köldukvísarbotnum.

Í þéttivatni var mældur styrkur kvikasilfurs (Hg), bórs (B), natríums (Na), klóríðs (Cl)  
og sulfats ( $\text{SO}_4$ ). Þá voru samsætuhlutföll ákvörðuð og sýrustig (pH) mælt.

Það vekur athygli hve styrkur kvikasilfurs í gufusýnunum úr Köldukvísarbotnum er  
mikill. Raunar eru þessi gildi með þeim hæstu sem mælst hafa í gufuaugum á háhita-  
svæðum hérlendis (Orkustofnun, óbirt gögn). Í sýninu úr Vonarskarði er styrkurinn  
stærðargráðu minni, áþekkur því sem annars staðar greinist. Skýring á þessum mikla  
kvikasilfursstyrk í Köldukvísarbotnum er ekki kunn.

Meðburður natríums, klóríðs, bórs og sulfats í gufunni er hins vegar álíka og víðast  
annars staðar í gufuaugum á háhitasvæðum hérlendis, og fæð sýna hér gefur ekki til-  
efni til frekari túlkunar á þessum efnabáttum.

Tafla 4: Efnasamsetning gufu

Staður	Kvíslarþúfa Vestari	Kvíslarþúfa Vestari	Kvíslarþúfa Eystri	Kvíslarþúfa Syðri	Kvíslarþúfa Nyrsta	Vonarskarð Austan Eggju
Númer sýnis	95-0127	95-0128	95-0129	95-0130	95-0133	95-0135
Dags.	95-08-26	95-08-26	95-08-27	95-08-27	95-08-28	95-08-29
<b>Gas (mmól/kg)</b>						
CO <sub>2</sub>	177	211	395	185	502	200
H <sub>2</sub> S	10,5	13,0	26,9	13,3	14,9	53,7
H <sub>2</sub>	3,11	6,08	9,40	2,80	6,61	39,9
N <sub>2</sub>	13,7	15,2	21,6	16,8	48,9	5,13
CH <sub>4</sub>	4,22	3,27	4,89	3,52	11,8	0,75
O <sub>2</sub> + Ar	0,52	0,82	0,77	0,64	3,59	0,21
<b>Þéttivatn (mg/kg)</b>						
B	0,003	0,003	0,003	0,005	0,008	0,005
Na	0,27	0,03	0,72	0,60	2,54	0,07
Cl	0,39	0,04	0,08	0,05	0,15	0,09
SO <sub>4</sub>	2,60	1,22	6,57	5,66	5,27	1,33
Hg	0,0025	0,0027	0,0030	0,0016	0,0043	0,0002
pH/°C	4,1/22,2	4,2/22,2	4,2/21,9	4,2/22,7	4,1/23,2	4,3/23,6
δD (o/oo SMOW)	-125,3	-123,5	-120,5	-120,7	-119,8	-120,9
δO <sup>18</sup> (o/oo SMOW)	-14,70	-13,78	-15,30	-14,43	-17,10	-14,30

Niðurstöður efnagreininga vatnssýnanna þriggja eru skráðar í töflu 5. Í lindasýnunum var styrkur allra helstu steinefna ákvarðaður, svo og samsætuhlutföll og sýrustig. Í Köldukvíslarsýninu voru hins vegar aðeins mæld samsætuhlutföll vetnis og súrefnis svo og styrkur sex steinefna. Í þessari töflu tákna CO<sub>2</sub>(t) heildarstyrk karbónats, bíkarbónats og kolsýru, reiknaðan sem CO<sub>2</sub>, en H<sub>2</sub>S(t) heildarstyrk súlfíðs, bísúlfíðs og brennisteinsvetnis, reiknaðan sem H<sub>2</sub>S. Uppleyst efni tákna heildarstyrk steinefna fundinn með þurreimingu sýnis.

Lítill munur er á efnasamsetningu vatns úr lindunum tveim undan Sveðjuhrauni, enda munar litlu á hita. Nokkur merki um íblöndun jarðhitavatns eða hitnun grunnvatns má þó greina. Er þar fyrst að nefna að styrkur kísils er hærri í heitari lindinni, enda al-kunna að styrkur kísils og hiti í vatni fara saman. Þá er sýrustig lægra í heitari lindinni, og eru það væntanlega áhrif frá súrum vökva háhitakerfisins. Styrkur magnesíums er einnig lægri í heitari lindinni, en styrkur kalíums hærri, og kemur það heim við hegðun þessara málma við hækkanði hita.

Samsætuhlutföll vetnis og súrefnis eru lægri í Köldukvísl en lindunum, enda á jökulvatnið upptök sín í meiri hæð.

Tafla 5: Efnasamsetning vatns (mg/l)

Staður	Sveðjuhraunslind I	Sveðjuhraunslind II	Kaldakvísl
Númer sýnis	95-0131	95-0132	95-0134
Dags.	95-08-27	95-08-27	95-08-28
Hiti (°C)	2,2	9,2	4,7
Leiðni (( $\mu$ S/cm)/°C)	117 / 25	97 / 25	
Sýrustig (pH/°C)	8,9 / 20	7,7 / 21	
Kísill (SiO <sub>2</sub> )	14,9	21,8	
Natríum (Na)	13,7	10,3	13,9
Kalíum (K)	0,32	0,48	0,18
Kalsíum (Ca)	5,6	5,54	6,91
Magnesium (Mg)	3,29	2,56	4,51
Karbónat (CO <sub>2</sub> )(t)	28,9	26,2	
Súlfat (SO <sub>4</sub> )	7,06	4,85	7,70
Brennisteinsvetni (H <sub>2</sub> S)(t)	< 0,03	< 0,03	
Klóríð (Cl)	2,91	3,09	2,49
Flúoríð (F)	0,13	0,13	
Bór (B)	0,01	<0,01	
Líþíum (Li)	0,002	0,001	
Ál (Al)	0,015	0,014	
Mangan (Mn)	<0,0001	<0,0001	
Járn (Fe)	0,0089	0,0068	
Uppleyst efni	70	62	
$\delta$ D (o/oo SMOW)	- 94,8	- 96,7	- 99,1
$\delta$ O <sup>18</sup> (o/oo SMOW)	- 13,03	- 13,27	- 13,74

### 4.3 Efnahiti í jarðhitakerfi

Hita í jarðhitakerfum má meta út frá efnasamsetningu gass í gufuaugum (t.d. Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson, 1985), eða út frá efnasamsetningu jarðhitavatns (t.d. Stefán Arnórsson, 1995). Ýmsir gashitamælar hafa verið þróaðir í þessum tilgangi og hefur nokkrum þeirra verið beitt á sýnin úr Köldukvíslarbotnum og Vonarskarði. Niðurstöður eru sýndar í töflu 6, en þeir gashitar eru allir byggðir á kvörðun Stefáns Arnórssonar og Einars Gunnlaugssonar (1985). Þá er einnig reiknaður meðalhiti fyrir hvert sýni.

Í töflu 6 kemur fram að hiti í háhitakerfinu í Köldukvíslarbotnum reiknast um 290°C, en rétt um 305°C í Vonarskarði. Þessir útreikningar eru í ágætu samræmi við fyrri at-  
huganir (Stefán Arnórsson, 1991; Níels Óskarsson, 1984) eins og sýnt er í töflunni.

Tafla 6: *Gashiti*<sup>1)</sup>

Númer	Staður	CO <sub>2</sub> (°C)	H <sub>2</sub> S (°C)	H <sub>2</sub> (°C)	CO <sub>2</sub> /H <sub>2</sub> (°C)	H <sub>2</sub> S/H <sub>2</sub> (°C)	Meðaltal (°C)
95-0127	Köldukvísarbotnar	281	293	288	292	283	287
95-0128	Köldukvísarbotnar	286	297	294	298	291	293
95-0129	Köldukvísarbotnar	303	311	298	295	286	299
95-0130	Köldukvísarbotnar	282	297	287	290	277	287
95-0133	Köldukvísarbotnar	310	299	294	288	290	296
95-0135	Vonarskarð	284	324	311	321	299	308
	Köldukvísarbotnar <sup>a)</sup>	290	286				288
	Vonarskarð <sup>a)</sup>	303	314				309
	Vonarskarð <sup>b)</sup>	285	326	311	301	298	304

<sup>1)</sup> Stefán Arnórsson & Einar Gunnlaugsson, 1985 <sup>a)</sup> Stefán Arnórsson, 1991 <sup>b)</sup> Níels Óskarsson, 1984

## 5. UMHVERFISÁHRIF

Helstu áhrif Hágöngumiðlunar á jarðhitann í Köldukvísarbotnum yrðu þau að sökkva nær öllum yfirborðsummerkjum um háhitasvæðið í lón. Hins vegar er ekki líklegt að sú aðgerð spilli eðliseiginleikum jarðhitakerfisins svo nokkru nemi, eða komi í veg fyrir virkjun jarðhitans síðar, enda líklegt að ummyndunarkápa einangri jarðhitakerfið að mestu frá umhverfinu. Við hæstu vatnsstöðu færi lónið í 816 m y.s. og vatnsdýpi niður á jarðhitann á sandinum yrði þá 10-15 m. Þar með ykist grunnvatnsþrýstingur á svæðinu um 1-1,5 bar. Bein tengsl yrðu milli lönsins og jarðhitakerfisins um núverandi jarðhitarásir, og kynni kalt vatn að leka þar inn. Með því að þrýstingshækkun yrði lítil, má ætla að lekinn yrði einnig lítill. Umtalsverð kæling er því ekki talin líkleg að öðru óbreyttu.

Þótt fyrirhugað Hágöngulón sé að vísu ekki talið útiloka virkjun jarðhitans, má engu að síður búast við að það geri nýtingu hans dýrari en ella.

Hitinn í Sveðjuhrauni er í 820 m hæð, og hverfur því ekki undir lón (sjá jarðhitakort). Ekki er þó óhugsandi að hækkun grunnvatns í hrauninu drekki honum.

Vegna árstíðasveiflunnar er vatnsborð breytilegt, hátt á vorin og væntanlega allan veturinn vegna afbræðslu, en sígur síðsumars. Þessi náttúrulega vatnsborðssveifla og flatneskjan eiga trúlega mestan þátt í því að gefa jarðhitasvæðinum sitt sérstæða svipmót. Því verður vart á móti mælt, að háhitasvæðið er mjög óvenjulegt ásýndum og í raun einstakt á Íslandi. Helst mætti leita að svipuðu svæði í söndum Jökulsár í Öxarfirði, en þar eru yfirborðsummerkin á háhitasvæðinu við Bakkahlaup með allt öðrum hætti, og sama er að segja um hitasvæðið við Skógarlón sem Öxfirðingar hafa nýlega tekið í notkun (Lúðvík S. Georgsson o.fl., 1994).

Hærri vatnsborðsstaða, botnfall aurs og setmyndun koma til með að breyta núverandi yfirborðseinkennum hverasvæðanna varanlega. Fengi lónið að fyllast seti óáreitt og yrði síðan yfirgefið, myndu í fyllingu tímans trúlega koma fram svipaðir jarðhitablettir og nú eru á yfirborði. Slík setmyndun er í eðli sínu sambærileg við þá setmyndun sem verður er hraun stíflar jökulá um tíma, en þannig mynduðust einmitt Köldukvíslaraurar í kjölfar Hágönguhrauns.

Öllu stórtækari breyting á svæðinu gæti auk þess hlotist af nýju hraungosi í Bárðarbungukerfinu, ef það rynni sömu leið og Sveðjuhraun. Það gæti gerst á okkar tímum, svo reynt sé að leggja tímakvarða á samskipti manns og náttúru annars vegar og náttúrulegar umhverfisbreytingar hins vegar.

## 6. ORKUGETA JARÐHITASVÆÐISINS

Við mat á orkugetu jarðhitakerfis eru hiti og rúmmál meðal þeirra stærða sem mestu máli skipta. Hitinn í Köldukvísjarbotnum er talinn um 290°C, en það gildi byggist á niðurstöðum gasgreininga eins og þegar hefur komið fram. Rúmmál kerfisins má áætla út frá flatarmáli svæðisins, en jarðhitaummyndun á yfirborði veitir oft ágæta vísbendingu um lágmarksstærð jarðhitakerfis á vinnsludýpi, eins og t.d. í Bjarnarflagi. Ekki er þó víst að útbreiðsla jarðhita á yfirborði gefi endilega rétta mynd af umfangi jarðhitasvæðisins í Köldukvísjarbotnum, því nýleg hraun og sandar hafa fært það í kaf. Mun betri ákvörðun á stærð kerfisins fengist hins vegar með viðnámsmælingum. En að sinni verður þó að byggja mat á orkugetu á útbreiðslu yfirborðsjarðhita, því önnur gögn um stærð svæðisins eru ekki fyrir hendi.

Á jarðhitakortinu (mynd 3) eru sýndir þrír misstórir sporbaugar sem gefa eiga til kynna hugsanlega stærð háhitasvæðisins í Köldukvísjarbotnum. Sá minnsti þekur nær allan jarðhita á yfirborði. Sá næsti er tvöfalt stærri og er lengd jarðhitasvæðisins í NA-SV stefnu þar svipuð og sú sem sýnd er í skýrslu Iðnaðarráðuneytisins frá 1994. Stærsti baugurinn er dreginn þannig að öll jarðhitaummerki á yfirborði lenda á eða innan við hann. Þannig má hugsa sér að minnsti sporbaugurinn sýni lágmarksstærð jarðhitasvæðisins og sá stærsti hámarksstærð.

Lauslegt mat á afl og orkugetu jarðhitakerfisins í Köldukvísjarbotnum bendir til að svæðið geti skilað a.m.k. 90 MWe og 750 GWh/a ef gert er ráð fyrir að flatarmál sé 10 km<sup>2</sup>, hiti 300°C og nýtingartími 50 ár. Er þá gengið út frá sömu forsendum og við mat á jarðhitakerfinu í Bjarnarflagi (Landsvirkjun, Orkustofnun og Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns hf, 1994). Sé hins vegar miðað við 40 km<sup>2</sup> flatarmál er áætlað afl 360 MWe og orkugeta 3000 GWh/a.

## 7. NIÐURSTÖÐUR OG TILLÖGUR

Jarðhitasvæðið í Köldukvíslarbotnum er að ýmsu leyti óvenjulegt meðal háhitasvæða landsins. Jarðhitasvæðið er að mestu á kafi í aur og að hluta undir hrauni. Gagnstætt venju hafa ekki fundist skýr tengsl milli jarðhitakerfisins og nýlegrar eldvirkni eða virks sprungukerfis. Ekki hefur heldur fundist beint samband við jarðhitakerfið í Vonarskarði. Hugsanlegt er að jarðhitinn í Köldukvíslarbotnum tengist eldvirkni í Bárðarbungukerfinu, en úr því fæst ekki skorið án frekari athugana. *Sprungukortlagning í móberginu norðan Sveðjuhrauns gæti stutt þá tilgátu.*

Telja má harla líklegt að flatarmál jarðhitasvæðisins sé ekki minna en 10 km<sup>2</sup>, eins og þegar hefur komið fram, en vera kann að það sé allt að 40 km<sup>2</sup>. Á grundvelli þessara stærða má áætla, að nýting kerfisins geti skilað 90 - 360 MWe afls, og að orkugeta sé 750 - 3000 GWh/a.

Þetta flatarmat er eingöngu byggt á jarðhitaummerkjum á yfirborði, en þau veita oft ágæta hugmynd um stærð jarðhitakerfis á vinnsludýpi. Í Köldukvíslarbotnum eru þessir reikningar þó mikilli óvissu undirorpnir, því svæðið er þakið nýlegum hraunum og söndum. Af þessum sökum er rétt að benda á, að þokkalega nákvæma þrívíddarmynd af jarðhitakerfi má fá með viðnámsmælingum. Stærðarákvörðun með þessum hætti gæti jafnframt varpað ljósi á hugsanleg tengsl svæðisins við eldvirkni í Bárðarbungukerfinu. *Er því eindregið mælt með að viðnámsmælt verði í Köldukvíslarbotnum, og má reyndar segja, að viðnámsmælingar eigi óvíða betur við en þar.*

Efnasamsetning gass í gufuaugum gefur til kynna, að hiti í jarðhitakerfinu í Köldukvíslarbotnum sé um 290°C. Ekki er líklegt, að betra mat á hita fáist nema borað verði í svæðið.

Áhrif fyrirhugaðrar Hágöngumiðlunar yrðu þau helst, að yfirborðsummerki jarðhitans færu undir vatn. Ekki er þó talið líklegt að þetta muni spilla jarðhitakerfinu að ráði eða koma í veg fyrir virkjun jarðhitans síðar. Við lægstu stöðu lónsins, seint á vorin, færi vatnsborð í 798 m y.s., og kæmi þá allur yfirborðshitinn upp úr vatni. *Þannig gæfist færi á að fylgjast með hugsanlegum breytingum á jarðhitasvæðinu, ef ástæða þykir til, og bera saman við þau gögn, sem birt eru í þessari skýrslu.*

## HEIMILDIR

- Abratis, Michael og Arnold, Frank, 1993. Geology, petrology and geochemistry of Vonarskarð, Central Iceland. Diplomritgerð. Georg-August Universitat Gottingen, 193 bls.
- Árni Hjartarson, 1994: Vatnafarskort og grunnvatnskortlagning. MS ritgerð. Háskóli Íslands, 99 bls. og 1 kort.
- Elsa G. Vilmundardóttir og Ingibjörg Kaldal, 1995. Hágöngumiðlun. Jarðfræðiathuganir sumarið 1995. OS-95059/VOD-09 B, 9 bls. og 3 kort.
- Guðmundur Ó. Friðleifsson, Magnús Ólafsson og Jón Örn Bjarnason, 1995. Hágöngumiðlun. Jarðhiti í Köldukvísarbotnum. Orkustofnun, greinargerð, GÓF-MÓ-JÖB/95-02, 2 bls. og jarðhitakort.
- Guðmundur Kjartansson, 1965. Jarðfræðikort af Íslandi, Blað 5, Mið-Ísland, 1:250.000, Menningarsjóður, Reykjavík.
- Iðnaðarráðuneytið, 1994. Innlendar orkulindir til vinnslu raforku, bls. 132-133.
- Haraldur Matthíasson, 1963. Bárðargata. Árbók Ferðafélags Íslands, 148 bls.
- Haukur Jóhannesson og Kristján Sæmundsson, 1989. Jarðfræðikort af Íslandi. 1:500.000. Berggrunnskort. Náttúrufræðistofnun Íslands og Landmælingar Íslands, Reykjavík. (1. útgáfa.)
- Kristján Sæmundsson, 1982. Öskjur á virkum eldfjallasvæðum á Íslandi. Eldur er í Norðri. Sögufélag, Reykjavík, bls. 221-240.
- Landsvirkjun, Orkustofnun og Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns hf, 1994. Jarðvarmavirkjun í Bjarnarflagi. Verkhönnun. 71 bls. og 4 viðaukar.
- Landsvirkjun og Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf, 1994. Hágöngumiðlun. Forathugun. 6 bls., 4 viðaukar og kort.
- Landsvirkjun og Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf, 1995a. Hágöngumiðlun. Umhverfisafrif. Frumathugun. 10 bls. og 5 kort.
- Landsvirkjun og Verkfræðistofa Sigurðar Thoroddsen hf, 1995b. Hágöngumiðlun. Mat á umhverfisafrifum. Frumathugun. 19 bls., og fjöldi mynda, korta og fylgiskjala.
- 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. Orkustofnun, OS-93063/JHD-15, 63 bls.
- Magnús Ólafsson, 1987: Handbók um söfnun vatns- og gassýna. Orkustofnun, OS-87021/JHD-03, 43 bls.
- Níels Óskarsson, 1984: Monitoring of fumarole discharge during the 1975-1982 rifting in Krafla volcanic center, North Iceland. J. Volcanol. Geotherm. Res., Vol. 22, bls. 97-121.

- Piper, J.D.A., 1979. Outline volcanic history of the region west of Vatnajökull, Central Iceland. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, Vol. 5, bls. 87-98.
- Sigurður Þórarinnsson, Kristján Sæmundsson og Richard S. Williams jr., 1973. ERTS-1 Image of Vatnajökull: Analysis of Glaciological, Structural, and Volcanic Features, *Jökull*, Vol. 23, bls. 7-17.
- Stefán Arnórsson, 1991: Mat á náttúrulegu streymi CO<sub>2</sub> og H<sub>2</sub>S frá háhitasvæðum Íslands. Ráðstefna um jarðfræði og umhverfismál. Dagskrá og ágríp. Jarðfræðafélag Íslands, bls. 18-20.
- Stefán Arnórsson, 1995: Notagildi efnahitamæla. Eyjar í eldhafi. Safn greina um náttúrufræði. Gott mál hf, bls. 241-267.
- Stefán Arnórsson og Einar Gunnlaugsson, 1985: New gas geothermometers for geothermal exploration - Calibration and application. *Geochim. Cosmochim. Acta*, Vol. 49, bls. 1307-1325.



## VIÐAUKI A

Sýni af bergi og jarðhitaútfellingum

### KÖLDUKVÍSLARBOTNAR

- K-1** Syðri-Háganga, 1200 m hæð, dílótt líparít.
- K-2** Syðri-Háganga, 1240 m hæð á toppi, dílótt líparít. Efnagreining.
- K-3** Syðri-Háganga, 1240 m hæð á toppi, frauðkennt dílótt líparít.
- K-4** Jarðhitaummyndað súrt berg úr undirstöðu Syðri-Hágöngu. Sýnið er fjórir bergmolar sem sýna ágætlega breytileika ummyndunarstigs.
- K-5** Sýni úr ljósbrúnu móbergstúffi sem hallar inn undir Syðri-Hágöngu. Smásjárskoðun sýnir að þetta móleita túff er allt úr glerjuðu feldspatstakdílóttu bergi.
- K-6** Sýni úr Hágönguhrauni. Það er feldspatdílótt og eru dílarnir sums staðar í klös-um. Stöku ólivíndílar sjást líka.
- K-7** Undir K-5 er heldur ljósara túffset, sem er vikurkennt ásýndum, en með dreif af dekkri steinum, gjallkenndum og feldspatdílóttum. Efnagreining.
- K-8** Ummyndaður dökkgrænn biksteinn í skriðu neðan við köldu jarðhitaskelluna vestan í Syðri-Hágöngu. Biksteinninn virðist aðallega vera ættaður ofan jarðhitaskellunnar.
- K-9** Hvítur leir í sömu skellu í 900 m hæð. Efnagreining.
- K-10** Ljósult eða hvítt ummyndað líparít úr neðri einingunni í Syðri-Hágöngu. Ummyndunin gefur berginu morkna ásýnd. Efnagreining á sýnum K-2, K-10 og K-9 á að spanna breytileikann úr fersku súru bergi í ummyndað. Efnagreining.
- K-11** Líparít syðst úr tanganum á vestari bakka Köldukvíslar á móts við aðaljarðhitasvæðið vestur af Sveðjuhrauni. Bergið er feldspatdílótt, og dílastærð og ásýnd svipuð og í líparítinu í Syðri-Hágöngu.
- K-12** Sýni af hvítu og gulleitu hverasalti (pikeringíti) ofan á þurri leirskán í hálfþurrum leirhver (mynd 10). Hiti mældist 97,5°C á 20-30 cm dýpi. Röntgengreining sýnir pikeringít ( $\text{MgAl}_2(\text{SO}_4)_4 \cdot 22\text{H}_2\text{O}$ ) og kalsít.
- K-13** Járnoxíðútfelling tekin suðaustantil á virkasta hverasvæðinu. Inni á milli járnnoxíðblaða er víða yrjóttur hveraleir. Efnagreining.
- K-14** Rauður útfellingaleir úr jarðhitaskellunni í Sveðjuhrauni. Efnagreining.
- K-15** Hvít leirútfelling úr sömu skellu og K-14, tekið af 10 cm dýpi, því hvíti leirinn sést ekki á yfirborði, þar er einungis sá rauðleiti. Þetta sýni var röntgengreint og virðist geta verið blanda úr Al-silíkati (pýróphyllíti/illíti) og Mg-silíkati (talki).
- K-16** Sýni K-16, K-17 og K-18 eru öll úr sömu holunni sem grafin var með skóflu (mynd 15). K-16 er af rauðum leir á 15 cm dýpi. Í smásjá virðist sýnið að mestu gljáandi járnútfelling með gjallkenndri áferð, en linara rautt efni er í bland. Hluti af sýninu er jafnframt með hvítum, þéttum og linum útfellingum sem eru ókrist-

allaðar eða mjög fínkristallaðar. Sú blanda smyrst út og virðist leirkenndari en sú rauða. Efnagreining.

- K-17** Gulgrænn leir ofan 30 cm dýpis. Efnagreining.
- K-18** Grár leir neðan 30 cm dýpis. Fínlagskipting sést í leirnum. Litamismunur á sýnum K-16, K-17 og K-18 er einkar skýr. Efnagreining.
- K-19** Sýni úr litlum líparíthól norður við nyrðri jarðhitastaðinn. Þessi hól gæti verið toppur á líparítfelli. Sýnið er úr þéttu feldspatmáðflóttu líparíti, svipuðu og í Syðri-Hágöngu.
- K-20** Sýni úr Sveðjuhrauni. Það er feldspatdflótt, en jafnframt sjást smáir ólivíndílar þó minna beri á þeim en í Hágönguhrauni.
- K-21** Sýni úr köldu jarðhitaskellunni í suðvesturhorni líparítfellsins sem er sunnan við Nyrðri-Hágöngu. Jökull virðist ekki hafa gengið yfir jarðhitaskelluna. Í smásjá er þetta ljósleita líparít mjög svipað ásýndar og sýni K-10 úr Syðri-Hágöngu.
- K-22** Nyrðri-Háganga, 900 m hæð. Sýni úr feldspatdflótttri hrafntinnu og vikri. Jökulbergskápa leggst yfir vikurinn eins og á fellin hér um kring.
- K-23** Nyrðri-Háganga, 1050 m hæð. Sýni úr líparítinu sjálfu. Feldspatdflótt og svolítið ryðgað.
- K-24** Nyrðri-Háganga, sýni af toppi, 1165 m hæð skv. kortinu. Líparítið hefur gráleita vikurkennda ásýnd, en er úr nokkuð þéttara ljósu, feldspatdflóttu líparíti.
- K-25** Súrt kubbaberg í litla fellinu suður af Nyrðri-Hágöngu, og er það dökkt, feldspatdflótt líparít.
- K-26** Súrt smágert kubbaberg í ætluðu misgengisgili þar suður af, og er það líka úr dökku feldspatdflóttu súru bergi. Yngra basískt kubbaberg leggst upp að því súra og jökulbergskápa liggur yfir báðum myndunum.
- K-27** Þóleiít bólstraberg, feldspatdflótt, austan við nyrðri jarðhitastaðinn.

#### VONARSKARÐ

- V-1** Hverahrúður við kulnaðan goshver í Vonarskarði. Efnagreining.
- V-2** Járnútfelling svipuð og í Köldukvíslarbotnum. Efnagreining.
- V-3** Perlusteinn í Eggju.
- V-4** Ummyndað líparít í Eggju.
- V-5** Líparítsýni úr Skrauta.

## VIÐAUKI B

Sýnatökustaðir - gufuaugu og lindir

- 95-0127:** Kvíslarþúfa vestari. Gráðaostur. Allkröftugt gufuauga um 1 m vestan við sjóðandi þéttivatnspoll, um 50 m frá vesturbrún þúfunnar, og u.þ.b. miðja vega milli norður- og suðurmarka hennar. Leirinn í þéttivatnspollinum er götöttur eins og ostur og mikið er þar af myglubláum leir. Hiti 97,5°C við 920 mbar.
- 95-0128:** Kvíslarþúfa vestari. Sunnan baðsíkis. Kröftugt gufuauga austast í vesturþúfunni, u.þ.b. 15 m frá norðurbrún hennar. Undir norðurbrún þúfunnar rennur vatn úr Köldukvísl. Þar verður dálítið síki, en vatnið í því er vel volgt, u.þ.b. 30°C þar sem heitast er. Hiti 97,5°C við 920 mbar.
- 95-0129:** Kvíslarþúfa eystri. Auga við punktoll. Gufuauga nokkru austan við miðju eystri Kvíslarþúfunnar, syðst í virka svæðinu. U.þ.b. 5 m SA við augað er stök smáþúfa með punti, en þetta er nær eini gróður á allstóru svæði. Hiti 97,5°C við 920 mbar.
- 95-0130:** Kvíslarþúfa syðri. Víðibakki. Gufuaugað er austast í virka svæði syðstu Kvíslarþúfunnar, u.þ.b. 10 m frá austurbrún hennar. Augað er vel afmarkað, en gufur annars staðar í þúfunni dreifðar, þótt mikið rjúki. Dálitill víðir er í kringum þúfuna, fáeina metra frá henni, á annars nær gróðursnauðum mel. Hiti 97,5°C við 920 mbar.
- 95-0131:** Sveðjuhraunsbrún. Lind I. Lindirnar koma undan Sveðjuhrauni á löngum kafla og verður af lækur sem rennur suður með jaðri hraunsins. Sýnið var tekið úr einni af nyrstu lindunum, u.þ.b. 60 m í suður frá þeirri allra nyrstu. Hiti 2,2°C.
- 95-0132:** Sveðjuhraunsbrún. Lind II. Þessi lind er miklu sunnar en staður 95-0131. Hana er að finna í dálitlu viki skammt norðan við vestustu tungu Sveðjuhrauns. Í þessu litla viki eru fleiri lindir með svipuðum hita. Þessi er sú syðsta af þeim og streymið í henni einna mest. Hiti 9,2°C.
- 95-0133:** Kvíslarþúfa nyrsta. Melabúi. Um 350 m suður af móbergshól, sem markar norðurenda melanna norðan Köldukvíslar, er lítil þúfa á að giska 15 m í þvermál. Austan til í þúfunni eru fáein gufuaugu, öll heldur ræfilsleg. Sýnið var tekið úr næst syðsta gufuauganu, en það virtist skást. Hiti 97,5 við 930 mbar.
- 95-0134:** Kaldakvísl á aurum. Sýni var tekið úti í einni aðalkvísl árinna. Staðurinn er í beinni línu að kalla frá stað 95-0133 í stefnu á Kerlingar í Vatnajökli. Hiti 4,7°C.
- 95-0135:** Vonarskarð. Fúll á móti. Austan Eggju í Vonarskarði er dalverpi sem opnast til austurs. Sýnið var tekið úr gufuauga innst í dalverpinu, undir suðurbrún þess, á litlum hól u.þ.b. 6 m norðan við læk sem þar rennur. Lækurinn er snjóbráð úr fönnum, sem hanga innst og efst í dalverpinu sunnantil, rétt ofan við sýnatökustaðinn. Á móti sýnatökustað, nokkrum metrum norðan lækjarins er svolítill vatnshver, dökkur yfirlitum og fýlulegur. Af honum hlaut staðurinn nafn sitt: Fúll á móti. Hiti 96,5°C við 902 mbar.