



ORKUSTOFNUN

RANNSÓKNASVIÐ - Reykjavík, Akureyri

Þeistareykir

**Yfirlit um rannsóknir og
rannsóknarkostnað**

Halldór Ármannsson

Unnið fyrir Auðlindadeild Orkustofnunar

2003

OS-2001/035

Halldór Ármannsson

ÞEISTAREYKIR

Yfirlit um rannsóknir og rannsóknarkostnað

Unnið fyrir Auðlindadeild Orkustofnunar

OS-2001/035

2. útg. – Jan. 2003

ISBN 9979-68-073-7

ORKUSTOFNUN – RANNSÓKNASVIÐ

Reykjavík: Grensásvegi 9, 108 Rvk. - Sími 569 6000 – Fax 568 8896

Akureyri: Háskólinn á Akureyri, Sólborg v. Norðurslóð, 600 Ak.

Sími 463 0957 – Fax 463 0999

Netfang: os@os.is – Veffang: <http://www.os.is>



Skýrsla nr: OS-2001/035	Dags: 2. útg. – Jan. 2003	Dreifing: <input type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: ÞEISTAREYKIR Yfirlit um rannsóknir og rannsóknarkostnað	Upplag: 25	
	Fjöldi síðna: 24	
Höfundar: Halldór Ármannsson	Verkefnisstjóri: Halldór Ármannsson	
Gerð skýrslu / Verkstig: Rannsókn háhitasvæðis, yfirlit	Verknúmer: 8-720112	
Unnið fyrir: Auðlindadeild Orkustofnunar		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Tekið er saman yfirlit um rannsóknir sem gerðar hafa verið á háhitasvæðinu á Þeistareykjum og kostnað við þær. Mörkum jarðhitasvæðisins er lýst og gerð grein fyrir helstu jarðhitaeiginleikum og nýtingarmöguleikum, á grundvelli núverandi þekkingar. Talið er að Þeistareykir séu eitt samhangandi jarðhitasvæði, um 15 ferkílómetrar að stærð og ríkjandi hitastig sé yfir 250°C. Raforkugeta þess er metin allt að 60 TWst (1200 GWst á ári í 50 ár) og að svæðið liggja milli Kröflu og Námafjalls í orkugetu. Metið er að ríkið hafi lagt til kostnað sem svarar um 68,5 miljón krónum til jarðhita-rannsókna á svæðinu. Lagt er til að fyrsta rannsóknarhola á svæðinu verði boruð á Þeistareykja-grundum, sú næsta við Ketilfjall og sú þriðja við Tjarnarás.		
Lykilorð: Háhitasvæði, lýsing, rannsóknir, kostnaður, vinnslugeta, nýting, Þeistareykir	ISBN-númer: 9979-68-073-7	
	Undirskrift verkefnisstjóra:	
	Yfirfarið af: VS, PI	

Ágrip

Þeistareykir eru að öllum líkindum eitt samhangandi jarðhitasvæði, um 15 km² að stærð og ríkjandi hitastig yfir 250°C. Raforkugeta þess hefur verið metin allt að 60 TWst (1200 GWst á ári í 50 ár). Náttúrulegt varmatap hefur verið metið um 20W/m² sem er svipað og metið hefur verið fyrir flest háhitasvæði landsins. Á grundvelli stærðar og varmataps má gera því skóna að svæðið liggji mitt á milli Kröflu og Námafjalls í orkugetu.

Landið er eign Reykdæla-(8/15) og Aðaldæla-(7/15)hreppa en ríkið hefur nýtingarrétt á brennisteinsnámum og þarf að skera úr með dómi hvort sá réttur jafngildir rétti til nýtingar jarðhita.

Svæðið er vel kannað og hefur m.a. verið beitt þar öllum hefðbundnum aðferðum jarðhitaleitar á sviðum jarðfræða, jarðefnafræða og jarðeðlisfræða og er nú tilbúið til reynsluborana. Á verðlagi ársins 2001 er metið að ríkið hafi lagt í kostnað sem svarar um 68,5 miljón krónum til þeirrar þekkingaröflunar.

Lagt er til að fyrsta rannsóknarhola verði boruð á Þeistareykjagrundum í námunda við gangnamannaskálann, sú næsta við Ketilfjall og sú þriðja við Tjarnarás.

Efnisyfirlit

Ágrip	2
1 Inngangur	5
2. Hugmyndalíkan	5
2.1. Undirstaða	5
2.2. Samtúlkun	10
3. Undirsvæði og uppstreymi	13
4. Héraðslýsing, stjórnsýslumörk	13
5. Yfirlit um rannsóknir á Þeistareykjum	15
6. Vinnslugeta, vinnslueiginleikar, nýting	18
7. Gæði og notagildi upplýsinga	22
8. Heimildir	22

Töfluskrá

1. Helstu rannsóknir Þeistareykjum og kostnaður ríkisins við þær	17
2. Reikningar á varmatapi frá Þeistareykjum miðað við hita og rennsli í Lóni	18

Myndaskrá

1. Afstöðumynd er sýnir rannsóknasvæði Gests Gíslasonar o.fl. (1984)	8
2. Þeistareykir. Yfirborðsjarðhiti 1983-1984 og 1991	9
3. Þeistareykir. Undirsvæði	10
4. Þeistareykir. Rennslisleiðir vökva. Hugsanleg uppstreymissvæði	11
5. Þeistareykir. Gashiti, suðudýpi og einfaldað viðnámssnið	12
6. Þeistareykir. Landamerki og mörk jarðhitasvæða	14
7. Lega gufuæðar frá Þeistareykjum til Húsavíkur	20
8. Lagnir v/súrálsværksmiðju og raforkuvers	21

1. Inngangur

Með tilkomu laga nr. 57/1998 um rannsóknir á nýtingu auðlinda í jörðu varð þörf á samantekt um þær viðamiklu rannsóknir sem gerðar hafa verið á jarðhitasvæðinu við Þeistareyki og að meta þann kostnað sem ríkið hefur í þær lagt. Auðlindadeild Orkustofnunar hefur yfirumsjón með að slíkar samantektir séu gerðar og samdi við Rannsóknasvið Orkustofnunar (ROS) um að taka saman efni um þetta svæði, sem á að bæta úr ofangreindri þörf.

Í samningi var tekið fram að fjalla þyrfti um eftirfarandi atriði:

- Hvaða hugmyndalíkan fellur best að þeim mælingum sem liggja fyrir um jarðhitasvæðið?
- Liggja fyrir vísbendingar um að skipta megi jarðhitasvæðinu í undirsvæði? Er hægt að skilgreina fleiri en einn virkjunarstað á Þeistareykjum?
- Er hægt að skilgreina eitt eða fleiri “uppstreymissvæði” á Þeistareykjum?
- Almenn héraðslýsing. Stjórnsýslumörk, eignarhald á landi og eignarhald á jarðhitaréttindum. Þjóðlendur, vernduð svæði, þjóðgarðar, fólkvangar o.þ.h.
- Upptalning á þeim rannsóknum sem fram hafa farið á svæðinu og þá sérstaklega á þeim rannsóknum sem ríkið hefur kostað. Þessi upptalning á að vera nokkuð víðtæk og spanna eðlilegar jarðhitarannsóknir (jarðfræði, jarðefnafræði, jarðeðlisfræði, jarðskjálfta, grunnvatn o.s.frv.) en taka einnig til almennra umhverfisþátta (náttúrufar, gróðurkort o.s.frv.).
- Mat á uppsöfnuðum kostnaði sem ríkið hefur lagt til rannsókna og þekkingaröflunar á jarðhitasvæðinu við Þeistareyki.
- Í yfirlitsskýrslu skal ekki vera bein endursögn á rannsóknarniðurstöðum, heldur vitna í birt gögn um svæðið. Ef það er hins vegar svo að hægt sé að slá saman niðurstöðum úr mörgum stöðum í eina heildstæða mynd er gert ráð fyrir að það verði gert í yfirlitsskýrslu.
- Hverjir eru vinnslueiginleikar jarðhitans á Þeistareykjum? Hvernig verður heppilegast að nýta orkuna?
- Hver er væntanleg vinnslugeta Þeistareykjasvæðisins?
- Eru til staðar alvarleg “göt” í fyrirliggjandi upplýsingum um Þeistareykjasvæðið?
- Eru til staðar einhverjar mótsagnir eða óskýranlegar niðurstöður í þeim niðurstöðum rannsókna, sem liggja fyrir um jarðhitasvæðið?
- Liggur það ljóst fyrir hvar ætti að bora 2-3 rannsóknarholur á Þeistareykjasvæðinu?

2. Hugmyndalíkan

2.1. Undirstöður

Jarðfræði

Jarðhitasvæðið á Þeistareykjum er í tengslum við virka megineldstöð. Um hana gengur sprungukerfi sem stefnir nánast N-S, um 4-5 km breitt og nær frá Mývatni í suðri og norður til sjávar vestast í Kelduhverfi. Sprungukerfið er lítið eldvirkt en stórir jarðskjálftar eru algengir innan þess. Upphleðsla hrauna hefur þó verið allmikil en yngsta hraunið, Þeistareykjahraun er um 2700 ára gamalt og liggur yfir Stóravítishraun, 2ja km breitt frá vesturjaðri jarðhitasvæðisins vestan Bæjarfjalls norður undir Grísa-

tungu-fjöll. Jarðhitasvæðið sjálft er á sunnanverðri Reykjaheiði milli Lambafjalla í vestri og Þeistareykjabungu í austri, að stórum hluta á flatlendi en yfirborðsjarðhiti nær 530 m hæð í Bæjarfjalli og tæplega 500 m hæð í Ketilfjalli. Næsta umhverfi jarðhitasvæðisins er þakið hraunum sem aðallega hafa runnið á Nútíma. Djúpur gígur, Stóravíti (700 m þvermál, 130 m dýpt), og sigketill, Litlavíti (130 m þvermál, 70 m dýpt), myndaðir á Nútíma, eru á Þeistareykjabungu, u.þ.b. 3 km austan jarðhitasvæðisins. Frá Stóravíti hefur runnið Stóravítishraun sem er u.þ.b. 7000 ára ólivín-þóleiðhraun sem nær norður í Kelduhverfi, vestur að Lambafjöllum, suður að Gæsafjöllum og Hólasandi og a.m.k. austur til Gjástykkis. Þriðja hraunið sem kveður að í næsta nágrenni jarðhitasvæðisins er Borgarhraun, sem er líklega um 5000 ára gamalt, ólivín- og pýroxendíflótt, kemur upp í gígum austan við Kvíhólafjöll, hefur runnið til norðurs að Þeistareykjum, til vesturs að misgengjum undir Lambafjöllum, suður með Klappa-brekku og út á Hólasand. Bæjarfjall er að neðan til úr bólstrabergi en að ofan úr móbergstúffi, sennilega myndað í gosi seint á síðustu ísöld. Gígur mikill er á fjallinu, um 80 m djúpur og um 900 m að þvermáli og vestan við hann annar minni, nokkrir tugir m að dýpt og 80-100 m í þvermál. Sunnan við Bæjarfjall liggja Kvíhólafjöll sem eru móbergsfjöll en norðan þess Ketilfjall sem er móbergshryggur, líklega framhald Kvíhólafjalla, sennilega myndaður á síðasta jökulskeiði. Vestanmegin liggja Lambafjöll þakin ungu móbergi frá síðasta jökulskeiði, og inni í sprungukerfinu, 8-10 km NA af jarðhitasvæðinu, liggur Mælifell og litlu norðar Litla Mælifell. Bæði eru eru úr súru bergi, líparíti, sem myndast hefur við gos í jökli (Gestur Gíslason o.fl. 1984). Mynd 1 er afstöðumynd af Þeistareykjum og sýnir einnig það svæði sem Gestur Gíslason o.fl. (1984) rannsökuðu.

Yfirborðsummerki jarðhita ná yfir um 11 km² en viðnámsmælingar gefa til kynna að umfang jarðhitakerfisins í berggrunni sé um 18 km². Yfirborðsummerki hafa verið flokkuð í leirhverfi (leirhverfapýrpingar), brennisteinsþúfur, heita ummyndun á yfirborði, gufur undir 90°C, volgrur, afbræðslur og kalda ummyndun (Gestur Gíslason o. fl. 1984). Auk þess er vestur við Lambafjöll nokkur köld ummyndun.

Með skýrslu Gestis Gíslasonar o.fl. (1984) fylgdu jarðfræðikort og brotalínukort í skalanum 1:400.000 af svæðinu vestan frá Lambafjöllum, austur fyrir Þeistareykjabungu og jarðhitakort af hinu virka jarðhitasvæði í mælikvarðanum 1: 100.000. Töluverðar breytingar urðu á útbreiðslu yfirborðsjarðhita frá 1982 til 1991 og sýnir mynd 2 þær breytingar (Ármannsson o.fl. 2000). Hins vegar hafa litlar breytingar orðið þar síðan. Samkvæmt upplýsingum rjúpnaskyttna höfðu orðið miklar breytingar á yfirborðsvirkni árið 1959, sennilega í kjölfar jarðskjálfta sem urðu 1958.

Jarðefnafræði

Í skýrslu Jarðborana ríkisins (1951) eru sýndar niðurstöður efnagreininga og gas/gufuhlutfalls fyrir 3 sýni frá svæðum C (Þeistareykjagrundum) og D (Tjarnarási) (mynd 3), og var unnt að reikna gashita fyrir þau og reyndist hann 270–280°C. Rúmmálshluti gastegunda var greindur í nokkrum sýnum í sambandi við rannsóknir Karls Grönvold og Rögnu Karlsdóttur (1975). Er þær niðurstöður mjög svipaðar hinum fyrri en ekki var unnt að reikna gashita á sama hátt. Í skýrslu Gestis Gíslasonar o.fl. (1984) er skýrt frá niðurstöðum efnagreininga sýna úr 34 gufuaugum og tveimur volgrum. Gashiti reiknaðist hæstur við Ketilfjall og í sunnanverðum Tjarnarási en fór lækkandi til suðausturs upp á Bæjarfjall og lengra til norðurs og vesturs. Hlutföll δD og

$\delta^{18}\text{O}$ reyndust mjög lág og bentu til uppruna langt fyrir sunnan og hærra í landi og/eða til mjög gamals upprunavats. Líklega er rennsli inn á svæðið úr suðaustri. Radonstyrkur var túlkaður þannig að hraðast rennsli væri í misgenginu vestan við Bæjarfjall, en að tregt rennsli væri í sunnanverðum Tjarnarási þar sem gashiti reyndist hæstur. Viðbótartúlkun niðurstaðna um δD og $\delta^{18}\text{O}$ hlutföll (Darling og Ármannsson 1989) benti eindregið til að gufa sú er upp kemur í sunnanverðum Tjarnarási hafi að einhverju marki þétt á leiðinni og tölur um gashita þar því of háar. Fylgst hefur verið með gashita í nokkrum gufuaugum og benda niðurstöður til lækkunar á Tjarnarássvæði (Svæði D) en e.t.v. einhverrar hækkunar á Þeistareykjagrundum (Svæði C) og í Ketilfjalli (Svæði A). Eru þær niðurstöður í samræmi við niðurstöður um breytingar á yfirborðsvirkni (Ármannsson o.fl. 2000) en hiti reiknast á bilinu 260 til 300°C. Niðurstöður um $^3\text{He}/^4\text{He}$ hlutfall eru innan þess sviðs sem algengt er í basalti á Norður-Atlantshafshryggnum (Craig og Lupton 1981) og benda til þess að He-gas þarna sé af töluverðu dýpi.

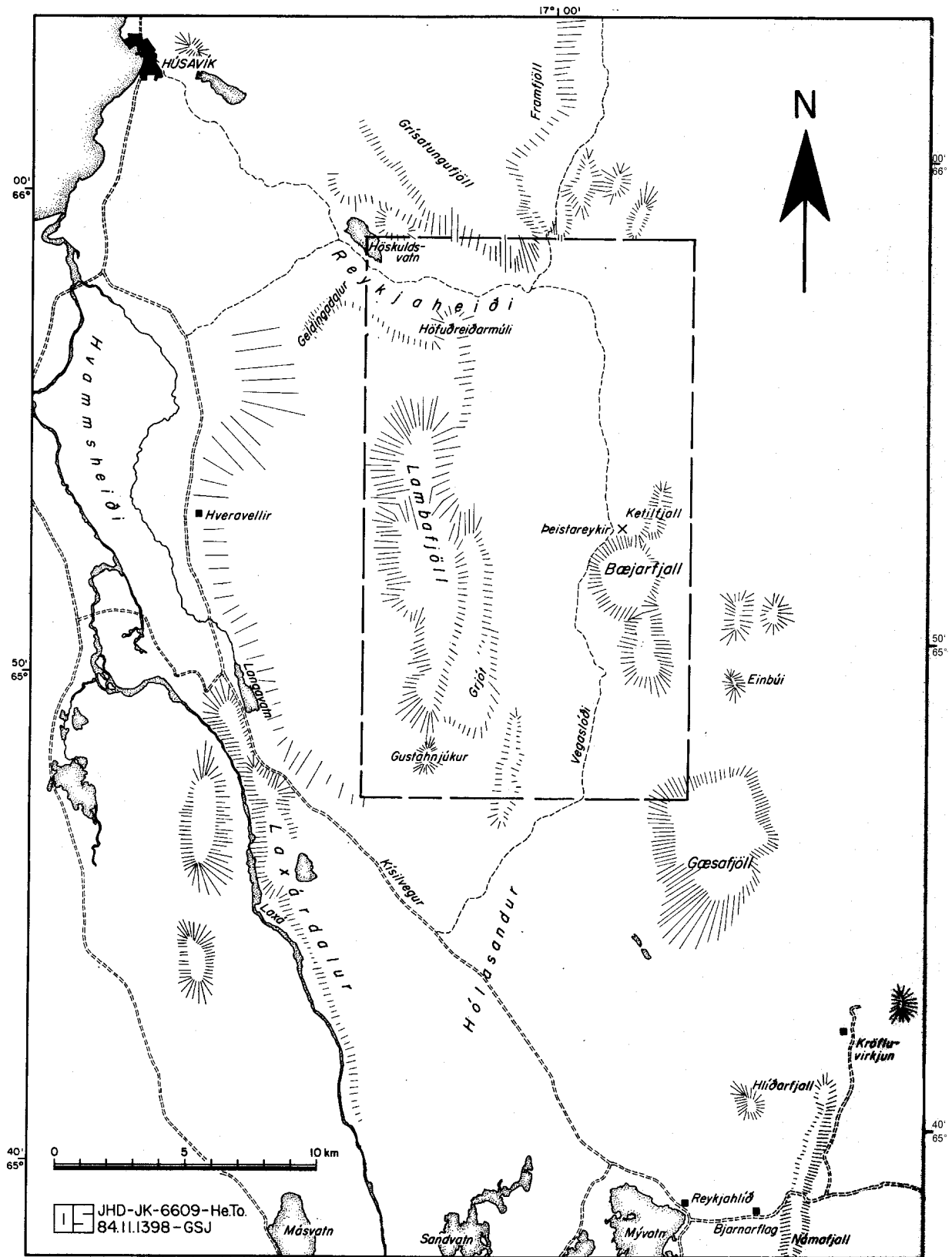
Jarðeðlisfræði

Sumarið 1972 voru gerðar 17 Schlumberger viðnámsmælingar á Þeistareykjum og 1973 13 auk þess sem nokkrar eldri mælingar voru framlengdar (Ragna Karlsdóttir 1974). Árin 1981 og 1982 voru gerðar 23 mælingar til viðbótar (Gestur Gíslason o.fl. 1984). Eins og títt er um háhitasvæði á Íslandi kemur fram háviðnám neðan lágviðnáms og þótti líklegast þá að það stafaði af suðu í bergi, en nýrri túlkunaraðferðir sýna að slík hækkun verði þegar klórít tekur við af smektíti sem ríkjandi ummyndunarsteind og hitastig því orðið hærra en 240°C (Árnason and Flóvenz 1992). Túlkun viðnáms bendir og til þess að jarðhitageymir liggi þvert á sprungustefnu frá Ketilfjalli vestur að Lambafjöllum. Dreifing virks jarðhita á yfirborði bendir til svipaðrar austur-vestur stefnu. Húsavíkur-misgengið sem er nokkru norðar hefur sömu stefnu. Segulkort sem Þorbjörn Sigurgeirs-son gerði 1974 sýnir segullægð með sömu stefnu auk þess sem sama stefna kemur fram á þyngdarkorti af svæðinu.

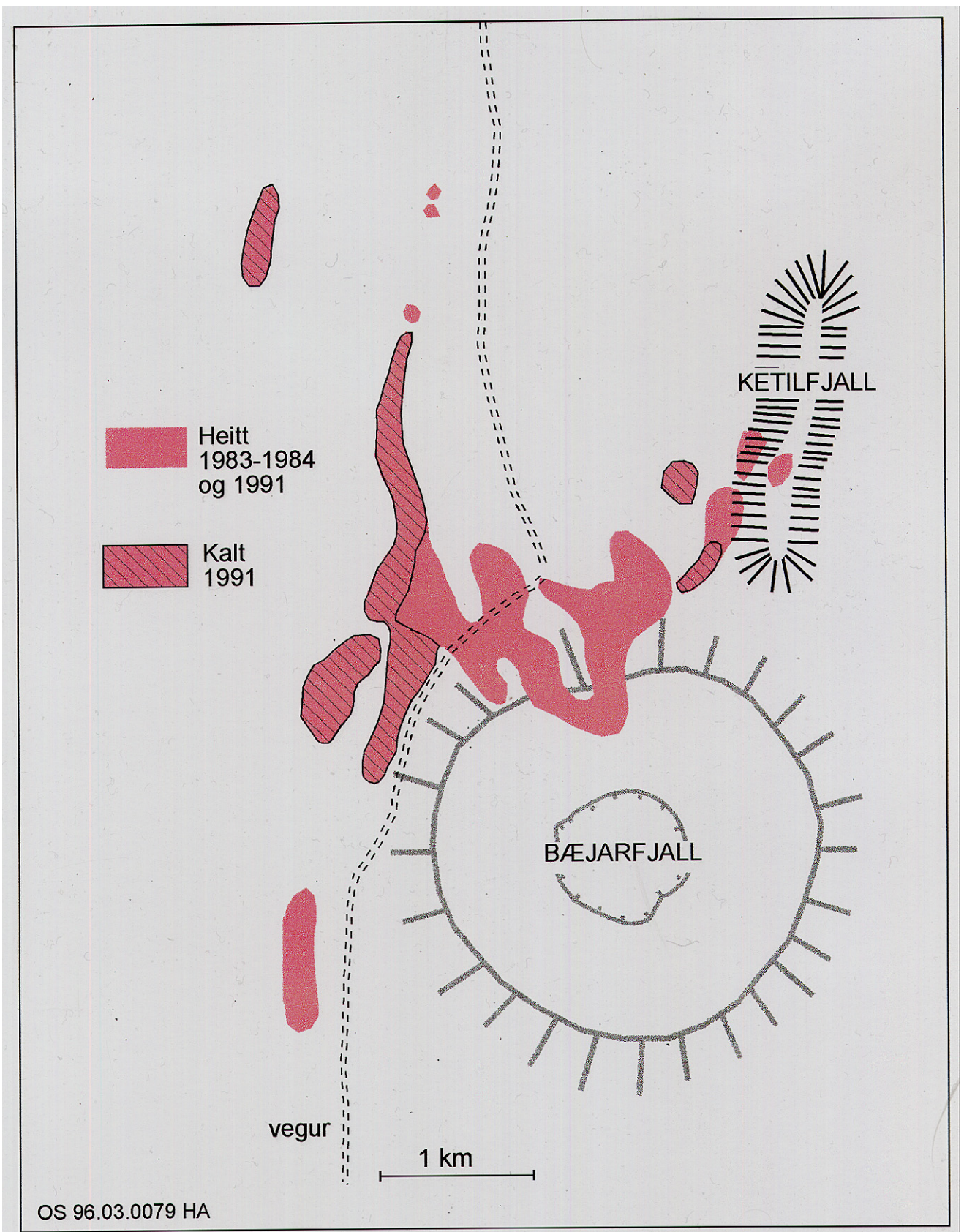
Í september 1999 var sett upp net með færanlegum skjálftamælum til könnunar á skjálftavirkni. Smáskjálftar með upptök undir Þeistareykjasvæði röðuðu sér á á N-S stefnu undir norðanverðu Bæjarfjalli og bendir það til höggunar á sprungum og brotum sem viðhaldi rennslisleiðum jarðhitavökva (Kristín S. Vogfjörð 2000). Loks náðu jarðsveiflumælingar vegna Kröflu og Námafjalls yfir svæðið og sýndu lög 0, 1 og 3 en lag 2 virtist vanta (Pálmason 1971).

Árin 1981–1983 voru farnar nokkrar ferðir til þyngdarmælinga. Í byrjun var sett út 10 km löng grunnmælilína með 18 mælistöðum frá Stóravíti í austri, norður fyrir Bæjarfjall, og vestur að Lambafjöllum til að fylgjast með stöðugleika svæðisins. Auk þess var mælt á tveimur stöðum sunnar. Í seinni ferðum var mælt á 162 viðbótarstöðum. Hæð var mæld með loftvog og gert var Bouguer-kort af svæðinu. Stór og mikil þyngdarlægð, um 25 km² kemur fram norðvestan Bæjarfjalls og austan við norðurhluta Lambafjalla. Lægðardrag fylgir miðbiki Þeistareykjasprungukerfisins en annað er norðar og stefnir norðvestur-suðaustur. Talið er líklegt að yfirborðsjarðhiti tengist þessum lægðardrögum (Gestur Gíslason o.fl. 1984). Smáskjálftar í norðanverðu Bæjarfjalli benda til að þar undir séu lekar sprungur í annars þéttu ummynduðu bergi og að þar sé

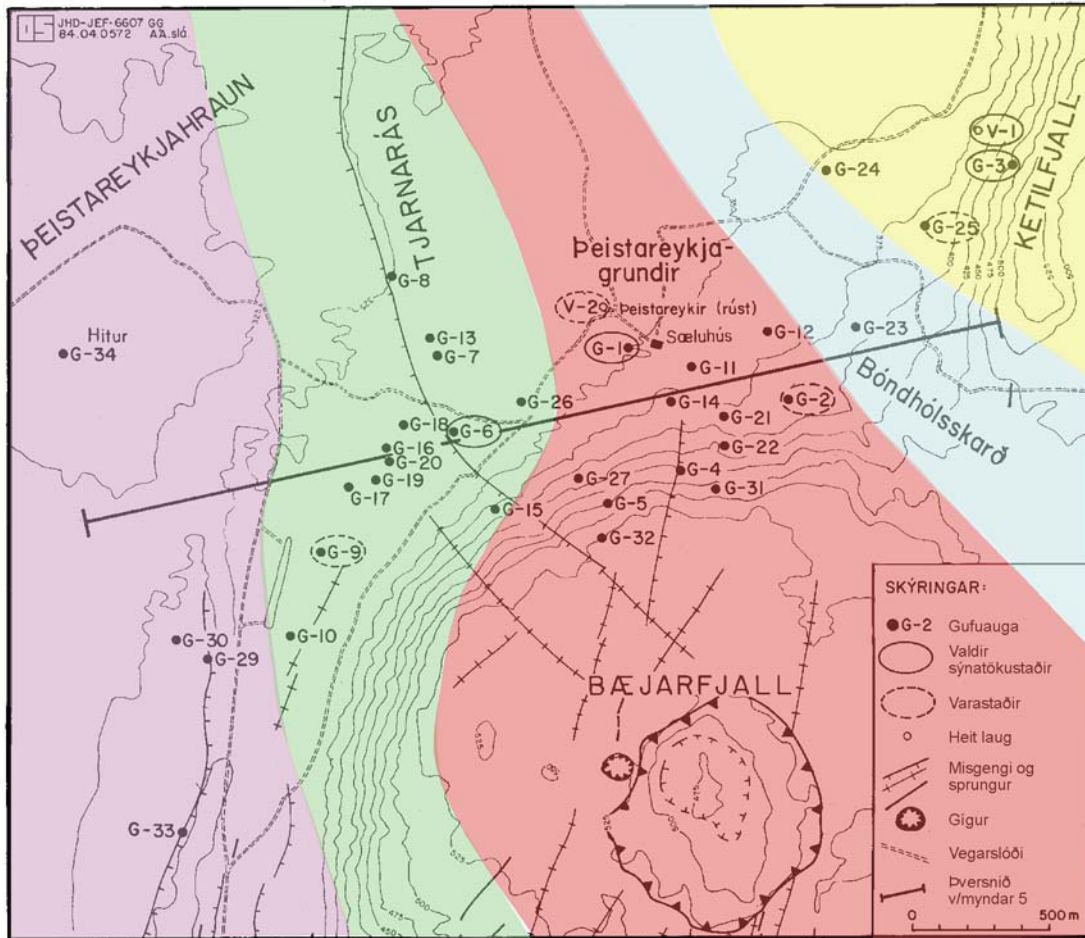
höggun á sprungum og brotum sem viðhaldi rennslisleiðum jarðhitarennis (Kristín S. Vogfjörð 2000).



Mynd 1. Afstöðumynd er sýnir rannsóknasvæði Gestis Gíslasonar o.fl. (1984).



Mynd 2. Þeistareykir. Yfirborðsjarðhiti 1983-1984 og 1991.

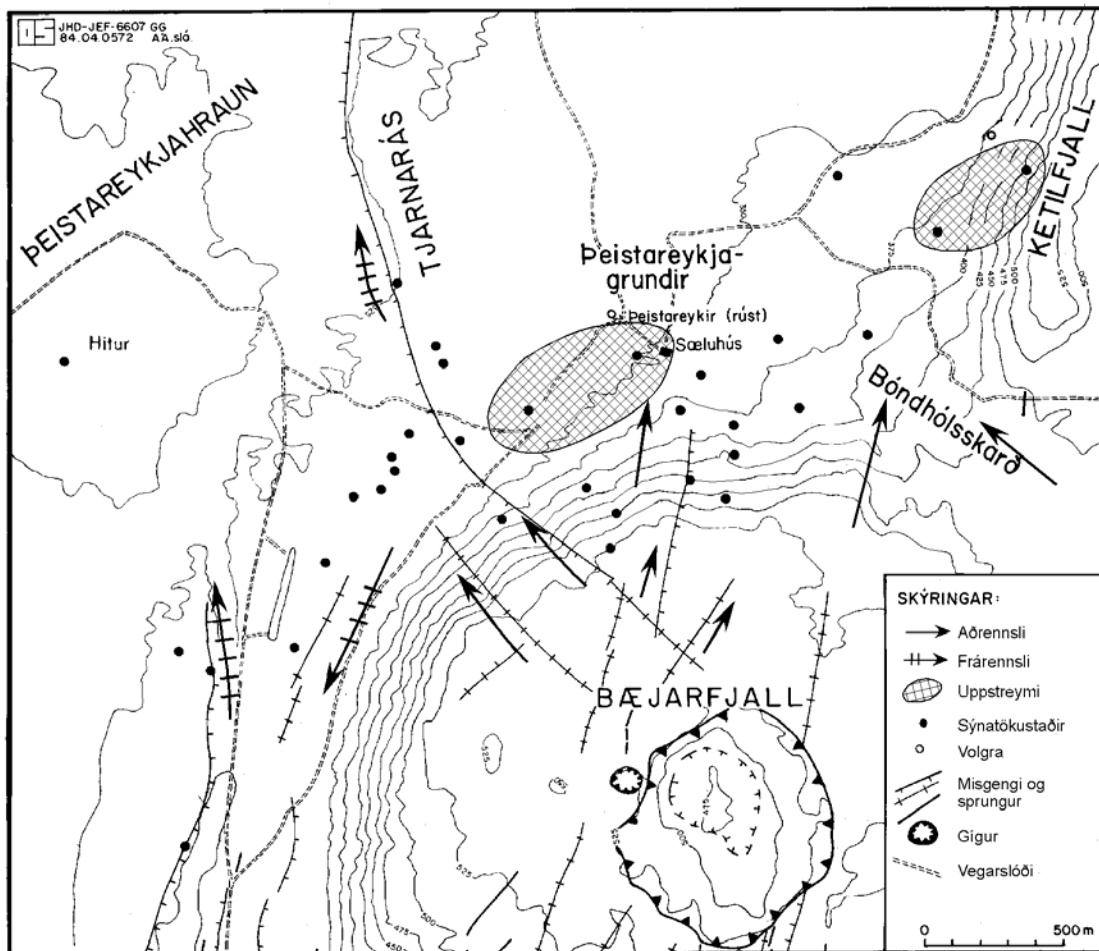


Mynd 3. Peistareykir. Undirsvæði.

2.2. Samtúlkun

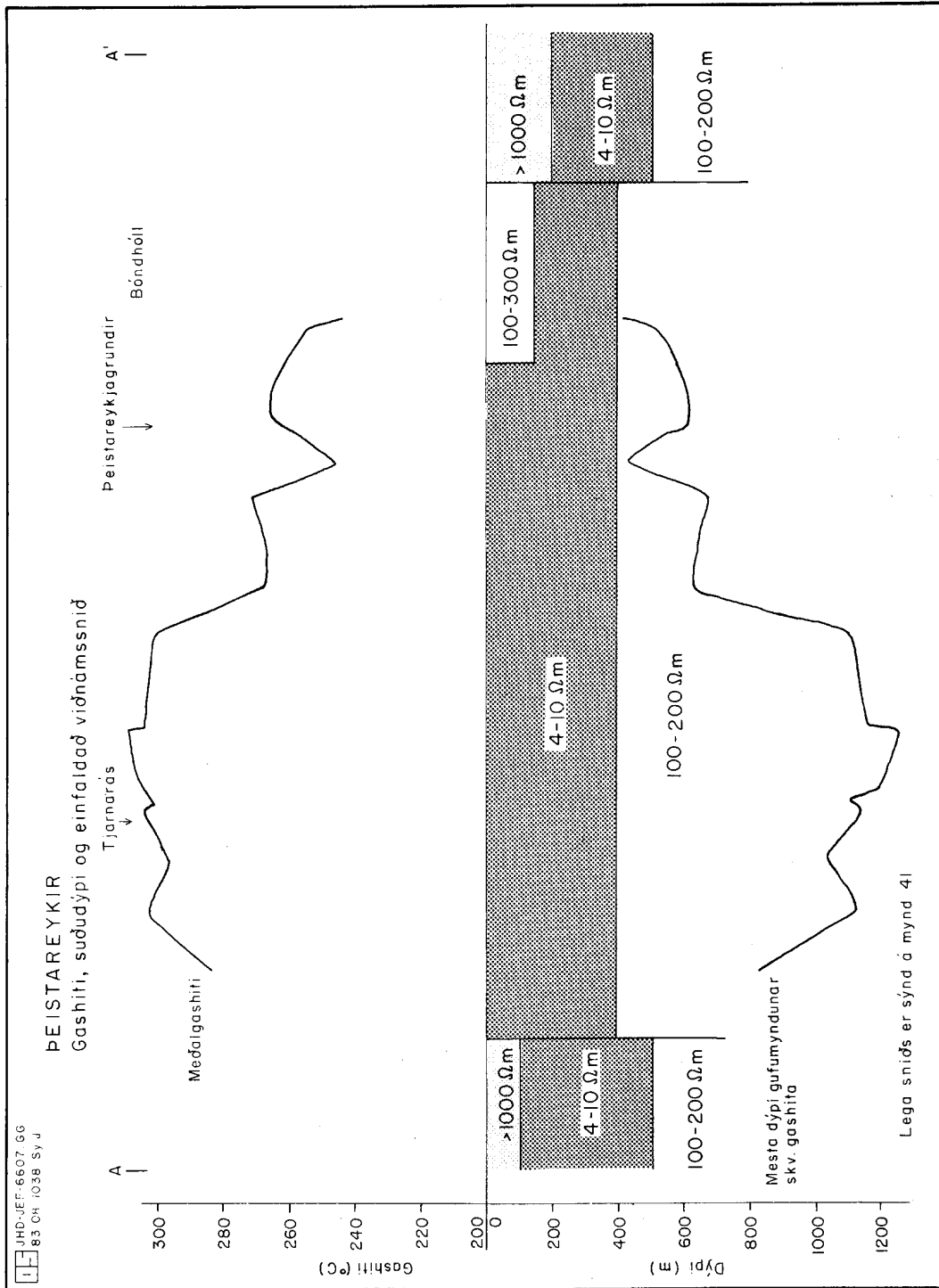
Jarðhitasvæðinu við Peistareyki hefur verið skipt í fimm undirsvæði á grundvelli efnafræði gufuuðstreymis og yfirborðsummyndunar (mynd 3). Þessi svæði eru: Svæði A - við sunnanverðan Ketilás, Svæði B- Bóndhólsskarð milli Bæjarfjalls og Ketiláss, Svæði C - norðurhlíðar Bæjarfjalls ásamt Peistareykjagrundum og Bóndhól, Svæði D – Tjarnarás, og að lokum Svæði E - Hiturnar vestan Bæjarfjalls og svæðið til norðurs og suðurs af þeim. Grunnvatn streymir inn á svæðið úr suðri en rennur sennilega eftir smá krókaleiðum inni á svæðinu eftir að það hefur hitnað. Í skýrslu Gests Gíslasonar o.fl. (1984) voru leiddar líkur að því að tvö uppstreymi væru á svæðinu, þ.e. undir Ketilfjalli og við sunnanverðan Tjarnarás. Í ljósi seinni athugana má reikna með að uppstreymin liggi heldur austar en upphaflega var ætlað, hið vestara ekki langt frá gangnamannaskálanum (mynd 4). Rétt er að taka fram að mjög stutt er á milli þessara tveggja hugsanlegu uppstreyma og má vera að það sé eingöngu kalt streymi ofarlega í berggrunnin sem skilur þau að en í raun sé aðeins um eitt uppstreymi að ræða. Staðhættir eru slíkir að svæðið er nokkuð samfelld og ekki verulega víðáttumikið svo að ástæðulaust er að staðsetja fleiri en einn virkjunarstað þar. Líkanið af jarðhitasvæðinu bendir til þess að þó að skörp skil séu á milli svæða á yfirborði er ekki ólíklegt að á virkjunardýpi sé hitinn nokkuð samfelldur yfir svæðið. Líklegt er að kæling yfirborðs-

gufu sé til komin vegna kalds grunnvatnsstreymis ofarlega í berginu í Bóndhólsskarði er kæfi gufustreymi til yfirborðs og verði til þess að annars stigs gufa myndist við suðu kalda grunnvatnsins fyrir tilstyrk varma frá rísandi gufu.



Mynd 4. Peistareykir. Rennslisleiðir vökva. Hugsanleg uppstreymi.

Út frá niðurstöðum viðnámsmælinga má ætla að á all víðáttumiklu svæði, e.t.v. um 18 km² eða stærra, sé yfir 250°C hiti í kerfinu. Á mynd 5 er sýnt viðnám, gashiti og gufumyndunardýpi skv. túlkun Gests Gíslasonar o.fl. (1984) í sniði, sem sýnt er á mynd 3, og nær frá Hitum að Bóndhólsskarði. Smáskjálftar hafa ekki verið staðsettir afstætt og ekki hægt enn að tengja þá einu misgengi fremur en öðru. Þær upplýsingar sem liggja fyrir benda þó til að svæði C og D liggi fyrir opnum rásum.



Mynd 5. Þeistareykir. Gashiti, suðudýpi og einfaldað viðnámsnið. Lega síðs er sýnd á mynd 3.

3. Undirsvæði og uppstreymi

Eins og fram kom hér að ofan var svæðinu skipt í fimm undirsvæði á grundvelli yfirborðsummerkja og efnasamsetningar gufu. Nánari túlkun bendir þó til þess að um áhrif grunnvatns og e.t.v. þéttingar á tiltölulega litlu dýpi geti verið að ræða, og e.t.v. ekki ástæða til að ætla að jarðhitakerfið sem undir liggur skiptist í undirsvæði. Svæðið er ekki svo stórt að ástæða sé til að skilgreina fleiri en einn virkjunarstað með tilliti til þeirrar gufu sem verið er að virkja. Frumtúlkun benti til þess að um a.m.k. tvö uppstreymissvæði sé að ræða. Seinni túlkun bendir til þess að bæði liggja nokkuð austar en upphaflega var ætlað (mynd 4) og fyrirvari sá um öflugan grunnvatnsstraum ofarlega í jarðlögum í Bóndhólsskarði gæti vel skermað af samband milli þessara tveggja uppstreymissvæða þannig að um eitt uppstreymi getur verið að ræða.

4. Héraðslýsing, stjórnsýslumörk

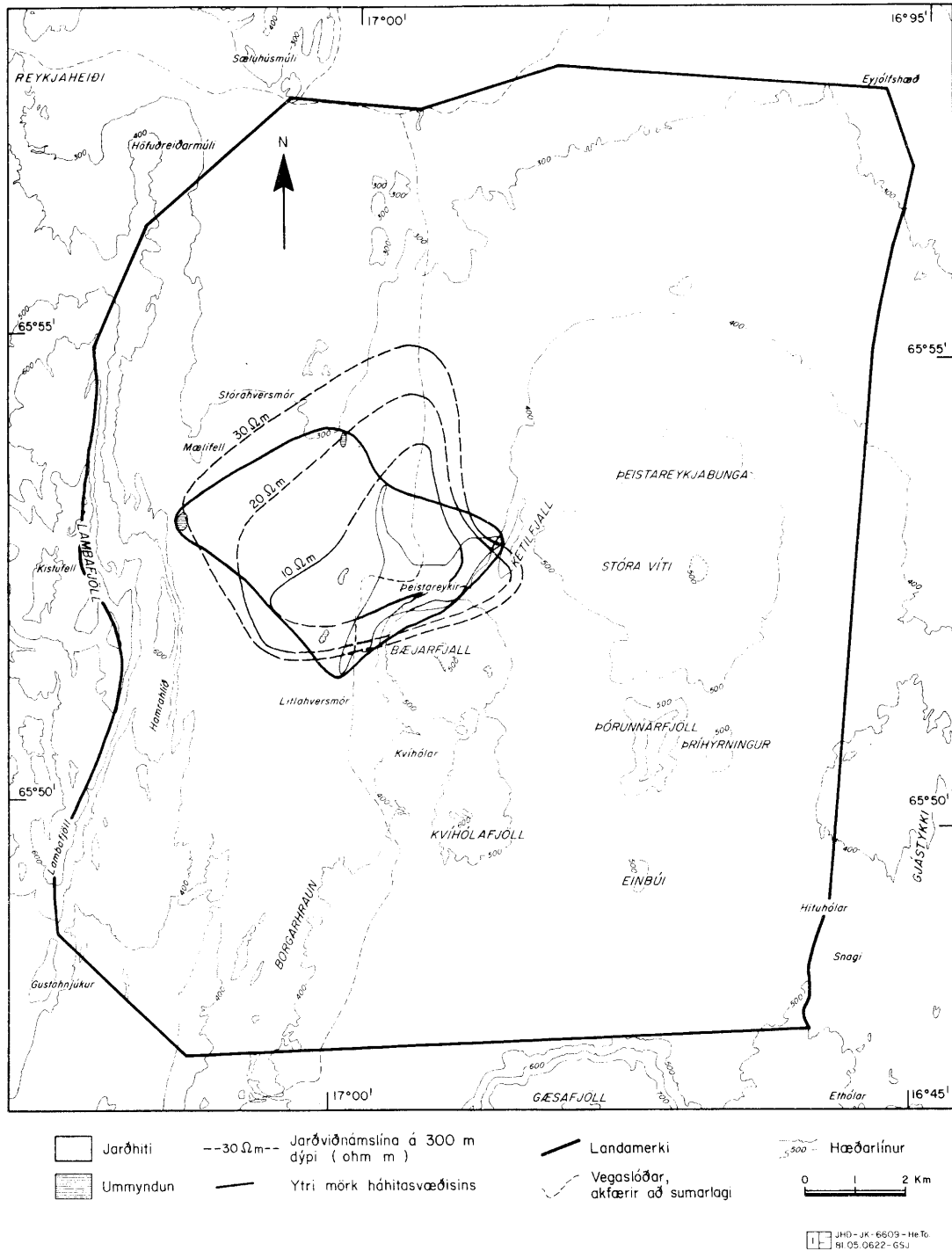
Í nágrenni jarðhitasvæðisins eru grónar grundir og búsældarlegt. Fyrr á öldum var búskapur stundaður á Þeistareykjum en hann lagðist af 1873 einkum vegna þess hve afskekktur staðurinn er (Ólafur Jónsson 1945). Enn getur að líta þar bæjarrústirnar. Þá var í gegnum aldirnar brennisteinsnám á Þeistareykjum (Sveinn Þórðarson 1998). Nú er þar gangnamannaskáli með rennandi vatni frá volgrum í Ketilfjalli og hitaður með jarðhita. Allmargir ferðamenn koma þar við á sumrin og staðurinn er vinsæll meðal vélsleðamanna á vetrum. Þá er og mikið gengið þar til rjúpna á haustin.

Eigendur Þeistareykjalands frá fardögum 1915 eru Reykdæla- og Aðaldælahreppar í Þingeyjarsýslu samkvæmt afsali sem Ráðherra Íslands gerði 14. september 1915 og eru eignarhlutföll hreppana þau að Reykdælahreppur á 8/15 og Aðaldælahreppur 7/15. Undanskildir afsali eru brennisteinsnámar með landsréttindum til að nýta þá. Ekki er fulljóst hvort réttindi til að nýta brennisteinsnáma jafngildir eign á jarðhitaréttindum en það er álit ríkisins. Hliðstæð ákvæði voru í gildi um Kröflu og Námafjall áður en til nýtingar kom og var samið við landeigendur um að jarðhitasvæði, og aðstaða til mannvirkjagerðar til nýtingar jarðhita yrðu ríkissjóði til frjálsra umráða og ráðstöfunar. Annað gildir í tilfalli Þeistareykja þar sem landeigendur en ekki ríkissjóður hafa hug á að virkja svæðið. Um þetta verður að skera úr með samningi eða dómi.

Sigfús Bjarnason, Sandi, Aðaldal, gerði svohljóðandi landamerkjaskrá 16. september 1948, og hefur Orkustofnun látið draga landamerkjalínu á kort (mynd 6) skv. þeirri lýsingu (Valgarður Stefánsson o.fl. 1981):

“Að norðan eru merki frá suðurodda Sæluhúsmúla, bein stefna í norðurenda Rauðhóls, þaðan stefna í suðurenda Lönguhlíðar (brún mót vestri) og þaðan bein lína austur á Eyjólfs hæð. Að austan eru merki fyrst bein stefna af Eyjólfs hæð suður í norðurenda Bunguveggjar, þar sem varða er. Þá ræður merkjum gjáveggurinn, Bunguveggjar, þar til hann þrýtur austur af Þeistareykjabungu sunnanvert. Frá veggjarenda á þessum stað ræður bein lína suður að Hituhólum miðjum og sama stefna suður yfir hólana. Frá sunnanverðum Hituhólum ræður óslitinn gjáveggur, Borgarveggur, allt suður að beinni línu sem þar sker vegg Gæsafjalla, að norðan. Er það merkjahorn, sem hér myndast á Borgarvegg stutt norður af Éthól. Að sunnan eru merki frá þessum stað á Borgarvegg, vestur eftir fyrrnefndri línu, stefnu af Eilíf á norðurrætur Gæsafjalla og sömu stefnu frá

þeim stað er rætur fjallanna ganga lengst norður og vestur mó og sand þar sem Eilífsfjöll ber við Gæsafjöll að norðan, allt vestur á merkihnúk á Klapparbrekku, en þaðan bein stefna á Gustaskarð. Að vestan ráða Lambafjöll merkjum úr Gustaskarði að sunnan norður á Jónsnýpu á Höfuðreiðarmúla, og af Jónsnýpu bein stefna í suðurodda Sæluhússmúla, sem í upphafi var nefndur”. (Úr veðmálabókum sýslumannsembættisins á Húsavík).



Mynd 6. Peistareykir. Landamerki og mörk jarðhitasvæðis.

5. Yfirlit um rannsóknir á Þeistareykjum

Árið 1775 lýsti danskur námafræðingur aðstæðum á Þeistareykjum, og Jónas Hallgrímsson skoðaði Þeistareyki 1839. Nær eingöngu var hugað að brennisteini í þeim athugunum en hann var numinn á svæðinu fram undir 1900 (Ólafur Jónsson 1945, Sveinn Þórðarson 1998). Um miðbik 20. aldar gerðu Bemmelen og Rutten (1955) rannsóknir sem aðallega beindust að hlýskeiðshraunum og móbergi. Rannsókuðu þeir Lambafjöll og lýstu Bæjarfjalli og nágrenni. Árið 1971 voru leirmyndanir á Þeistareykjum rannsakaðar (Halldór Kjartansson 1972) en fyrsta skipulagða rannsókn á jarðhita þar fór fram á vegum Orkustofnunar 1972-1974 (Ragna Karlsdóttir 1974, Karl Grönvold og Ragna Karlsdóttir 1975). Þeistareykir voru hluti af stærri rannsóknarsvæðum í jarðskjálfta- og jarðsveiflumælingum auk jarðfræðikortlagningar (Ward og Björnsson 1971, Pálmason 1971, Sæmundsson 1974, Kristján Sæmundsson 1977). Óskarsson (1984) skýrði frá efnasamsetningu gufu þriggja gufuaugna í ágúst 1978. Gerðar voru viðamiklar rannsóknir á svæðinu 1981-1984 (Layugan 1981, Gestur Gíslason o.fl. 1984, Ármannsson o.fl. 1986, Darling og Ármannsson 1989) og reynt hefur verið að fylgjast með breytingum frá 1991 (Halldór Ármannsson 1991a, b, Helgi Torfason 1992, Helgi Torfason o.fl. 1993, Helgi Torfason og Halldór Ármannsson 1995, Ármannsson o.fl. 2000). Nokkrar mælingar hafa verið gerðar á gasi í andrúmslofti (Gretar Ívarsson o.fl. 1993, Noorollahi 1999). Noorollahi (1999) gerði og frummat á umhverfisáhrifum borunar. Innrauðar hitamyndir voru teknar af svæðinu 1993 og 1995 (Kolbeinn Árnason 1994, 1996). Árið 1999 var smáskjálftavirkni könnuð (Kristín S. Vogfjörð 2000). Loks var borað eftir ferskvatni 1999 og 2000 og hefur forsendum og árangri þeirra borana verið lýst í greinargerðum (Þórólfur H. Hafstað 1999, 2000). Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns (1983) og Leifsson (1991) hafa athugað nýtingarmöguleika.

Yfirlit um þessi verkefni og kostnað ríkisins í þeim tilvikum sem það hefur borið kostnað er birt í töflu 1. Allar eldri rannsóknir voru metnar til núvirðis, þ.e. vinnumagn, leiga á tækjum, efnagreiningar o.s.frv. og var stuðst við nýjustu gjaldskrá ROS. Ef um var að ræða víðtækari verk var hlutur Þeistareykja metinn í samráði við fólk sem til rannsóknanna þekkti og ef um samvinnuverkefni var að ræða var leitað upplýsinga um hlut ríkisins. Fram til 1990 eru ekki til vinnuskýrslur frá Orkustofnun og var vinnumagn í verkum frá þeim tíma metið eftir umfangi verksins. Frá og með 1991 voru vinnuskýrslur notaðar til að finna vinnuframlag Orkustofnunarmanna. Um nokkrar einstakar rannsóknir er fjallað hér á eftir. Rannsóknir Bemmelen og Ruttens voru algerlega á vegum hollensks rannsóknarsjóðs. Guðmundur Pálmason (persónulegar upplýsingar) mat þá vinnu er gerð var í sambandi við jarðsveiflumælingar á Þeistareykjum og Ólafur G. Flóvenz (persónulegar upplýsingar) núvirði á leigu þeirra tækja er til þeirra voru notuð. Sveinbjörn Björnsson (persónulegar upplýsingar) gerði grein fyrir þeirri vinnu er íslenska ríkið hefði kostað í sambandi við smáskjálftarannsóknir 1967-1971 og hlut Þeistareykja. Einnig mat hann þátt Þeistareykja vegna samvinnu við rússneska vísindamenn er könnuðu byggingu jarðgrunns Íslands á árunum 1968-1978. Við rannsóknir á leir 1971-1972 var ummyndun á Þeistareykjum kortlögð og niðurstöður þeirrar kortlagningar notaðar síðar við jarðhitarannsóknir. Var sú vinna metin. Ragna Karlsdóttir, Knútur Árnason og Kristján Sæmundsson (persónulegar upplýsingar) aðstoðuðu við að meta kostnað við yfirborðsrannsókn jarðhitasvæðisins 1972-1975 og Kristján sem nokkrum sinnum tók þátt í flugsegulmælingum í samvinnu við Þorbjörn

Sigurgeirsson mat umfang vinnu og tækjanotkunar við að útbúa flugsegulkort. Jarðfræðikort af Norðausturlandi gerði Kristján Sæmundsson á vegum Náttúrufræðistofnunar Íslands og Landmælinga Íslands. Töldu hann og fleiri að kostnaður við það gæti ekki talist til kostnaðar við jarðhitarannsóknir á Þeistareykjum og er hann því ekki talinn með. Athugun á efnasamsetningu gufuaugna árið 1978 var á vegum Norrænu eldfjallastöðvarinnar og eru niðurstöður lítt túlkaðar svo að ekki þykir ástæða til að tíunda kostnað vegna hennar. Kostnaður við verkefni nema í Jarðhitaskóla Háskóla Sameinuðu þjóðanna hefur ekki verið talinn. Upplýsingar frá Landmælingum Íslands ásamt greinargerð Gunnars Þorbergssonar (1981) eru lagðar til grundvallar kostnaðar við gerð orþó-korta. Valgarður Stefánsson (persónulegar upplýsingar) gaf upp umfang vinnu vegna gerðar áætlunar um rannsóknir á Þeistareykjum vorið 1981. Gestur Gíslason, Helgi Torfason, Ingvar Þór Magnússon og Knútur Árnason (persónulegar upplýsingar) voru hafðir með í ráðum vegna vinnu við yfirborðsrannsóknir á háhitasvæðinu 1981–1984 og Sverrir Þórhallsson (persónulegar upplýsingar) mat umfang vinnu og hlut Þeistareykja í athugun á flutningi gufu, sem Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns (1983) gerði. Athuganir á óvirkjuðum svæðum, mælingar á gasi í andrúmslofti og fjarkönnun hita voru þættir í verkefninu “Umhverfisáhrif jarðhitanýtingar”, sem var samvinnuverk Orkustofnunar, Hitaveitu Reykjavíkur, Hitaveitu Suðurnesja, Landsvirkjunar og Umhverfissráðuneytisins, en ríkið greiddi fyrir mismikið eftir þáttum. Hrefna Kristmannsdóttir (persónulegar upplýsingar) hefur upplýst að hlutur ríkisins hafi verið 100% í rannsókn óvirkjaðra svæða, 60% í mælingum á gasi í andrúmslofti og 75% í fjarkönnun. Verkefni um smáskjálfta sem unnið var 1999–2001 var upphaflega unnið fyrir Landsvirkjun, Þeistareyki ehf. og Íslenska orku, en kostnaður varð meiri en ætlað var í upphafi og tók ríkið að sér að brúa bilið og hefur sá kostnaður verið metinn.

Tafla 1. Helstu rannsóknir á Þeistareykjum og kostnaður ríkisins við þær á verðlagi ársins 2001.

Rannsókn	Tímabil	Heimildir	Heildarkostnaður	Kostnaður ríkisins
Efnagreiningar á hverum og laugum á Íslandi	1947-1951	Jarðboranir ríkisins 1951		460.000
Stapar á Norðurlandi	-1955	Bemmelen and Rutten 1955		
Jarðsveiflumælingar	-1971	Pálmason 1971		300.000
Smáskjálftar, sprungukerfi og jarðhiti á Íslandi. Þáttur Þeistareykja	1967-1971	Ward and Björnsson 1971.		3.000.000
Leirmyndanir í Dalasýslu og Þingeyjarsýslum. Þáttur Þeistareykja	1971-1972	Halldór Kjartansson 1972		400.000
Yfirborðsrannsóknir jarðhitasvæðisins	1972-1975	Ragna Karlsdóttir 1974, Karl Grönvold og Ragna Karlsdóttir 1975		9.000.000
Flugsegulkort	1974	Þorbjörn Sigurgeirsson, HÍ, birt af Gesti Gíslasyni o. fl. 1984		2.800.000
Jarðfræðikort af Norðausturlandi	-1977	Kristján Sæmundsson 1977		
Efnasamsetning gufu gufuaugna	1978	Óskarsson 1984		
Rannsóknir á byggingu jarðgrunnsins, samvinna við rússneska vísindamenn	1968-1978	Academy of the Sciences of the USSR 1981, Zverev et al. 1976, 1978, 1980		6.000.000
Landmælingar	1981-1982	Gunnar Þorbergsson 1982		450.000
Áætlanir um rannsóknir	-1982	Valgarður Stefánsson o.fl. 1981		840.000
Viðnámsmælingar	1981	Layugan 1981		
Yfirborðsrannsóknir á háhitasvæðinu	1981-1984	Gestur Gíslason o.fl. 1984		36.080.000
Flutningur jarðvarma	-1983	Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns 1983		1.030.000
Frekari túlkun gagna frá 1981-1984	1985-1989	Ármannsson etal. 1986, Darling and Ármannsson 1989		1.030.000
Nýting Þeistareykja	1990-1991	Leifsson 1991		
Eðli háhitasvæða, umhverfisverk	1991-	Halldór Ármannsson 1991a,b, Helgi Torfason, 1992, Helgi Torfason og Halldór Ármannsson 1995, Helgi Torfason o.fl. 1992, Halldór Ármannsson o.fl. 1997	4.835.000	4.835.000
Gas í andrúmslofti	-1993	Gretar Ívarsson o.fl. 1993	520.000	310.000
Fjarkönnun. Hiti á innrauðu sviði	1993-1997	Kolbeinn Árnason 1994, 1996	1.000.000	750.000
Frummat á umhverfisáhrifum	1999	Noorolahi 1999		
Smáskjálftavirkni	1999-2001	Kristín S. Vogfjörð 2000	4.632.635	1.250.000
Borun ferskvatnsholna	1999-2000	Þórólfur H. Hafstað 1999, 2000		
Samtals				68.535.000

6. Vinnslugeta, vinnslueiginleikar, nýting

Hér að ofan kemur fram að reikna má með allt að 18 km^2 svæði þar sem hitastig í jarðhitakerfinu gæti verið yfir 250°C . Miðað við meðalafköst borholna mætti búast við allt að 80 TWst raforkugetu ef allt það svæði er virkt. Halldór Ármannsson (1991b) miðaði eingöngu við full afköst á því svæði sem jarðhiti er á yfirborði ($3\text{--}4 \text{ km}^2$) og er mat hans 5–10 TWst raforkugeta. Í skýrslu Iðnaðarráðuneytisins (1994) um innlendar orkulindir er hún metin 60 TWst. Þórólfur H. Hafstað (1989; persónulegar upplýsingar) telur vatn það er í Lón við Sultir í Öxarfirði kemur vera að langmestu leyti frá Þeistareykjum runnið. Reikna má með nokkurri kólnun á þeirri u.þ.b. 20 km leið sem vatnið rennur en á móti kemur hugsanleg hitnun vegna minni háttar jarðhita á leiðinni. Telur Þórólfur að meta megi stærðargráðu varmataps frá Þeistareykjasvæðinu á grundvelli talna um Lón.

Tafla 2. Reikningur á varmatapi frá Þeistareykjum miðað við hita og magn rennslis í Lón.

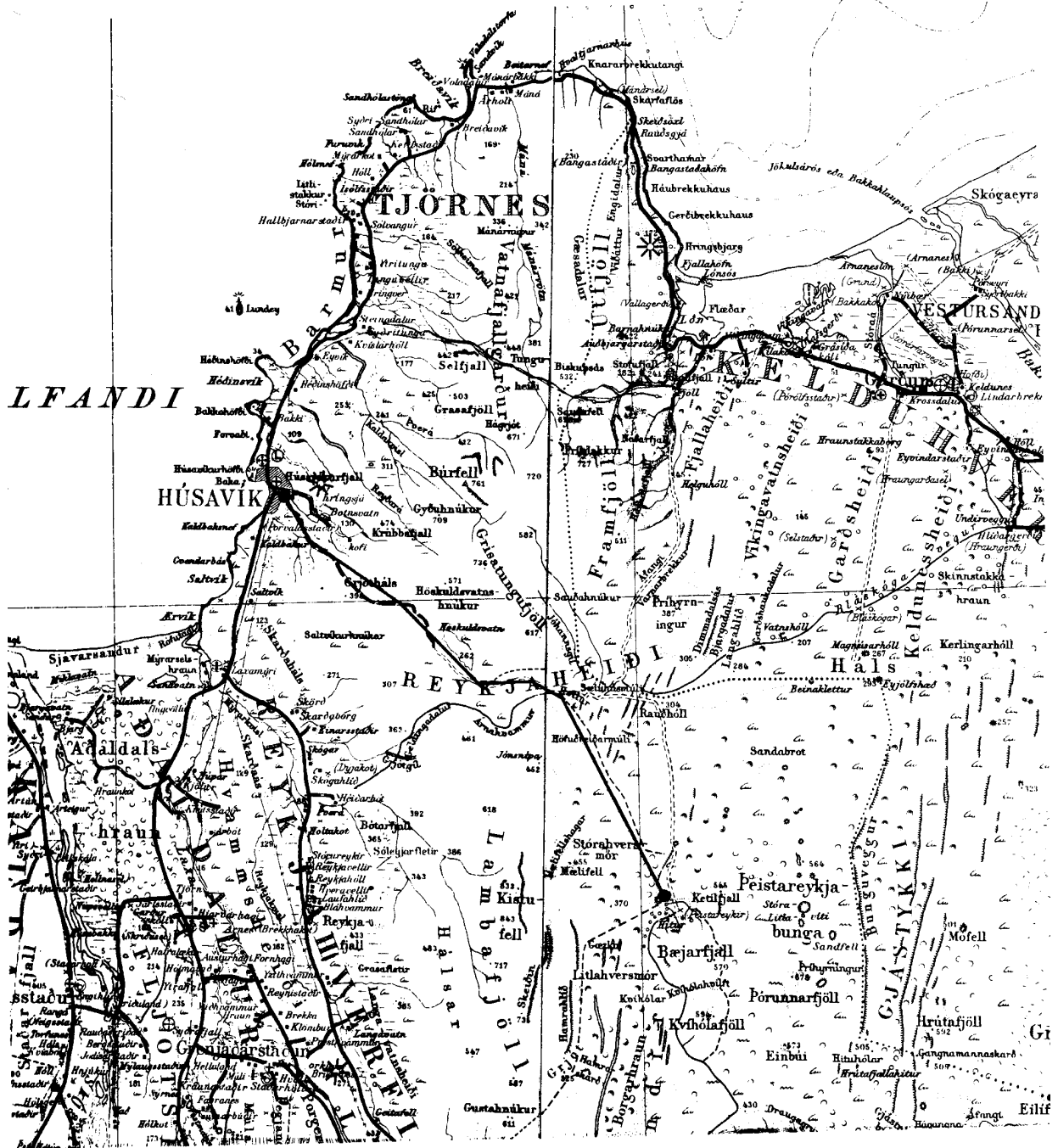
Rennsli í Lón: $20 \text{ m}^3/\text{s}$
Hiti kalds grunnvatns á svæðinu: $3,7^\circ\text{C}$
Meðalhiti innrennslis í Lón: $7,2^\circ\text{C}$
Hiti yfir grunnildi: $3,5^\circ\text{C}$
Varmaafli svæðis: $3,5 \times 20.000 \times 4,2 \approx 300.000 \text{ kJ/s} = 300 \text{ MW}$
Stærð Þeistareykjasvæðis $\approx 15 \text{ km}^2$
Varmatap frá svæði $\approx 300/15 = 20 \text{ MW/km}^2 = 20 \text{ W/m}^2$

Sú tala, 20 W/m^2 , er einmitt sú sem Guðmundur Pálmason o.fl. (1985) reiknuðu með sem varmatapi frá háhitasvæðum landsins. Miðað við stærð og varmatap má því reikna með að Þeistareykir séu dæmigert háhitasvæði og liggi um það bil mitt á milli Kröflu og Námafjalls í stærð og afli.

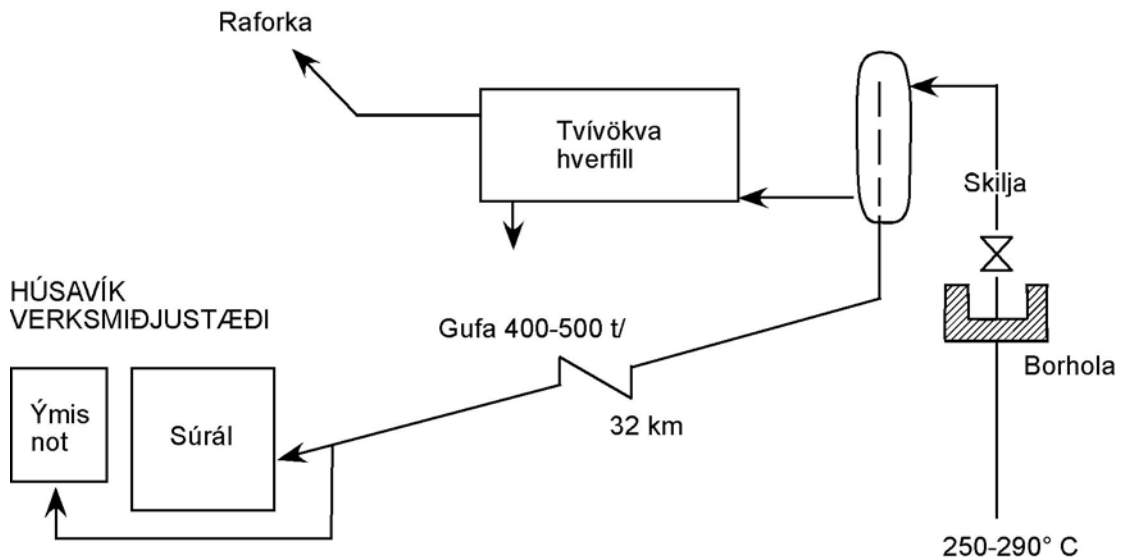
Efnasamsetning vökvahluta jarðhitans er ekki þekkt en væri hann saltur er líklegt að merki um seltu kæmu fram í gufunni. Slík merki komu fram í nokkrum sýnum, flestum á Tjarnarássvæði (svæði D) en einnig í Bóndhólsskarði (svæði B). Líklegra er að selta þessi stafi af því að sýni þessi séu að e-u marki blönduð yfirborðsvatni en að gufan sé soðin af mjög söltum vökva. Í heild er selta gufu svipuð eða heldur hærri en sú er mældist í gufu í gufuaugum í Kröflu þar sem efnasauður vökví hefur fengist úr borholum. Sé vökvinn vel yfir 250°C heitur eru litlar líkur á kalsítútfellingum og sé hann efnasauður er ekki mikil hætta á súlfíðútfellingum og ekki líkur á að hann sé súr og tærandi.

Niðurstöður borana munu leiða í ljós raforkugetu og efnasamsetningu en niðurstöður yfirborðsrannsókna benda til tiltölulega gjöfuls svæðis með hagstæða vinnslueiginleika vökva. Til greina getur komið að nýta gufuna til raforkuvinnslu eða iðnaðarframleiðslu á Þeistareykjum en heldur hefur verið litið til flutnings gufu t.d. til Húsavíkur og nýtingar hennar þar. Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns (1983) kannaði kostnað við flutning gufu frá Þeistareykjum til Húsavíkur og athuguðu tvo möguleika, þ.e. flutning

25 tonna/klst til hitunar og flutning 360 tonna/klst til raforkuvinnslu. Lega fyrirhugaðrar gufuæðar er sýnd á mynd 7. Komust þeir að þeirri niðurstöðu að í samanburði við aðra tiltæka orkugjafa eins og svartolíu væri flutningur jarðgufu jafnvel í litlum mæli og langan veg fyllilega samkeppnisfær, en aftur á móti væri gufluflutningur frá Þeistareykjum til Húsavíkur til að snúa gufuhverflum mjög hæginn. Miðað við þeirra forsendur er gufuþjöppun óhjákvæmileg og veldur það háu verði. Leifsson (1991) reiknaði gufluflutningskostnað miðað við svo mikið gufumagn að þjöppun væri óþörf. Komst hann að raun um að til þess þyrfti a.m.k. 300 t/klst og fékk hann hagstætt verð fyrir flutning 400 tonna/klst og 500 tonna/klst til raforkuvinnslu eða iðnaðarnota. Á þeim tíma var ekki mikill markaður fyrir raforku og mælti hann með iðnaðarnotum, t.d. súrálsværksmiðju, sem reiknaðist mjög hagstæð miðað við framleiðslu 1.000.000 tonna á ári og þyrfti gufu af stærðargráðunni 300 tonn/klst við 10 bar a til þess. Samvinnsla orku gerir slíka værksmiðju enn hagkvæmari. Aðrir möguleikar eins og pappírskvoðuverksmiðja og stór fiskimjölsværksmiðja eru og fyrir hendi. Í öllum tilvikum hefði framleiðsla í för með sér mun minni koldíoxíðútblástur en værksmiðjur núverandi framleiðenda. Á mynd 8 er skissa af lögnum, værksmiðju og raforkuveri skv. þessum hugmyndum.



Mynd 7. Lega gufuæðar frá Peistareykjum til Húsavíkur (Verkfræðistofa Guðmundar og Kristján's 1983).



Mynd 8. Lagnir v/súrálsvæðinu og raforkuvers (Leifsson 1991).

7. Gæði og notagildi upplýsinga

Miðað við önnur óvirkjuð jarðhitasvæði á Íslandi hafa yfirborðsrannsóknir á Þeistareykjum verið mjög ýtarlegar. Einungis er þó unnt að fá takmarkaðar upplýsingar um jarðhitasvæði á þann hátt. Upplýsingar sem segja til um hvort svæði sé virkjanlegt fást aðeins með borunum en niðurstöður yfirborðsrannsókna geta sagt til um hvar líklegast er að ná árangri með borun. Því ætti næsta skref í rannsókn Þeistareykja að vera reynsluborun. Hugsanlega þarf 2-3 rannsóknarholur til að ganga úr skugga um nýtingarmöguleika svæðisins. Flestar niðurstöður yfirborðsrannsókna eru komnar nokkuð til ára sinna. Við viðnámsmælingar var beitt Schlumberger-tækni sem nú telst ófullnægjandi. Leiði reynsluboranir í ljós að fýsilegt sé að halda áfram rannsóknum, er miðað að nýtingu, þyrfti að endurtaka viðnámsmælingar og nota TEM (Transient Electro-Magnetic)-tækni en slíkar mælingar ná dýpra í jörð og niðurstöður gefa færi á fullkomnari túlkun en niðurstöður eldri aðferða. Fylgjast þarf með yfirborðsvirkni og gufusamsetningu gufuaugna og kanna hvort borun og blástur hafa áhrif á.

Nokkuð ljóst liggur fyrir að fyrstu rannsóknarholu á Þeistareykjum ætti að bora á svæði C, þá næstu á svæði A og þá þriðju á svæði D (mynd 3).

8. Heimildir

Academy of Sciences of the USSR 1981: *Iceland and Mid-Ocean Ridge. Deep Structure Seismicity, Geothermy* (English version). National Science Council, Reykjavík, 323 s.

Ármannsson, H., Gíslason, G. and Torfason, H. 1986: Surface exploration of the Theistareykir high-temperature geothermal area, Iceland, with special reference to the application of geochemical methods. *Appl. Geochem.* 1, 47-64.

Ármannsson, H., Kristmannsdóttir, H., Torfason, H. and Ólafsson, M. 2000: Natural changes in unexploited high-temperature geothermal areas in Iceland. *Proc. World Geothermal Congress 2000*, 521-526.

Árnason, K. and Flóvenz 1992: Evaluation of physical methods in geothermal exploration of rifted volcanic crust. *Geoth. Resour. Counc. Trans.* 16, 207-214.

Bemmelen, R.W. van and Rutten, M.G. 1955: *Tablemountains of Northern Iceland*. E.J. Brill, Leiden, 217 s. +52 s. myndir og kort.

Craig, H. and Lupton, J.E. 1981. Í: Emiliani (ritstj.). *The Sea, Vol. 7*.

Darling, W.G. and Ármannsson, H. 1989: Stable isotopic aspects of fluid flow in the Krafla, Námafjall and Theistareykir geothermal systems of northeast Iceland. *Chem. Geol.* 76, 197-213.

Gestur Gíslason, Gunnar V. Johnsen, Halldór Ármannsson, Helgi Torfason og Knútur Árnason 1984: *Þeistareykir. Yfirborðsrannsóknir á háhitasvæðinu*. Orkustofnun, OS-84089/JHD-16, 134 s.+3 kort.

Gretar Ívarsson, Magnús Á. Sigurgeirsson, Einar Gunnlaugsson, Kristján H. Sigurðsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1993: *Mælingar á gasi í andrúmslofti. Styrkur brennisteinsvetnis, brennisteinsdíoxíðs og kvikasilfurs á háhitasvæðum*. Orkustofnun, OS-93074/JHD-16, 69 s.

Guðmundur Pálmason, Gunnar V. Johnsen, Helgi Torfason, Kristján Sæmundsson, Karl Ragnars, Guðmundur Ingi Haraldsson og Gísli Karel Halldórsson 1985: *Mat á jarðvarma Íslands*. Orkustofnun, OS-85076/JHD-10, 134 s.

Gunnar Þorbergsson 1982: *Landmælingar vegna korta af Þeistareykjum*. Orkustofnun, GP-82/01, 15 s.

Halldór Ármannsson 1991a: *Eðli háhitasvæða. Sýni til efnagreininga frá Þeistareykjum*. Orkustofnun, jarðhitadeild. HÁ-91/01, 5 s.

Halldór Ármannsson 1991b: *Um hugsanlega gufuöflun frá Þeistareykjum og Öxarfirði*. Orkustofnun, jarðhitadeild. HÁ-91/02, 3 s.

Halldór Ármannsson, Helgi Torfason, Magnús Ólafsson, Kristján H. Sigurðsson og Hrefna Kristmannsdóttir 1997: *Rannsóknir á breytingum í virkni á óvirkjuðum*

- jarðhitasvæðum. Í Hrefna Kristmannsdóttir 1997: *Umhverfisáhrif jarðhitanýtingar. Uppgjör verksins*. Orkustofnun, OS-97074, 43-44.
- Halldór Kjartansson 1972: *Leirmyndanir í Dalasýslu og Þingeyjarsýslu*. Orkustofnun JKD, 53 s. + 30 s. myndir.
- Helgi Torfason 1992: *Eðli háhitasvæða: Athuganir á Þeistareykjum 1991*. Orkustofnun, jarðhitadeild. HeTo-92/02, 2 s.
- Helgi Torfason og Halldór Ármannsson 1995: *Athuganir á jarðhita á Þeistareykjum. Sýnataka og vettvangsathuganir 11-13. nóvember 1995*. Orkustofnun, jarðhitadeild. HeTo/HÁ-95/07, 3 s.
- Helgi Torfason, Halldór Ármannsson og Kristján Hrafn Sigurðsson 1993: *Jarðhitasvæðið á Þeistareykjum. Jarðfræðafélag Íslands Vorráðsrefna 1993. Dagskrá og ágrip*. Reykjavík, 33-34.
- Iðnaðarráðuneytið, 1994. *Innlendar orkulindir til vinnslu raforku*. Iðnaðarráðuneytið, 153 s.
- Jarðboranir ríkisins 1951: *Efnagreiningar á hverum og laugum*. Jarðboranir ríkisins, Reykjavík, 88 s.
- Karl Grönvold og Ragna Karlsdóttir 1975: *Þeistareykir – Áfangaskýrsla um yfirborðsrannsóknir jarðhitasvæðisins*. Orkustofnun, JHD 7501, 26 s. + 11 s. myndir.
- Kolbeinn Árnason 1994: *Hitamyndir af jarðhitasvæðum. Fjarkönnun á hitainnrauðu sviði úr flugvél 1993. II. Námafjall, Krafla og Þeistareykir*. Upplýsinga- og merkjafræðistofa Háskólans 1994. UMH F941002, 38 s.
- Kolbeinn Árnason 1996: *Hitamyndir af jarðhitasvæðum. Fjarkönnun á hitainnrauðu sviði úr flugvél 29. sept. 1995/1993. IV. Askja, Fremrinámur og Þeistareykir*. Upplýsinga- og merkjafræðistofa Háskólans 1996. UMH F960102, 34 s.
- Kristín S. Vogfjörð 2000: *Smáskjálftavirkni við Þeistareyki og uppsetning jarðskjálftamælanets í norðaustur gosbelti*, OS-2000/037, (Í prentun).
- Kristján Sæmundsson 1977: *Jarðfræðikort, Norðausturland. Mælikvarði 1:250.000*, Náttúrufræðistofnun Íslands, Landmælingar Íslands.
- Layugan, D.B. 1981: *Geoelectrical sounding and its application in the Theistareykir high-temperature area, NE-Iceland*. United Nations Report 1981-5, 101 s.
- Leifsson, Á. 1991: *Industrial use of the high-temperature geothermal field at Theistareykir, Iceland. Geothermics, 21*, 631-640.
- Noorollahi, Y. 1999: *H₂S and CO₂ dispersion modelling for the Nesjavellir geothermal power plant, South-Iceland and preliminary geothermal impact assessment for the Theistareykir area, N-E Iceland*. In Georgsson, L.S. (editor) *Geothermal Training in Iceland 1999*. Report 10. UNU Geothermal Training Programme, Reykjavík, 247-284.
- Ólafur Jónsson 1945: *Ódáðahraun I-III*. Bókaútgáfan Norðri, Akureyri, 425 + 447 + 405 s.

- Óskarsson, N. 1984: Monitoring of fumarole discharge during the 1975-1982 rifting in the Krafla volcanic center, North-Iceland. *J. Volcanol. Geotherm. Res.*, 10, 93-111.
- Pálmason, G. 1971: *Crustal structure of Iceland from explosion seismology*. Publication No. 40, Soc. Sci. Islandica, 187 s.
- Ragna Karlsdóttir 1974: *Forundersögelse af Þeistareykir-området*. Eksamenprojekt I teknisk geologi, B710905. Danmarks Tekniske Højskole, 38 s.
- Sveinn Þórðarson 1998: *Auður úr iðrum jarðar. Saga hitaveitna og jarðhitanýtingar á Íslandi. Safn til iðnsögu Íslands*, XII. bindi (Ritstjóri Ásgeir Ásgeirsson). Hið íslenska bókmenntafélag, Reykjavík, 656 s.
- Sæmundsson, K. 1974: Evolution of the axial rifting zone in northern Iceland and the Tjörnes Fracture Zone. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 85, 495-504.
- Valgarður Stefánsson, Helgi Torfason og Hrefna Kristmannsdóttir 1981: *Þeistareykir. Áætlun um rannsókn jarðhitasvæðisins*. Orkustofnun, VS/HeTo/HK-81/02, 28 s.
- Verkfræðistofa Guðmundar og Kristjáns 1983: *Frumáætlun um flutning jarðvarma frá háhitasvæðum. Áfangi 3: Þeistaqreykir – Húsavík; Hengill – Reykjavík; Trölladyngja – Straumsvík*. Orkustofnun, OS-83063/JHD-11, 19 s.
- Ward, P.L. and Björnsson, S. 1971: Microearthquakes, swarms and the geothermal areas of Iceland. *J. Geophys. Res.*, 76, 3953-3982.
- Zverev, S.M., Boldyrev, S.A., Burmin, V.Yu and Mironova, V.L. 1976: Microearthquakes of Northern Iceland. *Izvestia Earth Physics* 10, 22-32 (translated by Allen B. Kaufmann).
- Zverev, S.M., Boldyrev, S.A., Bourmin, V. and Mironova, V.L. 1978: Weak earthquakes in the Northern Part of the Rift Zone of Iceland. *J. Geophys.* 44, 283-296.
- Zverev, S.M., Litvinenko, I.V., Pálmason, G., Yaroshevskaya, G.A., Osokin, N.N. and Akhmetjev, M.A. 1980. A Seismic Study of the Rift Zone in Northern Iceland. *J. Geophys.* 47, 191-201.
- Þórólfur H. Hafstað 1989: *Öxarfjörður. Grunnvatnsathuganir 1987-1988. Framlag til sérverkefnis í fiskeldi*. Orkustofnun, OS 89039/VOD-08B, 25 s.
- Þórólfur H. Hafstað 1999: *Þeistareykir. Um ferskvatnsöflun*. Orkustofnun, ÞHH-99/03, 3 s.
- Þórólfur H. Hafstað 2000: *Þeistareykir: Borun ferskvatnsholu*. Orkustofnun, ÞHH-00/14, 6 s.

