

Yfirborðsrannsóknir á Torfajökulssvæði

**Knútur Árnason
Kristján Sæmundsson
Magnús Ólafsson**

Greinargerð KÁ-KS-MÓ-92/02

YFIRBORÐSRANNSÓKNIR Á TORFAJÖKULSSVÆÐI

1. INNGANGUR

Eftirfarandi greinargerð inniheldur áætlun um yfirborðsrannsóknir á jarðhitasvæðinu við Torfajökul. Torfajökulssvæðið er stærsta háhitasvæði landsins (um 140 km^2) og það orkumesta. Lega svæðisins, fjarri alfaraleið, og stórskorið og ógreiðfært landslag hafa valdið því að Torfajökulssvæðið hefur ekki verið rannsakað í þeim mæli sem ætla mætti út frá stærð þess og væntanlegu mikilvægi í framtíðarorkubúskap landsins.

Ekki er þó svo að skilja að Torfajökulssvæðinu hafi í engu verið sinnt. Jarðfræði Torfajökulssvæðins er þekkt í stærstu dráttum. Þar er stór megineldstöð með óvenju-miklu líparíti. Í henni er askja $10 \times 14 \text{ km}$ að stærð, rofin austan til en fyllt vestan megin og þar er eldvirkni enn í gangi. Askjan er lyft í miðju (resurgent) hin eina af þeirri gerð sem þekkt er hér á landi. Jarðlög spanna líklega tvö til þrjú síðustu jökulskeiðin (Kristján Sæmundsson 1972 og 1988). Jarðlög og bergfræði hefur verið kannað sérstaklega á rofsvæðinu kringum Landmannalaugar (Grétar Ívarsson óbirt). Úbreiðsla jarðhita á Torfajökulssvæðinu öllu hefur verið könnuð lauslega og birt á kortum (Kristján Sæmundsson 1969, Guðmundur Pálmason o.fl. 1970, Stefán Arnórson o.fl. 1987). Svotil allur jarðhiti á svæðinu er innan öskjunnar. Eldgos á nútíma hafa verið á gosrein sem liggur frá Veiðivötnum og Vatnaöldum suð-vestur yfir Reykjadal. Eðli gosvirkinnar er vel þekkt, en aðeins yngstu gosin hafa verið tímasett. Einn þáttur jarðfræðirannsóknar yrði að finna út aldur allrar virkni á nútíma til stuðnings við áhættumat.

Orkustofnun hefur lítið sinnt rannsóknnum á efnasamsetningu jarðhitavatns, -gass eða -gufu á Torfajökulssvæðinu. Í gagnaskrá Jarðhitadeildar eru til nokkrar efnagreiningar á sýnum sem Stefán Arnórsson og Jens Tómasson tóku og eru flestar þeirra frá árinu 1967. Allar greiningarnar eru af sýnum úr lindum og laugum, en engar efnagreiningar eru til af gasi eða gufu frá svæðinu. Þetta þýðir þó ekki að ekkert sé vitað um efnafræði jarðhitavökva á þessum slóðum, því Stefán Arnórsson hefur haldið áfram rannsóknnum sínum á svæðinu, sem hann hóf 1967. Niðurstöður hafa m.a. verið birtar í Jökli, 1987 (Stefán Arnórsson, et al. 1987). Í rannsóknnum þessum var aðaláhersla lögð á vesturhluta jarðhitasvæðisins, einkum í kringum Landmannalaugar, Hrafninnusker og Vestur-Reykjadali. Austur og suðausturhluti jarðhitasvæðisins er nánast ókannaður í þessu tilliti.

Helstu niðurstöður Stefáns Arnórssonar et al. hvað viðvíkur efnafræði jarðhitavökvans eru eftirfarandi:

- Vatnið á Landmannalauga-svæðinu er tiltölulega klóríð-ríkt og hæsti mældi styrkur klóríðs er 535 ppm.

- Samsætumælingar benda til þess að vatnið sé staðbundin úrkoma að upp-
runa.
- Gufa í gufuaugum inniheldur gas á bilinu 0,2-0,4% miðað við rúmmál. Kol-
sýra er yfirleitt yfir 70% en brennisteinsvetni liggur á bilinu 2-8% og vetni á
bilinu 0-10%.
- Efnainnihald vatns á Landmannalauga-svæði bendir til hitastigs í kringum
265°C í jarðhitakerfinu. Efnasamsetning gass í gufuaugum bendir til að enn
hærri hita (>300°C), bæði á Landmannalauga-svæði og annars staðar á
Torfajökulssvæðinu.

Á árunum 1973 til 1975 voru gerðar 48 viðnámsmælingar á Torfajökulssvæðinu. Þess-
ar mælingar eru frá fyrstu árum almennrar notkunar viðnámsmælinga í jarðhitarrann-
sóknnum hér á landi og stenst hluti þeirra vart þær kröfur sem gerðar eru til slíkra
gagna nú á dögum. Staðsetning mælinganna var að mestu bundin við bílfærar slóðir og
eru þær því flestar utan meginjarðhitasvæðisins. Frumúrvinnsla mælinganna markar
þó, í megindráttum, útmörk svæðisins til norð-austurs og suð-vesturs (óbirt gögn
Orkustofnunar).

2. TILLÖGUR AÐ YFIRBORÐSRANNSÓKNUM

2.1 Jarðfræðirannsóknir

Í jarðfræði skortir einkum á meiri rannsóknir á brotahreyfingum. Vitað er um þrjú
brotakerfi á svæðinu: sveigbrot tengd öskjunni; NV-SA brot tengd eldri virkni og
NA-SV brot tengd yngstu virkninni. Aðeins það síðasttalda er sæmilega þekkt. Um
jarðhitann liggur fyrir kort af virka jarðhitanum. Tengsl við strúktúr hafa lítt verið
rannsökuð umfram augljósustu atriði. Með athugun á tengslum jarðhita og brota-
mynsturs innan rofsvæðisins fæst vitneskja sem myndi nýtast til að ráða í uppstreymis-
skilyrði á vestursvæðinu þar sem land er órofið. Gera þarf sæmilega vandað jarðhita-
kort af svæðinu öllu þar sem fram komi virkur, og kulnaður jarðhiti og stig ummynd-
unar á rofsvæðinu astantil á svæðinu. Lítið er vitað um grunnvatnsstöðu á Torfajök-
ulssvæðinu utan hvað hún er almennt séð há. Fjöldi linda víðs vegar um svæðið býður
upp á að gera allnákvæmt grunnvatnskort af svæðinu öllu.

Til jarðfræðirannsókna er tíminn frá miðjum ágúst fram í miðjan október bestur með
tilliti til þess að þá hefur snjó tekið upp í giljum og ár eru vatnslitlar þegar kemur fram
í sept.-okt. ef kalt er og þurrviðrasamt. Því er lagt til að jarðfræðirannsóknir verði
gerðar á þeim tíma og skipt á tvö sumur, 1992 og 1993. Rannsóknirnar yrðu gerðar af
tveimur mönnum. Annar myndi sinna jarðgerð og höggun, hinn grunnvatnspættinum
en báðir jarðhitamerkjum (hverum, laugum og ummyndun). Tími í útivinnu er áætlað-
ur 3 vikur 1992 og 8 vikur 1993. Hætt er við frátöfum vegna veðurs og er reiknað með
1 viku í frátafir fyrra sumarið en tveimur vikum síðara sumarið. Verkinu yrði skilað í
formi skýrslu og korta. Úrvinnsla felur í sér vinnu kortateignara og prentkostnað.

2.2 Jarðefnafræðirannsóknir

Á árinu 1992 er lagt til að jarðefnafræðilegar rannsóknir skiptist í tvo hluta.

Í fyrsta lagi verði tekið eitt sýni á svæðunum þremur, við Landmannalaugar, Hrafn-tinnusker og Vestur-Reykjadali. Valin verði kröftug gufuaugu þar sem lítil hætta er á grunnvatns- eða yfirborðsmengun. Í framtíðinni verða staðir þessir notaðir til eftirlits með hugsanlegum breytingum á efnasamsetningu jarðhitavökvans. Í öðru lagi er gert ráð fyrir að tekin verði tíu sýni úr gufuaugum og þrjú sýni úr heitum laugum á austur- og suðausturhluta jarðhitasvæðisins. Aðaláhersla verður lögð á svæðið upp af botni Jökulgils, milli Reykjafjalla og Kaldaklofsjökuls. Tilgangur þessarar sýnatöku er að meta hita í jarðhitakerfinu og afla frum-upplýsinga um nýtingarhæfni vökvans.

Gert er ráð fyrir að nýta megi skála Ferðafélags Íslands í Landmannalaugum og Hrafn-tinnuskeri í tengslum við sýnatöku. Torfajökulssvæðið er ógreiðfært og verður að langmestu leyti að fara um það gangandi. Nánast ógerlegt að fara um það til sýnatöku fyrr en síðla sumars eða snemma í september áður en dag fer verulega að stytta. Hugsanlegt að nota megi fjórhjól á hluta af svæðinu. Áætlað er að það taki tvo menn tíu daga að taka sýnin.

Á árinu 1993 er áætlað að endurtaka sýnatöku á þremur stöðum á vesturhluta svæðisins og einum stað á austurhluta þess. Jafnframt verður bætt við tíu sýnum þar sem ástæða þykir til að þetta sýnatökuna. Áætlað er að sýnatakan taki svipaðan tíma og árið 1992 og kostnaður verði því svipaður.

2.3 Jarðeðlisfræðirannsóknir

2.3.1 Viðnámsmælingar. Af þeim jarðeðlisfræðilegu aðferðum sem beitt hefur verið á yfirborði við jarðhitarannsóknir hér á landi hafa viðnámsmælingar borið mestan árangur. Á undanförunum árum hafa orðið framfarir í framkvæmd og úrvinnslu viðnámsmælinga. Með tilkomu TEM-mælinga (Transient Electro-Magnetic) hefur kostnaður við framkvæmd og túlkun viðnámsmælinga lækkað um rúmlega helming og því er nú gerlegt að kanna útbreiðslu stórra jarðhitasvæða með viðnámsmælingum á tiltölulega ódýran hátt. TEM-mælingar hafa lík þann kost að þær má framkvæma á snjó og með því að nota vélsleða má, seinnipart vetrar og á vorin, á auðveldan hátt beita þeim á stöðum sem eru óaðgengilegir farartækjum að sumarlagi.

Lagt er til að gerðar verði TEM-mælingar á Torfajökulssvæðinu. Mælingarnar verða gerðar af tveimur mönnum á tveimur vélsleðum. Heppilegasti tíminn til mælinganna er trúlega maí til júní, þegar dagur er langur en mælisvæðið enn snævi þakið. Hingað til hefur mest verið notuð $300 \times 300 \text{ m}^2$ sendilykkja sem gefur dýptarskynjun upp á um 600-1000 m. Ef mælingarnar eru gerðar á vélsleða er sáralítill aukafyrirhöfn í því að nota stærri sendilykkju, t.d. $400 \times 400 \text{ m}^2$, sem eykur dýptarskynjun mælinganna í um 800-1200 m.

Reynslan hefur sýnt að ef ekki verða meiriháttar frátafir vegna veðurs má reikna með að mæliafköst verði a.m.k. 2 mælingar á dag. Úrvinnsla og túlkun mælinganna fer fram á PC-tölvum. Með því að hafa PC-tölvur í vinnubúðum má nota tímann, þegar ekki er fært til mælinga, til úrvinnslu og túlkunar mælinganna. Gert er ráð fyrir að

mælingamenn hafi aðsetur í skála Ferðafélags Íslands í Landmannalaugum meðan á mælingum stendur.

Til þess að fá nokkuð nákvæma mynd af viðnámsskipan svæðisins er áætlað að gera þurfi um 110 mælingar á $26 \times 18 \text{ km}^2$ svæði sem tekur yfir öskjuna og nánasta umhverfi hennar. Áætlað er að hafa mælingarnar í reglulegu neti, eins og landslag leyfir, með um 2 km milli mælinga. Miðað við áætluð afköst upp á 2 mælingar á dag tekur um 55 daga að framkvæma mælingarnar. Ekki er gert ráð fyrir að gera allar mælingarnar á einu ári. Lagt er til að vorið 1992 verði mældar um 55 mælingar dreifðar um allt mæli-svæðið í tvöfalt grófara neti en lýst er hér að ofan. Úr þessum fyrrihluta mælinganna verði síðan unnið 1992 og í byrjun árs 1993 og niðurstöður hafðar til hliðsjónar við skipulagningu og framkvæmd síðari hluta mælinganna.

2.3.2 Þyngdarmælingar. Auk viðnámsmælinganna er lagt til að gerðar verði þyngdar-mælingar í sömu punktum og viðnámsmælingarnar. Þyngdarkortið af Íslandi sýnir verulega og staðbundna þyngdarhæð á Torfajökulssvæðinu (Gunnar Þorbergsson o.fl. 1990). Þessi þyngdarhæð endurspeglar trúlega eðlisþungt innskotaberg innan öskjunnar. Verulega áhugavert er að kanna þyngdarhæðina nánar og sjá hvort hún getur gefið upplýsingar um dreifingu innskotabergs undir eldstöðinni, en heit innskot eru megin-varmagjafi jarðhitakerfisins.

Sáralítill sem engin aukavinna er því samfara að gera þyngdarmælingar samhliða við-námsmælingunum. Þegar búið er að koma viðnámsmælitækjum fyrir á mælistað tekur rúma klukkustund að framkvæma mælinguna og til þess þarf einungis einn mann. Annar mælingamaðurinn hefur því nægan tíma til að gera þyngdarmælinguna á með-an. Til hæðarákvörðunar á þyngdarmælistöðum verður notuð loftvog. Til þess að leið-rétta fyrir breyilegum loftþrýstingi með tíma verður höfð síritandi loftvog á föstum við-miðunarstað. Með slíku móti má ákvarða hæð mælistaðar með óvissu upp á $\pm 1.5 \text{ m}$ (Helgi Björnsson, munnl. uppl.) sem samsvarar um $\pm 0.4 \text{ mgal}$ óvissu í þyngdargildi.

3. KOSTNAÐARÁÆTLUN

Eftirfarandi kostnaðaráætlun er miðuð við gjaldskrá Orkustofnunar des. 1991 - feb. 1992.

3.1 Jarðfræðirannsóknir

Kostnaður við tvo jarðfræðinga í útivinnu á dag er eftirfarandi:

Vinna	2menn*12t/d*2.500kr/t	60.000
Bíll	10.230kr/d	10.230
Uppihald	2menn*7.436kr/d	14.872
Samtals kr/d		85.102

Kostnaður við tvo jarðfræðinga í innivinnu við úrvinnslu á dag er eftirfarandi:
 $2\text{menn} \cdot 8\text{t/d} \cdot 2.500\text{kr/t} = 40.000\text{kr/d}$.

Kostnaður við jarðfræðirannsóknir árið 1992 er því áætlaður:

Útvinna	24d*85.102kr/d	2.042.448
Innivinna	20d*40.000kr/d	800.000
Samtals kr		2.842.448

Kostnaður við jarðfræðirannsóknir árið 1993 er áætlaður:

Útvinna	60d*85.102kr/d	5.106.120
Innivinna	50d*40.000kr/d	2.000.000
Teiknivinna	200t*2.000kr/t	400.000
Kort og loftmyndir		100.000
Prentun korta		200.000
Samtals kr		7.806.120

3.2 Jarðefnafræðirannsóknir

Þar sem rannsóknarsvæðið er ógreiðfært er gert ráð fyrir að eitt og hálf sýni náist á dag að meðaltali. Jafnframt er gert ráð fyrir að tveir menn vinni við sýnatöku. Áætlaður kostnaður við sýnatöku, efnagreiningar og úrvinnslu er eftirfarandi:

Útvinna	2menn*10d*12t/d*2.500kr/t	600.000
Uppihald	2menn*10d*7.436kr/d	148.720
Bíll	10d*10.230kr/d	102.300
Fjór hjól	10d*6.139kr/d	61.390
Annar kostnaður		100.000
Gasgreiningar	13sýni*20.458kr/sýni	265.954
Vatnsgreiningar	3sýni*24.550kr/sýni	73.650
Úrvinnsla	10d*10t/d*2.500kr/d	250.000
Samtals kr		1.602.014

3.3 Jarðeðlisfræði rannsóknir

3.3.1 Viðnámsmælingar. Eins og áður segir er gert ráð fyrir að afköst við gagnasöfnun í viðnámsmælingum verði að meðaltali 2 mælingar á dag. Áætlaður kostnaður við framkvæmd hvorrar mælingar er eftirfarandi:

Vinna	2menn*7t*2.500kr/t	35.000
Mælitæki	20.000kr/mæl.	20.000
Vélsleðar	2*6.139kr/d*0.5d	6.139
Fæði og húsn.	2menn*7.436kr/d*0.5d	7.436
Samtals kr/mælingu		68.575

Áætlaður kostnaður við úrvinnslu og túlkun hverrar mælingar (þar með talin vinna við gerð viðnámsniða og korta og skýrsluskrif) er $14t \cdot 2.500kr/t = 35.000$ kr/mælingu. Áætlaður kostnaður við undirbúning og ferðir til og frá Landmannalaugum (vinna og bíll) er áætlaður 350.000 kr. Kostnaður við 55 TEM-mælingar er því áætlaður:

Ferðir og undirb.		300.000
Gagnasöfnun	55mæl*68.575kr/mæl	3.771.625
Úrvinnsla og túlkun	55mæl*35.000kr/mæl	1.925.000
Samtals kr		5.996.625

3.3.2 Þyngdarmælingar. Eins og áður segir er ekki gert ráð fyrir því að gagnasöfnun við þyngdarmælingarnar hafi neina aukavinnu í för með sér ef þær eru gerðar samhliða viðnámsmælingunum. Úrvinnsla þyngdarmæligagnanna er hinsvegar nokkuð umfangsmikil og er kostnaður við úrvinnslu og túlkun fyrir hverja þyngdarmælistöð áætlaður svipaður og fyrir viðnámsmælingu eða $14t \cdot 2.500kr/t = 35.000$ kr/mælistöð (þar með talin vinna við gerð þyngdarkorta túlkun þeirra og skýrsluskrif). Kostnaður við 55 þyngdarmælistöðvar er því áætlaður:

Mælitæki	30dagar*9.822kr/dag	294.660
Úrvinnsla og túlkun	55mæl*35.000kr/mæl	1.925.000
Samtals kr		2.219.660

3.4 Heildarkostnaður rannsókna árið 1992

Að afloknum rannsóknarþáttum ársins 1992 verður niðurstöðum skilað í áfangaskýrslu. Heildarkostnaður þessa fyrrihluta yfirborðsrannsókna á Torfajökulssvæði er áætlaður:

Jarðfræðirannsóknir	2.842.448
Jarðefnafræðirannsóknir	1.602.014
Viðnámsmælingar	5.996.625
Þyngdarmælingar	2.219.660
Útgáfukostnaður	200.000
Samtals kr	12.860.747

3.5 Heildarkostnaður rannsókna árið 1993

Að afloknum seinni þætti rannsókna á árinu 1993 verður niðurstöðum skilað i loka-
skýrslu. Heildarkostnaður seinni hluta yfirborðsrannsókna á Torfajökulssvæði er áætl-
aður:

Jarðfræðirannsóknir	7.806.120
Jarðefnafræðirannsóknir	1.602.014
Viðnámsmælingar	5.996.625
Þyngdarmælingar	2.219.660
Útgáfukostnaður	400.000
Samtals kr	18.024.419

HEIMILDIR

Guðmundur Pálmason, J. D. Friedmann, R. S. Williams Jr., Jón Jónsson og Kristján Sæmundsson 1970: Areal Infrared Surveys of Reykjanes and Torfajökull Thermal Areas, Iceland, with a Section on Cost of Exploration Surveys. Geothermics, special issue 2, Vol 2, Part 2, bls. 399-412.

Gunnar Þorbergsson, Ingvar Þór Magnússon og Guðmundur Pálmason 1990: Þyngdarmæligögn og þyngdarkort af Íslandi. Orkustofnun, OS-90001/JHD-01 50 bls.

Kristján Sæmundsson 1969: Infrared Imagery of Torfajökull Thermal Area. Orkustofnun, skýrsla jan. 1969, 22 bls.

Kristján Sæmundsson 1972: Jarðfræðiglefsur um Torfajökul. Náttúrufræðingurinn, 42. árg., 3. hefti, bls. 81-99.

Kristján Sæmundsson 1988: Jarðfræðipáttur um Torfajökul. Árbók Ferðafélags Íslands 1988, bls. 164-180.

Stefán Arnórsson, Grétar Ívarsson, Kevin E. Cuff og Kristján Sæmundsson 1987: Geothermal activity in the Torfajökull field, South Iceland: Summary of geochemical studies. JÖKULL No. 37 bls. 1-11.