



ORKUSTOFNUN

Vænlegir kostir í frekari þróun  
jarðeðlisfræðilegra aðferða í  
jarðhitarannsóknum

**Knútur Árnason**

**Greinargerð KÁ-98-06**

1998-10-22

Greinargerð  
KÁ-98/6

## VÆNLEGIR KOSTIR Í FREKARI PRÓUN JARÐEÐLIS- FRÆÐILEGRA AÐFERÐA Í JARÐHITARANNSÓKNUM

### 1. INNGANGUR

Jarðeðlisfræðilegar aðferðir á yfirborði hafa leikið veigamikið hlutverk í jarðhitarannsóknum og jarðhitaleit hér á landi sem og erlendis. Ýmsum aðferðum hefur verið beitt í tímans rás með misjöfnum árangri. Í ljósi fenginnar reynslu hafa tiltölulega fáar aðferðir unnið sér sess sem hefðbundnar rannsóknaraðferðir. Þar ber fyrst að nefna viðnámsmælingar sem segja má að hafi unnið sér svipaðan sess í jarðhitarannsóknum og endurkastsmælingar í olíuleit.

Af öðrum aðferðum sem teljast til hefðbundinna mælinga má nefna segulmælingar, þyngdarmælingar og landhæðarmælingar. Tvær síðastnefnu aðferðirnar eru að jafnaði ekki notaðar í jarðhitaleit heldur til eftirlits með viðbrögðum við vinnslu. Auk ofantalinna aðferða hafa ýmsar aðferðir verið reyndar, svo sem sjálfspennumælingar og hitamælingar í jarðvegi og hafa þær á stundum skilað nokkrum árangri, en ekki unnið sér sess sem hefðbundnar aðferðir hérlandis. Með tilkomu bættrar bortækni og verulega lægri kostnaðar við grunnar borholur hefur kortlagning á hitastigli í efstu 50-100m jarðarinna rutt sér verulega til rúms í jarðhitaleit á lághitasvæðum.

Þegar rætt er um notkun jarðeðlisfræðilegra aðferða í jarðhitarannsóknum er rétt að gera greinarmun á jarðhitaleit og kortlagningu á útbreiðslu jarhitakerfa annars vegar og rannsóknum á viðbrögðum jarðhitageyma við vinnslu hins vegar því mismunandi aðferðum er beitt við þessi viðfangsefni. Landhæðar- og þyngdarmælingum er beitt til að fylgjast með viðbrögðum við vinnslu, en einungis í litlum mæli við jarðhitaleit og könnun innviða jarðhitakerfa. Ennfremur er eðlilegt að gera greinarmun á rannsóknum háhita innan gosbeltanna og lághita utan gosbeltanna því að við þær er gjarnan beitt mismunandi aðferðum. Kortlagning hitastiguls með grunnum borholum og segulmælingar á jörðu niðri eru hefbundnar aðferðir við lághitaleit, en þeim er að jafnaði ekki beitt við kortlagningu háhita.

Jarðeðlisfræðilegum aðferðum til jarðhitarannsókna má skipta í það sem kalla mætti beinar og óbeinar aðferðir eftir því hvort þær mæla frávik sem tengjast beint jarðhitavirkninni eða að þær gefa upplýsingar um jarðfræðilegar aðstæður sem hafa áhrif á jarðhitavirknina. Mælingar á hitastigi og hitastigli eru að sjálfsögðu beinar aðferðir. Jarðsveiflumælingar (endurkasts- og bylgjubrotsmælingar) eru skýr dæmi um óbeinar aðferðir, því að hærra hitastig grunnvatns hefur óveruleg áhrif á hljóðhraða í bergi. Þyngdar- og segulmælingar eru einnig oftast taldar óbeinar aðferðir því að hærra hitastig grunnvatns hefur í flestum tilfellum einungis óveruleg áhrif á þyngdar- og segulsþiðið. Ummmyndun segulsteinda bergsins getur að vísu valdið frávikum í segulsviði og eru þess

## 2. VÆNLEGIR KOSTIR OG FREKARI ÞRÓUN

Hér á eftir verður fjallað litillega um vænlega kosti á frekari notkun jarðeðlisfræðilegra aðferða á yfirborði í jarðhitarannsóknum og frekari þróun aðferða. Athyglinni verður einkum beint að jarðhitaleit, kortlagninu jarðhitakerfa og upplýsingum um innviði þeirra því að nú eru þær aðstæður á orkumarkaði að mikill áhugi er á nýtingu jarðhita. Orkustofnun ber að svara því með því að hafa á takteinum og beita bestu fánlegu færni til að leita að álitlegum kostum í jarðhitavinnslu og hugsanlegum nýjum möguleikum á því sviði.

Þeir meginþættir sem ákvarða möguleika á hagkvæmri nýtingu jarðhita eru staðsetning jarðhitkerfanna, stærð jarðhithitageymisins, hitastig og lekt. Meginmarkmið með notkun jarðeðlisfræðilegra aðferða í jarðhitarannsóknum er að afla sem áreiðanlegastra upplýsinga um þessa þætti með sem minnstum tilkostnaði. Hafa ber í huga að kostnaður við rannsóknir virkjunarkosta hækkar um stærðargráðu þegar kemur til rannsóknarborana. Því er geysileg hagkvæmni í því að beita aðferðum á yfirborði til að gera rannsóknar- og vinnsluboranir eins markvissar og kostur er og koma í veg fyrir mistök.

### 2.1 Viðnámsmælingar

Eins og fram hefur komið í inngangi hafa viðnámsmælingar yfirburði yfir aðrar aðferðir við að finna jarðhitakerfi og kortleggja stærð þeirra í efsta kílómetra jarðskorpunnar. Viðnámsmælingar gefa einnig upplýsingar um hitadreifinu í háhitakerfum eins djúpt og þær skynja. Æskilegt væri að hægt væri að fá nánari upplýsingar um líklegt hitastig í jarðhitakerfunum á dýptarbilinu frá 1 til 2km, þar sem vinnslan í háhitaholum fer einkum fram. Ekki er að fullu ljóst hvort vænta má slíkra upplýsinga úr viðnámsmælingum því vera má að viðnámsbreytingar innan jarðhithitageymisins séu litlar eftir að torleiðandi ummyndunarsteindir eru orðnar ráðandi. Á þetta hefur ekki reynt ennþá því að Orkustofnun hefur ekki haft yfir að ráða aðferðum og tækjum sem gefa áreiðanlegar upplýsingar um eðlisviðnám neðan 1km dýpis.

Poruhluti og lekt hafa áhrif á eðlisviðnám bergs. Áhrif ummyndunarsteinda virðast þó oft vera yfirgnæfandi þannig að ekki er fyrirfram við því að búast að viðnámsmælingar gefi haldgóðar upplýsingar um lekt í jarðhitakerfum að öðru leyti en því að rúmfraðileg dreifing viðnámsfrávikanna gefur oft miklar vísbendingar um meiriháttar brot og sprungur sem leiða jarðhitavökvan og stýra streymi hanns.

Eins og fram kemur í inngangi þá hafa öll háhitasvæði, sem könnuð hafa verið hérlandis, samskonar viðnámskipan, þ.e. kápu með mjög lágu viðnámi á ákveðnu hitastigsbili og hærra viðnám fyrir neðan. Þessi viðnámskipan er mjög auðþekkjanleg og stingur mjög í stúf í hinu almenna háviðnámsumhverfi í efstu kílómetrum skorpunnar. Á þeim háhitasvæðum þar sem viðnámsmælingum hefur verið beitt hérlandis sést lágvíðnámskápan hverfa niður fyrir dýptarskynjun mælinganna á jöðrum háhitakerfanna. Undantekning frá þessu eru jarðhitasvæðin þrjú á utanverðum Reykjanesskaga; Svartsengi, Eldvörp og Reykjanes. Þar sést lágvíðnámskápan tengjast milli svæðanna sem sýnir að þar er í raun um að ræða eitt stórt jarðhitakerfi með þremur strömpum enda er alkunna að þrystingur í borholum sýnir bein tengsl milli Eldvarpa og Svartsengis. Sú

Landsvirkjun, Hitaveita Suðurnesja og Hitaveita Reykjavíkur leggja einnig fé til verkefnisins.

Verkefnið er skilgreint til þriggja ára og er hlutur Íslands áætlaður um 25.1Mkr (1.ár 5.7Mkr, 2.ár 12.8Mkr, 3.ár 6.6Mkr). Þar af er framlag orkuþyrirtækjanna um 8.4Mkr (1.ár 1.5Mkr, 2.ár 4.5Mkr, 3.ár 2.4Mkr), og framlög Orkustofnunar og Norrænu eldfjallastöðvarinnar um 6.9Mkr (1.ár 1.4Mr, 2.ár 4.0Mkr, 3.ár 1.5Mkr). Um afganginn. 9.8Mkr, var sótt til Rannís (1.ár 2.8Mkr, 2.ár 4.3Mkr, 3.ár 2.7Mkr).

Vegna stærðar verkefnisins var, að höfðu ítarlegu samráði við fulltrúa hjá Rannís, sótt til Tæknisjóðs. Tæknisjóður vísaði umsókninni, eftir jakvæða faglega umsögn, til Vísindasjóðs. Þar fékk umsóknin einnig hæstu einkunn en Vísindasjóður hafði þá þegar ráðstafað fé sínu til annarra verkefna. Kvartað var yfir þessari málsmeðferð og í kjölfar þess fékkst 300 þkr forverkefnistyrkur og loforð fyrir því að ný umsókn yrði afgreidd af Tæknisjóði. Til stendur að senda aðra umsókn til Tæknisjóðs með svipuðum fjárhagstolum og raktar eru hér að ofan.

Þó að hér sé um nokkuð kostnaðarsamt verkefni að ræða er lítill vafi á að um arðbæra fjárfestingu sé að ræða. Aukin færni í að kortleggja og rannsaka háhitakerfi frá yfirborði getur skapað ný sóknarfæri í vinnslu háhitans og einnig gert boranir markvissari og komið í veg fyrir kostnaðarsöm mistök. Því má ekki gleyma að áætlaður hlutur Íslands í verkefninu nemur einungis um einum sjötta af verði einnar 2000m háhitaholu.

## 2.2 Skjálftamælingar

Eins og fram hefur komið er hátt hitastig og lekt nauðsynlegar forsendur þess að nýta megi jarðhita. Upplýsingar um útbreiðslu jarðhita og líklegt hitastig má fá með viðnámsmælingum á yfirborði. Mun óvissara er hvort viðnámsmælingar geti gefið haldgóðar upplýsingar um poruhluta og lekt. Trúlega verður poruhluti og lekt ekki metinn beint með jarðeðlisfræðilegum aðferðum á yfirborði með viðunandi vissu og því verður að reiða sig á óbeinar aðferðir. Ein slík aðferð er að fylgjast með brotahreyfingum sem viðhalda og skapa lekt. Með því að nema og staðsetja með mikilli nákvæmni skjálftavirkni á háhitasvæðum, og reyndar almennt í jarðskorpanni fást upplýsingar um hvar brotavirkni á sér stað en brotfletirnir skapa undantekningarlítið staðbundna lekt.

Jarðskjálftafræði er mjög þróuð grein innan jarðeðlisfræðinnar og reyndar standa Íslendingar, með Veðurstofu Íslands og Raunvísindastofnun Háskólanns, framarlega á því sviði. SIL-kerfi Veðurstofunnar er eitt fullkomnasta jarðskjálftarannsóknakerfi í heiminum. Af sögulegum ástæðum hefur jarðskjálftarannsóknum lítið verið sinnt á Orkustofnun á síðustu áratugum. Miklar framfarir hafa orðið í jarðskjálftarannsóknum, bæði hvað varðar mælitækni og úrvinnslu. Með nútíma mælitækni er hægt að skrá mun smærri skjálfta en áður og í meiri smáatriðum, en eins og kunnugt er vex meðalfjöldi skjálfta á tímaeingingu, og þar með upplýsingarnar, veldislega með smæð skjálftanna. Einnig hafa orðið miklar framfarir í aðferðum við að staðsetja skjálfta og ákvarða brotlausn þeirra. Með því að beita afstæðum staðsetningum á staðbundnar hrinur er oft hægt að staðsetja smáskjálfta innbyrðis með nokkra metra til fárra tuga metra nákvæmni og þegar slíkt er gert koma gjarnan fram vel skilgreindir brotfletir.

sinna því verkefni eftir því sem tími hefur gefist til. Með tilkomu jarðskjálftasérfræðings á Orkustofnun hefur orðið nokkur breyting þar á. Á þessu ári hefur verið unnið ítarlega úr skjálftagönum sem safnað var með færanlegum mælum á Kröflusvæðinu síðastliðið haust. Þar var um tilraun að ræða, en niðurstöðurnar sýna að í jarðhitageymínum er smáskjálftavirkni á brotum sem þekkt eru sem meiginrennslisleiðir og jarðhitavökvi er unninn úr. Samfara þeirri vinnu hefur verið unnin mikil þróunarvinna við gerð og aðlögun hugbúnaðar að sérhæfðum þörfum og hefur ROS varið um 3.8Mkr til þeirrar þróunar. Einnig er nú unnið að úrvinnslu gagna af Hengilssvæðinu í samvinnu Orkustofnunar og Veðurstofunnar, en þar bíður mikið gagnasafn úrvinnslu og það sama á við um Krísvíkur-Trölladyngjusvæðið.

Þess er vænst að í framtíðinni verði jafnt og stöðugt unnið að skjálftamælingum og úrvinnslu gagna á háhitavæðum. Fylgjast þarf stöðugt með virkni og nýjum upplýsingum á virkjuðum svæðum og tengja við aðrar upplýsingar um vinnslu og ástand í jarðhitageymínum. Eðlilegt er að sú vinna sé kostuð af virkjunaraðila því þar er um að ræða upplýsingar sem auka skilning á eðli kerfisins sem unnið er úr og nýta má til vinnslustýringar og við val á stöðum til frekari borunar. Einnig er eðlilegt að nota skjálftarannsóknir sem lið í forrannsóknum til að kanna innviði óvirkjaðra hahitakerfa og finna hvar helst er að vænta góðrar lektar innan þeirra. Slíkar upplýsingar eru miklvægar við staðsetningu rannsóknarhola. Eðlilegt er að Orkustofnun hafi frumkvæði og kosti þessar rannsóknir a.m.k. að hluta til.

Þrátt fyrir að veruleg hreyfing sé komin á nýtingu skjálftamælinga í jarðhitarannsóknum er enn mikið starf óunnið bæði í uppbyggingu á gagnasöfnun og eins í þróun á verkalagi og hugbúnaði við úrvinnslu og túlkun gagna. Orkustofnun er, og verður að líkindum í fyrirsjáanlegri framtíð, meiginaðili í jarðhitarannsóknum hér lendis. Það er því eðlilegast að hún hafi forgöngu um frekari notkun sjálftarannsókna sem lið í jarðhitarannsóknum, en nauðsynlegt er og skynsamlegt að hafa mjög nána samvinnu við aðra aðila sem að skjálftarannsóknum koma til að nýta mannafla og þekkingu sem best og til að koma í veg fyrir tvíverknað.