

Áætlun um jarðeðlisfræðirannsóknir á vegum  
„Jarðlindar“ á Trölladyngju -  
Sandfellssvæðinu

**Knútur Árnason**

**Greinargerð KÁ-98-5**

## ÁÆTLUN UM JARÐEÐLISFRÆÐIRANNSÓKNIR Á VEGUM "JARÐLINDAR" Á TRÖLLADYNGJU- SANDFELLSSVÆÐINU

### 1. INNGANGUR

Í þessari greinargerð er sett fram áætlun um jarðeðlisfræðilegar rannsóknir til undirbúnings virkjunar jarðhita á háhitasvæðunum sem kennd eru við Trölladyngju og Sandfell á Reykjaneskaga. Þessi svæði eru gjarnan nefnd í andrá með háhitasvæðinu við Krísuvík, enda bendir margt til að þessi háhitasvæði séu að einhverju leyti samvaxin. Þrátt fyrir nokkuð umfangsmiklar rannsóknir skortir verulega á skilning á þessum jarðhitakerfum því að þau virðast hafa mun flóknari útbreiðslu og innri gerð en önnur háhitasvæði sem könnuð hafa verið.

Rannsóknarsvæðið sem hér er gerð áætlun fyrir er 19 km löng og 5 km breið spilda frá suðurströnd Reykjaneskaga og til norð-austurs beggja vegna Vesturháls og er hún afmörkuð á mynd-1. Jarðhitasvæðin við Trölladyngju og Sandfell falla bæði innan hennar. Vegna eðlis rannsóknanna og einnig vegna þess hve jarðhitakerfin vestan Kleifarvatns virðast tengd, er ekki í öllum tilfellum hægt að einskorða frekari rannsóknir einungis við hið afmarkaða rannsóknarsvæði, en það verður reynt eins og kostur er.

Áður en rannsóknaráætlunin verður sett fram verður gerð stutt grein fyrir þeim rannsóknum sem gerðar hafa verið á Krísuvíkur-Trölladyngju-Sandfellssvæðinu, og þeim jarðeðlisfræðilegu gögnum sem þegar liggja fyrir og að gagni mega koma.

### 2. FYRRI RANNSÓKNIR

Sögu jarðhitarannsókna á jarðhitasvæðunum sem kennd hafa verið við Krísuvík, Trölladyngju og Sandfell má rekja allt aftur til ársins 1756, en þá var boruð rannsóknarhola við Krísuvík. Á árunum 1940 til 1950 voru boraðar nokkrar grunnar rannsóknarholur við Krísuvík og þrjár til viðbótar árið 1960. Allar dýpri holurnar sýndu viðsnúinn hitaferil með mestum hita (200-225°C) á 300-400m dýpi.

Á árunum 1969-1973 stóð Orkustofnun fyrir umfangsmiklum jarðhitarannsóknum á Krísuvíkur-Trölladyngju-Sandfellssvæðinu (Stefán Arnórsson o.fl., 1985). Í þeirri rannsókn var beitt jarðfræðilegum og jarðefnafræðilegum athugunum, jarðeðlisfræðilegum aðferðum og boraðar voru fjórar rannsóknarholur: hola-5 skammt sunnan Kleifarvatns, hola-6 norðan Trölladyngju, hola-7 við Djúpavatn og hola-8 vestanundir Sveifluhálsi, á mótis við Arnarvatn. Allar sýndu holurnar, líkt og eldri holur, viðsnúinn hitaferil. Hæstur hiti, 260°C, mældist á 400-500m dýpi í holu-6, norðan Trölladyngju, en kólnaði niður í um 220°C þar fyrir neðan.

Þráðurinn var síðan tekinn upp að nýju árin 1983-1985, en þá beindist athygglin einkum að Trölladyngjusvæðinu. Gerðar voru frekari jarðfræðiathuganir og Schlumberger-viðnámsmælingar á svæðinu vestan við Sveifluháls og yfir Trölladyngju og norðurhluta Vesturháls (Orkustofnun og Vatnaskil, 1986). Árið 1987 var enn bætt við Schlumberger-viðnámsmælingum, nú einkum sunnan Djúpavatns og austan við Sveifluháls.

Nokkrar fallmælingar hafa verið gerðar á Trölladyngju-Sandfellssvæðinu (sjá mynd-2). Árið 1984 var fallmælt eftir veginum að Höskuldavöllum, kringum vellina og suður með Vesturhálsi. Þá var fallmælt eftir línu norður frá Trölladyngju og einnig eftir línu austur að Sveifluhálsi, norður með honum að vestan og síðan suður með honum að austan, suður að Kleifarvatni. Þessar línur voru endurmældar árið 1986. Árið 1990 var línan vestan við Vesturháls framlengd til suðurs og 1991 var línan eftir veginum frá Vatsleysuvík að Höskuldavöllum framlengd til norðurs að Reykjanessbraut.

Árið 1989 voru gerðar nokkrar viðnámsmælingar með TEM-aðferð við ströndina suðvestur af Vesturhálsi. Eftir það varð alllangt hlé á rannsóknum á svæðinu, eða fram til 1996. Þá var aftur hafist handa við rannsóknir og þeim einkum beint að Sandfells- og Krísuvíkur-svæðunum. Haldið var áfram að fylla upp í myndina í jarðfræði, einkum kortlagningu á sprungum og einnig voru gerðar 33 TEM-mælingar kringum Sandfell, Vesturháls og Sveifluháls, sunnan línu í gegnum Djúpavatn og Kleifarvatn.

### 3. FYRIRLIGGJANDI JARÐEÐLISFRÆÐIGÖGN

#### 3.1 Viðnámsmælingar

Þau viðnámsmæligögn sem til eru af Trölladyngju-Sandfells-Krísuvíkursvæðinu eru nokkuð mikil að vöxtum. Í rannsókninni árin 1969-1972 voru gerðar 82 Schlumbergermælingar auk nokkurra tvípólmælinga og MT-mælinga. Á þessum árum voru viðnámsmælingar í jarðhitarannsóknum að slíta barnsskónum hérlendis og gögnin frá þessum tíma standast því ekki þær kröfur sem gerðar eru í dag.

Á árunum 1983 til 1985 voru gerðar 70 Schlumbergermælingar á svæðinu vestan við Sveifluháls og yfir Trölladyngju og norðurhluta Vesturháls. Vandlega var unnið úr þessum mælingum og beitt bestu túlkunaraðferðum sem völ var á á þeim tíma (tvívíðri túlkun) og niðurstöður birtar í skýrslu (Orkustofnun og Vatnaskil, 1986). Árið 1986 var síðan bætt við 40 Schlumbergermælingum á Krísuvíkur- og Sandfellssvæðunum. Heildstæð úrvinnsla þeirra birtist hins vegar ekki fyrr en 1997 (H. N. Hung, 1997).

Árið 1988 urðu nokkur þáttaskil í viðnámsmælingum í háhitarannsóknum hérlendis, með tilkomu TEM-mælinga. Þær hafa meiri dýptarskynjun og betri upplausn en jafnstraumsmælingar (Schlumbergermælingar). Alls hafa verið gerðar 39 TEM-mælingar á Krísuvíkur- og Sandfellssvæðunum, austan Fagradalsfjalls og sunnan Djúpavatns og eru 30 þeirra innan eða á jöðrum þess rannsóknarsvæðis sem hér hefur verið markað. Staðsetning mælinganna er sýnd á mynd-1, en þar eru einnig sýndar TEM-mælingar milli Fagradalsfjalls og Grindarvíkurveggar. Verið er að gefa út niðurstöður TEM-mælinganna við Krísuvík og Sandfell (Hjálmar Eysteinnsson, 1998).

### 3.2 Fallmælingar

Eins og fram kemur hér að framan eru til nokkrar fallmældar línur á Trölladyngju- og Sandfellssvæðunum og eru þær sýndar á mynd-2. Alllangt er reyndar síðan þær hafa verið mældar, en þær mynda samt góðan grunn sem byggja má á við upsetningu mælinets til að fylgjast með landbreytingum samfara vinnslu í framtíðinni. Með því að endurmæla fallmælinúrnar og bera saman við eldri mælingar fæst mat á náttúrlegum breytingum á svæðinu áður en vinnsla hefst.

### 3.3 Skjálftamælingar

Í rannsókninni sem fram fór á árunum 1969 til 1972 voru gerðar all ýtarlegar mælingar á skjálftavirkni á svæðinu um og vestan við Kleifarvatn (Stefán Arnórsson, o.fl., 1985). Skjálftavirkni var mikil á svæðinu á þeim tíma og safnaðist mikið af gögnum.

Veðurstofa Íslands hefur um árabil rekið sjálfvirkt skjálftamælinet, svokallað SIL-net, á Suðurlandi. Vestustu stöðvar netsins voru í Krísuvík, í Hafnarfirði og í Vogsum. Hitaveita Suðurnesja stóð fyrir því að á árunum 1996 til 1997 var þremur stöðvum bætt við kerfið á utanverðum Reykjanesskaga, þ.e. í Grindavík, Vogum á Vatnsleysuströnd og við Nýlendu á Stafnesi. Með þessari viðbót er komið upp allgott mælanet sem skráir skjálftavirkni á Reykjanesskaga.

Allmikil smáskjálftavirkni hefur verið á Trölladyngju-Krísuvíkur-Sandfellssvæðinu, sem skráð hefur verið og safnað af mælakerfinu. Á mynd-3 eru sýndar staðsetningar skjálfta, sem mælanetið hefur staðsett sjálfvirkt (með minni óvissu í staðsetningu en 2km) frá janúar 1997 til nóvember 1998. Með því að beita afstæðum staðsetningum á skjálftahrinur má oft greina mjög nákvæmlega brotafleti þar sem hreyfingar eiga sér stað, en á slíkum brotflötum má búast við meiri lekt en annarstaðar. Á Veðurstofu Íslands ligur fyrir mikið gagnasafn sem innihaldið getur mikilvægar upplýsingar um vatnsgengar sprungur í jarðhitakerfunum. Þess má geta að nokkrar breytingar hafa orðið á hveravirkni á Trölladyngjusvæðinu á síðustu árum og er talið líklegast að þær séu tilkomnar vegna brotavirkni.

## 4. RANNSÓKNARÁÆTLUN

Í þeirri rannsóknaráætlun sem hér er sett fram er höfð hliðsjón að tveimur markmiðum. Í fyrsta lagi því meginmarkmiði að afla sem ýtarlegastra upplýsinga um útbreiðslu og innviði jarðhitakerfisins (eða kerfanna) til að gera boranir og nýtingu jarðhitans sem markvissasta og hagkvæmasta. Í öðru lagi er miðað að því að afla grunnilda í mælineti til viðmiðunar þannig að hægt verði að fylgjast með umhverfisáhrifum og viðbrögðum jarðhitageymanna við vinnslu.

Fyrri rannsóknir hafa sýnt að jarðhitavirknin er óvenju flókin og því má gera ráð fyrir að leggja verði í nokkuð umfangsmiklar rannsóknir til að fá nægilega skýra mynd af stærð og legu jarðhitageymanna til að hægt verði að meta orkugetu þeirra. Eftir því sem viðfangsefnið er flóknara er nauðsynlegra að áfangaskipta rannsóknunum þ.a. á seinni stigum megi taka mið af niðurstöðum fyrri stiga. Að sama skapi er erfiðara að gera fastmótaða áætlun um rannsóknirnar í heild og hafa verður þann fyrirvara á að niðurstöður fyrri stiga rannsókna geta leitt til þess að rannsóknir á seinni stigum verði

ekki í smáatriðum eins og hér er lagt til.

Hér er lagt til að stefnt verði að því að gera jarðeðlisfræðilegar rannsóknir á tveimur árum. Á fyrra árinu verði áherslan lögð á rannsóknir til undirbúnings nýtingar jarðhitans. Á seinna árinu verði, með hliðsjón af niðurstöðum fyrra ársins, fyllt upp í eyður og myndin af jarðhitageymunum og hugsanlegum bor- og vinnslusvæðum skerpt. Í jarðeðlisfræðilegum rannsóknum til undirbúnings nýtingar er lagt til að beitt verði viðnámsmælingum og rannsóknum á skjálftavirkni. Lagt er til að á seinna árinu verði jafnframt komið upp grunnneti land- og þyngdarmælipunkta til að fylgjast með viðbrögðum við vinnslu.

#### 4.1 Viðnámsmælingar

Viðnámsmælingar hafa reynst langmikilvægastar jarðeðlisfræðilegra aðferða til að kortleggja útbreiðslu háhitavirkni og meta rúmmál jarðhitageyma. Með tilkomu TEM-mælinga hefur reynst mögulegt að kortleggja jarðhitann í mun meiri smáatriðum og niður á meira dýpi en með eldri mælingum. Árangur með TEM-mælingum er það mikið betri að oft er ekki áhorfsmál að endurmæla svæði sem áður höfðu verið mæld með Schlumbergermælingum. Þetta var gert á utanverðum Reykjanesskaga og skilaði mun ýtarlegri upplýsingum en eldri Schlumbergermælingar.

Lagt er til að allt rannsóknarsvæðið verði þakið TEM-mælingum. Niðurstöður eldri Schlumbergermælinga og þeirra TEM-mælinga sem gerðar hafa verið sýna að viðnámsskipanin er mjög flókin og víða virðast vera tiltölulega staðbundin uppstreymissvæði, en nauðsynlegt er að kortleggja slíkt í sem mestum smáatriðum. Sem dæmi má nefna að á síðasta degi TEM-mælinganna sumarið 1996 var gerð mæling sunnan við Sandfell, í um eða innan við 1km fjarlægð frá næstu mælingum. Þar kom fram lágt viðnám, sem líklega endurspeiglar staðbundið uppstreymissvæði, en þessa lágviðnáms sáust engin merki í nærliggjandi mælingum. Þetta sýnir að gera verður ráð fyrir að þekja þurfi mælisvæðið með þétu neti mælinga til að fá samfelld og heildstætt yfirlit yfir jarðhitavirknina og vænlega borstaði.

Gert er ráð fyrir að þekja þurfi allt svæði þannig að til jafnaðar verði um 1km milli mælinga. Til að þekja allt svæðið svo þétt þarf um 115 mælingar. Þegar eru til 30 mælingar á hinu markaða rannsóknarsvæði þannig að gert er ráð fyrir að bæta þurfi við allt að 85 mælingum. Gert er ráð fyrir að á fyrra ári rannsóknanna verði gerðar um 43 mælingar, einkum á norðanverðu svæðinu. Með hliðsjón af niðurstöðum þeirra verði mælinetið síðan þétt á seinna árinu með allt að 42 mælingum.

#### 4.2 Skjálftarannsóknir

Eins og áður segir kortleggja viðnámsmælingarnar útbreiðslu jarðhitageymanna, en þær gefa ekki upplýsingar í smærri atriðum um streymisleiðir jarðhitavökvans þó að lögum viðnámsfrávikanna geti reyndar oft gefið vísbendingar um megin rennislisleiðir. Skjálftavirkni og hreyfingar á brotum og misgengjum skapa og viðhalda lekt. Með því að staðsetja skjálftavirkni nákvæmlega með afstæðum staðsetningum má oft fá mikilvægar upplýsingar um líkleg svæði með góðri lekt innan háhitakerfanna og niður á meira dýpi en viðnámsmælingarnar sjá. Eins og áður hefur komið fram hafur verið nokkuð mikil skjálftavirkni við Kleifarvatni og á svæðinu vestan þess (sjá mynd-3).

Lagt er til að á fyrra ári rannsóknanna verði farið kerfisbundið í gegnum skjálftagögn frá rannsóknarsvæðinu sem til eru frá Krísuvíkur-Trölladyngju-Sandfellssvæðinu og afstæðum staðsetningum beitt á þær skjálftahrinur sem henta til slíks. Með því móti ættu að fást hugmyndir um legu þeirra brota sem hreyfst hafa nýlega og þar með vænlega borstaði þar sem slík brot eru innan jarðhitageymanna.

Ef niðurstöður úrvinnslunar úr fyrirbyggjandi skjálftagögnum lofa góðu kemur sterklega til álita að kanna skjálftavirknina í meiri smátriðum á seinna rannsóknarárinu. Það má gera með því að setja tímabundið upp net færanlegra skjálftamæla á rannsóknarsvæðinu og næsta nágrenni þess. Með því móti má nema smærri skjálfta og staðsetja með mun meiri nákvæmni en hægt er í núverandi mælaneti. Slík tilraun var gerð á Kröflusvæðinu á síðasta ári og þar kom í ljós að fyrir hendi var nokkur smáskjálftavirkni á hinni svokölluðu Hveragilssprungu (Kristín Vogfjörð, 1998), en öflugustu holurnar á Kröflusvæðinu vinna jarðhitavökva úr þeirri sprungu eða næsta nágrenni hennar.

Lagt er til að í rannsóknaráætluninni verði gert ráð fyrir að á seinna ári rannsóknanna verði settir upp um sex færanlegir skjálftamælur á rannsóknarsvæðinu og næsta nágrenni þess og þeir látnir skrá í um tvo mánuði. Afstæðum staðsetningum verði síðan beitt á þau gögn sem færanlega netið og fasta mælanetið skrá.

#### **4.3 Land- og þyngdarmælingar**

Lagt er til að á seinna ári rannsóknanna verði komuð upp neti GPS- og þyngdarmælipunkta á og í nágrenni rannsóknarsvæðisins til að hægt verði að fylgjast með hreyfingum jarðskorpunnar í framtíðinni og viðbrögðum við vinnslu. Lagt er til að stórum hluta mælipunkta verði valinn staður á eldri fallmælingalínum, en einnig verði settir upp punktar utan þeirra þannig að nema megi breytingar víðar á svæðinu.

Lagt er til að gömlu fallmælinurnar verði endurmældar samtímis því að gerðar eru GPS-mælingar og þyngdarmælingar í hinu nýja neti mælipunkta. Með því móti fæst tenging milli gagna úr hinu nýja GPS-mælineti og eldri fallmælinga og jafnframt mun samanburður á nýjum fallmælingum við eldri mælingar sýna hvaða landhæðarbreytingar hafa orðið af náttúrulegum völdum á síðustu árum. Til að fylgjast með breytingum í framtíðinni þarf hinsvegar einungis að gera þyngdar- og GPS-mælingar í hinu nýja neti.

#### **5. ÁÆTLAÐUR KOSTNAÐUR**

Hér á eftir er tilgreindur áætlaður kostnaður við ofangreindar jarðeðlisfræðirannsóknir, samkvæmt gjaldskrá Rannsóknasviðs Orkustofnunar fyrir árið 1999. Allar kostnaðartölur eru án virðisaukaskatts.

Eins og nefnt hefur verið hér að framan má búast við því að niðurstöður fyrra árs rannsóknanna verði til þess að eitthvað verði vikið frá þeirri áætlun sem sett er fram fyrir seinna árið og verður að taka kostnaðaráætlunina með þeim fyrirvara.

|  | þkr           |
|--|---------------|
| <b>Fyrri ár</b>                        |               |
| TEM-viðnámsmælingar (43 mælingar)      | 6.000         |
| Úrvinnsla fyrirbyggjandi skjálftagagna | 2.800         |
| <b>Samtals á fyrri ári</b>             | <b>8.800</b>  |
| <br>                                   |               |
| <b>Seinna ár</b>                       |               |
| TEM-viðnámsmælingar (42 mælingar)      | 6.000         |
| Skjálftamælingar og úrvinnsla          | 4.100         |
| Land- og þyngdarmælingar               | 6.700         |
| <br>                                   |               |
| <b>Samtals á seinna ári</b>            | <b>16.800</b> |
| <b>Samtals bæði ár</b>                 | <b>25.600</b> |

### Heimildir

- Ha Ngoc Hung, 1997: *The use of Schlumberger soundings in Geothermal Exploration with an Example from Krísuvík Area, SW-Iceland*; skýrsla nr. 6 í hefti Jarðhitaskóla Sameinuðupjóðanna, Geothermal training in Iceland 1997, s. 137-172.
- Hjálmar Eysteinnsson, 1998: *Viðnámsmælingar umhverfis Sandfell, Reykjanesi*, skýrsla Orkustofnunar, í útgáfu.
- Kristín Vogfjörð, 1998: *Smáskjálftar í Kröflu samhliða borlokum á holu KJ-31 í október 1997*, skýrsla Orkustofnunar, í útgáfu.
- Orkustofnun og Vatnaskil, 1986: *VATNSLEYSA-TRÖLLADYNGJA, freshwater and geothermal investigation*", skýrsla Orkustofnunar OS-86032/JHD-10 B, 92s.
- Stefán Arnórsson, Jón Jónsson, Sveinbjörn Björnsson, Páll Einarsson, Guðmundur Guðmundsson, Axel Björnsson, Gestur Gíslason, Einar Gunnlaugsson, og Stefán G. Sigurmundsson, 1975: *KRÍSUVÍKURSVÆÐI, heildarskýrsla um rannsókn jarðhitans*. Skýrsla Orkustofnunar, OSJHD 7554, 71s.