



**ORKUSTOFNUN**

Yfirborðsjarðeðlisfræði á háhitasvæðum í  
vinnslu. Rannsókn á hæðarbreytingum  
gufupúðum og skjálftavirkni

**Knútur Árnason**

**Greinargerð KÁ-92-06**

1992-11-02

Greinargerð  
KÁ-92/6

## YFIRBORÐSJARÐEÐLISFRÆÐI Á HÁHITASVÆÐUM Í VINNSLU

### Rannsókn á hæðarbreytingum, gufupúðum og skjálftavirkni

#### 1. INNGANGUR

Vinnsla vatns og gufu úr háhitasvæðum hefur eðli máls samkvæmt veruleg áhrif á jarðhitasvæðin og nánasta umhverfi þeirra. Í fyrsta lagi eru ýmis umhverfisáhrif sýnileg á yfirborði, svo sem jarðrask, mannvirkni og losun vatns og gufu eftir nýtingu. Í öðru lagi hefur vinnslan veruleg áhrif á jarðhitakerfin sjálf. Þróustingur og hitastig breytast oft verulega svo og grunnvatnsstreymi í kerfunum sjálfum og næsta nágrenni þeirra. Þessar innri breytingar jarðhitakerfanna geta haft í för með sér ytri umhverfisáhrif sem oft og tíðum láta ekki mikið yfir sér dagsdaglega en má þó ekki vanmeta.

Í þessari greinargerð er fjallað lítillega um áhrif þessara innri breytinga. Tindar til nokkrar jarðeðlisfræðilegar aðferðir sem beita má á yfirborði og geta gefið upplýsingar sem nota má, ásamt upplýsingum úr borholum, til að fylgjast með og meta innri breytingar jarðhitakerfa og meta áhrif þeirra í nútíð og framtíð.

#### 2. HÆÐARBREYTINGAR

Þróostingslækkun samfara vinnslu úr háhitakerfum hefur yfirleitt í för með sér breytingar á landhæð. Við það að vökvapróestingur lækkar falla porur og sprungur í berginu saman að hluta til og land sígur. Þessar hæðarbreytingar eru yfirleitt ekki miklar, en þær getur þó þurft að hafa í huga í sambandi við mannvirkni. Fylgst hefur verið með hæðarbreytingum á flestum háhitasvæðum sem nýtt eru hérlandis og hafa þar orðið nokkrar breytingar. Almennt má þó segja að varla hafi verið fylgst nógu reglulega með hæðarbreytingum og oft og tíðum ekki yfir nógu stórt svæði. Háhitasvæðin eru yfirleitt tengd eldvirkni í gosbeltunum og þar eru jarðskorpuhreyfingar tíðar. Til þess að fá mat á hæðarbreytingar vegna vinnslu getur því þurft að mæla breytingar yfir stórt svæði til að geta greint þær frá öðrum jarðskorpuhreyfingum.

Mestu hæðarbreytingar hér á landi sem rekja má til vinnslu hafa orðið í Svartsengi. Þar hefur land sigið á vinnslusvæðinu um tæpa 13 cm á tímabilinu 1975 til 1987, eða um rúmlega 1 cm á ári (Hjálmar Eysteinsson o.fl. 1992). Á Nesjavöllum seig land á vinnslusvæðinu um 2.5 cm á tímabilinu 1982 til 1990 (Gunnar Þorbergsson og Guðmundur H. Vigfússon 1990), en hluti þess sigs er trúlega vegna víðáttumeira sigs í sprungurein Hengilskerfisins. Viða erlendis hefur orðið mikið landsig vegna vinnslu eins og t.d. á Wairakei svæðinu á Nýjasjálandi þar sem maelst hefur meira en 9 m sig og sigráði allt að 45 cm á ári (Allis og Hunt 1986).

Með því að kortleggja landsig vegna vinnslu má, auk beinna upplýsinga um umhverfisáhrif, fá mat á flatarmáli þess jarðhitageymis sem vinnsla nær til. Jafnframt er oft hægt, með því að beita saman hæðar og þyngdarmælingum, að fá upplýsingar um massaminnkun í jarðhitakerfinu, þ.e.a.s. mismun þess massa sem unninn er og þess sem streymir til kerfisins.

### 3. GUFUPÚÐAR

Mörg háhitakerfi hérlandis eru á suðumarki í afmörkuðum eða stórum hluta kerfanna og jafnvel talið að sumstaðar séu fyrir hendi náttúrulegir gufupúðar nálægt yfirborði svo sem í Svartsengi og Eldvörpum. Ef vinnsla hefur í för með sér lækkun á þrýstingi niður fyrir suðumark hefst suða og gufupúðar fara að myndast.

Það hefur verið ljóst um nokkurn tíma að upprunalegur gufupúði kringum holar H-2, H-3 og SG-10 í Svartsengi hefur farið stækandi (Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson 1991). Merki þessa eru auðsæ á yfirborði þar sem gufustreymi hefur aukist verulega. Margt bendir til þess að gufupúðinn hafi breitt úr sér á 600-700 m dýpi á vinnslusvæðinu undir og suð-vestan við orkuverið. Auk þess er talið að upprunalegur gufupúði efst í Eldvarpakerfinu hafi stækkað. Þrýstingsmælingar í borholum sýna að vinnsla úr Svartsengiskerfinu veldur þrýstingsfalli í Eldvörpum þannig að þrýstingssamband er milli svæðanna.

Í jarðhitakerfinu undir Hvíthólum á Kröflusvæði hefur myndast gufupúði ofan 600 m dýpis (Benedikt Steingrímsson o.fl. 1992). Vinnsla Hvíthólasvæðisins er mjög árstíðabundin þar sem orkuverið í Kröflu er ekki keyrt yfir sumarmánuðina. Á Hvíthólasvæðinu sést hækkandi vermi í borholum eftir að svæðið hefur verið í vinnslu nokkra vikur, en lækkar aftur eftir sumarlokun. Miklar breytingar hafa átt sér stað eftir að vinnslan hófst. Útkulnaðar jarðhitaskellur hafa hitnað og gufuhverir myndast. Þetta bendir til þess að gufupúðinn hafi tengingu til yfirborðs.

Tilvist og stækkun gufupúða hefur bæði jákvæð og neikvæð áhrif. Jákvæðu áhrifin eru þau að varmainnihald borholuvöka eykst þannig að minni massa þarf að taka úr svæðunum. Þetta ætti að leiða til þess að hraði niðurdráttar ætti að minnka. Neikvæðu áhrifin eru þau að eftir því sem hlutur gufu eykst hækkar þrýstingur efst í kerfinu og þar sem gufupúði nær nálægt yfirborði eykst varmatap verulega vegna útstreymis gufu og jafnvel getur orðið hætta á gufusprengingum. Slíkar gufusprengingar eru þekktar á jarðhitavæðum erlendis og hafa á stundum valdið verulegu eignatjóni og jafnvel mannskaða.

Þó að hægt sé að staðfesta tilvist gufupúða og meta þykkt hans við borholur með nokkurri nákvæmni er einungis um punktmælingar að ræða og þar sem langt er milli hola er erfitt að fá mat á útbreiðslu hans. Vel er hugsanlegt að lárétt útbreiðsla sé veruleg í tíma án þess að þess sjáist merki í holum. Það væri því mjög æskilegt ef hægt væri að kanna útbreiðslu og fylgjast með breytingum þúða með athugunum á yfirborði. Slíkt er ekki auðvelt og ekki hægt að lofa árangri fyrirfram.

#### 4. SKJÁLFTAVIRKNI

Breytingar á hita- og þrýstingsástandi í jarðhitakerfum svo og breytingar á grunnvatnsstreymi í og í nágrenni þeirra geta haft áhrif á skjálftavirkni. Höfundi þessarar greinargerðar er ekki kunnugt um nein dæmi þess að orðið hafi stórir skjálftar í eða í nágrenni jarðhitakerfa sem beint má rekja til vinnslu þeirra. Slíkt er þó ekki hægt að úti-loka. Háhitakerfi á Íslandi eru tengd eldvirkum svæðum í gliðnunarbelтum landsins þar sem jarðskorpan er mjög brotin. Við slíkar aðstæður byggist yfirleitt ekki upp mikil spenna sem leiðir til stórra skjálfta en smákjálftar eru tíðir. Tilvist háhitakerfa og vinnsla þeirra hefur oft í för með sér mikla smáskjálftavirkni.

Rannsóknir hafa sýnt að smáskjálftavirkni getur gefið mikilvægar upplýsingar um háhitasvæðin, bæði hvar misgengishreyfingar eru á virkum sprungum og misgengjum og hvar varmanám á sér stað (Foulger 1984). Nýlegar rannsóknir á suði í háhitakerfinu í Öxarfirði hafa sýnt að stöðugt suð virðist vera fyrir hendi í ákveðnum hlutum kerfisins (Rykounov o.fl. 1992). Talið er að þetta suð geti stafað af suðu og/eða brestum í bergi sem er að dragast saman vegna kólnunar.

Rannsóknum á smáskjálftavirkni og suði í jarðhitakerfum hefur ekki verið sinnt sem skyldi hér á landi. Telja má fullvist að þær geti orðið að miklu gagni bæði við rannsókn óvirkjaðra svæða og ekki síður til að fylgjast með jarðhitakerfum í vinnslu. Viða er-lendis hafa kerfi þar sem stöðugt er fylgst með smáskjálftavirkni gefið mikilvægar upplýsingar um viðbrögð jarðhitakerfa við vinnslu og niðurdælingu affallsvatns (Stark 1990).

#### 5. JARÐEÐLISFRÆÐIAÐFERÐIR SEM BEITA MÁ Á YFIRBORDI

Hér á eftir verður gerð stuttlega grein fyrir jarðeðlisfræðimælingum sem beita má á yfirborði til að fylgiast með þeim breytingum á innra ástandi jarðhitakerfa og áhrifum þeirra sem um er rætt hér að ofan. Ekki er endilega við því að búast að hver aðferð fyrir sig geti gefið afdráttarlaus svör við þeim spurningum sem svars er leitað við, en með því að skoða niðurstöður þeirra í samhengi við aðrar tiltækjar upplýsingar má hinsvegar efalítið nálgast þau svör og auka almennt skilning á viðbrögðum háhitakerfa við vinnslu. Ekki má líta á upptalninguna hér á eftir sem tæmandi, því að eflaust má tína til fleiri aðferðir sem að gagni mega koma.

##### 5.1 Fallmælingar

Auðvelt er að mæla breytingar í landhæð með fallmælingum. Þær má gera með mikilli nákvæmni ( $0.6 \text{ mm}/\sqrt{\text{km}}$ ) en fyrirhöfn og kostnaður eykst verulega með aukinni nákvæmni. Eins og áður segir má með fallmælingum fá hugmynd um flatarmál þess jarðhitageymis sem vinnsla tekur til. Til þess að svo megi verða þarf að hafa nokkuð þétt mælinet næst vinnslusvæðinu sem tengt er mælilínunum sem ná vel út fyrir svæðið til að greina hæðarbreytingar vegna vinnslu frá öðrum jarðskorpuhreyfingum.

##### 5.2 Pyngdarmælingar

Með því að beita nákvæmum pyngdarmælingum samhlíða fallmælingum má, eins og áður var nefnt, fá hugmyndir um massabúskap jarðhitakerfisins þ.e.a.s hversu mikill

vökvi hefur streymt til kerfisins í stað þess sem unninn var. Fallmælingarnar eru nauðsynleg forsenda þess að þetta sé hægt því að verulegur hluti þyngdarbreytinganna getur verið vegna breytinga í landhæð.

Þar sem gufupúði hefur myndast hefur hluti vatnsins í berginu soðið yfir í gufu sem hefur mun minni eðlismassa en vatnið. Við það minnkari heildarmassinn í hverri rúmmálseiningu lítillega. Fræðilega séð ætti að vera hægt að sjá þessa massabreytingu með þyngdarmælingum. Samfara þrýstingslækkun í jarðhitakerfinu hefur bergið sigið nokkuð saman. Landhæðarmælingar sýna að milli áranna 1975 og 1987 hefur land á vinnslusvæðinu í Svartsengi sigið um tæpa 13 cm, eða um u.p.b. 1 cm á ári að jafnaði (Hjálmar Eysteinsson o.fl. 1992) og má því ætla að heildarsigið sé nú a.m.k. 17 cm. Landið sígur vegna þess að þrýstingur í porum bergsins minnkari og þær hniga saman að hluta til sem hefur í för með sér lítillega aukinn massa á rúmmálseiningu. Þó svo að þessi aukning á eðlismassa sé verulega minni en sem nemur lækkun eðlismassa vegna suðu nær hún til meira rúmmáls bergs. Áætla má að þyngdarfrávik vegna núverandi gufupúða í Svartsengi sé um 0.1-0.3 mgal og breytingin milli ára, miðað við áætlaðan vöxt gufupúðans (Grímur Björnsson 1992) sé um 10 sinnum minni. Þetta er á mörkum þess að vera mælanlegt með þeirri mælitækni sem tiltæk er. Ef kanna á breytingar í þykkt og útbreiðslu gufupúðans með þyngdarmælingum þarf að setja upp þétt mælinet á og í næsta nágrenni vinnslusvæðisins og gera þyngdar og landhæðarmælingar í mælinetinu með mestu mögulegri nákvæmni, á u.p.b. tveggja ára fresti.

Nýlokið er landhæðar- og þyngdarmælingum í mælinetinu kringum Svartsengi og á utanverðum Reykjanes-skaga. Úrvinnslu þeirra mælinga er ekki lokið, en þegar niðurstöður og samanburður við eldri mælingar liggar fyrir má ef til vill fá haldbetri hugmyndir um notagildi þyngdarmælinga til að fylgjast með gufupúðum.

Erfitt er að gera sér haldgóðar kostnaðarhugmyndir fyrir fall- og þyngdarmælingar eins og hér hefur verið um rætt því að umfang mælinets og vinna við mælingar er mjög háð aðstæðum og stærð vinnslusvæða. Til að gefa hugmynd um stærðargráður má hugsa sér að settir yrðu upp u.p.b. 120 fastir mælistáðir á um  $4 \text{ km}^2$  svæði (að jafnaði um 200 m milli mælistáða) og mælinetið tengt með tveimur löngum línum út fyrir vinnslusvæðið. Mjög lauslega má áætla að það muni taka u.p.b. 15 daga að fallmæla slíkt net og þyngdarmælingar gætu tekið álíka langan tíma. Kostnaður yrði þá u.p.b. 1.700 þúsund krónur fyrir fallmælingar og um 1.100 þúsund krónur fyrir þyngdarmælingar (sjá sundurliðun í viðauka).

### 5.3 Viðnámsmælingar

Í óummynduðu bergi sem mettað er ferskvatni vex eðlisviðnám um margar stærðagráður þegar hitastigið nálgast og fer yfir suðumark vatnsins. Viðnámshækkunin minnkari með vaxandi seltu vatnsins (Olhoeft 1981) og trúlega einnig með aukinni ummyndun, einkum leirsteindum. Beinar mælingar skortir til að segja til um hversu mikil breyting verður á eðlisviðnámi bergs við suðu við þær aðstæður sem ríkja í jarðhitakerfum hér á landi.

Í Svartsengi er selta jarðhitavökvans það há (um 13.000 ppm Cl, svarandi til um 0.4 mol NaCl) og ummyndun það mikil að viðnámsbreytingin er hvergi nærrí eins mikil og fyrir ferskt vatn í óummynduðu bergi, en telja verður líklegt að nokkur breyting

verði í eðlisviðnámi við suðuna. Í ferskvatnskerfum er viðnámsbreytingin trúlega nokkuð meiri.

Með viðnámsmælingum á yfirborði má mæla eðlisviðnám jarðlaganna og breytingu þess í tíma með endurteknum mælingum. Eðlisviðnám í jarðhitakerfinu við Svartsengi er um  $3\Omega\text{m}$  (Lúðvík S. Georgsson og Helga Tulinus 1983). Ef gert er ráð fyrir því að við suðu hækki viðnám upp í a.m.k.  $5\Omega\text{m}$ , benda líkaneikningar til þess að með TEM-mælingum megi greina merki um gufupúða niður á um 600 m dýpi. Þessi dýptarskynjun er í minnsta lagi til að kanna gufupúða sunnan og vestan við virkjunina, en þar er talið að hann sé að myndast á um eða rúmlega 600 m dýpi. Hinsvegar er dýptarskynjunin nægileg til að fylgjast með útbreiðslu púðans austan við virkjunina. Ef viðnámsbreytingin er meiri en hér er gert ráð fyrir eykst dýptarskynjunin eitthvað en minnkar að sama skapi ef breytingin er minni.

Viðnámsmælingar hafa þann galla að vera næmar fyrir truflunum frá rafleiðurum í jörðu og á yfirborði. Á virkjuðum háhitasvæðum er nánast óumflýjanlegt að gufuleiðslur og aðrar málmlagnir á yfirborði muni hafa áhrif á mælingarnar, en ef ekki bætast við nýjar meiriháttar lagnir ættu endurteknar mælingar að gefa upplýsingar um breytingar í tíma.

TEM-viðnámsmælingar eru tiltölulega ódýrar og fljótlegar í framkvæmd. Það er því fyllilega tilraumarinnar virði að gera sliðar mælingar í því skyni að fylgjast með gufupúðum. Sem fyrstu tilraun má hugsa sér að gera 6-7 mælingar á austur- og suðurjaðri vinnslusvæðisins í Svartsengi með 150-200 m millibili. Mælistáðir yrðu merktir vandlega og mælingar endurteknar árlega á nákvæmlega sama stað og niðurstöður bornar saman. Auk Svartsengis væri eðlilegt að gera 3-4 mælingar í Eldvörpum til að fylgjast með gufupúðanun þar. Kostnaður við framkvæmd og úrvinnslu hverrar TEM-mælingar er áætlaður u.p.b. 90 þúsund krónur og því um 900 þúsund krónur fyrir 10 mælingar.

#### 5.4 Jarðsveiflumælingar

Jarðsveiflumælingum hefur lítið verið beitt við jarðhitarannsóknir hér á landi og raunar einnig erlendis. Ástæða þess er einkum sú að með jarðsveiflumælingum fást upplýsingar um hljóðhraða jarðlaga og aðrar jarðfræðilegar upplýsingar svo sem lagskipting jarðlaga, brot og misgengi sem ekki hafa endilega beina jarðhitafræðilega þýðingu. Önnur ástæða þess að þær hafa ekki verið notaðar hér á landi að neinu gagni er að í marglagskiptu og oft mjög óreglulegu gosbergi dreifast hljóðbylgjur óreglulega og erfitt er að fá jafn skýra mynd af jarðlögum og í meira einsleitum setlögum og meginlandsskorpu úr graníti.

Berg mettað gasi eða gufu hefur lægri hljóðhraða en vatnsmettað berg. Í endurkastsmælingum kemur gasmettað berg oft fram sem skýr og sterkur endurkastsflötur. Það kæmi því vel til greina að reyna endurkastsmælingar og sjá hvort gufupúði kemur fram sem endurkastsflötur. Einnig kemur til greina að reyna að kortleggja útbreiðslu gufupúða með því að sprengja í nokkurri fjarlægð frá vinnslusvæðinu og mæla töf á hljóðbylgjum sem fara nokkurnveginn lárétt í gegnum púðann borið saman við bylgjur sem sneiða hjá honum.

Orkustofnun hefur nú yfir að ráða tækjum til jarðsveiflumælinga og ekkert er því til fyrirstöðu að gera tilraunir með þeirri aðferð. Það er hinsvegar ekki fyrirfram gefið að þær skili árangri því að jarðhitasvæði eru oft ekki vel fallin til slíkra mælinga og kemur þar einkum tvennt til. Í fyrsta lagi er svæðin oft þakin ungum og ósléttum hraunum og nokkuð djúpt á vatnsborð. Við slíkar aðstæður er erfitt að koma nægjanlegri orku niður í jörðina með sprengingum á yfirborði og nema hljóðbylgjurnar aftur því að hraunið ofan vatnsborðs deyfir og dreifar hljóðbylgunum. Í öðru lagi er fyrir hendi bakgrunns-hávaði frá borholum. Ef bakgrunnshávaðinn er mikill getur orðið erfitt að greina hljóðbylgjur og endurköst frá sprengingunum á yfirborði.

Stefnt er að því að fara með jarðsveiflumælitæki Orkustofnunar í Svartsengi og kanna hversu mikill bakgrunnshávaðinn er á því svæði og gera tilraunir með að koma orku niður í gegnum hraunin ofan vatnsborðs. Áætlað er að þessar tilraunir séu tveggja daga vinna fyrir two menn og að kostnaður verði um 280 þúsund krónur. Að loknum slíkum prófunum má betur gera sér grein fyrir því hvort jarðsveiflumælingar eru fýsilegur kostur til að kanna gufupúðann. Upplýsingar um styrkleika og tíðniróf bakgrunnshávaðans geta einnig reynst mikilvægar fyrir hönnun og skipulagningu hugsanlegs skjálftamælinets til að fylgjast með smáskjálftum í jarðhitakerfinu.

### 5.5 Skjálftamælingar

Með því að setja upp net skjálftamæla á jarðhitasvæðum í vinnslu má fylgjast með skjálftavirkni í jarðhitakerfunum og nágrenni þeirra. Til að geta ákvarðað brotlausnir þurfa mælarnir að nema jarðskorpuhreyfingar í þrjár stefnur. Til þess að geta numið litla skjálfta, af stærð -1 eða minni, og staðsett með nákvæmni þarf að hafa nokkuð marga nema í nokkuð þéttu neti. Æskilegast er að slíkt kerfi staðsetji skjálfta sjálfvirkt þannig að hægt sé að fylgjast með virkninni í rauntíma.

Veðurstofa Íslands hefur sett upp og rekur slíkt sjálfvirk skjálftamælanet á Suðurlandi. Hægt er að tengja staðbundin mælanet kerfi Veðurstofunnar og láta hugbúnað þess kerfis staðsetja skjálftana. Raunvisindastofnun Háskólangs hefur einnig langa reynslu í skjálftamælingum og tekið þátt í þeim tilraunum sem gerðar hafa verið hér á landi með könnun smáskjálfta á háhitasvæðum. Með samvinnu við þessa aðila má ef-lauost koma upp góðum skjálftamælinetum og hafa hugmyndir þar að lútandi verið reif-aðar (Knútur Árnason, 1992).

### 5.6 Mælingar á suði

Til greina kemur að gera tilraunir með mælingar á suði í jarðhitakerfunum á svipaðan hátt og gert var í Öxarfirði (Rykounov o.fl. 1992). Við slíkar mælingar eru settir nokkuð margir hljóðnemar (um eða yfir 24) í reglulegt net á yfirborði. Merki frá nemunum er skráð samfellt í nokkurn tíma og með því að nota tímamun hljóðbylgannana má ákvarða fjarlægð og stefnu í uppsprettu suðsins. Þessar mælingar eru til þess að gera einfaldar í framkvæmd og þær má jafnvel gera með jarðsveiflumælitækjum Orkustofnunar. Úrvinnslan er aftur á móti nokkuð vandasöm, en reynslu og hugbúnað má efalítið sækja til rússneska rannsóknarhópsins sem vann að rannsóknunum í Öxarfirði. Bakgrunnshávaði frá borholum á virkuðum háhitasvæðum getur hugsanlega yfirgnæft suð í jarðhitageymimum sjálfum, en úr því fæst ekki skorið nema með tilraunamælingum.

**VIÐAUKI: Sundurliðun á kostnaði**

Eftirfarandi kostnaðartölur eru byggðar á gjaldskrá Orkustofnunar í nóvember 1992.

**Fallmælingar**

Miðað er við að sett verði upp mælinet með u.p.b. 120 mælistöðvum og það taki þrjá menn 15 daga að fallmæla netið.

Uppsetn. fastm.	4 d x 13 t/d @ 2.500 kr/t	130.000	kr
Mælimaður	15 d x 13 t/d @ 2.100 kr/t	409.500	--
2 aðst. menn	2 x 15 d x 13 t/d @ 1.400 kr/t	546.000	--
Fæði	3 x 15 d @ 3850 kr/d	173.250	--
Bíll	15 d @ 10.865 kr/d	162.975	--
Mælitæki	15 d @ 6.300 kr/d	94.500	--
Úrvinnsla	75 t @ 2.500 kr/t	187.500	--
<b>Samtals</b>		<b>1.703.725</b>	<b>kr</b>

**Pyngdarmælingar**

Miðað er við að sett verði upp mælinet með u.p.b. 120 mælistöðvum og það taki einn mann 15 daga að þyngdarmæla netið.

Mælimaður	15 d x 14 t/d @ 2.500 kr/t	525.000	kr
Fæði	15 d @ 3850 kr/d	57.750	--
Bíll	15 d @ 10.865 kr/d	162.975	--
Mælitæki	15 d @ 9.987 kr/d	149.805	--
Úrvinnsla	75 t @ 2.500 kr/t	187.500	--
<b>Samtals</b>		<b>1.083.030</b>	<b>kr</b>

**Viðnámsmælingar**

Gert er ráð fyrir að gerðar verði u.p.b. 10 mælingar og að tveir menn geri að jafnaði 1.5 mælingar á dag. Kostnaður per mælingau er eftirfarandi:

Sérfræðingur	9 t/mæl. @ 2.500 kr/t	22.500	kr/mæl.
Rannsóknarmaður	9 t/mæl. @ 1.800 kr/t	16.200	--
Mælitæki	20.247 kr/mæl.	20.247	--
Bíll	2/3 d/mæl. @ 10.865 kr/d	7.243	--
Fæði	4/3 d/mæl. @ 3.850 kr/d	5.133	--
Úrvinnsla og túlkun	6 t/mæl. @ 2.500 kr/t	15.000	--
Samtals		86.323	kr/mæl.

**Jarðsveiflumælingar**

Gert er ráð fyrir að tveir sérfræðingar geri tilraunir með jarðsveiflumælingar og verkið taki two daga.

Sérfræðingar	2 x 2 d x 12 t/d @ 2.500 kr/t	120.000	kr
Mælitæki	2 d @ 36.445 kr/d	72.890	--
Bíll	2 d @ 10.865 kr/d	21.730	--
Fæði	2 x 2 d @ 3.850 kr/d	15.400	--
Úrvinnsla	20 t @ 2.500 kr/t	50.000	--
Samtals		280.020	kr

## HEIMILDIR

- Allis, R.G. og Hunt, T.M., 1986: *Analysis of exploration-induced gravity changes at Wairakei Geothermal Field.* Geophysics, Vol. 51, No. 8, 1647-1660.
- Benedikt Steingrímsson, Grímur Björnsson og Hilmar Sigvaldason 1992: *KRAFLA-VINNSLUEFTIRLIT, Borholumælingar 1991.* Orkustofnun, OS-92004/JHD-01 B, 41 s.
- Foulger, G.R., 1984: *Seismological Studies at the Hengill Geothermal Area, SW Iceland.* Doktorsritgerð við Háskólanum í Durham, Englandi, 313 s.
- Grímur Björnsson, 1992: *Hugmyndalíkan að gufupúða í Svartsengi.* Orkustofnun, greinargerð, GrB-92/03, 7 s.
- Grímur Björnsson og Benedikt Steingrímsson, 1991: *Hiti og þrýstingur í jarðhitakerfinu í Svartsengi.* Orkustofnun, OS-91016/JHD-04, 69 s.
- Gunnar Þorbergsson og Guðmundur H. Vigfússon, 1990: *NESJAVALLAVEITA, Landmælingar á Nesjavöllum og Hengilssvæði 1982-1990.* Orkustofnun, OS-90046/VOD-07 B, 70 s.
- Hjálmar Eysteinsson, Gunnar Þorbergsson og Ólafur G. Flóvenz, 1992: *Landhæðar- og byngdarmælingar við Svartsengi og Reykjanes.* Orkustofnun, greinargerð, HE-GP-ÓGF-92/01, 11 s.
- Knútur Árnason, 1992: *Smáskjálftamælinet á háhitasvæðum í vinnslu.* Orkustofnun, greinargerð, KÁ-92/07, 8 s.
- Lúðvík S. Georgsson og Helga Tulinius, 1983: *Viðnámsmælingar á utanverðum Reykjarnesskaga 1981 og 1982.* Orkustofnun, OS-83049/JHD-09, 70 s.
- Olhoeft, Garry R., 1981: *Electrical Properties of Granite With Implications for the Lower Crust.* Journal of Geophysical Research, Vol. 86, No. B2, 931-936.
- Rykounov, L.N., Shoubik, B.M., Kiselevich, V.L., Smimov, V.B. og Flóvenz, Ó.G., 1990: *Seismic noise studies in Öxarfjörður, N-Iceland. A preliminary report.* Orkustofnun, Reykjavík.
- Stark, M.A., 1990: *Imaging injected water in the Geysers reservoir using microearthquake data.* Geothermal Resources Council Transactions, Vol. 14, part II, 1697-1704.