

**Smáskjálftamælinet á háhitasvæðum í
vinnslu**

Knútur Árnason

Greinargerð KÁ-92-07

1992-12-03

SMÁSKÁLFTAMÆLINET Á HÁHITASVÆÐUM Í VINNSLU

1. INNGANGUR

Hitaveita Suðurnesja og fleiri aðilar sem nýta háhitasvæði hérlendis hafa sýnt því áhuga að setja upp skjálftamælinet til að fylgjast með skjálftavirkni í jarðhitakerfunum og nágrenni þeirra.

Þriðjudaginn 1. desember var haldinn fundur á Orkustofnun til að ræða hvernig best verði staðið að uppsetningu og rekstri slíks mælinets. Til fundarins mættu:

Ragnar Stefánsson,	Veðurstofu Íslands
Steinunn Jakobsdóttir,	Veðurstofu Íslands
Reynir Böðvarsson,	Háskólanum í Uppsölum
Páll Einarsson,	Raunvísindastofnun Háskólans
Bryndís Brandsdóttir,	Raunvísindastofnun Háskólans
Ólafur G. Flóvenz,	Orkustofnun
Einar Kjartanson,	Orkustofnun
Knútur Árnason,	Orkustofnun

Eftirfarandi greinargerð byggir á þeirri umræðu sem fram fór á fundinum.

Hitaveita Suðurnesja hefur haft frumkvæði að umræðu um uppsetningu skjálftamælinets og því snerist umræðan á fundinum að verulegu leyti um hvernig best verði staðið að uppsetningu slíks mælikerfis í Svartsengi og Eldvörpum. Þó svo að umræðan hafi snúist að mestu um þessi svæði eiga þær hugmyndir að aðferðafræði, sem fundarmenn voru sammála um og lýst er hér að neðan, nokkuð almennt við. Það ber þó að taka fram að ekki er hægt, út frá skjálftavirkni eins háhitakerfis, að draga ályktanir um virkni annarra því reynsla hérlendis og erlendis hefur sýnt að skjálftavirkni jarðhitakerfa getur verið mjög mismunandi frá einu kerfi til annars og eins frá einum tíma til annars.

2. MARKMIÐ

Markmiðið með uppsetningu skjálftamælinetsins er að kanna áhrif jarðhitavinnslunnar á skjálftavirkni svæðisins og nota upplýsingar um tíðni, útbreiðslu og gerð skjálfta til að fylgjast með breytingum í jarðhitakerfinu sem vinnslan veldur. Þannig gæta t.d. fengist upplýsingar um hvar sprungumyndun vegna varmanáms á sér stað vegna niðurdælingar eða aðrennslis kalds vatns. Einnig geta beytingar í skjálftavirkni orðið vegna breytts vökvaprýsings í holrými bergsins.

Til þess að fá þessar upplýsingar þarf að hanna skjálftamælinetið þannig að:

- 1 Það nemi og staðsetji skjálfta í jarðhitakerfinu og næsta nágrenni þess. Skjálftar sem rekja má til jarðhitavirkni og nýtingar jarðhitavökva eru yfirleitt litlir. Netið þarf því að geta numið skjálfta að stærð $M=0$ eða minni, jafnvel niður í $M=-2$. Stærð skjálfta er háð eiginleikum jarðhitakerfisins og því er ekki hægt að skilgreina nein algild stærðarmörk sem netið þarf að geta numið heldur byggja á reynslu á hverju tilteknu svæði. Til þess að nota megji skjálftavirkni til að fylgjast með viðbrögðum jarðhitakerfisins við vinnslu þarf að að staðsetja skjálfta með mikilli nákvæmni. Helst þarf að vera hægt að staðsetja skjálfta innan kubbs sem er um 100 m á kant í láréttum þverskurði og um 200 m á hæð.
- 2 Það geti skilgreint brotlausnir fyrir skjálfta. Hægt þarf að vera að greina milli skjálfta vegna hreyfinga á sprunguflötum og bresta vegna samdráttar bergs við kælingu eða samþjöppunar vegna minnkandi vökvaprýstings. Við niðurdælingu geta ennfremur orðið brestir við myndun sprungna vegna aukins vökvaprýstings.

Lækkun vökvaprýstings vegna niðurdráttar, veldur því að porur og sprungur falla saman að hluta. Í Svartsengi hefur land sígið af þessum sökum um allt að 13 cm á 12 ára tímabili. Við það að porur falla saman að hluta eykst S- og P-bylgjuhraði bergsins. Ef vökvaprýstingur fellur niður fyrir suðumark við ríkjandi hitastig fer vatnið að sjóða og mynda gufupúða. Við það að porur bergsins fyllast gufu í stað vatns lækkar P-bylgjuhraðinn. Í Svartsengi hefur slíkur gufupúði myndast og einnig í Hvíthólakerfinu á Kröflusvæði. Með því að sprengja með reglulegu millibili á fyrirfram ákveðnum stöðum í námunda við jarðhitasvæðið og láta skjálftamælikerfið nema skjálfta frá sprengingunum má fylgjast með breytingum í hljóðhraða með tíma. Nauðsynlegt er að kanna reglulega slíkar hraðabreytingar því breytingar á hljóðhraða valda kerfisbundnum skekkjum í staðsetningu skjálfta. Til þess að fá upplýsingar um breytingar í hljóðhraða í meiri smáatriðum má samtímis sprengingum nota fjölrása jarðsveiflumælitæki og hafa hugmyndir þar að lútandi verið settar fram í greinargerð Orkustofnunar um notkun yfirborðsjarðeðlifræðiaðferða á háhitasvæðum í vinnslu.

Ragnar Stefánsson benti ennfremur á að með þétu neti skjálftamæla mætti greina klofnun S-bylgna, en hún getur gefið upplýsingar um ríkjandi stefnu sprungna. Slíkar upplýsingar væru mikils virði til almenns skilnings á vatnafræði jarðhitakerfisins og til að meta viðbrögð þess við vinnslu.

3. HÖNNUN OG UPBYGGING MÆLANETS

Vegna þess hve skjálftavirkni háhitakerfa getur verið mismunandi, þarf að meta hana áður en fast skjálftamælinet er skipulagt og sett upp. Fá þarf upplýsingar um tíðni, stærð og dreifingu skjálfta þannig að hægt sé að meta hversu marga skjálftamæla þarf til að vakta svæðið og hvar þeim verði best fyrir komið. Fundarmenn voru sammála um að ef sett yrði upp varanleg mælinet í Svartsengi væri heppilegast að tengja það við sjálfvirkt skjálftamælineti Veðurstofunnar á Suðurlandi (SIL) og nota sambærilega nema og tölvubúnað.

Fundarmenn töldu að ef stefnt skuli að uppsetningu skjálftamælanets í Svartsengi væri skynsamlegast að vinna það verk í áföngum. Hverjum áfanga er ætlað að gefa vel skilgreindar upplýsingar og á grundvelli þeirra yrði tekin ákvörðun um framhald verksins. Eftirfarandi áfangaskipting er talin heppileg:

1. Sett verði upp net færanlegra skjálftamæla og skjálftavirkni á svæðinu skráð í um 4 vikur. Tilgangur þessa verkþáttar er að fá upplýsingar um viðvarandi skjálftavirkni svæðisins. Út frá þeim upplýsingum ætti að vera hægt að gera sér hugmyndir um hvar best verði að koma fyrir varanlegum skjálftamælum og hversu marga þurfi til. Það er þó ekki við því að búast að í þessum áfanga fengist fullnægjandi yfirlit yfir virknina því skjálftavirkni er oft í hrinum og því þarf trúlega lengri skráningu til að meta umfang nauðsynlegs mælinets. Í þessum áfanga yrðu notaðir 7 færanlegir skjálftamælar í eigu Raunvísindastofnunar Háskólans og Norrænu Eldfjallastöðvarinnar. Lauslega áætlað má gera ráð fyrir að úrvinnsla gagna úr þessum þætti tæki 1.5 mannmánuði og heildarkostnaður yrði um 2.6 Mkr.
2. Á grundvelli gagna úr fyrsta áfanga yrði síðan settar upp 3 SIL-stöðvar. Ein stöð yrði í Svartsengi og hinar tvær t.d. í Höfnum og Vogum. Þessar 3 stöðvar mundu ásamt jarðskjálftastöðinni sem Veðurstofan rekur í Krísuvík mynda sjálfstætt net innan SIL kerfisins. Með þessu neti yrði skjálftavirkni svæðisins könnuð í um eitt ár. Sjálfvirk úrvinnsla SIL kerfisins skilar samstundis niðurstöðum úr þessu neti og öðrum stöðvum í SIL kerfinu eftir því sem við á. Með daglegu eftirliti sérfræðings fást endurbættar staðsetningar skjálfta og brotlausnir. Rekstur netsins í miðstöð SIL kerfisins, úrvinnsla og framsetning gagna verður u.þ.b. hálfstarf í höndum sérfræðings og tæknimanns. Með þessu neti ætti að fást gott yfirlit yfir virkni svæðisins það ár sem það verður rekið. Þess ber þó að geta að búast má við að virknin sé ekki jafndreifð í tíma heldur í hrinum. Eftir árið ætti þó að vera ljósara hvar vantar fastastöðvar til að geta staðsett skjálfta með nægjanlegri nákvæmni og skilgreint brotlausnir þeirra. Ef skjálftavirknin fer mikið yfir 10 skjálfta á dag er gert ráð fyrir að mæligögn frá hverri mælistöð verði skráð á segulband til að spara símakostnað og til að varðveita gögn sem gætu orðið mikilvæg við frekari úrvinnslu. Stofnkostnaður við hverja SIL-stöð er metinn á rúmlega 1.6 Mkr og heildarkostnaður þessa áfanga er metinn upp á tæpar 9 Mkr.
3. Að loknum öðrum áfanga ætti að vera fengin haldgóð vitneskja um tíðni og stærð skjálfta og allgóð afsæð staðsetning þeirra. Til að auka nákvæmni í staðsetningu þarf hinsvegar að fá hugmynd um hljóðhraðadreifingu í jarðhitakerfinu og nágrenni þess. Þær upplýsingar má fá með því að setja færanlegu skjálftamælana aftur upp tímabundið. Auk þess að nema sjálfta í jarðhitakerfinu verði sprengt á nokkrum stöðum á og umhverfis svæðið og skjálftar frá sprengingunum skráðir á a.m.k. 10 mælum. Ef niðurstöður úr öðrum áfanga gefa tilefni til að bætt verði við varanlegum stöðvum þá yrði í þessum áfanga jafnframt leitast við að finna heppilega staði fyrir fleiri SIL-stöðvar. Erfitt er að gefa kostnaðartölur fyrir þennan áfanga því óljóst er hversu lengi færanlegu mælarnir verði hafðir uppi og hvert umfang verður á úrvinnslu gagna. Ef gert er ráð fyrir að færanlegu mælarnir verði hafðir uppi í 4-6 vikur og úrvinnsla gagna taki um 2

mannmánuði verður kostnaður, mjög lauslega áætlaður, um 3.9 Mkr.

- 4 Að loknum öðrum og þriðja áfanga verði síðan tekin ákvörðun um hvort og þá hversu mörgum varanlegum mælum verði bætt við og þeim komið upp. Þó svo skjálftamælikerfið verði tengt sjálfvirka kerfi Veðurstofunnar verður að gera ráð fyrir því að auk reksturs mælanna verði að sinna úrvinnslu gagna umfram það sem gert er í almenna kerfi Veðurstofunnar. Mjög lauslega má áætla að það sé um hálf starf fyrir einn mann. Ef gert er ráð fyrir að bætt verði við a.m.k. 2 SIL-mælum verður viðbótarstofnkostnaður a.m.k. 3.5 Mkr og rekstrarkostnaður um 5 Mkr á ári.

Vera má að afloknum öðrum áfanga liggi nokkuð ljóst fyrir hvar bæta þarf við fastastöðvum í mælinetið. Ef sú verður raunin er eðlilegast að þær verði settar upp um leið og farið verður í þriðja áfnang þ.e.a.s. að 3.og 4. áfangi verði sameinaðir.

Þær kostnaðartölur sem hér hafa verið settar fram eru sundurliðaðar hér á eftir. Á þessu stigi málsins er erfitt að meta kostnað í smátriðum þannig að ekki ber að líta á þessar tölur sem kostnaðaráætlun heldur einungis hugmyndir um stærðargráðu kostnaðar.

4. SUNDURLIÐUN Á KOSTNAÐI

Eftirfarandi er lauslegt mat á kostnaði þeirra fjögurra verkþátta sem raktir eru hér að framan.

1. áfangi

Gert er ráð fyrir að komið verði fyrir 7 færanlegum skjálftamælum og skráðir skjálftar í 28 daga. Ennfremur er gert ráð fyrir 6 vikna vinnu við úrvinnslu gagna.

Skjálftamælar	7 x 28 d @ 2.000 kr/d	292.000	kr
Vinna við gagnasöfnun	28 d x 10 t/d @ 2.500 kr/t	700.000	--
Bíll	28 d @ 10.865 kr/d	304.220	--
Fæði	28 d @ 3.850 kr/d	107.800	--
Úrvinnsla gagna	300 t @ 2.500 kr/t	750.000	--
Tölvukostnaður	10% af 750.000	75.000	--
		2.329.020	--
Ófyrirséð	10%	232.902	--
Samtals		2.561.922	kr

2. áfangi

Gert er ráð fyrir að settar verði upp 3 SIL-stöðvar og þær reknar í eitt ár. Ennfremur er gert ráð fyrir að rekstur og úrvinnsla gagna krefjist hálfmannárs.

Stofnkostnaður 3 SIL-stöðva	3 st. @ 1.609.000 kr/st.	4.827.000	kr
Rekstur (símakostn., eftirl o.f.l.)	3 st. @ 376.700 kr/st	1.130.100	--
Vinna	1100 t @ 2.500 kr/t	2.750.000	--
Tölvukostnaður	10% af 2.750.000	275.000	--
Samtals		8.982.100	kr

Hér er ekki gert ráð fyrir kostnaði vegna afnota af SIL-miðstöðinni á Veðurstofunni að undanskyldu því sem kemur fram í tölunni 10% af vinnukostnaði. Stofn- og rekstrar-kostnaður SIL-stöðvar er sundurliðaður nánar í viðauka hér á eftir.

3. áfangi

Gert er ráð fyrir að komið verði fyrir 7 færarlegum skjálftamælum og skráðir skjálftar í 35 daga. Ennfremur er gert ráð fyrir að sprengt verði á nokkrum stöðum umhverfis jarðhitasvæðið og að úrvinnsla gagna sé 8 vikna vinna.

Skjálftamælar	7 x 35 d @ 2.000 kr/d	490.000	kr
Vinna við gagnasöfnun	35 d x 10 t/d @ 2.500 kr/t	875.000	--
Vinna við sprengingar	100 t @ 2.500 kr/t	250.000	--
Annar kostn. v. Sprengingar		250.000	--
Bílar	40 d @ 10.865 kr/d	434.600	--
Fæði	45 d @ 3.850 kr/d	173.250	--
Úrvinnsla gagna	400 t @ 2.500 kr/t	1.000.000	--
Tölvukostnaður	10% af 1.000.000	100.000	--
		3.572.850	--
Ófyrirséð	10%	357.285	--
Samtals		3.930.135	kr

4. áfangi

Gert er ráð fyrir að settar verði upp 2 SIL-stöðvar til viðbótar.

Stofnkostnaður, 2 SIL-st.	2 st. @ 1.609.000 kr/st.	3.218.000	kr
Ófyrirséð	10%	321.800	--
Samtals		3.539.800	kr

Gert ráð fyrir að árlegur rekstur og úrvinnsla gagna krefjist hálfis mannaárs.

Rekstur (símakostn., eftirl. o.f.l.)	5 st. @ 376.700 kr/st	1.883.500	kr/ári
Vinna	1100 t/ári @ 2.500 kr/t	2.750.000	--
		4.633.500	--
Ófyrirséð	10%	463.350	--
Samtals		5.096.850	kr/ári

5. VIÐAUKI Sundurliðun á stofn- og rekstrarkostnaði SIL-stöðvar

Stofnkostnaður SIL stöðvar

Stofnkostnaður við að setja upp SIL stöð nálægt Svartsegni er sem segir hér á eftir. Fert er ráð fyrri því eins og við aðrar SIL stöðvar að nema og A-D breytu sé komið fyrir þar til hönnuðu "jarðhýsi" í um 500 metra frá umferð og athafnasemi, en tölvu sé komið fyrir í hýbýlum þar sem aðgangur er að rafmagni og venjulegri símalínu.

Kostnaður við stöpul jarðhýsi og signal leiðslu (ath sundurl.)	450.000 kr
3-ása nemi Lennartz 5.000 DM	m. vsk. 247.000 kr
A-D breyta og millisekúndu klukka 5.000\$	388.000 kr
Tölva AT 386dx/40 4MB 200MBdiskur, segulband	200.000 kr
x25 kort Netcom II/R15 Softw. Group	129.000 kr
IO kort COM/4i-422	54.000 kr
Stofnkostnaður símasambands með mótaldi	46.000 kr
Varaafstöð	45.000 kr
Husgögn, tengibox, smáhlutir	50.000 kr
<u>Samtals stofnkostnaður á einni SIL stöð með VSK</u>	<u>1.609.000</u>

Sundurliðun á kostnaði við stöpul, jarðhýsi, leiðslu, o.s.frv.

Efni	160.000
Aðkeypt vélav.	75.000
Vinna 74 klst@2500	185.000
Fæðisp. 5 @ 3500	17.500
Bifr. kostn. 4 f 100km	12.000

Samtals 449.500 kr

Rekstur á SIL stöð

Póstur og sími, ársfjórðungsgjöld	
x25 lína	14.498
fjölrl	180
fasttengd lína	7.868
1/3 lína 9600 á Veð.	13.750
gagnamagn 1000 fasar á dag	4.320
bylgjugögn 10 skj. á dag	6.075
Samtals / ársfjórðung /SIL stöð	46.691

Samtals / ár / SIL stöð 186.764 kr

Húsnæði á svæðinu og rafmagn	50.000 á ári
Eftirlitsmaður á svæðinu	50.000 á ári
Viðhaldskostn. 5% af stofnk. stöðvar	80.000 á ári
Segulbönd, pappír og smáhlutir	10.000 á ári

Rekstrarkostnaður á SIL stöð á ári, samtals 376.764 kr