



# Rit Veðurstofu Íslands

*Kristján Ágústsson  
Sigurður Th. Rögnvaldsson  
Bergur H. Bergsson  
Ragnar Stefánsson*

*Jarðskjálftamælanet Veðurstofu  
Íslands og Hitaveitu Suðurnesja  
- lýsing á mælaneti og fyrstu niðurstöður*

*VÍ-R98002-JA02  
Reykjavík  
Febrúar 1998*

ISSN 1025-0565  
ISBN 9979-878-09-6

*Kristján Ágústsson  
Sigurður Th. Rögnvaldsson  
Bergur H. Bergsson  
Ragnar Stefánsson*

*Jarðskjálftamælanet Veðurstofu  
Íslands og Hitaveitu Suðurnesja  
- lýsing á mælaneti og fyrstu niðurstöður*

*VÍ-R98002-JA02  
Reykjavík  
Febrúar 1998*



# EFNISYFIRLIT

<b>1</b>	<b>INNGANGUR</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>STÖÐVASAGA OG TÆKNILEGIR ÞÆTTIR</b>	<b>5</b>
2.1	Staðsetning jarðskjálftamæla . . . . .	6
2.2	Nemar og vélbúnaður á jarðskjálftamælistöð . . . . .	6
2.3	Úrvinnsla á jarðskjálftamælistöð . . . . .	8
2.4	Úrvinnsla í miðstöð . . . . .	8
<b>3</b>	<b>NÆMNI</b>	<b>9</b>
3.1	Næmni einstakra stöðva . . . . .	10
3.2	Næmni kerfisins . . . . .	12
<b>4</b>	<b>FYRSTU NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA</b>	<b>12</b>
<b>5</b>	<b>TILLÖGUR UM FRAMHALD</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>HEIMILDIR</b>	<b>17</b>



## 1 INNGANGUR

Tilurð jarðskjálftamælanets Veðurstofu Íslands og Hitaveitu Suðurnesja á Reykjanesskaga má rekja til átaksverkefnis Orkustofnunar, fyrirtækja í orkuvinnslu og Iðnaðarráðuneytis um umhverfisáhrif jarðhitavinnslu. Hitaveita Suðurnesja, Raunvísindastofnun Háskólans, Orkustofnun og Veðurstofa Íslands sömdu rannsóknaráætlun árið 1992 í fjórum liðum um könnun á jarðskjálftaóróa eða suði, hljóðhraðadreifingu og jarðskjálftavirkni á Svartsengissvæðinu (Knútur Árnason 1992).

Samkvæmt lið 2 í þessari áætlun átti að setja upp 3 jarðskjálftamælistöðvar af SIL-gerð, þ.e. sömu gerðar og stöðvar Veðurstofunnar. Eftir um það bil árs rekstur var ætlunin að meta árangur og taka ákvörðun um framkvæmd 4. liðar áætlunarinnar en hann er um frekari fjölgun stöðva.

Markmið þessara mælinga er fyrst og fremst að kanna áhrif jarðhitavinnslunnar á jarðhitasvæðið eins og þau birtast í skjálftavirkni, óróa og suði. Einnig er ætlunin að fylgjast með breytingum sem verða á svæðinu vegna náttúrulegs hnicks og brotahreyfinga í jarðskorpunni, sem getur haft mikil áhrif á orkuvinnsluna. Þetta er gert með því að fylgjast með tíðni og dreifingu jarðskjálfta, og með því að kortleggja sprungur og rannsaka spennuástand út frá skjálftunum. Órói verður rannsakaður og tækni þróuð til að geta fylgst með breytingum á honum með tíma. Stefnt er að því að nota kerfið til að greina og fylgjast með þróun gufupúða á vinnslusvæðinu.

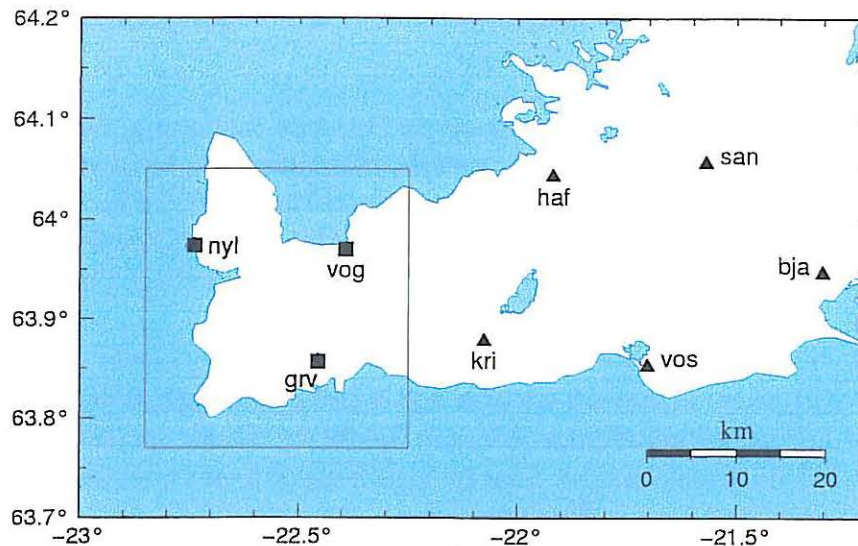
Á árinu 1996 sömdu Hitaveita Suðurnesja og Veðurstofa Íslands um kostnaðarþætti við þessa framkvæmd. Í aðalatriðum fólst samkomulag stofnananna í því að Hitaveitan greiddi 2/3 af stofnkostnaði þriggja stöðva en rekstur yrði að mestu greiddur af Veðurstofunni. Jafnframt var gerður óformlegur samningur um greiðslur fyrir skýrslur eða greinargerðir um kerfið og helstu niðurstöður rannsókna. Rekstur var kominn í fullan gang snemma sumars 1997.

Í þessari greinargerð er fjallað um uppbyggingu mælanetsins, næmni einstakra stöðva og netsins sem heildar. Þá er virkni gerð skil og reynt að draga fram upplýsingar um eðli hennar og þess óróa sem tengist hitasvæðinu og jarðhitavinnslu. Loks er að nokkru fjallað um framtíð netsins og tillögur um fjölgun stöðva reifaðar.

## 2 STÖÐVASAGA OG TÆKNILEGIR ÞÆTTIR

Jarðskjálftamælistöðvar þær sem Veðurstofa Íslands rekur og hefur átt þátt í að hanna eru nefndar SIL-stöðvar (Södra Íslands Lágland) af sögulegum ástæðum. Hugmyndafræðin að baki þeirra er sú að hver einstök stöð metur hvort orka í jarðarhreyfingu fari yfir einhver fyrirfram skilgreind mörk. Stöðin sendir upplýsingar um það til miðstöðvar á Veðurstofunni. Miðstöð metur síðan hvort um jarðskjálfta sé að ræða eða ekki og það mat byggir á upplýsingum frá fleiri stöðvum. Meti miðstöð það vera jarðskjálfta sækir hún svokölluð bylgjugögn á einstakar stöðvar og frekari úrvinnsla fer fram.

Það er einmitt flutningurinn á bylgjugögnum sem er hvað dýrastur í rekstri kerfisins. Það er því mikilvægt markmið við hönnun og rekstur þess að ekki sé verið að flytja gögn að óþörfu. Samtímis því er leitast er við að sem fæstir skjálftar sem einhverjar upplýsingar veita sleppi framhjá kerfinu.



Mynd 1. Jarðskjálftamælistöðvar Veðurstofu Íslands og Hitaveitu Suðurnesja á Reykjaneskaga. Stöðvar Hitaveitu Suðurnesja eru merktar með ferningum, aðrar stöðvar með þríhyrningum.

## 2.1 Staðsetning jarðskjálftamæla

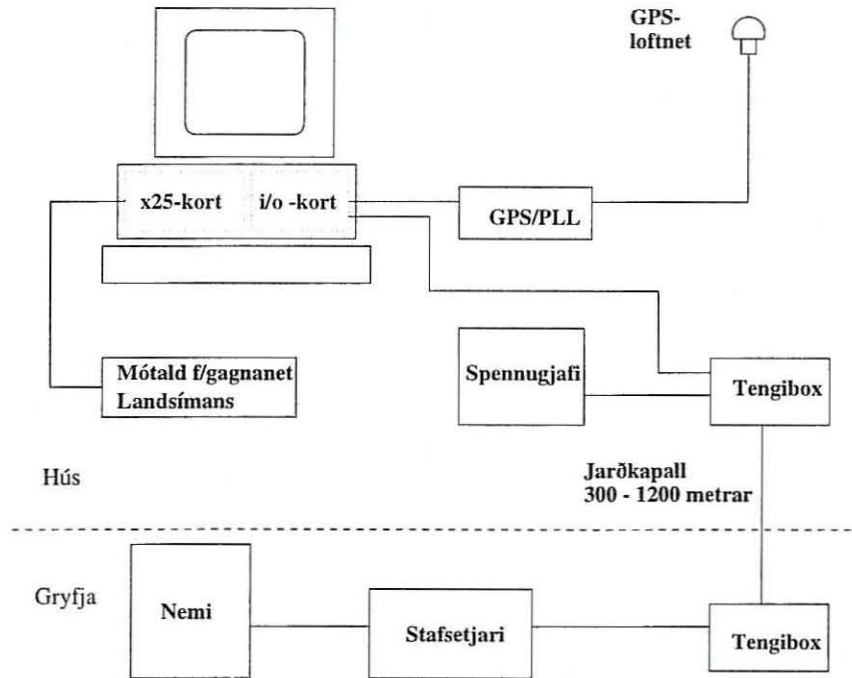
Uppbygging hins nýja mælanets Veðurstofunnar hófst 1989. Í dag eru stöðvarnar 32 talsins og eru þær þéttastar á Reykjanesi og austur eftir skjálftabelti Suðurlands. Jarðskjálftamælistöðvar Hitaveitu Suðurnesja og Veðurstofunnar eru sýndar á mynd 1. Þær eru: Grindavík (**grv**), Vogar á Vatnsleysuströnd (**vog**) og Nýlenda á Stafnesi (**nyl**). Stöðin í Krísuvík (**kri**) er einnig mjög mikilvæg í þessu sambandi en aðrar stöðvar á myndinni eru einnig mikilvægar við rannsókn á virkni á Svartsengissvæðinu. Mælar Hitaveitu Suðurnesja og Veðurstofu Íslands voru komnir í fullan rekstur í júní 1997.

## 2.2 Nemar og vélbúnaður á jarðskjálftamælistöð

Meginþættir hvernar stafrænnar jarðskjálftamælistöðvar af SIL-gerð eru í fyrsta lagi mannvirki fyrir nema, neminn sjálfur og tilheyrandi stafsetjari (e. *digitizer*). Í öðru lagi er það tölva sem hefur samskipti við stafsetjarann og miðstöð úrvinnslu sem er á Veðurstofunni. Uppsetning stöðvar er sýnd á mynd 2.

Mannvirki fyrir nema er gryfja og er henni valinn staður þar sem hæfilega þykkur jarðvegur, 1–2 m, er ofan á góðri klöpp. Það hefur sýnt sig að jarðvegsþekjan dregur verulega úr áhrifum vinds. Að öðru jöfnu er tölvan þar sem aðgangur er að rafmagni og síma, en samskipti við tölvu í miðstöð á Veðurstofunni eru um gagnanet Landssímans. Nú er að vísu verið að setja upp stöðvar þar sem notaður er farsími og orka fengin frá vindrafstöðvum og sólarrafhlöðum, en þá verður allur rekstur mun dýrari og erfiðari. Fjarlægð frá tölvu setur vali á stað fyrir nema nokkrar skorður en fjarlægð þar á milli getur mest verið um 1200 m.

Notaðir hafa verið jarðskjálftanemar af tveimur gerðum. Báðar gerðirnar nema hreyfingar í þrjár stefnur; norður-suður, austur-vestur og lóðrétt. Á **grv** og **nyl** eru jarðskjálftanemar af gerðinni Le-3D/5s frá þýska fyrirtækinu Lennartz Electronic. Lennartz nemarnir eru völundarsmíð. Þeir eru stöðugir og hafa aldrei bilað. **vog** er með nema af gerðinni Guralp CMG-3ESP. Sá er breskur



Mynd 2. Uppsetning á jarðskjálftamælistöðvum Veðurstofu Íslands.

og er svokallaður breiðbandsnemi, þ.e. hann nemur bylgjur á breiðu tíðnisviði. Guralp nemarnir hafa reynst ágætlega, en þó eru þeir viðkvæmir í meðförum og eiga það til að reka úr næmustu stöðu og festast og þurfa því meira viðhald.

Nákvæmni í tíma er mikilvæg og notuð er GPS klukka sem að hluta til er hönnuð á Veðurstofunni. Klukkan er byggð á hefðbundnum móttakara fyrir GPS tímamerki frá Trimble Navigation. Við hann er byggð svokölluð pll rás (e. *phase locked loop*) sem sér um nákvæma tímasetningu á gögnunum en óvissa er minni en 0.5 ms. Slík nákvæmni er t.d. nauðsynleg til þess að geta kortlagt virka sprungufleti neðanjarðar út frá smáskjálftamælingum.

Stafsetjarinn stafsetur (e. *digitizes*) jarðarhreyfingu þá sem nemi sér og splæsir tíma við þau gögn áður en hann sendir þau til stöðvartölvu. Hann er framleiddur af kanadíska fyrirtækinu Nanometrics.

Móttaka stöðvartölvu á jarðskjálftagögnum frá stafsetjara er um raðkort (e. *serial port*) á tölvunni. Raðkortid er með tveimur gáttum sem eru nánast eins og staðlað raðtengi á einmenningsstölvu, RS-232. En þar sem stafsetjarinn og neminn eru í gryfju í 300–1200 metra fjarlægð frá tölvunni verður að nota annan staðal, RS-422.

Tölvun (og þar með jarðskjálftamælirinn) er tengd inn á gagnanet Landsímans með X.25 samskiptastaðlinum. Notað er UNIX stýrikerfi sem er fjölkeyrslu (e. *multitasking*) stýrikerfi og hentar mjög vel í rannsóknarumhverfi. Sem stendur er notuð útgáfa af UNIX sem heitir Interactive Unix. Þessi útgáfa er orðin gömul og hætt er að þjónusta hana. Þess vegna er nú unnið að því að skipta yfir í Solaris stýrikerfi sem þegar er keyrt á tölvum á Veðurstofunni.



## 2.3 Úrvinnsla á jarðskjálftamælistöð

Á útstöðvunum er hugbúnaður sem sér um gagnasöfnunina frá stafsetjara, úrvinnslu gagna á staðnum og sendingu gagna til SIL-miðstöðvar á Veðurstofunni. Fylgst er með hvort snöggar breytingar verði á jarðarhreyfingunni og slíkar breytingar skráðar. Slík hreyfing er kölluð fasi og hver skráður fasi er meðhöndlaður sem væri hann raunverulegur jarðskjálftafasi. Auk mats á komutíma fasans er tíðniróf hans reiknað og metin lágtíðniaðfella þess og horntíðni, hámarks útslag, innfallshorn, samfösun (e. *coherence*) og tímalengd (e. *duration*) fasans og fleiri stærðir sem komið geta að gagni við áframhaldandi sjálfvirka úrvinnslu. Til að meta hvort fasinn er líkari P eða S skjálftabylgju er notað tauganet (e. *neural network*) sem „kennt“ hefur verið að þekkja muninn á þessum tveimur tegundum skjálftafasa. Stutt skeyti (128 bæti) með upplýsingum um fasann er sent til miðstöðvarinnar fyrir hvern skráðan fasa jafnharðan og hann greinist. Samfelld mæligögn eru varðveitt í hringminni í nokkra daga. Á meðan gefst tími til að velja úr gögnunum handvirkt eða sjálfvirkt áður en skrifað er yfir þau á ný.

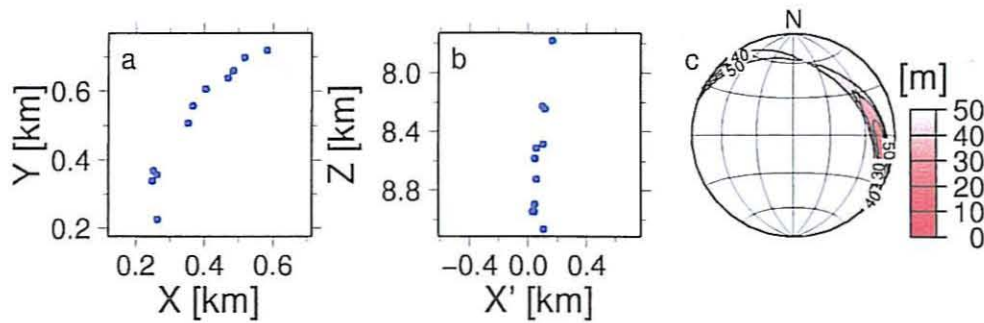
## 2.4 Úrvinnsla í miðstöð

Á Veðurstofunni er fasaskeytunum safnað saman, raðað í tímaröð og leitað að tímabilum sem innihalda fasa sem stafað gætu frá sama atburðinum. Þegar þrír eða fleiri slíkir fasar finnast er reynt að staðsetja upptök skjálfta sem þeim hefur valdið og bæta við fleiri fösum sem átt gætu við atburðinn. Þannig fæst nokkurs konar „skjálftalisti“, þ.e. listi yfir staðsetta atburði sem hugsanlega eru jarðskjálftar. Listinn inniheldur að sjálfsögðu fjölmarga falska skjálfta og því er hverjum atburði gefin einkunn eða gæðastuðull, sem metur líkurnar á því að um raunverulegan jarðskjálfta sé að ræða. Einkunnin hækkar eftir því sem fleiri fasar eru notaðir við staðsetninguna, ef bæði P og S fasar sjást á einhverjum stöðvum og ef „tegund“ fasa (P eða S) er ákvörðuð af miklu öryggi. Ef tímaleifar eru háar, þ.e. tímamunur á komutíma reiknaðs og mælds fasa, eða atburðurinn sést ekki á stöðvum sem „ættu“ að greina hann lækkar einkunnin (Reynir Böðvarsson o.fl. 1996).

Ef gæði atburðar fara yfir fyrirfram skilgreind mörk er hann talinn raunverulegur jarðskjálfti og beiðni send til útstöðva um að senda bylgjugögn fyrir skjálftann til miðstöðvar. Sótt eru bylgjugögn frá öllum stöðvum sem greindu atburðinn, auk annarra stöðva sem eru svo nærri áætluðum upptökum skjálftans að gögn þaðan geti nýst við úrvinnsluna. Yfirleitt eru sóttar 15–40 s frá hverri stöð og fer lengd tímaráðarinnar eftir fjarlægð stöðvar frá upptökum skjálftans.

Fram að þessu er úrvinnslan algjörlega sjálfvirk en nú kemur mannshöndin að verkinu og jarðskjálftafræðingar á Veðurstofunni yfirfara þessi gögn, lagfæra tímaaflestra ef þurfa þykir og bæta við aflestrum ef hægt er. Þá eru staðsetningar reiknaðar að nýju, brotlausn skjálftans og stærð reiknuð, og hugsanlega afstæð staðsetning smáskjálfta ef um hrinu er að ræða.

Með brotlausn er átt við ákvörðun á legu og stærð brotflatar sem hreyfing verður á í jarðskjálfta, færslu, stefnu færslu og fleira. Auk fyrstu hreyfistefnu P bylgna gefa sveifluvíddir P og S bylgna upplýsingar um brotahreyfinguna í skjálftaupptökunum og eru þær notaðar til að skorða brotlausnirnar frekar (Slunga 1981, Sigurður Th. Rögnvaldsson og Slunga 1993). Til að fá sæmlega brotlausn þarf skjálftinn að mælast á 4–5 stöðvum, en það er þó mikið háð því hver afstaða mæla er til skjálfta. Brotlausnin gefur einnig vissar upplýsingar um það spennusvið sem veldur skjálftanum.



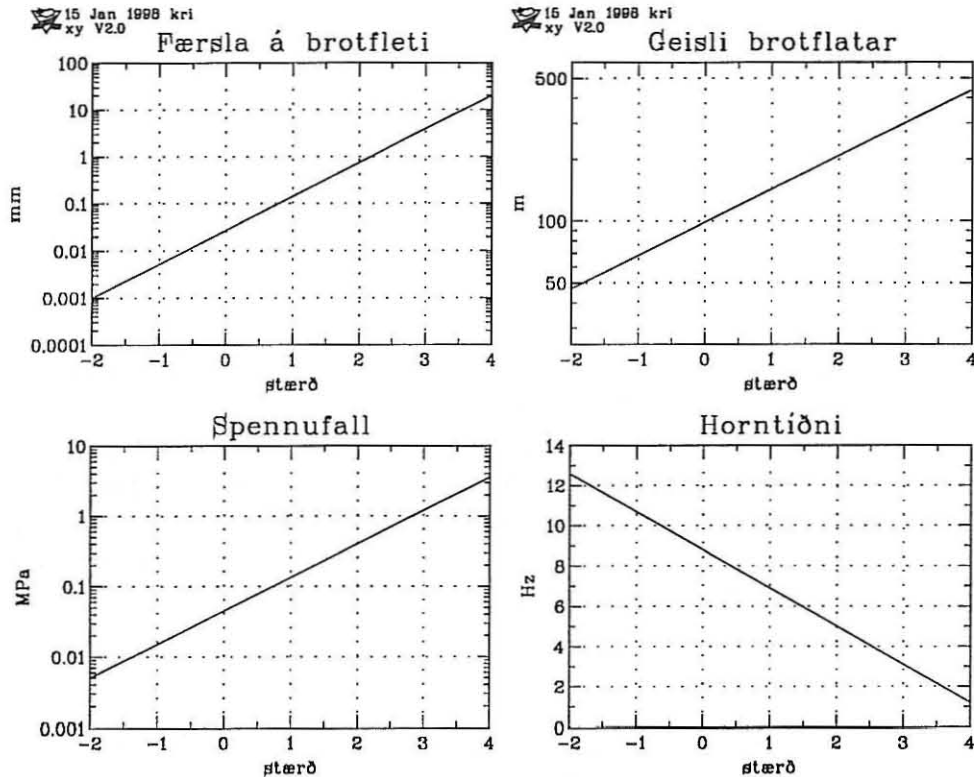
Mynd 3. *Upptök skjálfta í þyrpingu sem varð við Trölladyngju 8. júlí 1996. Mynd a sýnir upp-tökin í láréttum fleti þar sem x ás vex til austurs og y ás til norðurs. Mynd b sýnir upp-tökin í lóðréttu sniði þvert á strikstefnu besta plans gegnum þyrpinguna, z er dýpi. Lengst til hægri eru pólar allra plana gegnum þyrpinguna, þannig að meðalfjarlægð skjálftanna frá planinu er innan við 50 m, teiknaðir á neðri hálfkúlu. Kvarðinn sýnir meðalfjarlægð skjálftanna 15 frá plani. Strik besta plans gegnum skjálftaþyrpinguna er þokkalega ákvarðað en halli þess síður.*

Þegar jarðskjálftahrinur eiga sér stað, þ.e. fjöldi skjálfta verður á tiltölulega takmörkuðu svæði á skömmum tíma, getur afstæð staðsetning bætt nákvæmni verulega. Þá er bylgjuhreyfing ein-stakra atburða oft svipuð og tímamun þeirra má ákvarða mjög nákvæmlega með víxl fylgnireikningum (e. *cross correlation*). Ef gert er ráð fyrir að innbyrðis tímamunur á mælistöðum fyrir mismunandi skjálfta stafi af mismunandi staðsetningu atburðanna má reikna innbyrðis staðsetningu þeirra mjög nákvæmlega. Skekkja í afstæðri staðsetningu getur verið minni en 20 m. Forsenda þess er að áhrif hraðalíkans séu mjög lítil. Sú aðferð sem notuð er á Veðurstofunni notar samhliða algildan tíma og bætir því jafnframt algilda staðsetningu hrinunnar (Slunga o.fl. 1995). Jarðskjálftar sem staðsettir hafa verið á þennan hátt falla oft á plön í jarðskorpunni (mynd 3) og þá er líklegt að þau séu virkir sprungufletir. Slík plön má síðan bera saman við þau plön sem finnast í brotlausnunum. Þannig er unnt að kortleggja virkar sprungur en þær hafa eðlilega þýðingu í sambandi við vatnsleiðni og þar með eiginleika grunnvatns- og jarðhitakerfa.

### 3 NÆMNI

Það er rétt að hafa í huga hvað einkennir jarðskjálfta og hvernig þessi einkenni breytast með stærð skjálfta. Á mynd 4 má sjá nokkur slík sem fall af stærð. Eina frumathugunin í þessum hópi er horntíðni og byggja hin föllin á henni og vægimætti (e. *moment*) skjálftans.

Ef við lítum t.d. á atburð af stærðinni 3 þá má lýsa honum sem 4–5 mm færslu á hringlaga fleti sem hefur geisla (e. *radius*) um 400 m. Horntíðni slíks skjálfta er um 3 Hz en ofan horntíðninnar minnkar orka skjálftans hratt. Tilsvarandi tölur fyrir atburð af stærðinni 0 eru færsla um 0.03 mm á fleti með 100 m geisla og horntíðni hans er um 8.5 Hz. Við sjáum hvernig horntíðni vex þegar stærðin minnkar. Þetta er mikilvægt að hafa í huga þegar meta á hvað smáa skjálfta er unnt að sjá vegna óróa. Mjög litlir skjálftar hafa mælst við mjög stöðugar aðstæður eins og í námum á kyrrum svæðum. Það má reikna með að slíkir atburðir eigi sér einnig stað hér og mikilvægi þeirra er augljóst í tengslum við vatnsleiðni og þar með afkastagetu og eiginleika jarðhitasvæða.

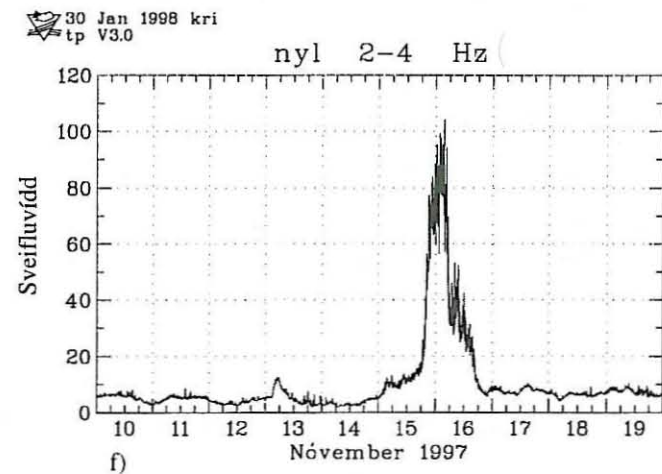
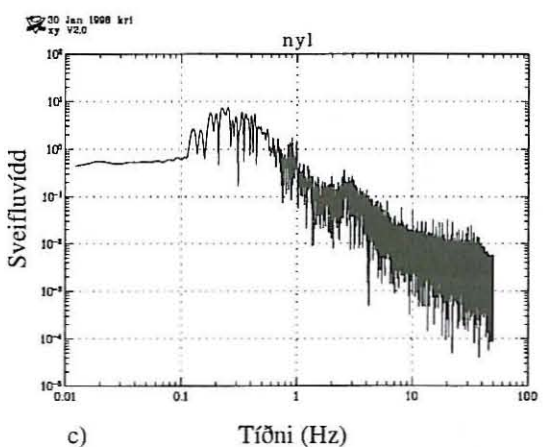
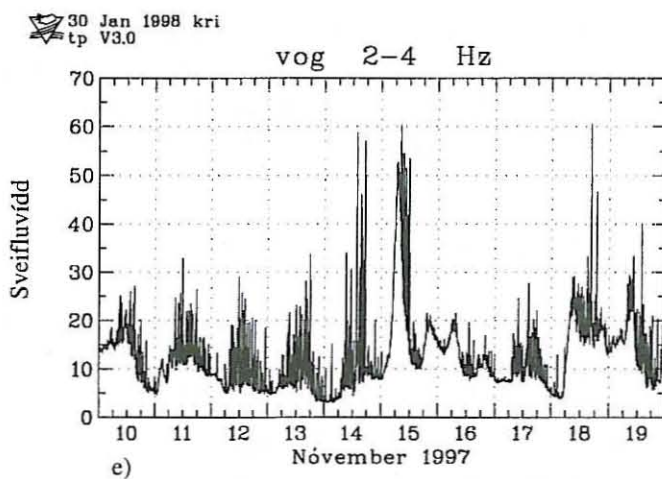
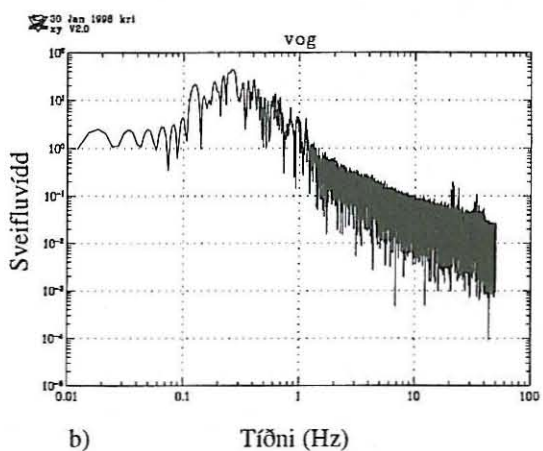
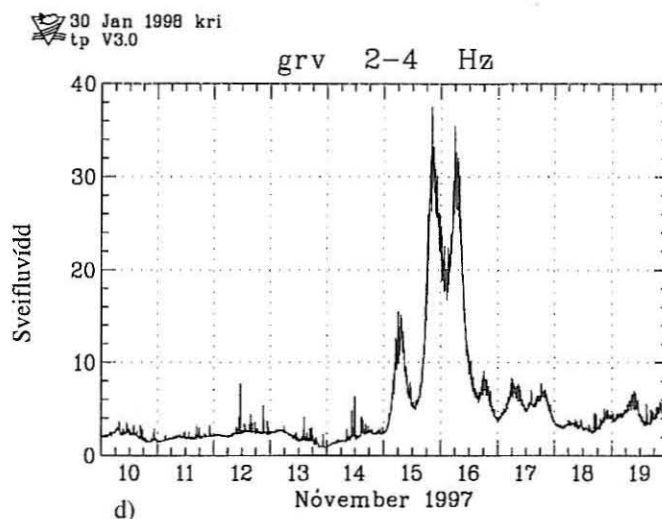
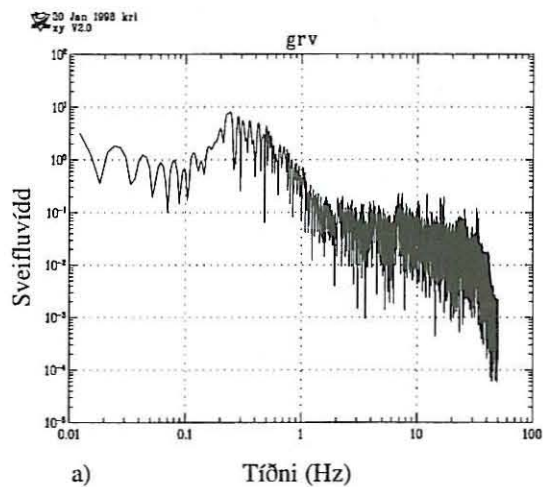


Mynd 4. Ýmis einkenni á upptökum jarðskjálfta og tengsl þeirra við stærð. Þessi tengsl byggja á nokkrum þúsunda brotlausna á gögnum úr SIL-kerfinu. Færsla á brotflæti táknar færslu tveggja punkta á brotflæti frá hvor öðrum. Jafngildi stærðar brotflatar er táknad með geisla hans væri hann hringur. Spennufall eða spennuútlasun er spennubreyting við brotflöt. Í orkurófi jarðskjálfta dregur úr orku ofan ákveðinnar tíðni eftir að hún hefur verið jöfn á nokkru tíðnibili. Sú tíðni er nefnd horntíðni.

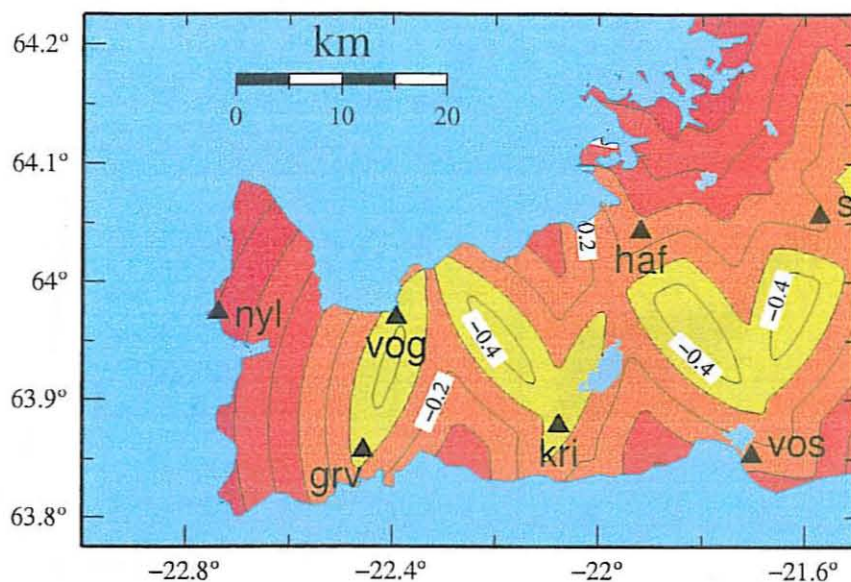
Órói breytist frá stöð til stöðvar og orsaka hans má leita bæði í ytri og innri kröftum. Dæmi um ytri krafta eru vindur, brim, undiralda og gangur lægða. Dæmi um innri krafta er kvikustreymi og suða í kviku, þ.e. eldvirkni almennt, heitt og kalt grunnvatnsstreymi og suða í jarðhitakerfum og nudd og urg á veikleikabeltum í jarðskorpunni. Þannig er óróinn áhugaverður í sjálfu sér þó hann skermi af litla jarðskjálfta. Bryndís Brandsdóttir o.fl. (1994) og Gunnar Þór Gunnarsson o.fl. (1996) hafa greint óróa á svæðinu frá Fagradalsfjalli út í Eldvörp og hann verið tengdur við ofangreinda þætti og jarðhitavinnsluna í Svartsengi.

### 3.1 Næmni einstakra stöðva

Ef við athugum tíðniróf sveifluvíddar (e. *amplitude*) einstakra stöðva fyrir sama tímabil á öllum stöðvum (1 mínútu tímagluggi) má sjá nokkurn mun (mynd 5). Stöðvarnar hafa svipað tíðniróf upp að 1 Hz nema hvað sveifluvídd er nokkru meiri á **vog**. Á tíðnibili frá 1 Hz og upp í Nyquist tíðni fellur sveifluvídd nokkuð jafnt á **vog** og **nyl** að undanskildum toppi á **nyl** við 2–4 Hz. Sá toppur fylgir vindhraða og sést hann einnig á hinum stöðvunum þegar hvasst er (mynd 5). **grv** sýnir nokkuð aðra hegðun því sveifluvídd fellur þar lítið fyrr en ofan við 30 Hz. Þetta getur stafað af grunnvatnsstreymi, t.d. í gjám (Bryndís Brandsdóttir o.fl. 1994). Þá eru toppar við 24–25 Hz og 30 Hz á **vog** og **grv** og talið er að þeir geti að einhverju leyti verið vegna fjarSKIPTA



Mynd 5. Tíðniróf sveifluvíddar óróa og langtímaórói á tíðnibilinu 2–4 Hz á jarðskjálftamælum Hitaveitu Suðurnesja og Veðurstofu Íslands. Tíðnirófi sveifluvíddar á a), b) og c) er fyrir sama mínútulanga tímagluggann á öllum stöðvunum. Langtímaóróinn á d), e) og f) er frá 10. til 19. nóvember 1997. Útslagið er kvarðað á sama hátt á tíðnirófi og langtímaóróa.



Mynd 6. Reiknuð næmni kerfisins sem fall af staðsetningu. Reiknað er með að bylgjuútbreiðsla sé jöfn til allra átta og næmni einstaka mælistaða sú sama. Jafngildislínur sýna hver stærð atburðar á Richterkvarða þarf að vera til að hann mælist á fjórum stöðvum. Bil milli jafngildislína er 0.1.

(Bryndís Brandsdóttir o.fl. 1994).

Mínútumeðaltal sveifluvíddar er reiknað af stöðvartölvu. Það er gert á nokkrum tíðnibilum og á Veðurstofunni er unnt að fylgjast með breytingum á því. Á mynd 5 er sýndur órói á tíðnibilinu 2–4 Hz frá 10. til 19. nóvember 1997. Stóru topparnir þann 15. og 16. eru vegna veðurs. Í þessu veðri má sjá að útslag á nyl er tvöfalt miðað við hina staðina. Annað mjög sláandi er næmni vog á bílaumferð en verulega dregur úr óróa þar um lágnættið og 16. er sunnudagur. Ýmsir minni púlsar, t.d. seinni hluta þess 13., eru jarðskjálftar.

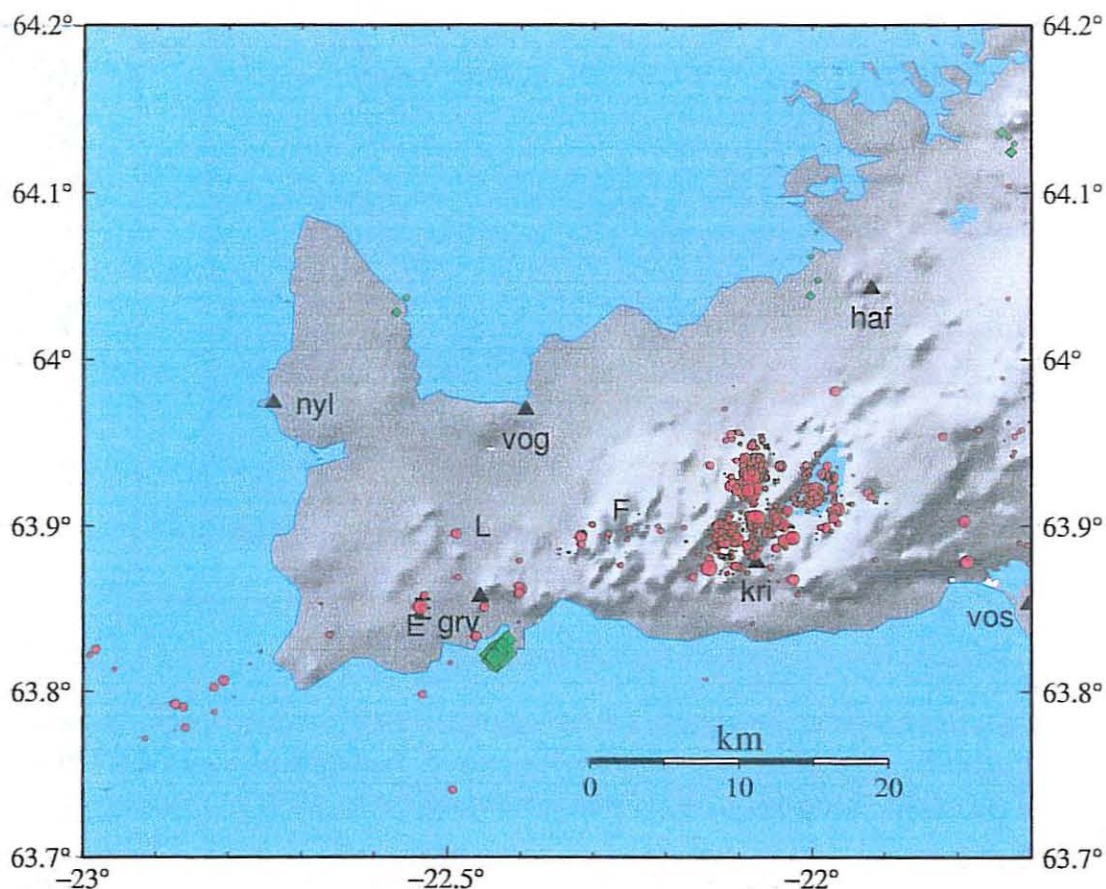
### 3.2 Næmni kerfisins

Næmni kerfisins í heild er sýnd á mynd 6. Miðað við þær forsendur sem við höfum gefið okkur má sjá að í Svartsengi ættu að mælast atburðir af stærðinni -0.3 á Richterkvarða og yfir og í Eldvörpum atburðir af stærðinni 0.0 og yfir. Nú er næmni grv eitthvað ofmetin í þessum reikningum þannig að þessi gildi eru trúlega um 0.1 hærri í raun.

## 4 FYRSTU NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA

Á mynd 7 má sjá staðsetta skjálfta á Reykjanesskaga vestan 21.7°V á árinu 1997. Virkni hefur verið mest við Trölladyngju og í Krísuvík. Frá Reykjanesi og austur í Eldvörp er nánast engin virkni. Milli Eldvarpa og Krísuvíkur er mjög lítil virkni. Um 10 atburðir eru á vinnslusvæði Hitaveitu Suðurnesja en flestir skjálftar eru í Fagradalsfjalli og eru þeir mjög litlir. Stærsti atburðurinn var um 1.5 á Richterkvarða og átti hann upptök í Eldvörpum.

Unnið var við lagfæringar á innsiglingunni í Grindavíkurhöfn sumarið 1997. Sprengingar sam-



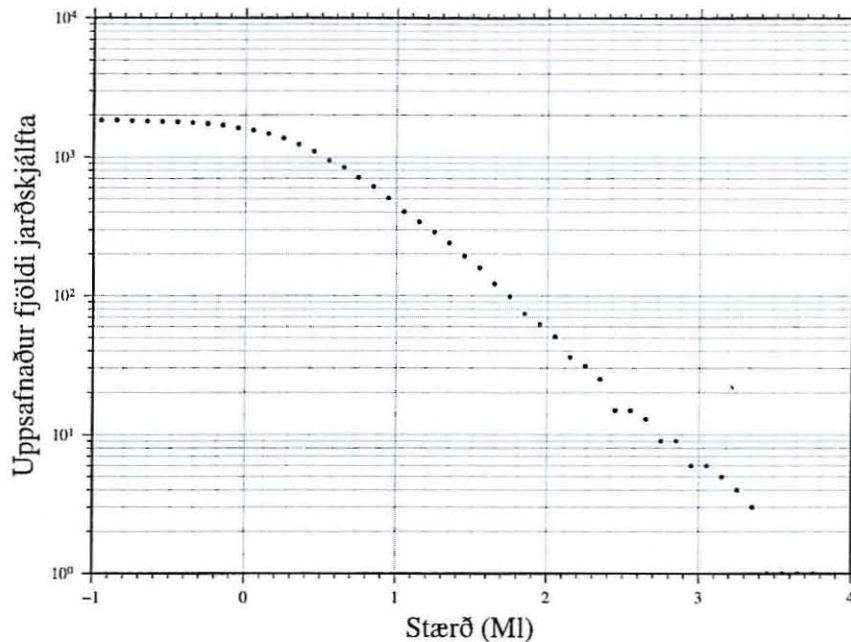
Mynd 7. Jarðskjálftar á Reykjanesskaga 1997. Sprengingar eru merktar með grænum tíglum. Eldvörp eru merkt með E, Lágur með L og Fagradalsfjall með F.

fara þeim mældust og einnig sprengingar í Helguvík, Straumsvík og við Úlfarsfell.

Uppsafnaður fjöldi jarðskjálfta sem fall af stærð er sýndur á mynd 8. Á henni má sjá að skráning jarðskjálfta er nokkuð fullkomin allt að stærðinni 0.4 á Richter kvarða en þar beygir ferillinn. Það er rétt að athuga að þetta byggir á gögnum frá öllu árinu og því eru áhrif nýju stöðvanna ekki komin fram að fullu. Auk þess eru flestir atburðirnir á Krísuvíkarsvæðinu. Tölugildi af hallatölu þessa ferils á mynd 8 er nefnt b-gildi og er mælikvarði á eðli skjálftaútlausnar í tíma og rúmi. Sé b-gildi hátt leysist hlutfallslega mikil orka úr læðingi í mörgum smáskjálftum. Lág b-gildi segir okkur hins vegar að orkuútlausn sé hlutfallslega mest í fáum en stórum jarðskjálftum. b-gildi á þessu svæði er um 1.0 sem er svipað og á Hellsheiði og í Hengli. Það er nokkru lægra en víða annars staðar (Kristján Ágústsson 1997).

Ekki hafa átt sér stað hrinur á vinnslusvæðinu eða í næsta nágrenni. Skjálftarnir eru dreifðir og afstæðar staðsetningar hafa ekki verið gerðar.

Svæðið frá Reykjanesi og austur í Fagradalsfjall hefur verið mjög kyrrt undanfarin ár. Hins vegar er vitað að virkni hefur oft verið mjög mikil á svæðinu, bæði hafa orðið þar öflugar jarðskjálftahrinur og eldgos á sögulegum tíma (Páll Halldórsson 1997). Um síðustu aldamót urðu þar alloft skaðar á mannvirkjum í jarðskjálftum. Á þriðja áratugi aldarinnar og byrjun þess fjórða var einnig mikil virkni og nokkrir skjálftar mældust yfir 5 á Richter kvarða. Loks var



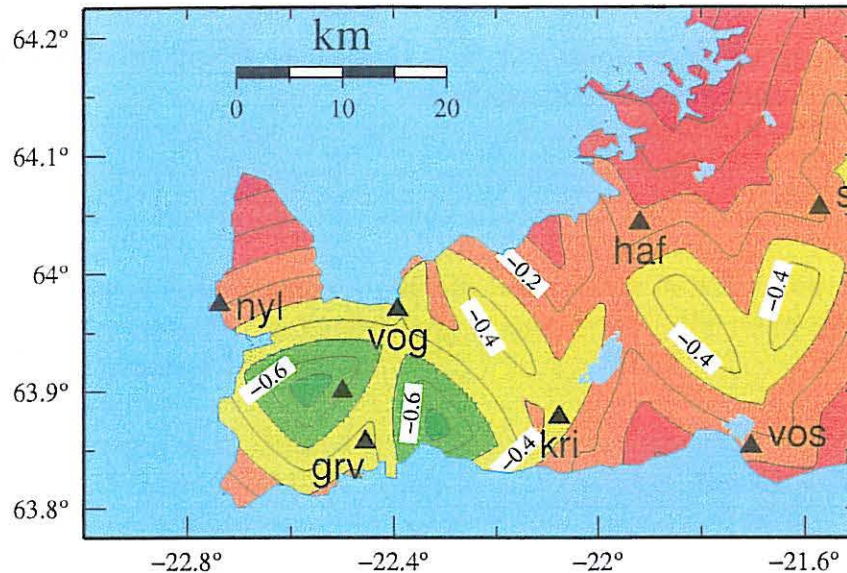
Mynd 8. Uppsafnaður fjöldi jarðskjálfta á Reykjanesskaga 1997. Lóðrétti ásinn sýnir hve margar atburðir hafa átt sér stað yfir ákveðinni stærð. Þannig hafa mælst um 450 atburðir af stærðinni 1.0 og meira. Ml táknar hérlenda stærð (e. local magnitude).

mikil virkni á árunum 1966 til 1975 en eftir það hefur verið mjög kyrrt.

Nú er næmni kerfisins mun meiri en áður var að undaskildum árunum 1973–1974 þegar jarðskjálftarannsókir fóru fram á svæðinu (Klein o.fl. 1977). Jarðskjálftar af stærðinni 0 og stærri eiga að mælast hvar á svæðinu sem upptök þeirra eru. Því benda jarðskjálftamælingarnar til þess að þessi kyrrð eða þögn sé nánast alger. Það er mjög athyglisvert og bent hefur verið á að niðurdrátturinn sem átt hefur sér stað vegna vinnslunar styrki bergið og dragi þannig úr smáskjálftavirkni (Bryndís Brandsdóttir o.fl. 1994). Það er mjög líklegt að það eigi sér að einhverju leyti stað á vinnslusvæðinu sjálfu. Hins vegar er þessi kyrrð einnig á öllu svæðinu vestur af Trölladyngju og Krísuvík og ólíklegt er að niðurdrátturinn læsi plötuskilunum á mjög stóru svæði.

Það er að vissu leyti kostur með tilliti til óróarannsókna, að skjálftavirkni sé svo lítil sem raun ber vitni. Þannig er unnt að fá góðan bakgrunn til að geta fylgst með áhrifum vinnslu og náttúrulegra brotahreyfinga. Upp úr áramótum hófst regluleg söfnun óróa á **grv**. Skráð er jarðarhreyfing í eina mínútu á 1 klukkustundar fresti allan sólarhringinn fyrst um sinn. Skipuleg úrvinnsla er ekki hafin.

Stöðvarnar **vog** og **nyl** eru mjög næmar og hafa reynst vel þrátt fyrir næmni þeirra á veður og umferð. Staðsetning stöðvar við vinnslusvæðið í Svartsengi verður alltaf einhvers konar mála-miðlun. Órói skermar af skjálfta en hann er einnig áhugaverður. Þannig gæti stöð sem höfð er utan óróasvæðis verið næmari á atburði á svæðinu en stöð sem er inni á því. **grv** er ekki eins næm og hinar stöðvarnar vegna óróa á hærri tíðnum. Annað sem einkennir hana er að gerð jarðskorpunnar er greinilega flóknari þar en annars staðar, enda á plötuskilum. Jarðskjálftabylgjur hafa í flestum tilvikum gjörólíkt útlit á **grv** en á hinum stöðvunum. Meðal annars hafa verið



Mynd 9. Reiknuð næmni kerfisins sem fall af staðsetningu ef bætt er við stöð í Lágum. Skýringar sömu og á mynd 6.

leiddar líkur að því að kvikuhólf sé undir Eldvörpum (Bryndís Brandsdóttir o.fl. 1994).

Ef við við berum saman myndir 4 og 5 virðist hugsanlegt að bæta næmnina þannig að skjálftar allt að -1 á Richterkvarða mundu mælast á fjórum stöðvum ef einni stöð yrði bætt við, t.d. í Lágum (mynd 9).

## 5 TILLÖGUR UM FRAMHALD

Samkvæmt upphaflegri áætlun átti að taka ákvörðun um fjölgun stöðva eftir ársrekstur þessa kerfis, þ.e. í júní 1998. Það er þó talið vera ótímabært af ýmsum ástæðum.

- Þótt rekstur kerfisins hafi í aðalatriðum gengið vel eru allöng tímabil þar sem einhverjar stöðvar hafa verið bilaðar. Meðal annars hefur komið í ljós að suð sem talið var geta verið ættað úr jörðu stafaði af galla í tækjum. Það hefur nú verið lagfært.
- Kanna þarf betur aðstæður á mælistöðum einkum með tilliti til óróa. Kvarða verður aðra mæla sem notaðir hafa verið við óróarannsóknir til að fá raunverulegan samanburð á óróa við hina varanlegu mæla og óróa sem mælst hefur annars staðar á svæðinu.
- Komi í ljós að órói sé óvenju mikill við einhvern mælanna þarf að athuga hvort unnt sé að finna stað í nágrenni viðkomandi mælis þar sem óróinn er minni, en þá mætti flytja nemann þangað. Gangi það ekki verður hugsanlega að flytja stöðina á betri stað.
- Kanna þarf óróa og næmni á nýjum stöðum í nágrenni Svartsengis.

Ekki er talið unnt að fullyrða neitt um það enn hve litla skjálfta kerfið getur numið og nýtt fyrr en eitthvað af þessum mælingum hefur farið fram.

Einnig þarf að huga að samfelldri óróaskráningu. Það er ógerningur að varðveita samfelldar tímaraðir án þess að grisja gögnin eitthvað. Slíkt verkefni fæli í sér vinnu við hugbúnað til grisj-



unar. Einnig hönnun á einhvers konar gikk (e. *trigger, detector*) sem sæi til þess að áhugaverðir atburðir væru varðveittir með meiri tímaupplausn.

## 6 HEIMILDIR

Bryndís Brandsdóttir, Páll Einarsson, Knútur Árnason & Hrefna Kristmannsdóttir 1994. Smáskjálfta- og bylgjubrotsmælingar í tengslum við niðurdælingu affallsvatns í jarðhitasvæðið við Svartsengi sumarið 1993. *Skýrsla OS-94016/JHD-05*. Orkustofnun, Reykjavík.

Gunnar Þór Gunnarsson, Kristín Jónsdóttir, Bryndís Brandsdóttir & Páll Einarsson 1996. Jarðhitaórói – Prófun á nýrri aðferð til jarðhitaleitar og vinnslueftirlits. *Skýrsla til Nýsköpunarsjóðs námsmanna*. Háskóli Íslands, Reykjavík.

Klein, F.W. Páll Einarsson & M. Wyss 1977. The Reykjanes Peninsula, Iceland, earthquake swarm of September 1972 and its tectonic significance. *J. Geophys. Res.* 82, 865–888.

Knútur Árnason 1992. Smáskjálftamælingar á háhitasvæðum í vinnslu. *Greinargerð KÁ-92/7*. Orkustofnun, Reykjavík.

Kristján Ágústsson 1997. Overview of seismic activity in Iceland January 1995 – November 1996. Preliminary report on SIL-data. *Report VÍ-G97002-JA02*. Veðurstofa Íslands, Reykjavík.

Páll Halldórsson 1997. Óbirt handrit.

Reynir Böðvarsson, Sigurður Th. Rögnvaldsson, Steinunn S. Jakobsdóttir, R. Slunga & Ragnar Stefánsson 1996. The SIL data acquisition and monitoring system. *Seism. Res. Lett.* 67, 35–46.

Sigurður Th. Rögnvaldsson & R. Slunga 1993. Routine fault plane solutions for local and regional networks: a test with synthetic data. *Bull. Seism. Soc. Am.* 11, 1247–1250.

Slunga, R. 1981. Earthquake source mechanism determination by use of body-wave amplitudes - an application to Swedish earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.* 71, 25–35.

Slunga, R., Sigurður Th. Rögnvaldsson & Reynir Böðvarsson 1995. Absolute and relative location of similar events with application to microearthquakes in southern Iceland. *Geophys. J. Int.* 123, 409–419.



ISSN 1025-0565  
ISBN 9979-878-09-6

*Kápu mynd: Klósigar (vatnslær)*  
*Ljós m.: Guðmundur Hafsteinsson, veðurfræðingur*