



Rit Veðurstofu Íslands

*Sigurður Th. Rögnvaldsson
Kristján Ágústsson
Bergur H. Bergsson
Grímur Björnsson*

*Jarðskjálftamælanet í nágrenni
Reykjavíkur - lýsing á mælaneti
og fyrstu niðurstöður*

*VÍ-R98001-JA01
Reykjavík
Janúar 1998*

ISSN 1025-0565
ISBN 9979-878-08-8

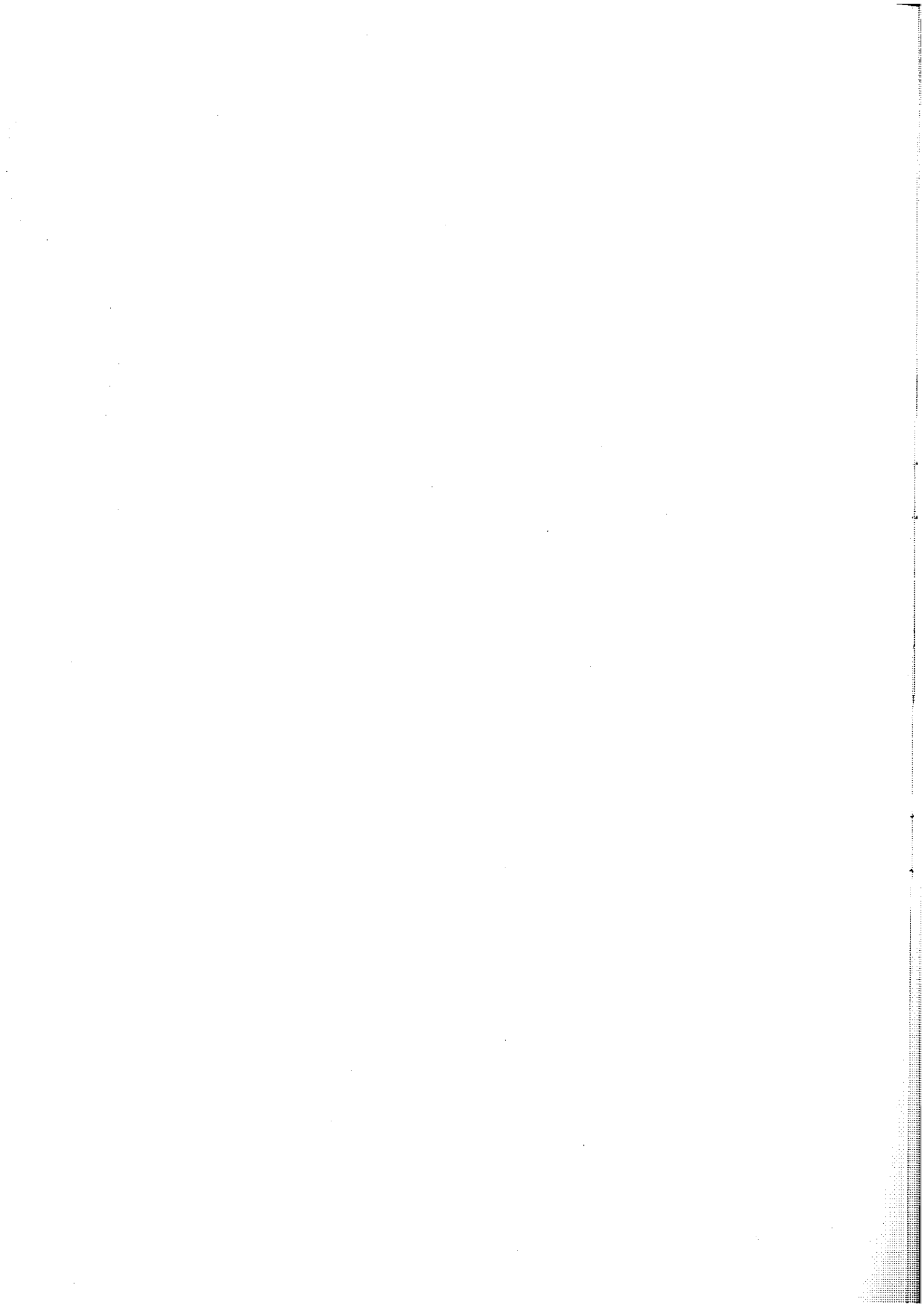
Sigurður Th. Rögnvaldsson
Kristján Ágústsson
Bergur H. Bergsson
Grímur Björnsson

*Jarðskjálftamælanet í nágrenni
Reykjavíkur - lýsing á mælaneti
og fyrstu niðurstöður*

VÍ-R98001-JA01
Reykjavík
Janúar 1998

EFNISYFIRLIT

1	INNGANGUR	5
2	STÖDVASAGA OG TÆKNILEGIR ÞÆTTIR	5
2.1	Nemar og vélbúnaður á jarðskjálftamælistöð	6
2.2	Úrvinnsla á útstöðvunum	7
2.3	Úrvinnsla í miðstöð	7
3	MAT Á NÆMNI KERFISINS	8
4	FYRSTU NIÐURSTÖÐUR	9
4.1	Fjöldi skjálfta	9
4.2	Dreifing jarðskjálfta 1996 og 1997	9
4.3	Upptakagreining smáskjálfta	10
4.4	Þrívítt líkan af hraða skjálftabylgna í skorpunni	13
4.5	Dýpi jarðskjálfta	13
5	NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA	13
6	HEIMILDIR	15



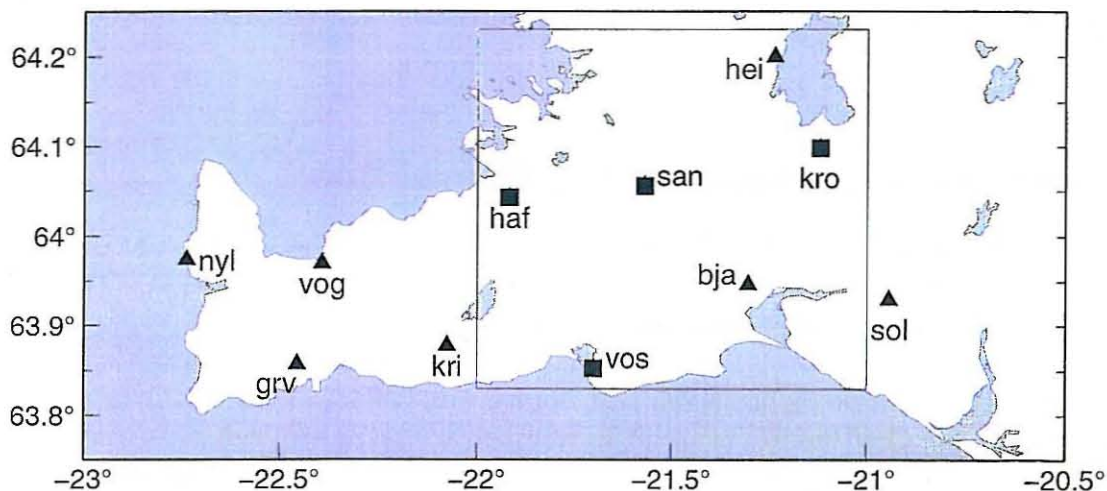
1 INNGANGUR

Í júlí 1996 sömdu sveitarfélögin á höfuðborgarsvæðinu og Hitaveita Reykjavíkur við Veðurstofu Íslands um uppsetningu og rekstur jarðskjálftamælanets á Bláfjallasvæðinu. Í aðalatriðum fólst samkomulagið í því að sveitarfélögin og Hitaveitan greiddu að mestu kostnað við að setja upp fjóra jarðskjálftamæla. Mælarnir skyldu tengdir sjálfvirku mælaneti Veðurstofunnar og rekstur þeirra greiddur af henni. Tilgangurinn með uppsetningu mælanna var að fá gleggri mynd af skjálftavirkni á svæðinu frá Hengli að Kleifarvatni. Skjálftamælarnir voru teknir í notkun á tímabilinu frá október 1996 til apríl 1997.

Í skýrslu þessari er fjallað um uppbyggingu mælanetsins, næmni netsins og kynntar fyrstu niðurstöður.

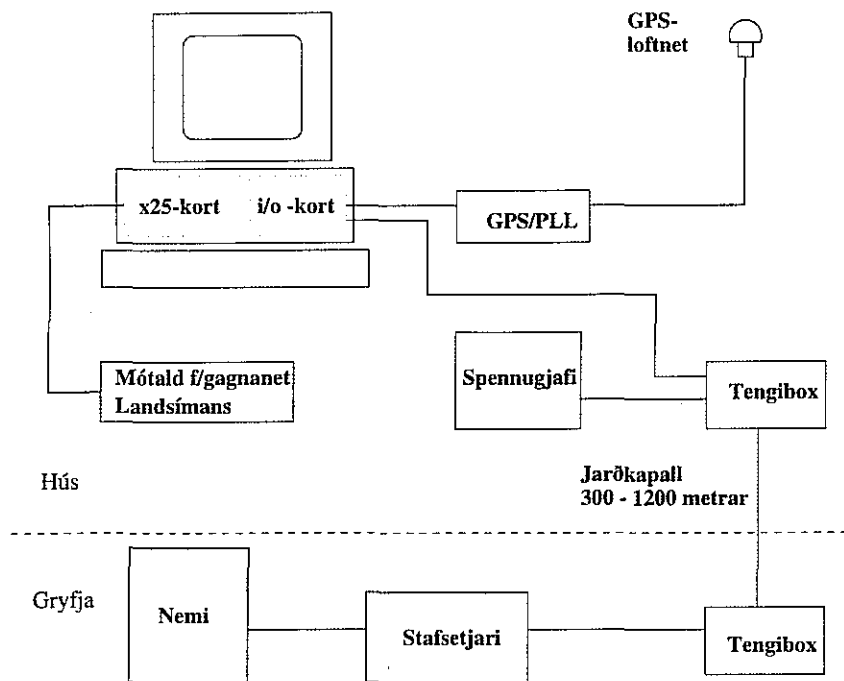
2 STÖÐVASAGA OG TÆKNILEGIR ÞÆTTIR

Jarðskjálftamælastöðvar þær sem Veðurstofa Íslands rekur og hefur átt þátt í að hanna eru nefndar SIL-stöðvar (Södra Íslands Lågland) af sögulegum ástæðum. Fyrstu átta stöðvarnar í nýja íslenska landsnetinu voru settar upp á Suðurlandi 1990. Þremur árum síðar var komið upp sex stöðva neti á Norðurlandi til að fylgjast með skjálftavirkni í Tjörnesbrotabeltinu. Síðan hefur stöðvunum fjölgað jafnt og þétt og nú eru í netinu 32 skjálftamælar víðsvegar um landið, allir tengdir miðstöðinni í Reykjavík. Mynd 1 sýnir staðsetningar skjálftamæla Veðurstofunnar á Suðvesturlandi. Lykilatriði við hönnun kerfisins var að halda rekstrarkostnaði þess í lágmarki.



Mynd 1. Skjálftamælar Veðurstofu Íslands á Suðvesturlandi. Stöðvar kostaðar af Hitaveitu Reykjavíkur og sveitarfélögunum á höfuðborgarsvæðinu eru merktar með ferningum, aðrar stöðvar með þríhyrningum.

Einn stærsti útgjaldaliðurinn er flutningur gagna frá útstöðvum til miðstöðvarinnar í Reykjavík. Einmenningstölva er á hverri útstöð til að stjórna gagnasöfnuninni og vinna úr gögnunum. Megintilgangurinn með úrvinnslunni á útstöðvunum er að draga fram upplýsingar sem nýst geta til að minnka gagnafleðið frá stöðvunum, án þess að missa af raunverulegum jarðskjálftum.



Mynd 2. Uppsetning skjálftamæla Veðurstofu Íslands.

Nýju stöðvarnar fjórar voru staðsettar með það í huga að auka nákvæmni í staðsetningum jarðskjálfta á Hengilssvæðinu og vestur að Kleifarvatni og til að fá gleggri mynd af brotflötum og brotahreyfingum á svæðinu. Skjálftamælarnir voru settir upp á Króki í Grafningi (kro), við sviffflugvöllinn á Sandskeiði (san), við reiðhöllina Sörlastaði ofan við Hafnarfjörð (haf) og á Vogsósum í Selvogi (vos).

2.1 Nemar og vélbúnaður á jarðskjálftamælistöð

Meginþættir hvernar stafrænnar jarðskjálftamælistöðvar af SIL-gerð eru mannvirki fyrir nema, skjálftanemi og tilheyrandi stafsetjari (e. *digitizer*), og tölva sem hefur samskipti við stafsetjarann og úrvinnslumiðstöðina á Veðurstofunni (mynd 2).

Grafin er hola fyrir nemann og 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. Í holuna er settur plastankur og steyp t í botn hans plata sem neminn og stafsetjarinn hvíla á. Að öðru jöfnu er tölvunni komið fyrir þar sem aðgangur er að rafmagni og síma, en nú er unnið að þróun stöðva þar sem notaður er farsími og orka fengin frá vindrafstöðvum og sólarrafhlöðum. 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; N–S, A–V og lóðrétt. Á flestum nýju stöðvanna er nemi af gerðinni LE–3D/1s eða LE–3D/5s frá þýska fyrirtækinu Lennartz Electronic. Lennartz nemarnir eru afburðavel byggðir og stöðugir. Á Króki er nemi af gerðinni Guralp–3T. Sá er breskur og er svokallaður breiðbandsnemi, þ.e. hann nemur bylgjur á breiðu tíðnisviði.

Nákvæmni í tímakvörðun jarðskjálftagagna er mjög mikilvæg. Klukkan sem notuð er í SIL-kerfinu er GPS klukka, að hluta til hönnuð á Veðurstofunni. Þetta er hefðbundinn GPS móttakari frá Trimble Navigation en við hann er byggð pll-rás (e. *phase locked loop*) sem sér um nákvæma tímasetningu á gögnunum og er tímaóvissan minni en 0.5 ms. Stafsetjarinn stafsetur jarðarhreyfingu þá sem neminn greinir og tímamerkir gögnin áður en hann sendir þau til stöðvartölvu.

Móttaka stöðvartölvu á jarðskjálftagögnum frá stafsetjara er um raðgátt (e. *serial port*) tölvunnar. Raðkortid er með tveimur gáttum sem eru nánast eins og á stöðluðu raðtengi fyrir einmenningstölvur, RS-232, en þar sem stafsetjarinn og neminn eru í gryfju í 400–1200 m fjarlægð frá tölvunni verður að nota annan staðal, RS-422. Tölvun, og þar með jarðskjálftamælirinn, eru tengd inn á gagnanet Landssíma Íslands með X.25 samskiptastaðalinum. Stöðvatölvur eru af þeirri gerð einmenningstölva sem ódýrust er á hverjum tíma. Stöðvatölvun notar UNIX stýrikerfið 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. Því er nú unnið að því að skipta yfir í Solaris stýrikerfi sem þegar er keyrt á tölvum á Veðurstofunni.

2.2 Úrvinnsla á útstöðvunum

Á útstöðvunum er hugbúnaður sem sér um gagnasöfnunina frá stafsetjara, úrvinnslu gagna á staðnum og sendingu gagnanna til SIL-miðstöðvarinnar á Veðurstofunni. Fylgst er með hvort snöggar breytingar verði á jarðarhreyfingunni og slíkar breytingar skráðar. Hver skráður fasi er meðhöndlaður sem væri hann raunverulegur jarðskjálftafasi. Auk mats á komutíma fasans er tíðniróf hans reiknað og metin lágtíðniaðfella þess og horn tíðni, hámarks útslag, innfallshorn, samfösun (e. *coherence*) og tímalengd (e. *duration*) fasans og fleiri stærðir sem komið geta að gagni við áframhaldandi úrvinnslu. Til að meta hvort fasinn er líkari P eða S skjálfta- bylgju er notað tauganet 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.

2.3 Úrvinnsla í miðstöð

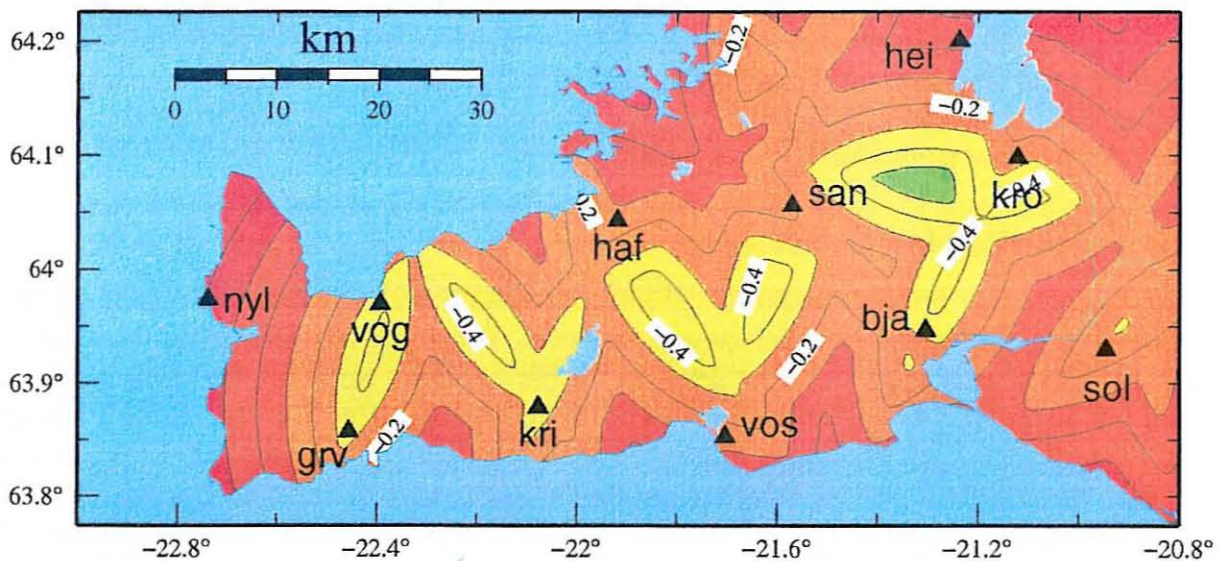
Á Veðurstofunni er fasiskeytunum safnað saman, raðað í tímaröð og leitað að tímabilum sem innihalda fasa sem stafað gætu frá sama atburðinum. Þegar þrír eða fleiri slíkir fasar finnast er reynt að staðsetja upptök skjálfta sem þeim hefur valdið og bæta við fleiri fösum sem átt gætu við atburðinn. Þannig fæst nokkurs konar „skjálftalisti“, þ.e. listi yfir staðsetta atburði sem hugsanlega eru jarðskjálftar. Listinn inniheldur að sjálfsgöðu fjölmarga falska skjálfta og því er hverjum atburði gefin einkunn eða gæðastuðull, sem metur líkurnar á því hvort 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 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

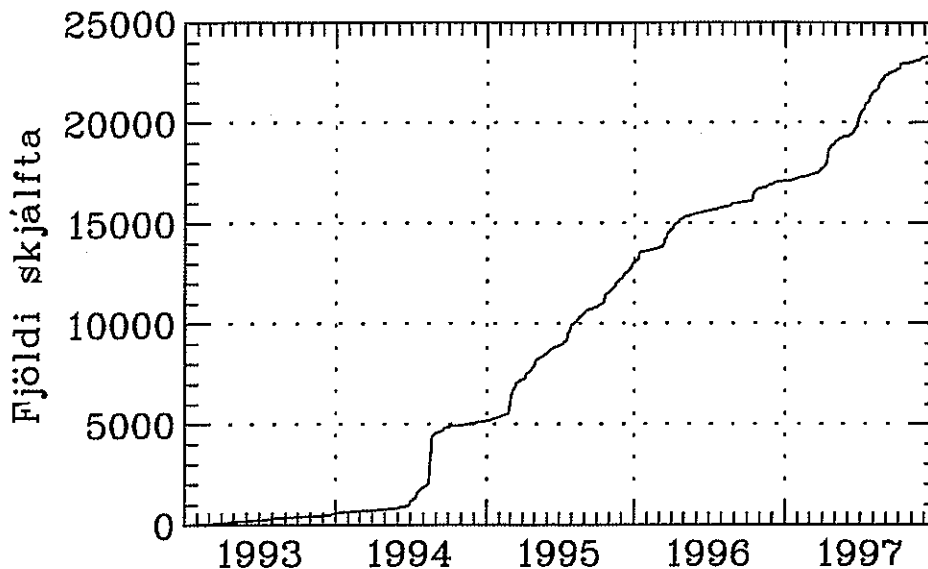
15–40 s frá hverri stöð og fer lengd tímaráðarinnar eftir fjarlægð stöðvar frá upptökum skjálftans. Jarðskjálftafræðingar á Veðurstofunni yfirfara síðan þessi gögn, lagfæra tímaaflestra ef þurfa þykir og bæta við aflestrum ef hægt er. Þá eru staðsetningar reiknaðar að nýju, brotlausn skjálftans fundin og stærð hans. 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 sveifluviddir 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 sæmilega 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.

3 MAT Á NÆMNI KERFISINS

Nýju stöðvarnar auka nokkuð næmni kerfisins við að greina skjálfta á Bláfjalla- og Hengils- svæðunum en mestu skiptir að nákvæmni í staðsetningu skjálftanna og allri úrvinnslu er mun meiri eftir fjölgun stöðvanna. Fyrir tilkomu þeirra skráði og staðsetti kerfið alla skjálfta innan svæðisins stærri en u.þ.b. 0.3 á Richterkvarða en eftir að þær voru settar upp eru þessi stærðarmörk rétt undir 0.0. Mynd 3 sýnir reiknaða næmni kerfisins sem fall af staðsetningu, þ.e. hve stór skjálfti á tilteknum stað þarf að vera svo hann greinist á fjórum mælum í skjálftamælanetinu.



Mynd 3. Reiknuð næmni kerfisins sem fall af staðsetningu. Gert er ráð fyrir að bylgjuútbreiðsla sé jöfn til allra átta og næmni einstakra 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.



Mynd 4. Uppsafnaður fjöldi jarðskjálfta á Hengilssvæðinu frá 1. janúar 1993 til 31. desember 1997, stærri en 0.5 á Richter kvarða. Í júní 1994 tók skjálftum á svæðinu að fjölga verulega og hefur virknin verið óvenju mikil síðan. Þannig mældust innan við 1000 jarðskjálftar allt árið 1993 yfir 0.5 á Richter kvarða en árið 1997 voru þeir um 12000.

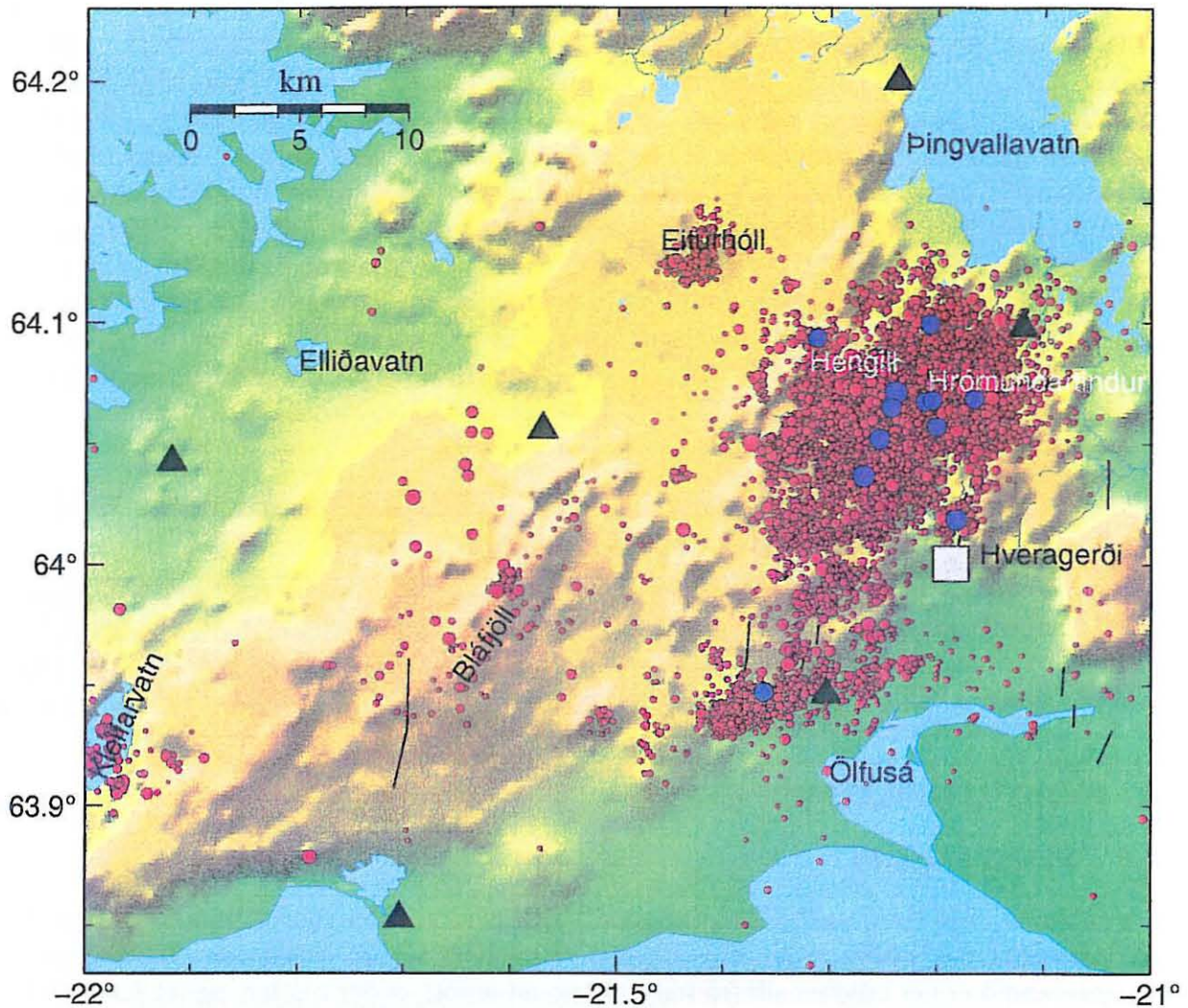
4 FYRSTU NIÐURSTÖÐUR

4.1 Fjöldi skjálfta

Frá miðju ári 1994 hefur verið viðvarandi mikil skjálftavirkni á Hengilssvæðinu. Skjálftum tók að fjölga þar í júní 1994 og náði virknin hámarki í ágúst 1994 en þá mældust um 5000 skjálftar. Hengilssvæðið er hér talið ná allt frá Þingvallavatni í norðri, suður í Ölfus, og frá Lambafelli í vestri og austur fyrir Ingólfsfjall. Um haustið og fram undir áramótin 1994–95 dró verulega úr virkninni en í byrjun árs 1995 jókst hún aftur og á árinu 1995 mældust að jafnaði um 1000 jarðskjálftar í hverjum mánuði. Heldur róaðist svæðið á árinu 1996 en í apríl 1997 varð þar snörp hviða og var virknin með mesta móti fram á haustið, hátt í 2000 skjálftar á mánuði að jafnaði. Á mynd 4 er sýndur uppsafnaður fjöldi jarðskjálfta á Hengilssvæðinu af stærðinni 0.5 og stærri á Richter kvarða frá 1. janúar 1993. Mun rólegra hefur verið á Bláfjallasvæðinu. Þar verða þó stöku skjálftar en skjálftahrinur eru fátíðar.

4.2 Dreifing jarðskjálfta 1996 og 1997

Alls voru staðsettir ríflega 9000 skjálftar á svæðinu frá Kleifarvatni í vestri að Ingólfsfjalli í austri árið 1996 og yfir 20000 árið 1997 (mynd 5). Langflestir þeirra áttu upptök sín á Hengilssvæðinu. Meginþyrping skjálftanna er á svæðinu frá Hengli, austur að Villingavatnsselfjalli, og frá Mælifelli í Grafningi í norðri og suður á Hellisheiði (mynd 5). Stakar hrinur hafa þó einnig orðið utan þess svæðis sem mest er virkt. Í október 1996 varð skjálfti af stærð 4.1 á Richter kvarða nærri Bíldsfelli í Grafningi og fylgdu honum hundruð eftirskjálfta. Í janúar 1997 urðu nokkur hundruð smáskjálfta nærri Eiturhóli á Mosfellsheiði (mynd 5). Skjálftarnir voru flestir á 4–5 km dýpi. Eiturhóll er eilítið norðan við norðurenda Bláfjallasprungusveimsins en misgengi innan hans hafa lítið skolfið undanfarin ár.



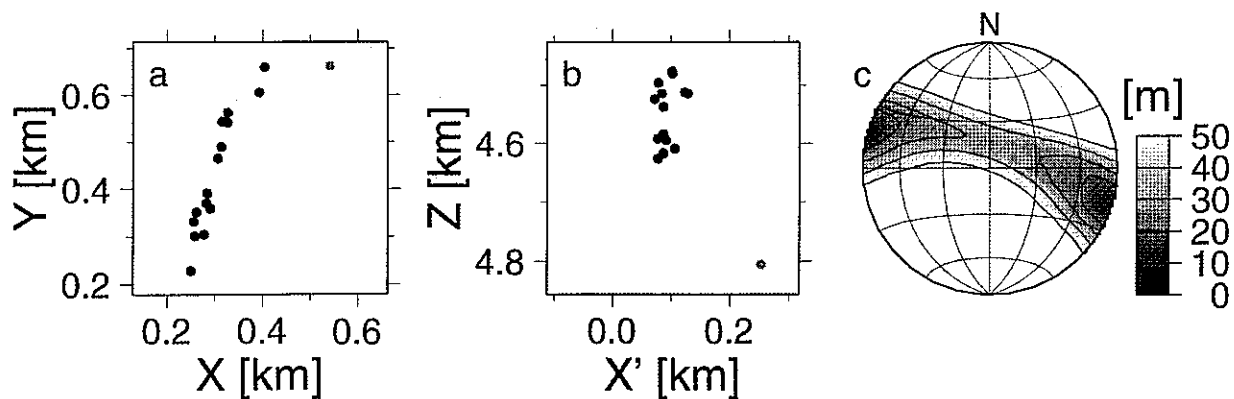
Mynd 5. Staðsetning jarðskjálfta í nágrenni höfuðborgarsvæðisins árið 1997. Aðeins eru sýndir skjálftar sem staðsettir voru með innan við ± 2 km óvissu. Skjálftar yfir 3.5 að stærð eru merktir með bláum hringjum.

Næsta sprunguþyrping vestan Bláfjalla er kennd við Krísuvík og nær frá ströndinni við Krísuvík norður fyrir Elliðavatn. Skjálftahrinur eru algengar á syðsta hluta þyrpingarinnar en norðan Kleifarvatns urðu nær engir skjálftar á árunum 1996 og 1997 (mynd 5).

Skjálftar eru fátíðir á vinnslusvæði Hitaveitu Reykjavíkur í Mosfellsbæ en taka ber fram að næmni mælanetsins er einna síst á höfuðborgarsvæðinu, bæði vegna legu stöðvanna (sbr. mynd 3) og vegna suðs af mannavöldum.

4.3 Upptakagreining smáskjálfta

Þegar margir skjálftar verða á litlu svæði er algengt að bylgjuhreyfingin, sem mæld er með jarðskjálftamælum, sé næsta keimlík í öllum skjálftanna. Fá má stærðfræðilegt mat á því hversu lík hreyfingin er með því að reikna víxlfylgni skjálftalínurita frá svipuðum skjálftum. Út frá víxlfylgninni er einnig unnt að mæla mjög nákvæmlega mun í komutíma bylgna frá svipuðum



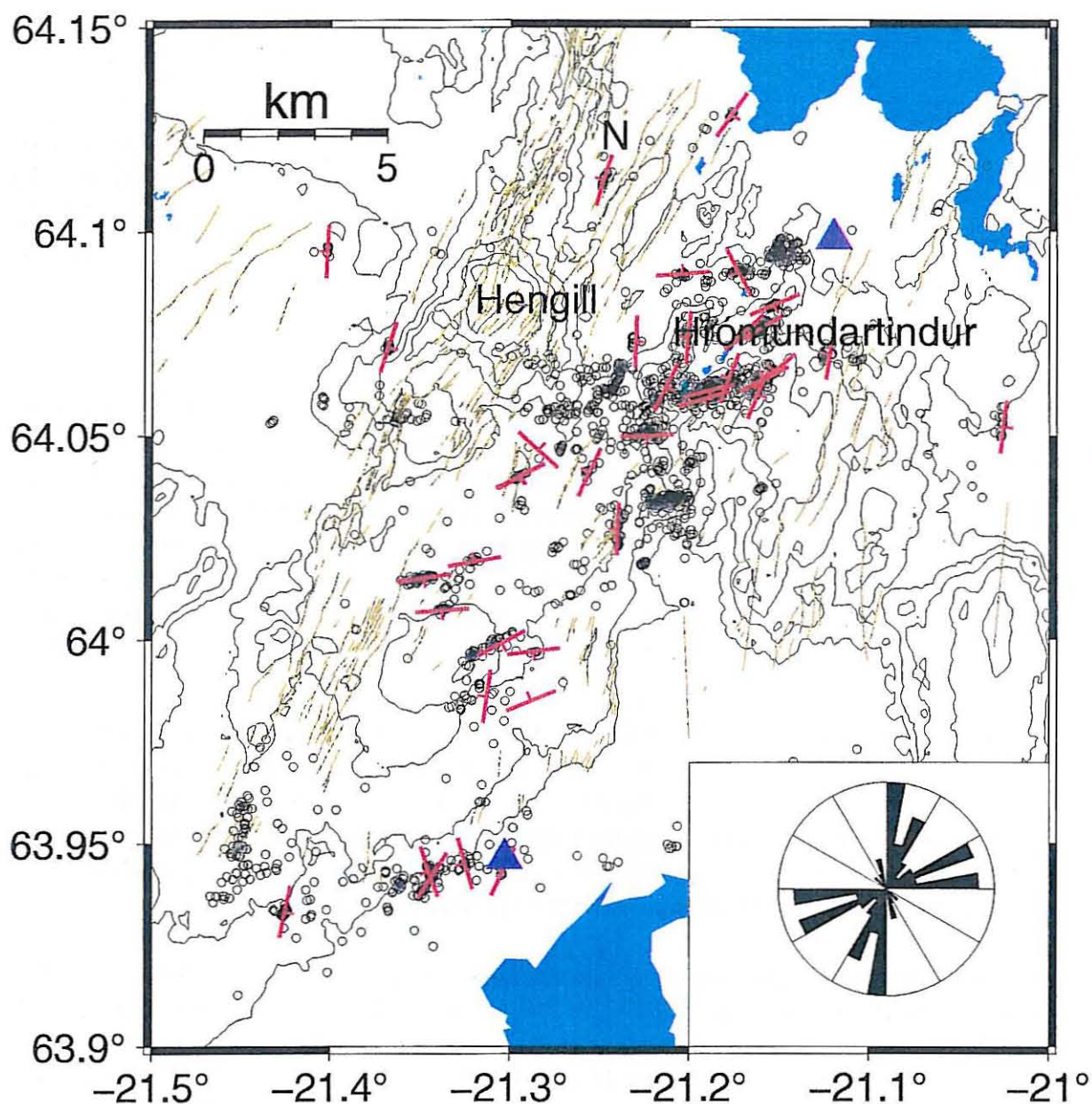
Mynd 6. Upptök skjálfta í þyrpingu sem varð undir Nesjavöllum 28. janúar 1997. Skjálftinn sem merktur er með gráum punkti var ekki notaður við ákvörðun plans gegnum þyrpinguna. Mynd a sýnir upptökin í láréttum fleti þar sem x ás vex til austurs og y ás til norðurs. Mynd b sýnir upptökin í lóðréttu sniði þvert á strikstefnu besta plans gegnum þyrpinguna, z er dýpi. Lengst til hægri eru pólur 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.

skjálftum. Ef gert er ráð fyrir að tímamunurinn stafi eingöngu af mismikilli fjarlægð skjálftanna frá mælistöð er unnt að reikna innbyrðis staðsetningar skjálftaþyrpingarinnar með mun meiri nákvæmni en algildar staðsetningar einstakra skjálfta. Þetta stafar af því að reiknuð fjarlægð milli skjálftanna er ónæmari fyrir skekkjum í hraðalíkani því sem notað er en þegar reiknuð er staðsetning einstakra skjálfta. Sú aðferð sem notuð er á Veðurstofunni notar samhliða algildan tíma og bætir því jafnframt algilda staðsetningu hrinunnar (Slunga o.fl. 1995).

Í lok janúar 1997 urðu á annan tug smáskjálfta norður af holu 10 á Nesjavöllum. Innbyrðis staðsetningar skjálftanna voru ákvarðaðar með aðferðum þeim sem að ofan er lýst og eru niðurstöðurnar sýndar á mynd 6. Í ljós kom að meðalfjarlægð 15 skjálfta frá besta plani sem hægt er að fella í gegnum þyrpinguna var um 11 m. Planid er nær lóðrétt og strik um það bil N–S. Strikið er þokkalega ákvarðað en hallinn síður (mynd 6c), enda urðu allir skjálftarnir á svipuðu dýpi, milli 4.5 og 4.7 km.

Innbyrðis staðsetningar hafa verið ákvarðaðar fyrir á fimmta tug smáhrina sem orðið hafa á Hengilssvæðinu á undanförunum árum. Í mörgum tilfellum er unnt að fella plan gegnum skjálftaþyrpinguna eftir að hún hefur verið endurstaðsett. Einfaldast er álykta sem svo að besta plan gegnum þyrpinguna falli saman við sameiginlegt brotplan skjálftanna. Ekki er þó öruggt að þetta eigi allstaðar við. Þekkt eru dæmi um hrinur á Hengilssvæðinu þar sem unnt er að fella plan að staðsetningum skjálftanna með mikilli nákvæmni en brotlausnir skjálftanna benda til hreyfinga á mörgum samsíða plönunum með aðra strikstefnu en besta plan gegnum þyrpinguna (Sigurður Th. Rögnvaldsson og Grímur Björnsson 1995). Leitt hefur verið getum að því að þetta stafi af vökvabrotum (e. *hydrofracturing*) þar sem skjálftarnir verða við uppstreymisrás vökva en stefna brotplans hvers skjálfta ráðist af ríkjandi spennusviði á svæðinu (Slunga, munnl. uppl. 1997).

Algengast er að brotflatirnir hafi strikstefnu nærri N–S en einnig eru A–V og 25°–30° A stefnur



Mynd 7. Afstæðar staðsetningar um 1700 skjálfta á Hengilssvæðinu. Staðsetning og strik 38 misgengja, sem ákvörðuð hafa verið með innbyrðis staðsetningum smáskjálfta, eru merkt með rauðu, en misgengi kortlögð með yfirborðsathugunum með gulu. Á innfelldu myndinni er strik misgengjanna 38 sýnt á rósamynd. Algengasta stefnan er nærri N-S.

algengar (mynd 7). N-S stefnan er ríkjandi sunnarlega á svæðinu, vestur af Hjallahverfi. Líta má á það svæði sem framhald af brotabelti Suðurlands. Smáskjálftarnir þarna verða við hægri sniðgengishreyfingar á nær lóðréttum N-S sprungum, líkt og skjálftar í brotabeltinu (Páll Einarsson og Jón Eiríksson 1982, Sigurður Th. Rögnvaldsson og Slunga 1994, Slunga o.fl. 1995). A-V stefnan er einkum algeng í hrinum á Hellsisheiði og 25°-30°A er svipað striki sprungna í Hengilssprunguþyrpingunni.

4.4 Prívítt líkan af hraða skjálftabylgna í skorpunni

Gögn úr SIL-kerfinu eru nú m.a. notuð til að finna prívítt líkan af hraða jarðskjálftabylgna undir Suðvesturlandi (Ari Tryggvason o.fl. 1997). Áður hafa gögn úr þéttu neti skjálftamæla, sem rekin voru í skamman tíma á Hengilssvæðinu árin 1981 og 1991, verið notuð til að áætla hraðadreifinguna í efstu 5–6 km skorpunnar (Toomey og Foulger 1989, Foulger o.fl. 1995). Með gögnum úr SIL-kerfinu er unnt að skyggast mun dýpra eða allt niður á 12–15 km dýpi og jafnframt er hægt að skoða stærra svæði. Eftir því sem kerfið er lengur í rekstri safnast fleiri skjálftar í sarp þess og þannig bætist smám saman við það svæði sem hægt er að skoða og jafnframt batnar upplausn líkansins.

Fyrstu niðurstöður þessara athugana benda til að undir Hengilssvæðinu sé hraði P bylgna töluvert lægri en í skorpunni í kring. Lágur P hraði mælist á svæði sem er um $10 \times 10 \text{ km}^2$ að flatarmáli og nær frá a.m.k. 6 km dýpi og niður á um 12 km. Hraði S bylgna lækkar mun minna en P hraðinn í þessum hluta skorpunnar. Það er því ósennilegt að hár hiti og hlutbráðnun valdi hraðafrávikinu. Sett hefur verið fram sú tilgáta að undir Henglinum sé skorpan mettuð yfirkrítiskum (e. *super critical*) vökva. Mælingar í holu NJ-11 á Nesjavöllum sýna að þar er yfirkrítiskur vökvi á um 2 km dýpi (Benedikt Steingrímsson o.fl. 1986). Við þær aðstæður er þjöppunarstuðull (e. *compressibility modulus*) vökvans, β , mun lægri en ella. Hraði P bylgna er háður þjöppunarstuðlinum samkvæmt jöfnunni

$$V_p = \sqrt{\frac{1/\beta + \frac{4}{3}\mu}{\rho}} \quad (1)$$

þar sem V_p er hraði P bylgjunnar, μ er skerstyrkur og ρ eðlismassi bergsins (Bullen og Bolt 1985). Þegar β hækkar, lækkar því V_p . Hraði S bylgna er hins vegar óháður þjöppunarstuðlinum, $V_s = \sqrt{\mu/\rho}$. Ef þessi tilgáta er rétt má líta svo á að svæði með lágt V_p/V_s hlutfall á bilinu 6–12 km undir Henglinum falli saman við hræringarsellu jarðhitavökva með ókunna efnasamsetningu og hita (Ari Tryggvason o.fl. 1997). Sá hluti skorpunnar er því sennilega kaldari en skorpan umhverfis. Sönnun eða afsönnun þessarar tilgátu hefur verulega þýðingu í skilningi á innri gerð jarðhitakerfa á Hengilssvæðinu.

4.5 Dýpi jarðskjálfta

Áður en nýju stöðvarnar voru settar upp var mikil óvissa í ákvörðun á dýpi jarðskjálfta á Hengilssvæðinu. Staðsetningar SIL-kerfisins eru ákvarðaðar út frá einvíðu (lárétt lagskiptu) líkani. Samkvæmt þeim verða flestir skjálftanna á 2–7 km dýpi. Ef niðurstöður athugana á prívíðri hraðadreifingu í skorpunni eru réttar og P hraði lægri undir hluta Hengilssvæðisins en í nágrenninu breytist reiknað dýpi sumra skjálftanna verulega. Þar sem P hraðinn er lægstur verða skjálftar á meira dýpi en áður var talið, allt niður á 12–15 km. Hér er þó mikið verk óunnið áður en unnt er að fullyrða um dýpi skjálfta og tengsl við hitastig í skorpunni.

5 NIÐURSTÖÐUR OG UMRÆÐA

Skjálftavirkni á Hengilssvæðinu jókst mikið í júní 1994 og hefur verið óvenju mikil síðan. Frá október 1996 til apríl 1997 var sett upp net fjögurra nýrra skjálftamælastöðva í nágrenni höfuðborgarsvæðisins. Helstu niðurstöður sem fengist hafa eftir rúmlega árs rekstur netsins má draga saman í nokkrum liðum:

1. Fjöldi skjálfta er breytilegur frá degi til dags en mest allt nýliðið ár (1997) var virknin á Hengilssvæðinu meiri en verið hefur undanfarna áratugi.
2. Fáir jarðskjálftar hafa mælst á svæðinu frá Kleifarvatni og austur að Þrengslum. Því má telja líklegt að þar sé að hlaðast upp spenna í skorpunni.
3. Nákvæmar innbyrðis staðsetningar nokkur hundruð smáskjálfta voru notaðar til að finna strik og halla 38 misgengisflata á Hengilssvæðinu. Algengast er að misgengin hafi strik nærri N–S eða A–V. Strik misgengja sem ákvörðuð hafa verið með þessum hætti eru þó mjög mismunandi og tenging við strik sprungna á yfirborði ekki augljós.
4. Á nokkrum stöðum, t.d. við Eiturhól á Mosfellsheiði, eru vísbendingar um að skjálftahrinur hafi orðið í tengslum við vökvabrot ofarlega í skorpunni. Þar sem vökvabrot verður er líklegt að lekt skorpunnar sé mikil. Slík svæði eru áhugaverð til jarðhitavinnslu eða niðurdælingar.
5. Nýtt líkan af hraða P og S bylgna bendir til þess að undir Hengilssvæðinu sé lægri P hraði en í skorpunni umhverfis. Samsvarandi lækkun sést ekki í hraða S bylgna. Lágt V_p/V_s hlutfall gæti stafað af yfirkrítískum vökva í skorpunni. Svæðið þar sem V_p er lágt er þá líklega hræringarsella jarðhitavökva og kaldara en skorpan umhverfis.

Í ljósi þessara fyrstu niðurstaðna leggjum við til að frekari úrvinnsla skjálftagagna af Bláfjalla–Hengilssvæðinu verði einkum tvíþætt:

1. Kerfisbundin upptakagreining skjálfta á Hengilssvæðinu. Innbyrðis staðsetningar og brotlausnir smáskjálfta verði notaðar til að kortleggja virk misgengi, þar sem þess er kostur. Sérstaklega verði hugað að vísbengingum um vökvabrot í skorpunni.
2. Áfram verði unnið að gerð og túlkun líkans af þrívíðri hraðadreifingu P og S bylgna undir Hengilssvæðinu í samvinnu við Uppsalaháskóla og Orkustofnun. Þegar fundið hefur verið viðunandi líkan af þrívíðri P og S hraðadreifingu á svæðinu verði það notað við að endurstaðsetja jarðskjálfta og athuga dýptardreifingu þeirra og tengsl við hitastig í skorpunni.

6 HEIMILDIR

Ari Tryggvason, Sigurður Th. Rögnvaldsson & Ólafur G. Flóvenz 1997. High-resolution imaging of the three-dimensional P- and S-wave velocity structure beneath South-West Iceland. Í: Abstracts from the 29th IASPEI General Assembly, August 18–28, 1997, Thessaloniki, Greece.

Benedikt Steingrímsson, Ásgrímur Guðmundsson, Hilmar Sigvaldason, Ómar Sigurðsson & Einar Gunnlaugsson 1986. Nesjavellir, hola NJ-11, borun, rannsóknir og vinnslueiginleikar. *Skýrsla OS-86025/JHD-05*. Orkustofnun, Reykjavík.

Bullen, K.E. & B.A. Bolt 1985. *An introduction to the theory of seismology*. Cambridge University Press, Cambridge, 499 s.

Foulger, G.R., A.D. Miller, B.R. Julian & J.R. Evans 1995. Three-dimensional v_p and v_p/v_s structure of the Hengill triple junction and geothermal area, Iceland, and the repeatability of tomographic inversion. *Geophys. Res. Lett.* 22, 1309–1312.

Páll Einarsson & Jón Eiríksson 1982. Earthquake fractures in the districts Land and Rangárvellir in the South Iceland Seismic Zone. *Jökull*, 32 113–120.

Reynir Böðvarsson, Sigurður Th. Rögnvaldsson, Steinunn S. Jakobsdóttir, Ragnar 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.

Sigurður Th. Rögnvaldsson & R. Slunga 1994. Single and joint fault plane solutions for microearthquakes in South Iceland. *Tectonophysics* 273, 73–86.

Sigurður Th. Rögnvaldsson & Grímur Björnsson 1995. Upptakagreining smáskjálfta á Nesjavöllum í ársbyrjun 1995. *Skýrsla OS-95034/JHD-05*. Orkustofnun, Reykjavík.

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.

Toomey, D.H. & G.R. Foulger 1989. Tomographic inversion of local earthquake data from the Hengill-Grensdalur central volcano complex, Iceland. *J. Geophys. Res.* 94, 17497–17510.

ISSN 1025-0565
ISBN 9979-878-08-8

Kápumynd: Klósigar (vatnslær)
Ljósm.: Guðmundur Hafsteinsson, veðurfræðingur