



Kristín S. Vogfjörð

Smáskjálftavirkni við Þeistareyki og uppsetning jarðskjálftamælanets í norðaustur gosbelti

**Unnið fyrir Landsvirkjun, Þeistareyki ehf.
og Íslenska orku ehf.**

OS-2000/037

Júlí 2000

ORKUSTOFNUN - RANNSÓKNASVIÐ
Reykjavík: Grensásvegi 9, 108 Rvk. - Sími 569 6000 - Fax 568 8896
Akureyri: Glerárgötu 36, 600 Ak. - Sími 463 0957 - Fax 463 0998
Netfang os@os.is - Veffang: <http://www.os.is>

Skýrsla nr: OS-2000/037	Dags: September 2001	Dreifing: <input checked="" type="checkbox"/> Opin <input type="checkbox"/> Lokuð til
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Smáskjálftavirkni við Þeistareyki og uppsetning jarðskjálftamælanets í norðaustur gosbelti	Upplag: 30	
	Fjöldi síðna: 47	
Höfundar: Kristín S. Vogfjörð	Verkefnisstjóri: Kristín S. Vogfjörð	
Gerð skýrslu / Verkstig: Smáskjálftavirkni, skjálftamælinet	Verknúmer: 8-600070	
Unnið fyrir: Landsvirkjun, Þeistareyki ehf. og Íslenska orku ehf.		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Reifaðar eru niðurstöður smáskjálftaskráningar í mælineti á Þeistareykjum og eldri skráningar í neti í Kröflu, og gerð grein fyrir forkönnun á nokkrum hugsanlegum mælistöðum vegna fyrirhugaðrar uppsetningar nets jarðskjálftamæla á norðaustur hluta gosbeltisins. Mælistöðvarnar verða hluti af landsneti Veðurstofu Íslands og eins að allri gerð og aðrar stöðvar en samskipti verða þráðlaus. Allar stöðvarnar munu senda merki í loftnet á Kröflufjalli. Tilgangurinn með þessum nýju fastastöðvum er að skrá smáskjálftavirkni á jarðhitasvæðum í Kröflu og Bjarnarflagi, á Þeistareykjum og í Öxarfirði, og nota síðan þá virkni til að kortleggja sprungur á jarðhitasvæðunum. Virkni var skráð í tólf daga á sex-stöðva færanlegu neti við Þeistareyki til að meta skjálftavirkni þar. Smáskjálftarannsóknir í Kröflu og á Þeistareykjum sýna að allnokkur virkni er innan jarðhitasvæðanna en einungis lítið brot af þeirri virkni skráist á landsnet Veðurstofunnar. Engir skjálftar skráðust frá jarðhitasvæðinu í Öxarfirði og því er ekki hægt að spá um hversu mikil virkni myndi mælast þar með tilkomu nýrra fastastöðva.		
Lykilorð: Skjálftavirkni, smáskjálftar, mælinet, jarðhitasvæði, Þeistareykir, gosbelti	ISBN-númer:	
	Undirskrift verkefnisstjóra:	
	Yfirfarið af: KÁ, KG, SThor	

EFNISYFIRLIT

1 Inngangur	2
2 Uppsetning mælanets	4
3 Gögn og úrvinnsla	5
3.1 Órói á svæðinu	5
3.2 Skráð skjálftavirkni	6
4 Samantekt og umræða	12
4.1 Skjálftavirkni jarðhitasvæðanna í norðaustur gosbelti	12
4.2 Uppbygging jarðskjálftamælanets í norðaustur gosbeltinu	13
5 Þakkir	14
6 Heimildir	15
7 Viðauki–Eldri greinargerðir	17
7.1 Greinargerð 1: Tillaga að uppsetningu	17
7.2 Greinargerð 2: Forkönnun mælistaða	23
7.3 Greinargerð 3: Bakgrunnsrói	35

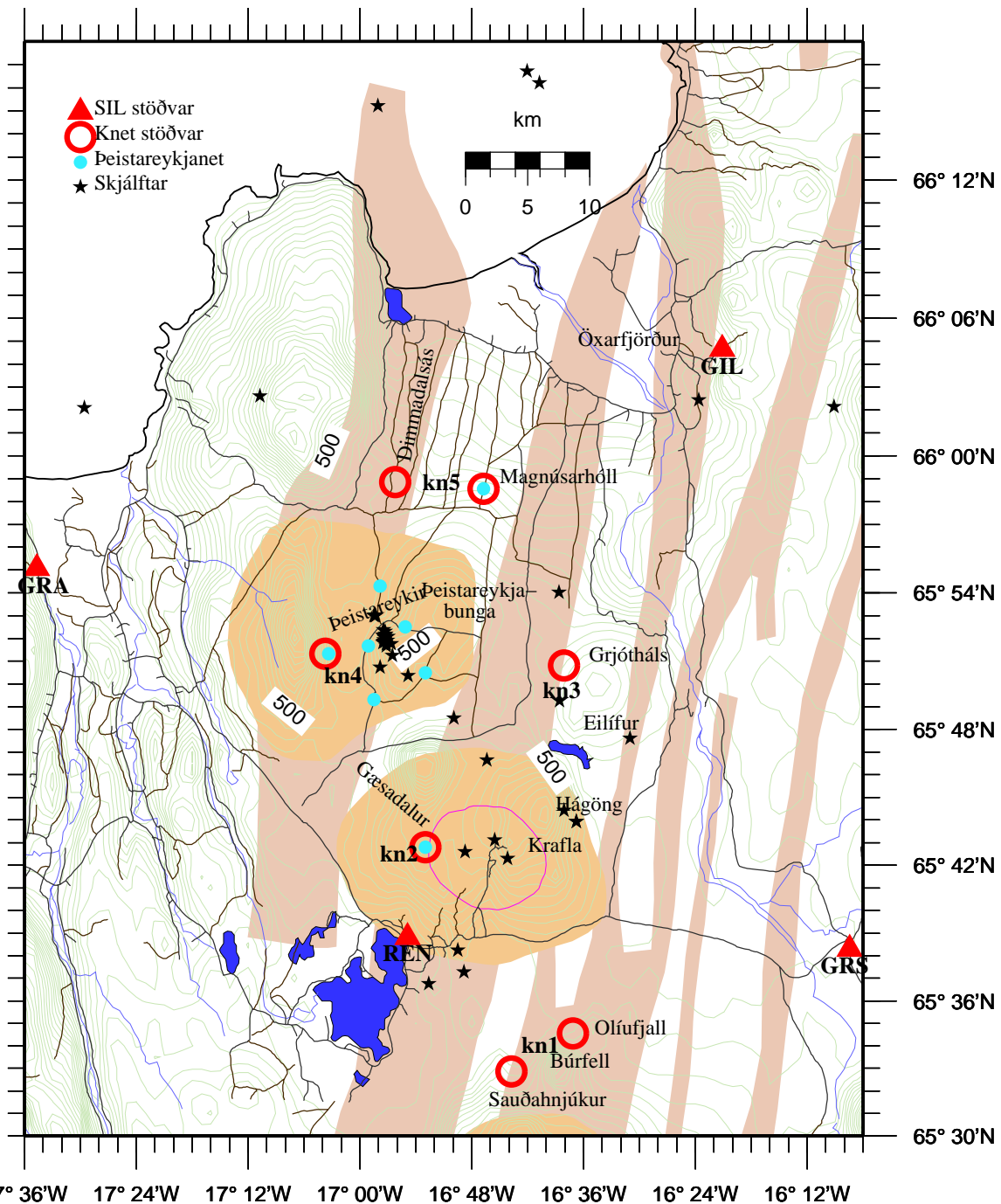
1 INNGANGUR

Vegna fyrirhugaðrar uppsetningar jarðskjálftamælistöðva í norðaustur gosbeltinu, var ráðist í forkönnun á nokkrum álitlegum mælistöðum í september 1999. Jafnframt var skráð virkni í 12 daga á sex-stöðva færanlegu neti við Þeistareyki til að meta skjálftavirkni þar. Mælistöðvarnar, sem stendur til að setja upp, verða hluti af landsneti Veðurstofu Íslands (SIL neti) og eins að allri gerð, fyrir utan samskiptamátann sem verður þráðlaus. Allar mælistöðvarnar munu senda merki í loftnet á Kröflufjalli og síðan munu áframhaldandi gagnaflutningar verða um fjarSKIPTANET Landsvirkjunar til miðstöðvar jarðskjálftamælakerfisins á Veðurstofunni. Uppsetningu og kostnaði við uppbygginguna eru gerð skil í greinargerð sem var birt í maí 1999 (Kristín S. Vogfjörð 1999b) og endurprentuð er í Viðauka 1. Tilgangur þessara nýju fastastöðva er að skrá smáskjálftavirkni á jarðhitasvæðunum í Kröflu og Bjarnarflagi, á Þeistareykjum og í Öxarfirði, og síðan að nota þá virkni til að kortleggja virkar sprungur á jarðhitasvæðunum. Rennslisleiðir jarðhitavökvans eru aðallega í sprungum og því getur kortlagning sprungna gefið mikilvægar upplýsingar um jarðhitageymana. Hingað til hafa einungis skráðst skjálftar stærri en $M_L \sim 1,5$ (á Richter kvarða) á þessu svæði, um fjórir á mánuði frá öllum svæðunum samanlagt, en með því að bæta við fimm mælistöðvum innan gosbeltisins, mun líklega verða hægt að lækka þröskuldinn niður í $M_L \sim 0$ og fjölga skráningum umtalsvert.

Þétting mælistöðva árið 1996 í námunda við Hengilssvæðið, hefur gert mögulega mjög nákvæma kortlagningu skjálftavirkni á Hengilssvæðinu, allt niður að $M_L = 0$ (Sigurður Th. Rögnvaldsson et al. 1998a). Hin mikla aukning, sem varð í skjálftavirkni Hengilssvæðisins milli 1994 og 1998 (Sigurður Th. Rögnvaldsson et al. 1998a,b; Kristján Ágústsson 1999) hefur leitt til þess að þúsundir skjálfta hafa skráðst á mælanetið og nú, fjórum árum síðar, hefur fjöldi sprungna þegar verið kortlagður á jarðhitasvæðunum þar. Niðurstöðurnar gefa vonir um að miklar upplýsingar um rennslisleiðir vatns í jarðhitageymunum liggi í skjálftagögnunum (Sigurður Th. Rögnvaldsson et al. 1998a,b, 1999; Sigurður Th. Rögnvaldsson 2000; Kristín S. Vogfjörð 2000c). Sams konar þétting landsnetsins fór fram á Reykjanesi fyrir þrem árum (Kristján Ágústsson et al. 1998), og nú hefur einnig safnast þar upp mikið magn jarðskjálftagagna sem verður hægt að nýta til sprungukortlagningar á jarðhitasvæðunum á Reykjanesi. Eftir þéttingu mælanetsins í NA gosbeltinu, ættu á tveim til þrem árum að hafa safnast nóg af gögnum til að unnt verði að hefja sams konar kortlagningu helstu misgengja á jarðhitasvæðunum fjórum. Mynd 1 sýnir mögulegar staðsetningar þessara fyrirhuguðu stöðva í NA gosbeltinu (rauðir hringir) og einnig staðsetningar núverandi fastastöðva (rauðir þríhyrningar).

Árið 1997 fór fram forkönnun á virkni Kröflusvæðisins, með uppsetningu 6 stöðva færanlegs jarðskjálftamælanets í Kröflu. Úrvinnsla tíu daga tímabils sýndi að virkni í Kröflu er að meðaltali um 1,5 skjálftar á dag og stærð skjálftanna, sem er á bilinu $M_L \sim -0,7 - 0,6$, er of lítil til að sjást á öðrum en nálægustu SIL stöðinni í Reynihlíð, í um 10 km fjarlægð (Kristín S. Vogfjörð 1999a). Á sama tíma skráðust á netið 3 skjálftar í um 10 km fjarlægð, í Bjarnarflagi. Stærð þeirra var $M_L = 0,6 - 1,1$. Með skráningu á Þeistareykjanetinu í september 1999 átti á sama hátt að kanna stærð skjálfta og virkni Þeistareykjasvæðisins. Þessar upplýsingar eru nauðsynlegar til að hægt sé að meta hversu nálægt jarðhitasvæðunum fastastöðvar þurfa að vera til að a.m.k fjórar þeirra skrái smáskjálftavirknina á hverju jarðhitasvæði. Í þá 12 daga sem Þeistareykjanetið starfaði, skráðust 28 skjálftar á Þeistareykjum, 6 á Kröflusvæði og 3 í Bjarnarflagi. Að auki skráðist mikil virkni á brotabeltinu fyrir norðan land.

17° 36'W 17° 24'W 17° 12'W 17° 00'W 16° 48'W 16° 36'W 16° 24'W 16° 12'W



17° 36'W 17° 24'W 17° 12'W 17° 00'W 16° 48'W 16° 36'W 16° 24'W 16° 12'W

Mynd 1. Kort af norðaustur gosbeltinu sem sýnir staðsetningu SIL stöðva (rauðir þríhyrningar), fyrirhugaðra SIL stöðva (rauðir hringir) og mælistöðva sem skráð var á tímabundið í september 1999 (bláir fylltir hringir). Skjálftar sem staðsettir voru með tímabundna netinu eru sýndir með svörtum stjörnum. Sprungusveimar og megineldstöðvar eru skyggð og helstu vegir og slóðar eru sýndir með svörtum og brúnum línum.

Á meðan skráning fór fram á Þeistareykjum voru staðhættir við fyrirhugaða mælistaði í fastanetinu kannaðir eftir því sem tími gafst til og einnig var skráð á þrem þeirra, við Krókóttuvötn vestur af Kröflu (**kn2**), við Gæsku á Þeistareykjum (**kn4**) og við Magnúsarhól norður af Þeistareykjabungu (**kn5**) (sjá mynd 1). Gæska er reyndar ein af stöðvum Þeistareykjanetsins, TH6. Könnun á bakgrunnssóróa þessara staða voru gerð skil í greinargerð sem var birt í nóvember 1999 (Kristín S. Vogfjörð 1999c) og endurprentuð er í Viðauka 2. Frekari úttekt á óróa við jarðhitasvæðið á Þeistareykjum var síðan birt í greinargerð í febrúar 2000 (Kristín S. Vogfjörð 2000b) og er hún endurprentuð í Viðauka 3.

2 UPPSETNING MÆLANETS

Þeistareykjanetið var sett upp á fimm dögum. Þrjú dagar fóru í að finna heppilega mælistaði, grafa um 70 cm djúpar holur fyrir nemana og steypa í botn þeirra. Undirlagið var alls staðar nútímahraun; venjulega misjafnlega mikið hallandi hraunklökk, sléttuð yfir með nokkurra cm þykkri hraðsteypu. Á hverjum mælistað var 20 lítra plasttunnu hvolft yfir nemann í holunni og mokað yfir. Nemarnir voru allir Lennarz-5s, sem hafa flata hraðasvörun fyrir tíðnir ofan við 0,2 Hz. Orion skráningartæki, sem safnaði og skráði merkið af nemanum (100 sinnum á sekúndu) var staðsett við hlið holunnar og GPS loftneti, sem skráði nákvæman tíma og staðsetningu á klukkustundarfresti, var komið fyrir í u.þ.b. 5 m fjarlægð frá holunni. Bílrafgeymar gáfu aflið til að keyra skráningartækin og nemana og var skipt um þá einu sinni á mælinatímabilinu. Mælitækjunum og hvernig gögnum er náð af þeim er nánar lýst í fyrri skýrslu um smáskjálftaskráningu í Kröflu árið 1997 (Kristín S. Vogfjörð 1999a). Þegar mælingum lauk voru öll tæki tekin upp og grafið aftur yfir holunnar, en tunnurnar voru skildar eftir í holunum og er því hægt að nota mælistaðina aftur ef nauðsyn krefur.

Tafla 1. Staðsetning og skráningartími mælistöðva. Allar stöðvarnar skráðu alla þrjá þætti hreyfingarinnar: lóðrétt, norður og austur.

Mælistöð	Númer Orions/nema	Upphaf skráningar	Endir	Breidd °N	Lengd °V	Hæð (m)
TH1	127/141	1999 09 11 17:08	09 23 13:04	65.90513	16.96369	381
TH2	128/147	11 14:50	11:24	65.87499	16.91872	545
TH3	113/151	12 17:27	19:38	65.82175	16.97462	461
TH4	130/225	11 19:37	14:19	65.86099	16.98531	399
TH5	119/184	11 12:12	09:44	65.84168	16.88280	506
TH6	121/147	12 14:12	15 14:46	65.85561	17.05571	393
MGN	129/224	14 18:29	16 14:51	65.97598	16.77876	320
KRV	129/224	22 18:34	24 10:31	65.71334	16.88256	635

Erfiðlega gekk að finna mælinum við Gæsku (**kn4**, TH6) stað. Reynt var að komast vestur fyrir Borgarhraunið, sem er úfið hraun frá nútíma, og vestur fyrir sprungusveiminn sem liggur norður með jaðri þess. Hryggurinn þar vestan við er myndaður úr eldri dyngjuhraunum og móbergi (Gestur Gíslason et al. 1984). Þar var jarðvegur hins vegar of þykkur, alls staðar sem borið var niður. Stöðin var því sett á klökk í sprungusveimnum, þar sem jarðvegur var nógu þunnur til að hægt væri að grafa með handaffi niður á klökkina. Stöðin undir Bæjarfjalli (TH4) var einnig í nálægð við misgengi og sjást þess merki í gögnum frá þessum tveim stöðvum;

bakgrunnshávaði, einkum á austur-vestur þætti mælanna, er hærri en annars staðar í netinu. Staðsetningar, skráningartímabil og númer mælitækja eru sýnd í töflu 1.

Áður en mælarnir voru settir út, voru þeir prófaðir innanhúss á Orkustofnun til að leita bilana. Sumar bilanir sem þá komu í ljós í skráningartækjum var hægt að laga, en aðrar ekki. Í ljós kom einnig að svörun Orion skráningartækis 120 var frábrugðin svörun annarra tækja og suð í skráningartæki 119 var um tíu sinnum meira en í hinum tækjunum. Aðrar tækjatrufanir varð ekki vart við. Bakgrunnshávaðinn í prófinu var nokkuð hár, eða um fimm sinnum meiri en seinna mældist á netið við Þeistareyki. Það er því hugsanlegt að púlsar á 1 sek. fresti, sem sennilega tengjast truflun frá GPS klukkunni, og komu vel upp úr bakgrunnssuðinu á stöðvum TH1, við Skildingahól, TH2, við Ketilfjall og TH3, í Borgarhrauni, hafi falist í bakgrunnshávaðanum í innanhússprófununum, því engir slíkir sáust þá. Orsakir þessara tækjatrufana gætu þó verið í uppsetningu stöðvanna. Svona púlsar, en um fjórum sinnum minni, sáust einnig á stöð TH6, við Gæsku. Þar var bakgrunnshávaði heldur meiri, en púslarnir náðu þó að gægjast upp úr honum. Á stöð TH4, við Bæjarfjall, þar sem hávaði var um tvöfalt meiri en á öðrum stöðvum, sáust engin merki um slíka púlsa. Heldur ekki á stöðum sem prófaðir voru fyrir fastastöðvar, **kn2**, við Krókóttuvötn og **kn5**, við Magnúsarhól. Vegna afbrigðilegrar svörunar skráningartækis 120 og bilunar í tæki 124 reyndist nauðsynlegt að nota tæki 119 í Þeistareykjanetinu og var það sett á stöð TH5, við Þórunnarfjöll. Hið mikla suð í tækinu gerði það að verkum að einungis sáust merki frá stærstu skjálftunum og nýttist stöðin því í fáum skjálftum. Eins og sjá má í töflu 1 stóð skráning á stöð TH6, við Gæsku aðeins í þrjá sólarhringa, til 15. september. Orsökina er líklega sú að diskurinn í skráningartækinu hafi losnað þegar skipt var um rafgeyma á stöðinni.

3 GÖGN OG ÚRVINNSLA

3.1 Órói á svæðinu

Vegna tækjatrufananna, sem ekki var hægt að sía í burtu, þurfti að leita handvirkt að skjálftum í tímaröðum frá stöðvum Þeistareykjanetsins og var fylgt sama ferli og lýst er í Kröfluskýrslu (Kristín S. Vogfjörð 1999a), til að koma gögnunum á rétt form fyrir staðsetningar- og brotlausnaforritin.

Óróa á Þeistareykjasvæðinu og á fyrirhuguðum fastastöðvum **kn2**, **kn4** og **kn5** hafa þegar verið gerð skil í fyrri greinargerðum höfundar (Kristín S. Vogfjörð 1999c, 2000b). Helstu niðurstöður þeirra voru: Að undanskildum tækjatrufunum í Þeistareykjanetinu var mestur hávaði á stöðvunum tveim sem lentu við sprungusveima, TH4 og TH6. Sá hávaði virtist breytilegur í tíma og háður vindi. Þar að auki var stöðugur órói allt skráningartímabilið á stöð TH4, sem næst er jarðhitasvæðinu. Hann var á tíðnisviðinu 3 – 7 Hz og mestur á láréttu þáttum mælisins (sjá mynd 5, Kristín S. Vogfjörð 2000b). Þessi órói er líklega frá jarðhitasvæðinu.

Staðsetning fastastöðvar **kn4**, við Gæsku um 5 km vestan við Þeistareyki, var óviðunandi og þarf að leita leiðar til að komast vestur fyrir sprungusveiminn og upp á ásinn norðan Hamrahlíðar. Ekki er þó hægt að fara lengra en 100 m frá ásnunum því sendiloftnetið, sem sendir í endurvarpa við Hamrabjörg, þarf að vera þar (sjá mynd 1, Kristín S. Vogfjörð 1999c). Ef ekki tekst að koma upp fastastöð við Gæsku, eru tveir aðrir ókannaðir valkostir nefndir í greinargerðinni: Mælifell, um 3 km norðar og Geitafell í Reykjahverfi.

Á fastastöð **kn5**, við Magnúsarhól í um 15 km fjarlægð frá jarðhitasvæðunum við Þeistareyki og í Öxarfirði, var óróinn eingöngu tengdur vindi, og stafaði líklega af því hversu hátt uppi

á hólnum stöðin var. Gróðurþekjan á svæðinu var of þykk til að hægt væri að grafa niður á klöpp, nema utan í hólnum sjálfum þar sem vindurinn gnauðaði. Í vindi gat hávaðinn yfirgnæft skjálftamerkin á tíðnum yfir ~ 15 Hz, en í logni var hins vegar mjög hljóðlát á öllum tíðnum yfir 1 Hz. Merki á stöðinni virtust annars hrein og lítið trufluð af nálægum jarðlögum. Nálægðin við hólinn er nauðsynleg til að sendiloftnet geti séð í topp Kröflu, en raunveruleg staðsetning nemans getur verið allt að 100 m frá honum. Áður en hægt er að festa þessa staðsetningu þarf að ganga úr skugga um tvennt; að örugglega sjáist í topp Kröflu, þ.e. að þráðlaus samskipti við Kröflu séu möguleg, og einnig að áhrifa vindsins gæti einungis alveg við hólinn. Því væri æskilegt að grafa dýpra niður á klöppina (1 – 2 m) og skrá aftur lengra frá hólnum, í > 20 m fjarlægð. Ef þessi staðsetning gengur ekki, er hugsanlegur annar valkostur á Dimmadalsási, um 7 km vestar. Þar eru hins vegar sömu vandamál við að glíma: Vindurinn og sjónlína yfir öxl Þeistareykjabungu í endurvarpa á Grjóthálsi (sjá mynd 1, Kristín S. Vogfjörð 1999c).

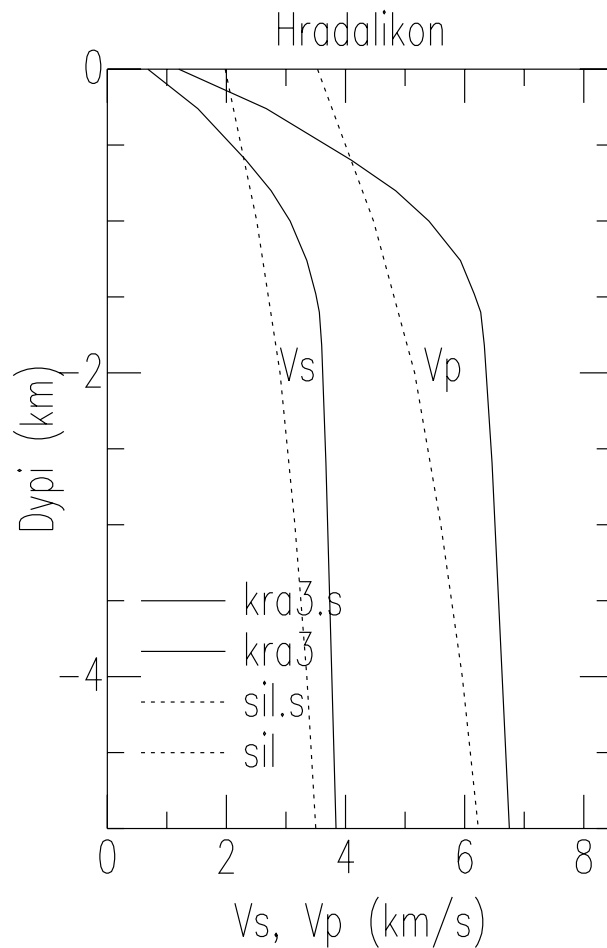
Á fastastöð **kn2**, við Krókóttuvötn um 5 km vestan við vinnslusvæðið í Kröflu, var bakgrunns-suð heldur meira en við Magnúsarhól, en stöðin var þó ekki eins viðkvæm fyrir vindi. Truflan-irnar eru helst í mörgum þröngum tíðniböndum milli 4 og 12 Hz, líkt og áður sáust í Sandabotna-skarði, um 5 km sunnan við vinnslusvæðið (Kristín S. Vogfjörð 1999a), en þó mun orkuminna. Þær stafa líklega af vinnslunni í Kröflu. Við blástur holna rýkur hins vegar hávaði á tíðnum milli 15 og 30 Hz upp í fimmfaldan styrk, sem er mun meiri truflun en sást í Sandabotnaskarði. Skjálftamerki virðast ekki mikið trufluð á stöðinni og gæði hennar virðast betri en í Reynihlíð vegna almennt minni bakgrunns hávaða (sjá myndir 4 og 5, Kristín S. Vogfjörð 1999c). Holu-blástur virðist þó geta valdið truflun á hærri tíðnum, en alvarleiki þeirrar truflunar fer þó eftir því hversu algengt er að hola blási í Kröflu. Eins og áður í Kröflu (Kristín S. Vogfjörð 1999a), þá sjást einnig púlsar í gögnunum með óreglulegu millibili, allt frá tuga mínútna til klukkustunda millibili. Orsök þeirra er ekki kunn, en þeir eru hugsanlega tengdir sendinum á Kröflufjalli.

3.2 Skráð skjálftavirkni

Tugir skjálfta skráðust á Þeistareykjanetið og Knet stöðvarnar tvær við Magnúsarhól og Krókóttuvötn. Fjærstu skjálftarnir voru í Eyjafjallajökli, Grímsvötnum, Öskju, Krísuvík og norður í hafi. Skjálftahrina var í gangi á brotabeltinu norður af Siglufirði og sáust flestir þeirra mjög vel. Þá skráðist einnig mikil virkni í Öxarfirði. Innan þess hluta NA gosbeltisins sem tilvonandi fastanet á að skynja, skráðust 3 skjálftar í Bjarnarflagi af stærð $M_L = 0,3 - 1,3$, 6 á Kröflusvæðinu af stærð $M_L = -0,1 - 1,2$ og 28 á Þeistareykjasvæðinu af stærð $M_L = -1,5 - 0,5$. Engir skjálftar í grennd við jarðhitasvæðið í Öxarfirði skráðust á Þeistareykjanetið. Mynd 1 sýnir dreifingu 49 nálægustu skjálfta (svartar stjörnur), sem netið skráði. Einhverjir fleiri skjálftar voru úti í Öxarfirði, en þar sem þeir voru utan svæðisins sem skoða átti, voru þeir ekki all-ir staðsettir. Auk þess eykst óvissa í staðsetningum, einkum stefnubundin (e. *azimuth*), með fjarlægð frá Þeistareykjanetinu. Af öllum þessum 49 skjálftum sáust einungis tveir af Öxarfjarðarskjálftunum og einn Bjarnarflagsskjálfti á landsneti Veðurstofunnar.

Hraðalíkan er ekki til fyrir Þeistareyki, en við staðsetningu skjálftanna var notað hraðalíkanið *kra3*. Það er einvitt líkan, þar sem hraði er einungis háður dýpi, og var áður notað við staðsetningar jarðskjálfta utan vinnslusvæðisins í Kröflu (sjá mynd 3b, Kristín S. Vogfjörð 1999a). Líkanið er nálgun á hraðalíkani, sem fékkst með túlkun sprengimælinga yfir Kröfluöskjuna (Bryndís Brandsdóttir et al. 1995, 1997) og innihélt það tvö þunn lághraðalög á 1,3 og 1,7 km dýpi. Nálgunarlíkanið er eins og það upprunalega, en án lághraðalaganna. Það er sýnt á mynd

2, ásamt *SIL* líkaninu til samanburðar, en það er notað í *SIL* kerfinu við staðsetningu flestra skjálfta sem skrást á landsnetið.



Mynd 2. *P*- og *S*-bylgjuhraði sem fall af dýpi. *SIL* hraðalíkan (brotin lína) er notað í *SIL* kerfinu við staðsetningu jarðskjálfta á flestum svæðum á Íslandi. *kra3* hraðalíkan (heil lína) er notað við staðsetningu jarðskjálfta á Þeistareykja-Kröflusvæðinu. Það nálgar hraðalíkan sem fékkst með sprengimælingum í Kröflu (Bryndís Brandsdóttir et al. 1995).

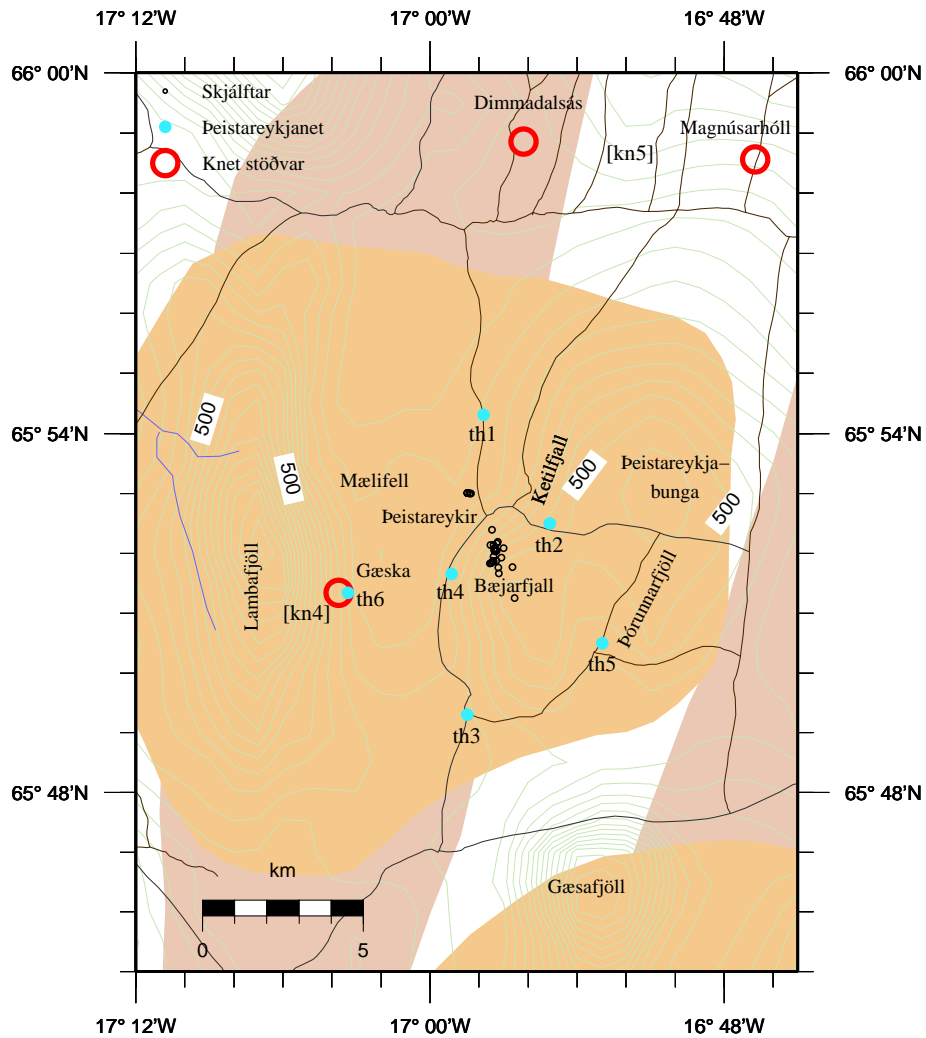
Skekka í hraðalíkani veldur skekkju í staðsetningum skjálfta. Skjálftar innan Þeistareykjasvæðisins eru þó vel umkringdir mælistöðvum og ætti því skekkjan aðallega að vera í dýpi. Reiknióvissa í staðsetningum skjálfta innan netsins stafar af ónákvæmni í tímaaflestrum og frávikum raunverulegs bylgjuhraða (í lárétta og lóðrétta stefnu) frá því hraðalíkani sem notað er. Algengast er að óvissan sé 200 – 300 m í lengd og breidd og 500 – 700 m í dýpi. Kerfisbundin skekkja sem gæti stafað af óviðeigandi hraðalíkani er líklega af svipaðri stærð, því þegar skjálftarnir voru staðsettir með hraðalíkani *SIL*, þá færðust þeir yfirleitt um 200 m vestar og um 1 km dýpra.

Af 28 skjálftum á Þeistareykjasvæðinu voru 25 nokkuð vel staðsettir. Þeir eru sýndir á mynd 3 og listaðir í töflu 2. Nær allir skjálftarnir eru undir norðanverðu Bæjarfjalli, við suðurenda sýnilegs yfirborðsjarðhita (sjá kort af útbreiðslu yfirborðsjarðhita á Þeistareykjum, Gestur Gíslason et al. 1984). Þeir falla nokkurn veginn á norð-suðlæga línu og bendir það sterkt til að þeir

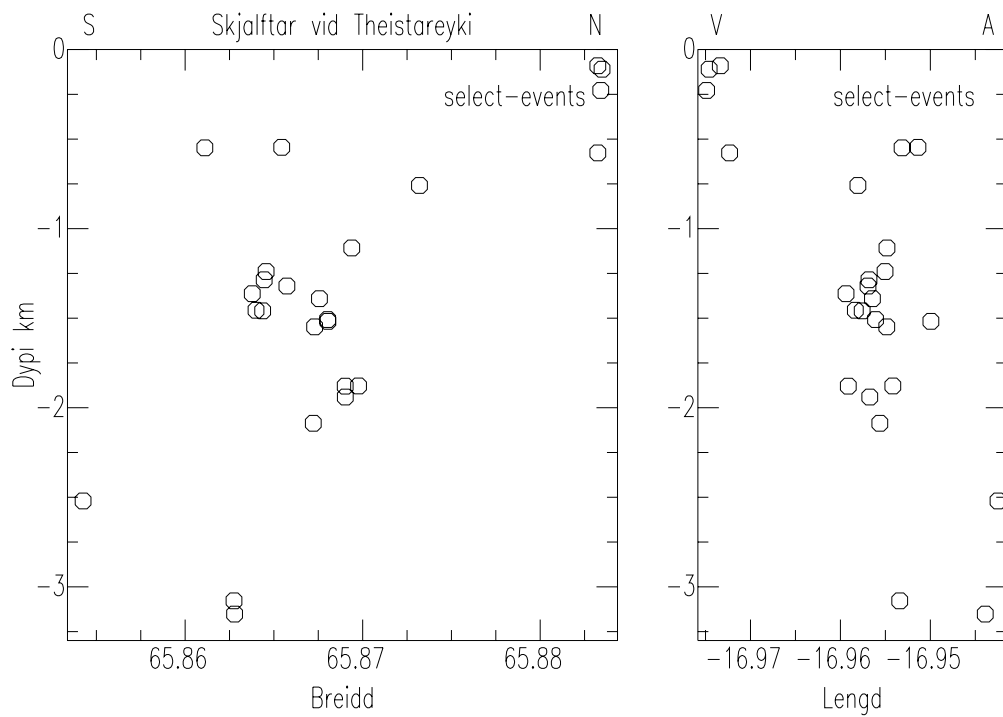
séu á sama misgenginu. Fyrir norðan Þeistareyki eru auk þess fjórir skjálftar með nánast sömu staðsetningu. Vegna þess hve þeir eru utarlega í netinu voru upphaflegar staðsetningar þeirra illa skorðaðar í A–V átt. Til að auka innbyrðis nákvæmni í staðsetningum þeirra var beitt víxlfylgni (*e. cross-correlation*) á alla *P* og *S* fasa á hverri stöð og færðust þeir þá allir í eina þyrpingu. Líklega myndi skjálftadreifin undir Bæjarfjalli eitthvað skerpast við slíka meðferð, en tími vannst ekki til þeirrar framkvæmdar. Skjálftarnir dreifa sér aðallega á dýptarbilið 0,5 – 2,1 km, en ekki er hægt að draga neinar ályktanir um halla misgengisins út frá skjálftadreifinni. Dreifing skjálftanna í lengd og breidd er sýnd á mynd 4. Af sprungukorti Þeistareykjasvæðisins (Gestur Gíslason et al. 1984), sést að NNA–SSV lægar sprungur liggja þvert yfir Bæjarfjallið og gæti einhver þeirra verið að hreyfast í skjálftunum. Yfirborðsjarðhitinn norðan Þeistareykja fylgir misgengi sem gengur norðvestur úr Bæjarfjalli. Aðalskjálftadreifin er við suðurenda þessa misgengis og nyrstu skjálftarnir fjórir eru einnig í námunda við það; nálægt Tjarnarási, um 700 m austar og um 500 m undir yfirborði. Það er því ekki ólíklegt að skjálftarnir tengist misgenginu, sem virðist vera vatnsleiðandi.

Tafla 2. Staðsetning og upphafstími skjálfta á Þeistareykjasvæðinu í september 1999. Nr. skj. = Númer skjálfta (mánaðardagur-númer); Fj. fasa = Fjöldi fasa sem notaðir eru við staðsetningu.

Nr. skj.	Fj. fasa	Upphafstími klst:mín:sek	Breidd °N	Lengd °V	Dýpi (km)	Stærð M_L
11-1	6	21:49:46.673 ± .248	65.8628 ± .0093	16.9534 ± .0124	3.08 ± 1.75	0,5
12-1	6	01:11:59.317 ± .248	65.8628 ± .0090	16.9439 ± .0154	3.15 ± 1.69	0,4
13-1	10	09:06:04.534 ± .039	65.8690 ± .0021	16.9591 ± .0059	1.88 ± 0.63	-0,2
13-2	10	09:18:03.996 ± .046	65.8672 ± .0022	16.9556 ± .0063	2.09 ± 0.62	-0,2
13-3	10	16:21:15.527 ± .026	65.8640 ± .0021	16.9583 ± .0054	1.45 ± 0.49	-0,3
14-1	9	03:55:53.638 ± .118	65.8543 ± .0060	16.9425 ± .0118	2.52 ± 0.87	-0,5
14-2	10	16:57:57.475 ± .026	65.8644 ± .0021	16.9576 ± .0054	1.46 ± 0.50	-0,7
14-3	10	16:58:37.254 ± .026	65.8645 ± .0021	16.9568 ± .0052	1.29 ± 0.54	-0,3
14-5	12	19:24:26.479 ± .031	65.8694 ± .0020	16.9548 ± .0049	1.11 ± 0.55	-0,5
15-1	10	07:17:46.385 ± .194	65.8832 ± .0015	16.9734 ± .0050	0.09 ± 0.34	0,0
15-2	10	08:46:46.281 ± .194	65.8835 ± .0015	16.9746 ± .0051	0.11 ± 0.37	-0,1
15-7	10	23:53:21.935 ± .025	65.8638 ± .0021	16.9594 ± .0069	1.36 ± 0.54	-0,4
16-2	9	10:05:14.133 ± .055	65.8680 ± .0047	16.9499 ± .0077	1.52 ± 0.91	0,1
18-2	9	19:51:04.256 ± .026	65.8680 ± .0018	16.9561 ± .0053	1.51 ± 0.58	0,1
18-3	8	20:01:20.494 ± .030	65.8673 ± .0021	16.9548 ± .0065	1.55 ± 0.62	-0,2
18-4	8	20:04:12.752 ± .135	65.8611 ± .0020	16.9531 ± .0053	0.55 ± 0.74	-1,3
20-1	8	15:41:51.610 ± .125	65.8654 ± .0021	16.9514 ± .0048	0.55 ± 0.71	-1,2
21-2	8	01:23:34.660 ± .046	65.8698 ± .0021	16.9542 ± .0072	1.88 ± 0.70	-0,7
21-3	8	01:40:46.652 ± .028	65.8646 ± .0021	16.9550 ± .0063	1.24 ± 0.68	-0,5
21-4	8	05:05:56.967 ± .027	65.8676 ± .0021	16.9564 ± .0062	1.39 ± 0.60	-0,4
22-2	8	18:31:50.629 ± .026	65.8657 ± .0021	16.9569 ± .0063	1.32 ± 0.61	-0,6
22-3	9	22:21:07.655 ± .169	65.8832 ± .0016	16.9723 ± .0068	0.58 ± 0.98	0,4
22-4	8	23:13:26.790 ± .215	65.8834 ± .0015	16.9749 ± .0069	0.23 ± 0.60	-1,5
22-5	8	23:14:52.322 ± .087	65.8732 ± .0019	16.9581 ± .0052	0.76 ± 0.79	0,1
23-2	8	04:15:58.301 ± .047	65.8690 ± .0022	16.9567 ± .0073	1.94 ± 0.68	-0,5



Mynd 3. Stækkað kort af Peistareykjasvæðinu og skjálftavirkni þar. Stöðvar Peistareykjanetsins og helstu kennileiti eru merkt inn á kortið. Skjálftavirknin raðar sér á N-S læga línu undir norðaustanverðu Bæjarfjalli og markar nokkurn veginn suðurjadar sýnilegs jarðhita á yfirborði.



Mynd 4. Dreifing vel staðsettra skjálfta á Þeistareykjasvæði í breidd (vinstri) og lengd (hægri). Hver skjálfti er sýndur með hring og stærð brotflatanna er svipuð og stærð hringanna, eða um 100–200 m að þvermáli. Skjálftadreifin gefur til kynna að líklega er þarna um eina, nær lóðrétta sprungu að ræða.

Brotlausnir allra skjálftanna og stærðir voru reiknaðar. Brotlausn lýsir þeim tveim mögulegu brotflötum sem geta framkallað útgeislunarmynstur skjálftans. Við túlkun þeirra ber þó að hafa í huga að tækjatrufnanirnar á sumum stöðvunum geta bjagað brotlausnirnar, ef truflana-púlsarnir lenda inni í P og S merkjunum. Truflunin er líklega minnst í stærstu skjálftunum, því þar er skjálftamerkið nógu stórt til að yfirgnæfa púlsana. Til að hafa samræmi sem mest í jarðskjálftastaðsetningunum voru komutímar á Þeistareykjanetið eingöngu notaðir, jafnvel þótt sumir skjálftanna hafi skráðst á Magnúsarhóli og í Krókóttuvötnum. Við brotlausnareikningana voru hins vegar öll tiltæk gögn notuð til að skorda brotflötina.

Við útreikninga á stærð skjálfta er gert ráð fyrir að á tíðnibilinu sem skoðað er, sé eini munurinn á svörum Orion mælakerfisins og SIL mælakerfisins fólgin í mögnunarþætti, þ.e. að mögnun Orion mælanna sé 7,35 sinnum meiri en SIL kerfisins (Kristín S. Vogfjörð 1999a). Ekki vannst þó tími til að sannreyna það með samhliða skráningu í SIL stöð. Þannig metnar verða stærðir skjálftanna tveggja í Öxarfirði og þess í Bjarnarflagi, sem einnig skráðust á landsnetið 1 – 1,3, eða minni en stærðirnar sem SIL kerfið ákvarðar, en þær eru á bilinu 1,3 – 1,9. Enginn skjálftanna þriggja er innan Þeistareykjanetsins og því ekki mikil nákvæmni í stærðarmati þeirra, en þó er hugsanlegt að mögnunarþátturinn í Orion mælunum sé eitthvað (\sim helmingi) minni en ætlað er.

Vafasamt er að túlka brotlausnir einstakra skjálfta, því sumar geta verið truflaðar af bakgrunns-hávaða eða tækjasuði, en flestar brotlausnirnar hafa annað brotplanið nær lóðrétt, nálægt N-S stríkstefnu, og lýsa sniðgengishreyfingum. Með tilliti til skjálftadreifingarinnar er þetta líklegra brotplanið. Algengust eru NNA-SSV vinstri handar sniðgengi, en einnig eru nokkur hægri handar sniðgengi.

4 SAMANTEKT OG UMRÆÐA

4.1 Skjálftavirkni jarðhitasvæðanna í norðaustur gosbelti

Smáskjálftaskráningarnar í Kröflu 1997 og á Þeistareykjum 1999 sýna að allnokkur virkni er innan jarðhitasvæðanna og að einungis lítið brot hennar skráist á núverandi landsnet Veðurstofunnar, en það skráir að jafnaði um 4 skjálfta á mánuði samanlagt á jarðhitasvæðunum í Kröflu, Bjarnarflagi, Þeistareykjum og Öxarfirði. Stærðarþröskuldur þeirrar virkni er $M_L \sim 1,5$. Skjálftaskráningin í Kröflu nam hins vegar um 1,5 skjálfta á dag innan Kröflusvæðisins, á stærðarbilinu $M_L = -0,7 - 0,6$, og skráning á Þeistareykjum nam um 2,3 skjálfta á dag á Þeistareykjasvæðinu, á stærðarbilinu $M_L = -1,3 - 0,5$. Skjálftar í Kröflu með $M_L \geq 0,3$ sjást vel innan Kröfluöskjunnar og sæmilega á Þeistareykjasvæðinu í um 20 km fjarlægð. Með viðbót nýju fastastöðvanna, **kn1** – **kn5** (sjá mynd 1), má því búast við að skjálftar af þessari stærð skráist á a.m.k. fimm stöðvar: **REN** og **kn1–kn4**, sem eru í innan við 21 km fjarlægð frá Kröflu.

Skjálftar í Bjarnarflagi með $M_L \geq 0,6$ sjást vel í 10 km fjarlægð í Kröflu og enn minni skjálftar, með $M_L \geq 0,3$ sjást sæmilega á Þeistareykjanetinu, í 20–30 km fjarlægð. Skjálftar stærri en $M_L = 0,3$ ættu því að skrást á sömu fimm stöðvarnar og virknin í Kröflu.

Á Þeistareykjum sjást skjálftar með $M_L \leq 0,1$ ekki vel út fyrir Þeistareykjasvæðið, en skjálftar með $M_L \geq 0,4$ sjást allvel á **kn5**, í 15 km fjarlægð og á **kn2**, í 19 km fjarlægð.

Engir skjálftar skráðust frá jarðhitasvæðinu í Öxarfirði og því er ekki hægt að spá fyrir um hvað mikil virkni myndi þar skrást með tilkomu nýju fastastöðvanna. Hins vegar er hægt að gera ráð fyrir að öll virkni með $M_L \geq 0,3$ á hinum þrem jarðhitasvæðunum, Bjarnarflagi, Kröflu og Þeistareykjum, muni nást á netið og skrást á a.m.k. 4 mælistöðvum. Þar með verður kominn grundvöllur fyrir beitingu afstæðra aðferða við staðsetningu skjálftanna og möguleiki á að kortleggja virkar sprungur undir yfirborði. Vatnsleiðandi sprungur eru líklegar til að vera virkar því þær þurfa að hreyfast til að viðhalda lekt sinni.

Með stærðarþröskuldinn við $M_L \sim 0,3$ sést ekki öll sú virkni sem hefur náðst með færanlegu netunum. Í Kröflu næmist um fimmtungur virkninnar, eða að jafnaði 1 skjálfti þriðja hvern dag. Á Þeistareykjum næmist um einn áttundi virkninnar eða um 1 skjálfti fjórða hvern dag. Virknin frá Bjarnarflagi, sem hefur náðst á færanlegu netin (í 10 – 32 km fjarlægð) er svipuð, eða um einn skjálfti þriðja til fjórða hvern dag. Af þessum þrem svæðum má því búast við um 26 skjálftum á mánuði sem verða nothæfir til sprungukortlagninga. Eftir 2–3 ár ættu því að hafa safnast 200–300 skjálftar af hverju svæði og sprungukortlagning geta hafist. Þó ekki hafi tekist að nema skjálfta frá jarðhitasvæðinu í Öxarfirði, er afstaða fyrirhugaðra fastastöðva til svæðisins þannig að **kn3** og **kn5** munu nýtast ásamt nálægustu stöðinni, **GIL** við staðsetningar skjálfta þar. Að auki mun væntanleg ný SIL stöð á vegum Veðurstofunnar, sem mun verða staðsett norðan Húsavíkur koma að notum.

Gæði gagnanna sem safnað hefur verið í Kröflu og á Þeistareykjum eru ekki næg til að hægt sé að beita afstæðum staðsetningaraðferðum á skjálftana sem hafa skráðst. Til þess að svo væri þyrfti klukkan í skráningartækinu að vera samfelld læst við GPS tíma. Skráningartækin bjóða upp á slíkt, en orkunotkun myndi aukast verulega og rafgeymar þá einungis endast í fáa daga. Smáskjálftavirknin sem hefur skráðst á þessi færanlegu net, einkum á Þeistareykjum þar sem bakgrunnshávaði er lítill, er hins vegar margföld miðað við þá virkni sem fastanet getur numið, og gefur nú þegar sterkar vísbendingar um sprungur sem tengjast lekt jarðhitasvæðanna: Um

Þriðjungur skjálftanna sem skráðust í Kröflu voru í innan við 400 m fjarlægð frá Hveragilsprungunni og því líklegir til að hafa verið á henni. Sú sprunga er einmitt eitt þeirra svæða sem álitlegust eru talin fyrir framtíðarvinnslu. Ennfremur þjappast nær öll virknin á Þeistareykjum á um 1 km langa, N-S læga línu; mjög líklega á sameiginlegan sprunguflöt undir suðurjaðri jarðhitasvæðisins. Betri færanleg mælitæki, þ.e. með samfelldum tímaskráningum til að auka tímanákvæmni, vindmyllu, sólarrafhlöðu og innhringisambandi til að spara þjónustu og auðvelda gagnasöfnun, eru nauðsynleg til að fá það magn og þau gæði sem gera afstæðar staðsetningar mögulegar. Slíkar stöðvar geta verið viðbót við fastanet, eða starfað sem lítið sjálfstætt tímabundið net og leyft kortlagningu sprungna þar sem virkni er nóg. Þær koma þó ekki í stað fastastöðva sem hafa, ef vel er staðið að uppsetningu, betra undirlag, minna suð og oft vandaðri tækjakost.

4.2 Uppbygging jarðskjálftamælanets í norðaustur gosbeltinu

Hér að framan hefur verið reifuð niðurstaða smáskjálftaskráningar í neti á Þeistareykjum og eldri skráningar í neti í Kröflu, ásamt forkönnun á nokkrum fyrirhuguðum staðsetningum fyrir fastastöðvar í NA gosbeltinu. Stærð skjálftanna sýnir að til að skrá virkni niður að $M_L \sim 0$, þurfa a.m.k. þrjár stöðvar að vera í innan við 20 km fjarlægð frá skjálftaupptökum. Til að skorða dýpi skjálftanna er einnig nauðsynlegt að hafa eina stöð í innan við 10 km fjarlægð. Ríkjandi sprungustefna í gosbeltinu er N-S læg og til að fá sem mesta nákvæmni á A-V staðsetningu sprungna er ákjósanlegt að hafa nálægustu stöð austan eða vestan við hvert jarðhitasvæði. Með tilliti til alls þessa var gerður uppdráttur að mögulegri uppsetningu fimm stöðva nets sem skyldi nema virkni jarðhitasvæðanna í Bjarnarflagi, Kröflu, Öxarfirði og á Þeistareykjum (Kristín S. Vogfjörð 1999b). Frumþættir netsins skyldu koma úr fyrrum starfandi neti Hitaveitu Akureyrar að Laugalandi í Eyjafirði. Á uppdrættinum var miðað við að sem flestar stöðvar gætu farið á móbergsundirlag og var því leitað færiss við móbergsstapana á svæðinu. Í ljós kom hins vegar að háir móbergsstapar hafa of þykkar skriður í hlíðum til að hægt sé að nálgast móbergið. Lágir móbergsgúlar eins og Sauðahnjúkur reyndust betur. Grágrýtislög eins og í Grjóthálsi virðast einnig vænleg, þó það hafi ekki verið sannreynt með skráningu ennþá. Við Ketilfjall á Þeistareykjum og við Magnúsarhól var einnig skráð á nútímahrauni þar sem það liggur sennilega ofan á eldri hraunlögum og virtust þeir staðir gefa gott undirlag, lítið suð og litla bjögun í merki. Fastastöðin í Reynihlíð (**REN**) hefur ekki reynst mjög næm á skjálftavirkni á Kröflusvæðinu og þess vegna er staðsetning **kn2** nær Kröflu æskileg. Hins vegar eru þá einungis 7 km á milli stöðvanna of því nýtni netsins ekki háværkuð. Hugsanlega mætti—að vel athuguðu máli eins og með forskráningu—færa **REN** stöðina vestur fyrir Mývatn og fá þar hljóðlátari stað og um leið betri horndreifingu umhverfis jarðhitasvæðið í Bjarnarflagi.

Í framhaldi af þessari forkönnun svæðisins þyrfti að halda áfram í sumar að finna endanlega staði fyrir **kn1**, **kn3** og **kn4** og skrá þar í 1–2 sólarhringa. Einnig þarf að athuga með sendiloftnetum hvort samband næst á milli **kn5** og Kröflu. Til að allt netið geti síðan farið af stað sumarið 2001, þarf auk þess að koma upp í sumar einni mælistöð með rafstöð og sendibúnaði. Þá mun veturinn nýtast til að byggja upp ferlið sem á að sjá um að koma gögnunum til skila inn í SIL kerfið. Stöðin mun senda þráðlaust í Kröflu. Þaðan munu gögnin fara um fjarskiptanet Landsvirkjunar til stjórnstöðvarinnar í Reykjavík. Þar þarf að koma merkinu áfram yfir á Veðurstofuna, sennilega um kapal sem þarf að plægja niður. Þá þarf einnig að fara fram að lögun samskiptahugbúnaðar til að SIL kerfið geti haft samskipti við stöðina. Þegar hefur verið gengið

úr skugga um að staðsetning **kn2** við Krókóttuvötn virðist góð og gæti hún verið fyrsta stöðin sem sett verður upp. Hún er nálægt Kröflu og því ekki langt að fara ef nauðsynlegt verður að þjónusta hana yfir veturinn. Í hana vantar nemann, vindmyllu og sólarrafhlöður. Kostnaður við alla þætti uppbyggingar netsins er upptalinn í fyrri greinargerð höfundar (Kristín S. Vogfjörð 1999b) og eru þær kostnaðartölur enn í gildi. Í greinargerðinni er gert ráð fyrir Lennarz 1s nemum. Ef valinn er 5s nemi er hann kr. 200 þús. dýrari.

Í ársbyrjun 2000 var send styrkumsókn á vegum allra íslenskra jarðvísindastofnana sem stunda jarðskjálftamælingar, til Rannsóknarráðs Íslands og annarra aðila sem talið var að hefðu áhuga á að hágæða færanlegur jarðskjálftamælabanki kæmist á laggirnar á Íslandi. Ítarlega lýsingu á þessum fyrirhugaða mælabanka og tilgangi hans er að finna í greinargerð höfundar sem birtist í janúar síðastliðnum (Kristín S. Vogfjörð 2000a). Fjárveiting hefur nú fengist frá RANNÍS fyrir nokkrum skráningartækjum og frá Viðlagatryggingu fyrir þrem nemum. Skráningartæki eru í örri þróun eins og stendur, því helstu tækjabankar í Bandaríkjunum og Bretlandi eru að endurnýja tækjakost sinn, en vegna stærðar sinnar hafa þeir veruleg áhrif á þróun markaðarins. Á komandi hausti ætti að vera orðið ljóst hvaða tæki verða ofan á og mun þá vænlegast að hefjast handa um uppbygginguna. Ef vel gengur og áframhaldandi stuðningur fæst, ætti fullkominn 5 – 10 mæla færanlegur mælabanki að vera orðinn að veruleika í árslok 2001. Slíkur mælabanki getur verið mjög gagnlegur fyrir tímabundna skráningu smáskjálfta innan jarðhitasvæðanna.

5 ÞAKKIR

Skráningartæki og mælar sem notaðir voru við mælingar voru fengnir að láni hjá Háskólanum í Uppsölum. Við staðsetningar, stærðarmat og brotlausnaákvörðun á skjálftum var notaður SIL hugbúnaðurinn sem saminn er af Ragnari Slunga og Reyni Böðvarssyni við Háskólann í Uppsölum, ásamt viðbótum frá starfsfólki Jarðeðlissviðs Veðurstofu Íslands og er hann notaður með þeirra leyfi. Við aðra úrvinnslu gagnanna var notaður hugbúnaðarpakkinn SAC (Seismic Analysis Code) frá Lawrence Livermore Laboratories.

6 HEIMILDIR

- Bryndís Brandsdóttir, W. Menke, Páll Einarsson, R. White and R. Staples 1995. Crustal structure of the Krafla central volcano in the Northern Volcanic Zone of Iceland as determined through seismic observations. Skýrsla RH-95-05, Raunvísindastofnun Háskóla Íslands.
- Bryndís Brandsdóttir, W. Menke, Páll Einarsson, R. S. White and R. K. Staples 1997. Faroe-Iceland ridge experiment 2. crustal structure of the Krafla central volcano. *J. Geophys. Res.* 102, 7867–7886.
- Gestur Gíslason, Gunnar V. Johnsen, Halldór Ármannsson, Helgi Torfason and Knútur Árnason 1984. Þeistareykir. Yfirborðsrannsóknir á háhitasvæðinu. Skýrsla OS-84089/JHD-16, Orkustofnun.
- Kristján Ágústsson 1999. Jarðskjálftahrina á Hellisheiði og í hengli í maí-júlí 1998. Greinargerð VÍ-G98040-JA06, Veðurstofa Íslands.
- Kristján Ágústsson, Sigurður Th. Rögnvaldsson, Bergur H. Bergsson and Ragnar Stefánsson 1998. Jarðskjálftamælanet Veðurstofu Íslands og Hitaveitu Suðurnesja - lýsing á mælaneti og fyrstu niðurstöður. Skýrsla VÍ-R98002-JA02, Veðurstofa Íslands.
- Kristín S. Vogfjörð 1999a. Smáskjálftar í Kröflu í lok borunar holu KJ-31 í október 1997. Skýrsla OS-99012, Orkustofnun.
- Kristín S. Vogfjörð 1999b. KNET: Tillögur að uppsetningu mælanets til skráningar smáskjálfta á háhitasvæðunum við Námafjall, Kröflu, Þeistareyki og í Öxarfirði. Greinargerð KSV-99/01, Orkustofnun.
- Kristín S. Vogfjörð 1999c. Forkönnun mælistaða fyrir skjálftamælanet í NA gosbeltinu. Greinargerð KSV-99/02, Orkustofnun.
- Kristín S. Vogfjörð 2000a. Markmið með uppbyggingu jarðskjálftamælitækni á íslenskum jarðsvísindastofnunum. Greinargerð KSV-00/01, Orkustofnun.
- Kristín S. Vogfjörð 2000b. Könnun á bakgrunnsóroa við jarðhitasvæðið á Þeistareykjum. Greinargerð KSV-00/02, Orkustofnun.
- Kristín S. Vogfjörð 2000c. Kortlagning brotflata með smáskjálftum í nágrenni Grændals. Skýrsla OS-00031, Orkustofnun.
- Sigurður Th. Rögnvaldsson 2000. Kortlagning virkra misgengja með smáskjálftamælingum – yfirlit. Skýrsla VÍ-R00001-JA01, tekið saman af Þóru Árnadóttur og Kristínu S. Vogfjörð, Veðurstofa Íslands.
- Sigurður Th. Rögnvaldsson, Gunnar B. Guðmundsson, Kristján Ágústsson, Steinunn S. Jakobsdóttir, Ragnar Slunga and Ragnar Stefánsson 1998b. Overview of the 1993–1996 seismicity near Hengill. Skýrsla VÍ-R98006-JA05, Veðurstofa Íslands.
- Sigurður Th. Rögnvaldsson, Kristján Ágústsson, Bergur H. Bergsson and Grímur Björnsson 1998a. Jarðskjálftamælanet í nágrenni Reykjavíkur - lýsing á mælaneti og fyrstu niðurstöður. Skýrsla VÍ-R98001-JA01, Veðurstofa Íslands.
- Sigurður Th. Rögnvaldsson, Kristín S. Vogfjörð and Ragnar Slunga 1999. Kortlagning brotflata á Hengilssvæði með smáskjálftum. Skýrsla VÍ-R99002-JA01, Veðurstofa Íslands.

7.1 Greinargerð 1: Tillaga að uppsetningu

ORKUSTOFNUN
Rannsóknasvið

Greinargerð
KSV-99/01

KNET: Tillögur að uppsetningu mælanets til skráningar smáskjálfta á háhitasvæðunum við Námafjall, Kröflu, Þeistareyki og í Öxarfirði

ÁGRIP

Í lok árs 1999 verður smáskjálftanet, sem starfrækt er í Eyjafirði í tengslum við niðurdælingu við Laugaland, tekið niður og losna þá 5 mælistöðvar, sem hægt er að nota til uppbyggingar nýrra mælikerfa. Hér á eftir verða reifaðar hugmyndir að uppsetningu mælaneta í nýju smáskjálftaneti sem skrá mun skjálftavirkni í Kröflu, Bjarnarflagi, á Þeistareykjum og í Öxarfirði. Markmiðið með netinu er að gera kleifa notkun afstæðra aðferða, sem staðsetja skjálfta á jarðhitasvæðunum nógu nákvæmlega til að kortleggja megi þar sprungur undir yfirborði, en sprungurnar endurspeglar líklegar rennislísiðir jarðhitavatns í háhitakerfunum. Slík kortlagning hefur mikið hagnýtt gildi fyrir orkufyrirtækin sem vinna, eða hyggja á vinnslu á þessum svæðum, þ.e. Landsvirkjun, Þeistareyki ehf. og Íslenska orku ehf. Uppbygging netsins og útfærsla við gagnaflutninga hefur einnig upplýsingatæknilegt gildi og hefur Háskólinn á Akureyri lýst áhuga á aðild að slíku verkefni í tengslum við námsbraut í upplýsingatækni.

NETIÐ

Sex stöðva jarðskjálftamælanet sem starfað hefur í Eyjafirði frá því í september árið 1997, verður tekið niður í árslok 1999, þegar rannsóknaverkefni í tengslum við niðurdælingu í borholur lýkur. Fimm af mælum netsins verða fjarlægðir, en einn skilinn eftir. Netið, sem er að mestu í eigu Hitaveitu Akureyrar, er byggt upp af þriggja þátta (1 lóðréttur og 2 láréttir) stuttbylgju skjálftanemum, SM-6/A4.5 með flata hraðasvörun í tíðni fyrir ofan 4.5 Hz. 24-bita Nanometrics A/D breyta safnar stafrænum gögnum frá nemanum, en þau fara svo áfram um nokkur hundruð metra langan ljósleiðara í PC tölvu sem keyrir Linux stýrikerfi. Á tölvunni er keyrður fasafinnur (phase detector), sem leitar að skjálftafösum, svo og annar hugbúnaður til staðsetningar og sjálfvirkrar úrvinnslu. Mælakerfið og hugbúnaðurinn eru svipaðrar gerðar og í Landsneti Veðurstofu Íslands (SIL), með nokkrum frávikum þó; nemarnir, stafsetjararnir, samskiptamátinn og stýrikerfi tölvanna eru ekki þau sömu.

Þegar Laugalandsnetið verður lagt niður losnar fimm stöðva mælakerfi, sem býður upp á svipaða netuppsetningu annars staðar þar sem áhugi er fyrir skráningu og nákvæmri staðsetningu smáskjálfta. Hitaveita Akureyrar er aðili að félögum um vinnslu jarðhitasvæðanna við Þeistareyki og í Öxarfirði og liggur því beinast við að senda hluta mælakerfisins þangað, en með því að teygja netið í suður fæst uppsetning, sem ásamt SIL stöðvum Veðurstofu Íslands, leyfir skráningu og staðsetningu skjálftavirkni í Kröflu og Bjarnarflagi (sjá mynd). Afstaða mælistöðva til

Þessara svæða er einnig listuð í meðfylgjandi töflu. Af mynd og töflu má sjá að mælistöðvarnar eru nokkuð jafnt dreifðar umhverfis jarðhitasvæðin fjögur og fjarlægð til fimm næstu stöðva, frá hverju svæðanna er á bilinu 2–36 km. Besti árangur í kortlagningu sprungna á jarðhitasvæðum með smáskjálftum hefur náðst við Hengil (Sigurður Th. Rögnvaldsson et al. 1998a,b, 1999), en þar er skjálftasvæðið umkringgt af fimm mælistöðvum í u.þ.b. 5–20 km fjarlægð, og næmni netsins áreiðanleg niður að stærð 0.0. Með svipaða fjarlægð á milli stöðva í *kneti* má búast við álíka árangri þar.

Stöð	Bjarnarflag		Krafla		Þeistareykir		Öxarfjörður	
	Fjarl. (km)	Stefna	Fjarl. (km)	Stefna	Fjarl. (km)	Stefna	Fjarl. (km)	Stefna
kn1	10	125°	17	160°	32	155°	53	185°
kn2	9	355°	3	275°	15	165°	40	200°
kn3	26	25°	17	30°	16	90°	23	185°
kn4	23	340°	17	320°	3	240°	33	220°
kn5	39	0°	30	355°	16	15°	16	240°
ren	2	245°	10	205°	24	170°		
gra					27	280°		
gil					36	50°	10	90°
lei							37	5°
grs	34	95°	33	105°				
sva	38	210°						

Á tímabilinu des. 1993 til mars 1999 hefur Landsnet Veðurstofunnar skráð um 140 skjálfta í nágrenni Kröflu og Bjarnarflags, eða rúmlega tvo á mánuði. Á sama tímabili hafa skráðst um 70 á Þeistareykjum, eða u.þ.b. einn á mánuði. Við núverandi aðstæður nær Landsnetið ekki að skynja alla skjálfta á þessum svæðum, sbr. niðurstöður könnunar á smáskjálftavirkni í Kröflu í okt. 1997 (Kristín S. Vogfjörð 1999a), en einungis einn þeirra 18 skjálfta sem skráðust á 10 daga tímabili fannst á Landsnetinu; þó ekki svo vel að bylgjugögn væru geymd. Með þéttara mælaneti umhverfis svæðin má gera ráð fyrir að virkni niður að stærð 0.0 myndi mælast, og miðað við svipaða virkni og á Kröflusvæðinu í okt. 1997, ætti netið að skynja 30–50 sinnum fleiri skjálfta en landsnetið gerir í dag.

Í þeirri uppsetningu sem sýnd er á myndinni er engin stöð í nálægð rafmagns, og þurfa allar að keyrast á vind- og sólarorku. Á liðnu ári hefur Veðurstofan verið að koma í gagnid mælistöðvum uppi á hálandinu, þar sem vind- og sólarorka er notuð til að knýja mæli og skráningartæki, og samskipti eru um farsíma. Vandamál hafa verið með farsímasambandið og til að leysa það hefur verið fengið leyfi frá Póst- og Fjarskiptastofnun fyrir notkun Spread-Spectrum mótalda t.d. á Grímsfjalli og Vatnsfelli, sem gera þráðlaus samskipti auðveldari og minnka orkuþörfina. Athuga þarf hvort leyfi fáiast fyrir notkun mótalda á Kröflu-Þeistareykjasvæðinu til innbyrðis samskipta í netinu. Skv. Bergi H. Bergssyni tæknimanni á Jarðeðlissviði Veðurstofu Íslands, má hugsanlega útfæra samskiptin þannig að uppi á Kröflufjalli yrði komið fyrir 1-2 mótöldum sem væru notuð sem 'repeaters' og myndu allar mælistöðvar senda merkin í gegnum þau í stjórnstöð í Kröflu, þar sem tölvurnar væru staðsettar. Tölvurnar ynnu úr gögnunum og sendu síðan fasaupplýsingar áfram um fjarskiptakerfi Landsvirkjunar til Reykjavíkur. Frá stjórnstöð Landsvirkjunnar þyrftu gögnin svo að komast yfir á Veðurstofu (um 200 m) og gætu þau farið um breiðbandið, eða sérstakan kapal. Gróf hugmynd að þessu fyrirkomulagi hefur verið rædd

við Guðmund Gunnarsson, á Fjarskiptadeild Landsvirkjunar og telur hann ekki ólíklegt að leyfi gæti fengist fyrir því innan Landsvirkjunar.

Með tilkomu netsins mun álag vegna sjálfvirkrar og gagnvirkrar úrvinnslu á Veðurstofu Íslands aukast eitthvað. Hugsanlega má minnka það álag með því að setja netið upp eins og það er á Laugalandi, þ.e. úrvinnslutölvan verður einnig í Kröflu, þar sem sjálfvirku staðsetningarforritin eru keyrð, skjálftagögnum safnað af nemunum og gögnin síðan send til Reykjavíkur. Gagnvirki þátturinn yrði þó að fara fram á Veðurstofunni.

Tillaga þessi, um uppsetningu KNETs hefur verið lögð fyrir aðila Jarðeðlissviðs Veðurstofu Íslands, þar sem hún hefur fengið jákvæða umfjöllun.

FRAMKVÆMD OG KOSTNAÐUR

Af núverandi tækjum og uppsetningu í Laugalandnetinu ætti að vera hægt að nota allt aftur nema tunnurnar sem hýsa mælana (lokin mætti hugsanlega nota aftur) og ljósleiðarana sem flytja merkið úr nemanum í tölvuna. Líklega væri ástæða til að skipta nemunum út fyrir Lennarz nema með 1 Hz horntíðni til að hafa breiðara band til að vinna með, en suð á Kröflusvæðinu takmarkar vinnanlegt band við tíðni undir ~ 15 Hz. Með Lennarz 1 s nemum er einnig meira samræmi við landsnetið, en það er aðallega byggt upp af Lennarz 1 s og 5 s nemum, ásamt fjórum Guralp breiðbandsnemum. Sm-6/A4.5 nemarnir væru þá kjörin byrjun að langþráðum færanlegum mælabanka á Íslandi, en fyrirhugað er að sækja um framlag í hann á næsta ári frá RANNÍS og íslenskum orkufyrirtækjum, sem hefðu hag af því að slíkur banki kæmist á laggirnar. Mælabankinn yrði í umsjá og eigu þeirra íslensku rannsóknastofnana sem stunda jarðskjálftarannsóknir og Hitaveita Akureyrar væri þá fyrst orkufyrirtækja til að leggja fram tæki í bankann.

Sá búnaður sem þegar er fyrir hendi á Laugalandi, og nýttur verður áfram, er metinn á ~ 500 þús. fyrir hverja stöð. Í fyrirhugaðri uppsetningu er engin stöð við rafmagn, heldur allar keyrðar á eigin orku. Áætlaður viðbótarkostnaður við hverja þeirra er eftirfarandi (ef spread-spectrum mótöld eru notuð við innbyrðis samskipti):

Vindmylla	100 þús.
Sólarrafhlaða	60 þús.
Þrír 115 Ahr geymar	45 þús.
Mótöld (sendir og móttakari)	200 þús.
Tunna utan um mæli	40 þús.
Jarðvinna og annar efniskostnaður	450 þús.
	<u>895 þús.</u>
Ef neminn er ekki notaður bætast við	~ 300 þús. †
Samtals:	<u>1195 þús.</u>

†) Kostnaður áætlaður út frá verði ársins 1993. Auk þessa búnaðar þyrfti sennilega tvö mótöld til viðbótar sem 'repeaters' á Kröflufjalli, en kostnaður við þau er 200 þús. Heildarkostnaður við hverja stöð er þá um 1700 þús.

Ef sjálfvirki hluti úrvinnslunnar fer fram í Kröflu bætist við kostnaður vegna aðlögunar hugbúnaðar. Áætlaður kostnaður við u.þ.b. 3 mán. vinnu er 2100 þús.

Ef einhver stöðvanna kæmist í rafmagn yrði áætlaður tilkostnaður við hana eftirfarandi:

Tunna utan um mæli	40 þús.
Kapall frá tunnu í hús	60 þús.
Jarðvinna við kapal	100 þús.
Jarðvinna og annar efniskostnaður	450 þús.
X-25 kort í tölvu	<u>120 þús.</u>
	770 þús.
Ef neminn er ekki notaður bætast við	~ 300 þús.
Samtals:	1070 þús.

X-25 kortið er nauðsynlegt til að hafa samskipti um símalínur, en verið er að þróa hugbúnað á Veðurstofunni sem sér um samskipti í gegnum kortið undir Solaris stýrikerfi.

Kostnaður við að kaupa og grafa niður kapal um 200 m, frá stjórnstöð Landsvirkjunar yfir á Veðurstofu Íslands er gróflega áætlaður um 400-500 þús. Kostnaður við að leigja pláss á breiðbandinu er ekki þekktur.

Til að hægt sé að hefjast handa strax þegar mælarnir losna í vetur, þarf að hefja forkönnun í sumar, með því að fara með færanlega mæla á svæðin sem merkt eru sem ákjósanlegir mælistaðir á myndinni. Jafnframt væri áhugavert að kanna nánar virknina við Þeistareyki með því að setja þar 5–6 stöðva tímabundið net til að afmarka virknina um leið og góður staður er fundinn fyrir stöðvar. Mælar og söfnunartæki, í láni frá Uppsala háskóla, komu til landsins í júní og best væri að fara með þá í ágúst, en þá er snjór örugglega farinn af svæðinu. Síðan mætti nota veturinn til úrvinnslu gagnanna og undirbúning og jarðvinnu við mælistöðvar, þannig að mælarnir gætu farið í tilbúnað holurnar sumarið 2000. Áætlaður kostnaður við forkönnun og úrvinnslu er eftirfarandi:

Mælingar tveggja sérfræðinga í 2 vikur	653 þús.
Kostn v/bíls í 2 vikur	135 þús.
Staðsetningartæki í 2 vikur	22 þús.
Úrvinnsla gagna í 8 vikur	<u>1306 þús.</u>
Samtals:	2116 þús.

Í áætluninni er gert ráð fyrir að Landsvirkjun sjái starfsmönnum fyrir fæði og húsnæði í Kröflubúðum í þær tvær vikur sem mælingar standa yfir.

REKSTUR OG ÚRVINNSLA GAGNA

Ef sjálfvirki þáttur úrvinnslunnar yrði ekki í Kröflu, færu fasagögnin úr *knet* með gögnum frá öðrum stöðvum í Landsnetinu inn í sjálfvirkan hugbúnað í stjórnstöð Veðurstofunnar í Reykjavík, þar sem raunverulegir skjálftar væru vinsaðir úr og beiðni um bylgjugögn fyrir þá send aftur út á mælistöðvarnar. Síðan færu bylgjugögnin í kerfisbundna gagnvirka úrvinnslu ásamt öllum öðrum bylgjugögnum úr Landsnetinu. Ef miðað er við að virkni á öllum jarðhitasvæðunum sé svipuð og á Kröflusvæði má búast við aukningu um 4–6 skjálfta á dag, að jafnaði, miðað við núverandi ástand. Þó fjölgun skjálfta sé ekki stórkostleg, er hins vegar líklegt að fjöldi fasaupplýsinga sem ekki væru raunverulegir skjálftar myndi aukast verulega og líklega þyngja sjálfvirka úrvinnslu á Veðurstofunni. Sjálfvirk úrvinnsla í Kröflu myndi líklega stemma stigu við þeirri aukningu.

Rekstur netsins væri á hendi Veðurstofunnar og myndi hún skila mánaðarlegu yfirliti um skjálfta-

virgni svæðanna. Innan eins til tveggja ára mætti búast við að safnast hefði nægilegt magn gagna til að hefja frekari úrvinnslu með afstæðum staðsetningaradferðum, og að eftir um þrjú til fjögur ár færu útlínur sprungukerfa að verða skýrar. Þessi ýtarlegri úrvinnsla yrði á höndum sérfræðinga Orkustofnunar og Veðurstofunnar, og færi fram í sérstaklega fjármögnum verk-efnum, með líku fyrirkomulagi og kortlagningarverkefni á Hengilssvæði, sem unnin hafa verið fyrir Hitaveitu Reykjavíkur, og verkefni við Trölladyngju á Reykjanesi, sem er að hefjast fyrir Jarðlind ehf. Erfitt er að meta fyrirfram kostnað við slík verkefni, hann fer eftir umfangi gagna og úrvinnslu, en lauslega áætlað má gera ráð fyrir um 2 M krónum á ári.

Tölvurnar væru allar hýstar í Kröflu og umsjón þeirra og gagnaflutningur frá þeim væri á veg-um Landsvirkjunar, en sú þjónusta felst aðallega í því að endurræsa tölvurnar þegar með þarf. Viðhald á mælistöðvunum sjálfum væri á höndum sérfræðings frá Veðurstofu Íslands. Hugsan-lega mætti líka samnýta sérfræðing á útibúi Orkustofnunar eða Háskóla Íslands á Akureyri til viðhalds á mælistöðvunum.

HEILDARKOSTNAÐUR VIÐ UPPSETNINGU OG REKSTUR

Heildarkostnaður við uppsetningu netsins er:

5 Laugalandsstöðvar	$0,5 \text{ M} \times 5 =$	2,5 M
Viðbót við 5 Laugalandsstöðvar:	$1,2 \text{ M} \times 5 =$	6,0 M
Mótöld/repeaters á Kröflu:		0,2 M
Efniskostnaður og jarðvinna við kapal:		0,5 M
Forkönnun og úrvinnsla		<u>2,1 M</u>
Samtals:		11,3 M
Kostnaður vegna reksturs:		1,5 M/ári

Ef sjálfvirk úrvinnsla fer fram í Kröflu eykst kostnaður um 2,1 M vegna hugbúnaðarþróunar. Þá ber einnig að athuga að um þriðjungur kostnaðar við hverja stöð (alls 2,8 M) er vegna jarðvinnu, en hana er líklegt að starfsmenn viðkomandi orkuveitna geti framkvæmt sjálfir, e.t.v með minni tilkostnaði.

Áætlaður rekstur netsins og grunnvinna við staðsetningu og vistun gagna mun kosta Veðurstof-una um 1,5 M á ári og eðlilegast er að orkuveiturnar greiði þann rekstur.

Eins og netið er uppbyggt (sjá mynd) nýtast stöðvar kn1, kn2, kn3 og kn4 til skráningar smá-skjálftavirkni í Kröflu og Bjarnarflagi, stöðvar kn2, kn3, kn4 og kn5 við skráningu virkni á Þeistareykjum og stöðvar kn3 og kn5 við skráningu virkni í Öxarfirði. Það liggur því beinast við að kostnaðarhlutfall aðilanna sem að netinu standa sé í hlutfalli við þessa skiptingu, þ.e. Landsvirkjun 46.6% (2 1/3 stöðvar), Þeistareykir ehf. 36.7% (1 5/6 stöðvar) og Íslensk orka ehf. 16.7% (5/6 stöðvar). Hitaveita Akureyrar leggur með sér 2,5 M í Laugalandnetinu sem kemur til frádráttar framlagi þeirra í netið, svo og framlag Landsvirkjunar til uppihalds tveggja starfsmanna við forkönnun ~0,2 M. Að auki er framlag Hitaveitunnar í færanlegan mælbanka, fimm SM-6/A-4.5Hz mælar, um 0,3 M.

7.2 Greinargerð 2: Forkönnun mælistaða

ORKUSTOFNUN
Rannsóknasvið

Greinargerð
KSV-99/02

Forkönnun mælistaða fyrir skjálftamælanet í NA gosbeltinu

Inngangur: Á 12 dögum í byrjun september var sett upp jarðskjálftamælanet umhverfis Þeistareyki til að kanna staðsetningu og stærð skjálfta á svæðinu, vegna fyrirhugaðrar uppbyggingar fimm stöðva fastanets á norðaustur gosbeltinu. Ennfremur var áhugi fyrir því að kanna suð á ósnortnu jarðhitasvæði, áður en það væri tekið til vinnslu. Þannig væri hægt að læra að greina á milli vinnslutengds suðs og náttúrulegs suðs, en það gæti haft hagnýtt gildi við könnun og vöktun svæðisins í framtíðinni. Á sama tíma og skráð var í Þeistareykjanetinu, var leitað staðsetninga fyrir stöðvar fastanetsins. Þetta nýja fastanet, sem mun tengjast landsneti Veðurstofunnar á að geta skráð skjálftavirkni á virkjunarsvæðunum í Bjarnarflagi, Kröflu, Þeistareykjum og í Öxarfirði. Samskipti í netinu verða þráðlaus og munu allar stöðvar senda í móttakara á Kröflufjalli. Síðan munu gögnin fara um fjarskiptanet Landsvirkjunar til Reykjavíkur.

Um framkvæmd mælinganna sáu Kristín S. Vogfjörð og Sigvaldi Thordarson, en hann var síðan leystur af á seinni hluta tímabilsins af Bjarna Gautasyni. Uppsetningin fólst í því að grafa um 70 cm djúpa holu niður á klöpp, eða hraun og steypa þar lárétta undirstöðu undir skjálftanemann. Þar utan um var sett plasttunna og síðan mokað yfir. Skráningartæki, loftnet og rafgeymir voru hins vegar ofanjarðar. Framkvæmdir hófust 7. sept. með því að leitað var staða fyrir Þeistareykjanetið, grafnar holur og steipt í botninn. Síðan var netið sett upp á tveim dögum, þann 11. og 12. sept. Eftir það var hafist handa við að leita staðsetninga fyrir fastastöðvar. Þá var einnig farið í allar stöðvar netsins þann 15. og athuguð skráning og skipt um geyma. Mynd 1 sýnir staðsetningu stöðva í Þeistareykjanetinu svo og mögulegar staðsetningar fastastöðva. Þær eru nánast hinar sömu og upphaflega var áætlað í greinargerð frá maí síðastliðnum (Kristín S. Vogfjörð 1999b).

Við núverandi ástand er, skv. gagnagrunni Veðurstofu Íslands, fjöldi skráðra skjálfta á jarðhitasvæðunum fjórum að meðaltali eftirfarandi:

Krafla + Bjarnarflag	~2.2/mán
Þeistareykir	~1.2/mán
Öxarfjörður	~0.5/mán

En eins og fyrri skráning Orkustofnunar í Kröflu 1997 benti til (Kristín S. Vogfjörð 1999a), þá nemur núverandi mælanet Veðurstofunnar aðeins hluta af skjálftavirkni þessara svæða. Samkvæmt henni skráðust 19 skjálftar í Kröflu og Bjarnarflagi á 10 daga tímabili. Ekki er búið að vinna úr gögnum Þeistareykjanetsins, en þau mun gefa nánari vísbendingu um skjálftavirkni á Þeistareykjum. Ef gert er ráð fyrir að skráningin í Kröflu lýsi meðaltalsvirkni svæðanna sem hægt væri að skrá með þéttara neti, má búast við að meðalfjöldi skjálfta í Kröflu og Bjarnarflagi verði ~55/mán. Ennfremur, ef virkni hinna svæðanna tveggja er áætluð samkvæmt því, gæti heildarvirknin 25–30 faldast með tilkomu netsins. Þetta myndi þýða heildarskjálftavirkni upp á 4 skjálfta á dag af öllum svæðunum fjórum. Þessi fjöldi gæti þó þúsundfaldast í einstöku skjálftahrinum.

Stærð skjálftanna og nákvæmlega virkra svæða er ekki vel þekkt en fjarlægð fastastöðvanna frá þeim hlýtur að takmarkast af þeim þáttum: Stöðvarnar verða að vera nógu nálægt til að skrá virknina en þó nógu dreifðar til að geta þjónað fleiri en einu svæði. Grunnhugmynd að uppsetningu netsins, sem sýnd er á mynd 1, leitast við að uppfylla þessi skilyrði. Allir staðirnir voru kannaðir, en ekki vannst tími til að skrá á þeim öllum.

kn1 Sauðahnjúkur/Olíufjall Leitað var staðsetningar meðfram norðvesturjaðri Búrfells. Það var þó árangurslaus leit, því þykkur jökulgarður liggur þar alls staðar með fjallinu og hvergi hægt að komast nálægt móberginu sem myndar fjallið. Skessuhali, móbergsfjall sem gengur norðaustur úr Búrfelli er lægra og skriðurnar utan á því sennilega ekki eins þykkar og við Búrfell, en ekki virtist vera þar nein gróðurþekja til að grafa niður stöð. Ekki vannst tími til að ganga austur að Skessuhala, eða Olíufjalli, en úr suðvesturhlíðum þess virðist ganga móbergsgúll og í gróðurþekjunni við botn hans og sitt hvoru megin við, er líklegt að finna megi góðan stað fyrir mæli. Það þarf þó að kanna betur næsta sumar. Annar mögulegur staður fyrir mæli fannst vestar, á móbergshálsi sem gengur norður úr Sauðahnjúk, sem er á milli Búrfells og Hvannfells. Hnjúkurinn og ásinn eru umflotin hrauni, en sunnan í ásnum má finna eins til tveggja metra þykka gróðurþekju ofan á móberginu, sem lítur út fyrir að vera vænleg staðsetning fyrir mæli. Ekki vannst tími til að skrá þar. Staðurinn er í vari fyrir norðri, en hæsti toppur ássins er nokkrum tugum metra norðar. Þar sér í topp Kröflu og mætti þar staðsetja sendiloftnetið fyrir stöðina.

Olíufjall kemur betur út fyrir Kröflusvæðið, en Sauðahnjúkshálsinn er betri fyrir Bjarnarflag. Hægt er að keyra að Sauðahnjúkshálsinum með því að fara umhverfis Hvannfell og svo austur yfir hraunið. Á móts við fjallveg F862 liggur vegarslóði suður frá þjóðvegi 1 að Austari Skógmannafjöllum og samkvæmt upplýsingum frá gangnamönnum, sem voru á svæðinu, er hægt að komast af honum að Vestari Skógmannafjöllum, en óvíst er hvort hægt sé að komast þaðan að Olíufjalli. Það þarf að athuga næsta sumar ef Olíufjall er valið fyrir staðsetningu kn1.

kn2 Krókóttuvötn Skráð var í tvo sólarhringa (frá 22.–24. sept.) norðan Krókóttuvatna, beint vestur af Kröflu, í um 6 km fjarlægð frá Hveragili þar sem er sjónlína í Kröflu. Staðsetningin er vestan við slóðann sem liggur frá tjaldstaðinu í Reynihlíð upp að suðausturhlíðum Gæsafjalla. Svæðið sem um ræðir er um 100 m x 100 m, og afmarkast af tveim móbergsásum að vestan og suðaustan, slóðanum að austan og misgengisbrún að sunnan. Svæðið fyrir sunnan virðist hafa fallið niður og þar eru Krókóttuvötn. Grafín var um 70 cm djúp hola ofan á eitthvað sem virtist vera grágrýti. Norðan við hana þykkar jarðvegslagið og þar mætti finna stað fyrir faststöð. Ef æskilegt þykir að komast nær skjálftavirkninni mætti fara austur að Ytri Bjarghóli, sem er um 800 m austar. Hann er úr móbergi og norður úr honum gengur lægri móbergsás með sendnum hlíðum, þar sem e.t.v. mætti koma fyrir mæli. Þangað er einnig hægt að komast með vinnuvél.

Meðan á skráningu stóð var hola í Kröflu í blæstri og sást af henni hávaðinn í gögnunum. Holublásturinn yfirgnæfði ekki staðbundna skjálftavirkni og skráðust greinilega 6 skjálftar í 5-10 km fjarlægð (og sennilega fleiri, eða 15 skjálftar) (sjá mynd 6), auk þess tveir á Þeistareykjasprungusveimnum úti í Öxarfirði í um 50 km fjarlægð (sjá mynd 5) og einn í Krísuvík í 320 km fjarlægð. Einungis Krísuvíkurskjálftinn, sem var af stærðinni 3,4 á Richter kvarða, og annar Öxarfjarðarskjálftanna, af stærð 1,3 voru numdir af landsneti Veðurstofunnar. Nokkur hávaði var á svæðinu frá því byrjað var að skrá um kl. 19:00, 22. sept. og fram til um kl. 10:30, 23. sept. Þetta suð virðist aðallega vera á tíðnum yfir ~15 Hz. Allan tímann var suð á tíðnibandinu 4-12 Hz og stafar það sennilega frá jarðhitasvæðinu í Kröflu. Lotubundnir púlsar, með 5 til 10

mínútna millibili, sem voru stærstir á láréttu þáttum mælisins sáust einnig á þessari stöð. Svona púlsar sáust líka í gögnunum sem skráð voru í Kröflu 1997 (Kristín S. Vogfjörð 1999a) og stafa sennilega frá sendinum á Kröflufjalli. Ef þarna rís fastastöð eru þessir púlsar líklegir til að valda fjölda falskra fasaskilgreininga á dag. Eindahreyfing í P bylgju frá jarðskjálfta getur venjulega gefið stefnuna í upptök hans. Á þessu svæði virðist hún nokkuð línuleg og orkan ekki dreifð yfir stórt horn. Stefnan á Krísuvík er 233° og eindahreyfingin í fyrstu sveiflunni í P bylgjunni er nokkurn veginn í stefnu 237°, sem er ekki slæmt og bendir til að strúktúrinn undir stöðinni sé nokkuð einsleitur. Í Krókóttuvötn er farið upp frá tjaldstæðinu við Reynihlíð.

kn3 Grjótháls Leitað var undirlags fyrir stöð á norðanverðum Grjóthálsi í um 440 m hæð, í nágrenni við staðsetningu sem merkt er á mynd 1, en þar sér í Kröfluloftnetið yfir miðja Graddabungu. Ekki tókst að skrá þar. Þessi stöð gæti einnig þurft að þjóna sem endurvarpi (repeater) fyrir stöð kn5, en til að merki frá kn5 komist yfir norðausturhlíðar Þeistareykjabungu þá gæti kn3 þurft að færast upp í 500 m hæð, á staðinn sem merktur er með grænum ferningi á mynd 1. Til að þetta virki þarf einnig að sjást yfir vestur öxl Hágangna. Skyggni gafst ekki til að ganga úr skugga um það áður en mælingatímabilinu lauk, og þarf því að fara aftur á staðinn til að kanna það, ásamt því að kanna með sendiloftnetum og endurvörpun hvort svona uppsetning virki. Ef stöðvarinnar er hins vegar ekki þörf sem endurvarpa fyrir kn5, er fjöldi staða í vesturhlíðum Grjóthálsins þar sem Kröfluloftnetið sést yfir Graddabungu. Á Grjóthálsi er nokkuð þykk gróðurþekja, en í giljum—þar sem einnig ætti að vera var fyrir hávaða frá norðanvindinum— má sjá grágrýtislög og líklegt er að ekki verði erfitt að finna skjálftastöðinni stað þarna. Þó er líklegt að vindhávaði aukist með hæð.

Hægt er að keyra út af fjallvegi F862, um 1,5 km sunnan við afleggjarann í Vesturdal. Þaðan er keyrt um 5,6 km suður með rafmagnsgirðingu. Þá beygir girðingin til suðvesturs og til að komast ofar í hlíðina þarf að leggja girðinguna og fara yfir hana. Sá slóði nær þó ekki upp í 500 m hæð og þyrfti að keyra utan slóða til að komast að punktinum. Hækkun landslags er hins vegar aflíðandi og ætti því ekki að vera vandamál að keyra á staðinn.

kn4 Gæska/Mælifell/(Geitafell) Staðsetning þessarar stöðvar er undir Lambafjöllum þar sem kallast Gæska, vestur af skjálftasvæðinu á Þeistareykjum. Staðsetningin er í sprungusveim sem markar vestari jaðar Þeistareykjasvæðisins. Undirlagið er þó ekki Borgarhraunið, sem er frá nútíma heldur virðist það vera eldra grágrýti. Illa gekk að grafa niður á grágrýtislagið og því var farið ofan í sprungusveiminn þar sem gróðurþekjan var þynnri. Stöðin var hluti af Þeistareykjanetinu og ætlunin var að leita betri staðar fyrir fastastöð og skrá þar líka, en ekki vannst tími til þess. Æskilegri staðsetning er vestar, hinum megin við ás sem þarna gengur til norðurs. Uppi á ásnunum er hægt að finna einhvers konar móberg og í gilinu vestan við er líklega hægt að komast í móberg eða grágrýti og þar ætti að vera var fyrir vindhávaða. Ekki er þó hægt að fara alveg ofan í gilið, því sendiloftnetið þarf að vera uppi á ásnunum, og má ekki vera lengra í burtu en u.þ.b. 100 m. Tími gafst heldur ekki til að skoða nánar hvernig hægt er að koma vinnuvél upp á ásnun, framhjá misgengjunum sem liggja meðfram hlíðinni.

Þeistareykjanetið skráði samfleytt í 12 daga þ.e.a.s allar nema þessi eina stöð. Í henni var diskurinn laus og hætti hún að skrá eftir þrjá daga. Því eru einungis til gögn frá 12.–15. sept., að viðbættum fjörutíu mínútum frá 23. sept., þegar komið var til að taka stöðina niður. Við skoðun gagna kom í ljós að tíðnisvörðun skráningartækisins var trufluð, sennilega vegna lausa disksins því fjörutíu mínúturnar sem skráðust eftir að hann var festur virðast lausar við þessa truflun. Truflunin felst í því að suð frá tækinu stóreykst á heilu tíðnunum, þ.a. þar eru toppar í tíðniróf-

inu. Á því þriggja daga tímabili sem stöðin var virk skráðust 14 skjálftar í 30–45 km fjarlægð, sennilega allir í Öxarfirði, en erfitt er að ákvarða úr hvaða átt þeir koma því P bylgjan er oftast lítil; stundum reyndar ekki sýnileg yfir bakgrunnsóróann og eindahreyfingin því óræð. Þá skráðust aðrir 10 skjálftar í nokkurra (5–7) kílómetra fjarlægð. Hugsanlegt er þó að einhverjir þeirra séu úr Öxarfirði líka, en úr því er ekki hægt að skera fyrri en önnur gögn frá Þeistareykjanetinu eru skoðuð. Skjálftahrina var á Kolbeinseyjarhrygg, norður af Siglufirði og skráðust 18 skjálftar þaðan og einn frá Dalvík (sjá mynd 4). Flestir þeirra skráðust á landsnetið, en einungis 3 af Öxarfjarðarskjálftunum 14 og enginn af nálægari skjálftum. Þrátt fyrir tækjatrufnanir gefur stöðin í Gæsku sennilega grófa vísbendingu um hávaða í sprungusveimnun og bendir hún til að hávaðinn sé óviðunandi. Bjögum á eindahreyfingu í skjálftabylgjunum, sem gæti verið vegna bylgjustokksáhrifa (wave-guide effect) sprungusveimsins, gerir einnig úrvinnslu gagna erfiða. Það mun því þurfa að fara um svæðið aftur, kanna aðgengi inn í gilið og skrá þar ef kostur er. Þar sem þessi staðsetning er sú næsta við Þeistareykjaskjálftasvæðið er hún mikilvæg til dýptarákvörðunar, og af þeim sökum er mikilvægt að reyna að finna henni stað á þessu svæði.

Í Gæsku er hægt að komast meðfram girðingu vestur frá Bæjarfjalli. Það er hins vegar seinfarin leið og hugsanlega fljótara að koma sunnan að, þ.e. meðfram girðingunni, þar sem hún liggur vestan Klappabrekku. Þá er farið til vesturs út af Þeistareykjaslóðanum, sem liggur af Þjóðvegi 87, eftir u.þ.b. 5,3 km.

Staðsetningar fyrir stöðina var einnig leitað sunnar, meðfram Klappabrekku, sem er nokkurra kílómetra langur grágrytishryggur með norðlæga stefnu, en ekki fannst þar ákjósanlegt undirlag fyrir mæli. Annar mögulegur staður sem eftir er að kanna er 5 km norðar, við Mælifell. Í Mælifell er komið norðan að, austan með Höfuðreiðarmúla, en óvíst er hvort hægt er að komast alla leið með vinnuvél. Ekki vannst tími til að skoða Mælifell né aðgengi að því. Ef Mælifell gengur ekki heldur, má reyna þriðja staðinn, sem er í byggð, við Geitafell í Reykjahverfi, en þar virðist vera rafmang. Geitafell er í um 13 km fjarlægð frá skjálftasvæðinu á Þeistareykjum og myndi því ekki skorða dýpi eins vel og mælistöðvar í Gæsku eða við Mælifell myndu gera. Hvaða staðsetning sem valin er fyrir kn4, þarf hún að senda í endurvarpa (repeater) sem sendir áfram í Kröflu. Fyrir Gæsku og Mælifell getur staðsetning endurvarpans verið austan og ofan Hamrabjarga, sunnan við Gæsadal. Gróf staðsetning hans er merkt á mynd 1. Geitafell gæti líklega einnig virkað með endurvarpa á svipuðum slóðum, en staðsetningu hans þyrfti að finna. Mælifell og Geitafell eru merkt með X4 á mynd 1.

kn5 Magnúsarhóll/Dimmadalsás/(Rauðhóll) Þrír staðir, allir á svipaðri breiddargráðu voru skoðaðir fyrir uppsetningu þessarar stöðvar. Magnúsarhóll 29 km beint norður af Kröflu, Dimmadalsás, 7,3 km vestar og norður af Þeistareykjabungu og Rauðhóll, enn vestar, norðan Þeistareykja. Við Magnúsarhól var skráð í tvo sólarhringa, frá 14.–16. sept. Holan, sem var utan í og nálægt toppi á hraunhól, var um 70 cm djúp og grafin niður á hraunhelluna þar sem steyp var yfir. Hóllinn er í 254 m hæð og rís nógu hátt upp úr landslaginu, til að sjónlína virðist vera í topp Kröflu. Þetta þyrfti þó að sannreyna með senditækjum. Gróðurþekjan þykkar þegar fjær dregur hólnum og því varð holan að vera svo nálægt toppi hans. Fastastöð gæti líklega verið í vari fyrir vindi, í slakka, 20–30 m frá hólnum, en sendiloftnetið nálægt toppi. Mikill vindur var þegar stöðin var sett upp og sér þess greinileg merki í gögnunum, því vindurinn yfirgnæfir allt á tíðnisviðinu yfir 12 Hz. Þegar lygnir dettur suðið hins vegar niður í ásættanlegt gildi. Þess vegna væri reynandi að skrá lengra frá hólnum til að kanna hvort þar sé nægileg kyrrð. Á tíðnibilinu 3–12 Hz er lítið suð, merki frá skjálftum greinileg og eindahreyfing í P bylgjum mjög línuleg og lítið trufluð. Það virðist því vera að undirlagið sé einsleitt og trufla lítið bylgjuútbreiðsluna.

Ef hægt er að minnka suðið með því að fara fjær hólnum, þá gæti þetta verið góður staður og þarna þarf líklega ekki endurvarpa. Fjarlægð hans í Kröflu, 29 km gæti þó verið of mikil fyrir spread-spectrum mótöldin. Eyjólfshæð er annar hraunhöll u.þ.b. 1 km sunnar sem kæmi einnig til greina. Þaðan sést líklega einnig í Kröflutopp.

Fjöldi skjálfta skráðist á Magnúsarhóli. Af þeim sem ekki skráðust á landsnetið voru fimm í hrinunni á Kolbeinseyjarhrygg norður af Siglufirði af stærð 1,1–2,2 á Richterkvarða, Dalvíkur-skjálftinn af stærð 1,0 (sjá mynd 4), og Bjarnarflagsskjálftinn af stærð 1,9 (sjá mynd 3). Auk þessa voru skjálftar sem ekki skráðust á landsnetið. Þrír þeirra voru í um 40 km fjarlægð, þar af einn í Öxarfirði og einn á Skjálfanda, einn var í um 60 km fjarlægð, einn í um 100 km fjarlægð og einn í um 200 km fjarlægð. Auk þessara 13 skjálfta voru 6 sem gætu verið í 5–10 km fjarlægð. Því er þó ekki hægt að slá föstu fyrr en önnur gögn úr Þeistareykjanetinu eru skoðuð.

Að Magnúsarhóli er styst að keyra norðan að, af þjóðvegi 85 og fara um 11 km suður eftir slóða, sem liggur upp frá bæjunum Kvistási, Laufási og Austurgarði í Kelduhverfi.

Staðsetningar fyrir kn5 var einnig leitað á Dimmadalsási, sem er grágrýtisás 7,3 km vestan við Magnúsarhól. Ekki tókst að skrá á ásnum, því gróðurþekjan reyndist þykkari en 1 m þar sem grafið var niður. Hún er þó líklega mátulega þykk (1–2 m) fyrir faststöð. Í 300 m hæð nálægt toppi ássins, þar sem sendiloftnetinu yrði komið fyrir, sér yfir norðausturöxl Þeistareykjabungu í topp Grjótháls, en þar yrði endurvarpanum komið fyrir (grænn ferningur á mynd 1). Grunnur gilskorningur liggur frá línuveginum upp að toppi þar sem líklega er hægt að finna mæli stað, og þar er líklega heldur minni truflun af vindi sem annars gæti verið nokkur. Hægt er að koma vinnuvél þangað. Að Dimmadalsási er hægt að komast af slóðanum sem liggur austur frá Húsavík og er þá beygt norður af honum við afleggjara sem merktur er Sultir. Háspennulína og línuvegur liggur svo norðaustur yfir ásin og niður í Kelduhverfi. Línuvegurinn sker einnig slóðann að Magnúsarhóli.

Rauðhóll, móbergshóll við vegamót á Þeistareykjaslóða og Húsavíkurslóðanum var einnig skoðaður (merktur X5 á mynd 1). Sendinn jarðvegur liggur upp að hólnum og gætu þar verið margir góðir staðir fyrir mæli. Af hólnum sér á topp Þeistareykjabungu og gæti stöð á þessum stað hugsanlega sent í endurvarpa þar. Kröflutindur sést frá gatnamótum norðan í toppi Þeistareykjabungu, en ekki er þó víst að hægt sé að finna endurvarpa stað þarna uppi sem sæi í báða staði. Frá Rauðhóli sést einnig niður á Kópasker í um 45 km fjarlægð. Þangað er e.t.v. hægt að senda.

Gæði mælistöðva Tíðniróf (amplitude spectra) fjögurra mínútna langra skjálftarita, sem valin voru á hljóðlátum tímabilum á stöðvunum þrem þar sem gerð var tilraunaskráning eru sýnd á mynd 2; fyrir lóðrétta þátt mælanna vinstra megin og austur þátt þeirra hægra megin. Tækjatrufnanirnar á Gæsku sjást í toppunum sem standa upp úr spektrinu á heilum tíðnum fyrir ofan u.þ.b. 6 Hz. Á tíðnirófunum má sjá áhrif úthafsöldunnar, þ.e. að orkan í bakgrunnsóróanum eykst með lækkandi tíðni, en dettur svo niður við 0.2 Hz vegna horntíðninnar í mælinum. Við 2–4 Hz fellur svo útslagið á öllum stöðvunum niður fyrir línuna sem dregin er við 100. Við Krókóttuvötn eykst útslag þó aftur á bilinu 4–12 Hz; því veldur hávaði frá Kröflusvæðinu. Í Gæsku má sjá að hávaði á lárétta þættinum er meiri en á þeim lóðrétta, sennilega vegna áhrifa sprungusveimsins. Útslagið á Magnúsarhóli er dæmigert fyrir logn; í miklum vindi eykst hávaðinn þannig að útslagið getur rúmlega tvöfaldast á tíðnibilinu upp að 12 Hz og allt að tífoldast þar fyrir ofan.

Gæði stöðvanna má einnig bera saman við gæði nálægra SIL stöðva, í Reynihlíð og Gilhaga,

með því að skoða skjálftarit frá sama skjálfta. Svörun beggja kerfa, Orion-Lennarz5 og SIL-Guralp, ætti að vera fasti fyrir tíðnir ofan við u.p.b. 0.2 Hz, en mögnun Orion-Lennarz5 kerfisins tvisvar sinnum meiri. (Ekki hefur þó verið gengið úr skugga um að það sé rétt með því að skrá á Orion í SIL stöð.) Mynd 3 sýnir síuð skjálftarit, þannig að þau innihalda einungis tíðnir milli 3 og 12 Hz, (lóðréttan, norður og austur þátt) frá skjálfta sem varð í Bjarnarflagi 16. sept. og skráðist á Magnúsarhóli í 38 km fjarlægð. Merkið frá skjálftanum er greinilegt yfir bakgrunnsóróann, bæði P og S bylgjan, og gæðin ekki verri en á SIL stöðinni á Gilhaga í 54 km fjarlægð.

Skjálftinn á Dalvík er sýndur á mynd 4, þar sem öll gögnin eru, eins og áður, síuð og innihalda einungis tíðnir milli 3 og 12 Hz. Efst eru þrír þættir mælisins í Gæsku, í 61 km fjarlægð frá upptökunum. Þar má greininlega sjá P og S bylgjurnar á lóðréttu þættinum, en einnig að meiri hávaði er á láréttu þáttunum og erfiðara að greina komutíma bylgna. Mun minni hávaði er í skjálftaritunum frá Magnúsarhóli, í 72 km fjarlægð, en þar er P bylgjan mjög greinileg á lóðréttu þættinum og S bylgjan á lóðréttu og norður þættinum. Hins vegar, á SIL stöðinni í Reynihlíð sem er í svipaðri fjarlægð, 76 km, er hvorki hægt að greina P né S bylgjurnar fyrir bakgrunnshávaða; áætlaður komutími þeirra er merktur með stjörnu á myndina. Á SIL stöðinni á Gilhaga, í 92 km fjarlægð, er hægt að sjá S bylgjuna á norður þættinum en P bylgjan er ekki sýnileg yfir bakgrunnssuðið. Það lítur því út fyrir að gæðin á Magnúsarhóli séu ekki verri en á SIL stöðvunum á tíðnibandinu 3–12 Hz og gætu orðið ásætlanleg á hærri tíðnum, ef hægt er að minnka vindhávaða með því að fara fjar hólnum. Ennfremur, ef hægt er að minnka hávaðann á láréttu þáttunum á Gæsku með því að fara upp úr sprungusveimnum og yfir á sinn, þá gætu gæðin þar einnig orðið ásætlanleg.

Einn af Öxarfjarðarskjálftunum 23. sept. skráðist á stöðina í Krókóttuvötnum og mynd 5 sýnir skjálftarit frá honum, síuð með háhleypisú ofan við 5 Hz, ásamt gögnum frá Reynihlíð. Krókóttuvötn eru í 51 km og Reynihlíð í 58 km fjarlægð frá upptökunum. Komutími P bylgjunnar sést nokkuð vel á Krótóttu vötnum, en ógreinilegar í Reynihlíð. S bylgjan er illa sýnileg á báðum stöðvum. Gæði í Krókóttuvötnum virðast því ekki síðri en í Reynihlíð. Fjöldi nálægra skjálfta skráðist einnig á stöðina í Krókóttuvötnum og sýnir mynd 6 tvo slíka. Þar eru gögnin síuð með háhleypisú ofan við 2 Hz og má greinilega sjá bæði P og S bylgjur á öllum þáttum mælisins. Þessir skjálftar eru ekki skráðir á SIL kerfið.

Samantekt Nokkuð góður grunnur að staðsetningum mælistöðva í fastanetinu er kominn, en enn er eftir að athuga nokkra staði og jafnvel skrá á þeim. Þá þarf einnig að fara með sendi og endurvarpsloftnet á suma staði og ganga úr skugga um að heyrast á milli stöðva.

1) Tveir staðir eru mögulegir fyrir **kn1**, Sauðahnjúkur og Olúfjall og þarf að skoða Olúfjall nánar áður en staðsetning er endanlega ákveðin.

2) Staðsetning **kn2** nálægt skjálftavirkninni, austan- eða vestanmegin við Kröflu er mikilvæg fyrir dýptarnákvæmni og til að skorða algilda A-V staðsetningu sprungna, en þær eru væntanlega flestar með norðlæga stefnu. Krókóttuvötn, staðurinn sem kannaður var vestan við Kröflu virðist góður. Ef breyta þarf tilhögun netsins eitthvað, er einnig hugsanlegt að finna megi stað í um 5 km fjarlægð fyrir austan Kröflusvæðið, norðan Jörundar og sunnan Hágangna, en þar á samkvæmt jarðfræðikorti að vera hægt að finna grágrýti. Ekki var kannað hvernig mætti komast þangað.

3) Eftir er að finna nákvæmlega stað norðvestan í Grjóthálsi fyrir **kn3**, en hann veltur einnig á

staðsetningu **kn5**.

4) Á sama hátt og fyrir **kn2** vestan við Kröflu, er staðsetning **kn4** vestan við Þeistareykjasvæðið mikilvæg til að skorða sprunguþlönin í A-V stefnu og nálægð þess við svæðið til að skorða dýpi. Kanna þarf betur aðgengi að gílinu vestan Gæsku, sem er líklega besti kosturinn. Ef sá staður gengur ekki, þarf að skoða hina staðina tvo, Mælifell og Geitafell.

5) Velja þarf á milli tveggja staða, Magnúsarhóls og Dimadalsáss fyrir **kn5**, og athuga hvort heyrir á milli stöðva. Ef hvorug þeirra gengur má athuga þriðja staðinn, Rauðhól.

Enn á eftir að vinna úr gögnunum úr Þeistareykjanetinu, en þau ættu að gefa betri hugmynd um skjálftavirkni Þeistareykjasvæðisins og þar með hafa áhrif á lokaákvörðun um staðsetningu stöðva í nálægð þess. Þá er einnig von á mælistöð norðan við Húsavík og mun hún styrkja staðsetningarnákvæmni skjálfta á Þeistareykjum og í Öxarfirði. Ef hins vegar verður fallið frá virkjun í Öxarfirði er hugsanlega ástæða til að endurskoða staðsetningu **kn5** og e.t.v. færa hana sunnar. Ekki er þó víst að þar finnist vænlegri staðir. Með tilliti til gæða stöðvarinnar í Reynihlíð, er e.t.v einnig athugandi að flytja hana enn aftur.

Loka framkvæmda- og fjárhagsáætlun um það sem eftir er af verkinu er væntanleg eftir næstu áramót.

Könnun á bakgrunnsróa við jarðhitasvæðið á Þeistareykjum

Inngangur: Í byrjun september 1999 var sett upp tímabundið jarðskjálftamælanet umhverfis Þeistareyki til að kanna staðsetningu og stærð skjálfta á svæðinu, og skráði það í 12 daga (merkt með bláum hringjum á mynd 1). Jafnframt því að skrá skjálfta var áhugi fyrir að kanna suð á ósnortnu jarðhitasvæði, áður en það væri tekið til vinnslu. Þannig væri hægt að læra að greina á milli vinnslutengds suðs og náttúrulegs suðs, en það gæti haft hagnýtt gildi við könnun og vöktun jarðhitasvæðisins í framtíðinni. Þessar athuganir hafa einnig almennt lærdómsgildi fyrir forkönnun jarðhitasvæða áður en þau fara í vinnslu.

Samhliða þessari skráningu var leitað staðsetninga fyrir fastastöðvar, en áformað er að þetta landsnetið umhverfis jarðhitasvæðin í NA gosbeltinu (Kristín S. Vogfjörð 1999b,c). Áður en þetta fastanet er sett upp umhverfis jarðhitasvæðin er nauðsynlegt að meta virknina (stærð skjálfta), til að tryggja að netið skrái smáskjálftana sem eiga síðan að notast til að kortleggja (vatnsleiðandi) sprungur með nýjustu staðsetningaraðferðum (Sigurður Th. Rögnvaldsson et al. 1999). Vegna þessa var einnig skráð í tvo sólarhringa á tveim stöðum til viðbótar (merkt kn2 og kn5-Magnúsarhóll á mynd 1). Fjöldi smáskjálfta, innan og utan svæðisins skráðist á Þeistareykjanetið, en úrvinnsla er enn í gangi og því ekki búíð að staðsetja skjálftana. Búist er við að gróft mat á virkni svæðisins fái, og þar með vitneskja um hvort núverandi fastanet Veðurstofunnar vanmetur skjálftavirkni á Þeistareykjum.

Athugun á bakgrunnssuði hefur farið fram á stöðvunum tveim sem voru til athugunar vegna uppsetningar fastastöðva (Kristín S. Vogfjörð 1999c) og fjórum nyrstu stöðvum Þeistareykjanetsins. Athugunin felst í því að skoða tíðnirófseiginleika suðsins, þ.e. að athuga á hvaða tíðnisviðum er mest orka, meta hvaða tíðnibönd eru hugsanlega tengt vindi og, á stöðvunum næst Þeistareykjum, að kanna hvaða tíðnisvið gæti verið tengt suðu í jarðhitakerfinu. Eftir að svæðið er komið í vinnslu gæti reynst erfitt að greina á milli suðs sem tengist vinnslunni og þess sem náttúrulega er fyrir í jarðhitakerfinu. Það er því mikilvægt að hafa fyrirfram hugmynd um tíðnisviðið sem svæðið suðar á, m.t.t. þess að fylgjast með upptökum suðsins og breytingum í styrk með tíma eftir því sem svæðið verður virkjað meira. Fjarlægð á milli stöðva í Þeistareykjanetinu er 3–4 km og er fimm þeirra raðað upp í kringum jarðhitasvæðið, en ein er nokkurn veginn í miðju þess. Netið nýtist því ekki til að miða út upptök suðsins; til þess hefði þyrfti smánet (*e. array*) með nokkur hundruð m á milli stöðva. Eindahreyfing í einstaka tíðnitoppum er þó nógu stefnubundin til að gefa hugmynd um upptök.

Bakgrunnssuð: Til að kanna suðið voru valdir 4. mínútna langir gluggar sex sinnum á sólarhring, þ.e. kl. 00:24 og síðan á fjögurra klukkustunda fresti eftir það og tíðnirófi þeirra skoðað. Svörun tækjanna (*e. instrument response*) var ekki fjarlægð, því svörun þeirra við hraða er flöt í tíðni fyrir ofan 0,2 Hz og hefur því ekki önnur áhrif á (hraða-) tíðnirófið en að magna það jafnt yfir allt tíðnisviðið sem skoðað er.

Sterkasta einkenni allra tíðnirófa er úthafsölduóróinn (*e. microseismic noise*) sem vex hratt með minnkandi tíðni og yfirgnæfir öll önnur merki fyrir neðan u.þ.b. 1,5 Hz. Þar fyrir ofan má

búast við að finna svæðisbundin merki, t.d. jarðsuð, jarðskjálftamerki og vindhávaða. Jarðsuð er mest áberandi á tíðnibandinu fyrir neðan ~ 10 Hz, en smáskjálftarnir hafa merkjanlega orku yfir allt bandið frá ~ 1 Hz upp í nokkra tugi Hz. Vindhávaði, aftur á móti virðist sterkastur á tíðnisviðinu fyrir ofan u.þ.b. 13 Hz. Á þrem af Þeistareykjastöðvunum kemur einnig fram tækjahávaði sem lýsti sér aðallega í toppum á heiltölutíðnum í tíðnirófinu. Þetta truflar stundum skjálftamælingarnar mikið, og gerir mat á suði á þessum stöðvum mun erfiðara. Ekki er enn vitað hvað veldur þessum truflunum.

Mjög mikill munur er á tíðnirófi hljóðlátra og hávaðasamra tímabila. Þetta sést vel á mynd 2a og b, en þar eru sýnd tíðniróf allra þriggja þátta (lóðrétt, norður, austur [Z,N,E]) mælisins á stöð *th4-Bæjarfjall*, en hún er í miðju Þeistareykjanetsins undir vestanverðu Bæjarfjalli (sjá mynd 1). 2a sýnir hljóðlátan 4. mín. glugga, kl. 8 að kvöldi 18. september og 2b sýnir hávaðasaman glugga, kl. 4 að nóttu 16. september. Fyrir ofan úthafsölduóróann á hljóðláta tímabilinu, er mest orka á tíðnibandinu ~ 3 –7 Hz. Minnst er orkan á lóðrétta þættinum, en nokkuð svipuð á hinum tveim. Á lóðrétta og norður þættinum er bandið einnig grennra, eða milli 4 og 6 Hz. Fyrir ofan þetta band er lítil orka. Á hávaðasama tímabilinu (2b) er orkan og dreifing hennar svipuð og áður fyrir neðan 10 Hz (ath. mismunandi skala myndanna), en þar fyrir ofan er mun meiri orka. Við ~ 16 Hz er mjög stór toppur með litla bandvídd, og síðan er nokkuð jafndreifð orka þar fyrir ofan. Þó er dálítill aukning merkjanleg á bandinu milli 25 og 35 Hz.

Stöðugleiki ákveðinna tíðnitoppa sést með því að skoða tíðnirit (*e. spectrograms*), en þar koma þessir toppar fram sem samfelld bönd í tíma. Þetta sést mjög greinilega í tíðniritum fyrir tímabilin tvö sem sýnd voru á mynd 2. Mynd 3a, b og c (fyrir Z, N og E þátt) sýnir tíðnirit fyrir hljóðláta gluggann, og mynd 4a, b og c fyrir hávaðasama gluggann. Tími í sek. er á lárétta ásnum (alls 4 mín.) og tíðni (frá 0.8–50 Hz) á þeim lóðrétta. Tíðniritin eru gerð með því að reikna tíðniróf í 4 sek. löngum glugga og litakvarða útslagið. Síðan er þessum glugga hliðrað um 2 sek og rófið reiknað aftur. Glugganum er þannig rennt yfir allar 4 mínúturnar sem hver óróagluggi spannar. Eins og áður sást á mynd 2a er lítil orka fyrir ofan ~ 9 Hz á hljóðláta tímabilinu, einkum á lóðrétta þættinum. Við 6 Hz er einnig greinilegur samfelldur toppur á lóðrétta og norður þættinum. Á austur þættinum er orkan dreifðari milli ~ 3 og 6 Hz. Á hávaðasama tímabilinu (4a-c) eru þessi bönd enn vel sýnileg á lárétta þáttunum, en ekki alveg eins greinileg á þeim lóðrétta; enda er orkan þar um fjórum sinnum minni. Eins og mynd 2b gaf til kynna, er einnig mikil viðbótarorka sem nær yfir allt sviðið fyrir ofan ~ 13 Hz; sterkust á mjóu bandi um 16 Hz og öðru breiðara milli ~ 28 og 35 Hz.

Tíðniróf hvers glugga inniheldur samansafn stöðugra og tímabundinna áhrifa og er þess vegna breytilegt frá einu tímabili til annars. Með því að margfalda saman tíðniróf allra ~ 70 glugganna á hverri stöð, magnast uppsöfnuð áhrif stöðugs bakgrunnssuðs, á meðan breytileg áhrif (eins og vindur) deyfast út. Útkoma svona margfeldis fyrir *th4* er sýnd á mynd 5. Eins og við er að búast, er hún mjög sviðuð 2a, fyrir hljóðlátt tímabil, en með minna flökti. Bandið milli 3 og 7 Hz er orkumest, sem þýðir að upptökin eru nokkuð stöðug yfir 12 daga skráningartímabilið. Orka hærri tíðna er heldur meiri en á hljóðláta tímabilinu, en er samt frekar lítil, sem þýðir að upptök þeirrar orku eru breytileg í tíma. Þó hefur toppurinn við 16 Hz ekki alveg horfið.

Til að athuga sambandið milli aukins óróa og vinds voru fengnar vindupplýsingar á Veðurstofu Íslands (Þórður Arason, *pers. upplýs.*) frá tveim nálægustu stöðvunum, við Mývatn og í Ásbyrgi. Klukktíma meðaltöl vindáttar og vindhraða á skráningartímabilinu eru teiknuð á mynd 6a og b, þar sem vindhraði við Mývatn hefur verið hækkaður um 10 m/s til að auðvelda sam-

anburðinn. Af myndinni sést að vindur úr austri eykst mjög um miðjan dag 14. sept. og er austanstæður fram yfir miðnætti þann 17. Vindhraðinn dettur að vísu aðeins niður þann 16. Dálítil aukning verður aftur í vindhraða, einkum við Mývatn, og stendur í um sólarhring frá miðjum degi þann 19. Breytileiki orku hinna mismunandi tíðnibanda á stöð *th4* yfir skráningartímabilið, er metinn út frá rms-gildi (*e. root-mean-square*) útslagsins innan hvers bands í órógluggunum. Þessi tíðnibönd eru 3–7 Hz, 15–17 Hz og 28–36 Hz. Rms gildi eru teiknuð sem fall af tíma á mynd 6c fyrir alla þrjá þætti mælisins. Þar sést að rms-gildi útslags tíðnibandanna við 15–16 Hz og 28–36 Hz (rauðir og bláir ferlar), virðast nokkurn veginn fylgja vindhraðanum við Mývatn; fyrir utan toppana, kl. 12, 18. sept., sem eru af mannavöldum. Af því má draga þá ályktun að þessi bönd sýni vindhávaða. Rms-gildi útslags í neðsta bandinu, við 3–7 Hz (svartir ferlar), er hins vegar stöðugt yfir allt tímabilið. Að vísu sést örlítið flökt á lóðrétta þættinum, en hann er teiknaður á fjórum sinnum stærri skala en lárétta þættirnir. Orsaka þessa bands er því líklega að leita í jörðinni sjálfri og þá er nærtækast að giska á jarðhitasvæðið, sem er fyrir vestan stöðina, í einungis um 400 m fjarlægð. *th4* er undir vestanverðu Bæjarfjalli, inni í miðjum Þeistareykjasprungusveimnum (Gestur Gíslason et al. 1984), og einungis um 15 m frá misgengisbrún. Eitthvað af óróanum gæti því hugsanlega stafað af óstöðugleika blokkarinnar sem mælirinn stendur á.

Eindahreyfingin í toppnum við 16 Hz liggur á milli VSV og VNV, sem passar ágætlega við vindáttina á svæðinu þegar hann blæs. Eindahreyfingin á hinum þáttunum er hins vegar mjög breytileg.

Með uppsöfnuð tíðniróf eins og á mynd 5, er auðveldara að bera saman róf mismunandi stöðva, en það er einmitt gert á mynd 7. Þar eru uppsöfnuð tíðniróf fyrir fjórar nyrstu stöðvar Þeistareykjanetsins *th1*, *th2*, *th4* og *th6* teiknuð saman. Ástæðan fyrir meira flökti í uppsöfnuðu rófi stöðvar *th6-Gæska (kn4)* (ljósfjólublár ferill) er sú að skráning þar varaði aðeins í þrjá daga (18 gluggar). *th1*, *th2* og *th6* hafa allar sams konar tækjatrufun, en það eru topparnir á heiltölutíðnunum. Ef horft er fram hjá þessari truflun, sést að engin þessara þriggja stöðva hefur eins mikinn óróa undir 10 Hz og *th4*. Sú sem kemst næst því er *th6*, sem þó hefur margfalt minni orku á þessu tíðnisviði. *th6*, í Gæsku er vestasta stöðin, staðsett í sprungusveimnum við vesturjaðar Þeistareykjasvæðisins. Hún er jafnframt í um 3 km fjarlægð frá jarðhitasvæðinu. Fyrir ofan 10 Hz er óróinn á lóðrétta þættinum mjög svipaður á öllum stöðvum, en á þeim lárétta er meiri órói á *th4*. Stöðvar *th1*, *th2* og *th6* eru heldur ekki eins truflaðar af vindi og *th4*, því engin þeirra hefur topp við 16 Hz, eða eins mikla orku á hærri tíðnum. Í auknum vindi sést þó aukin orka á bandinu milli 25 og 35 Hz. Við Magnúsarhól-*kn5*, 15 km norðan við Þeistareyki, er ekkert suð merkjanlegt undir 10 Hz en vindhávaði getur orðið mikill og þar er hann á tíðnum yfir 13 Hz (Kristín S. Vogfjörð 1999c), líkt og á *th4*.

Samantekt: Þegar skoðað er suð á nokkrum stöðvum Þeistareykjanetsins yfir 12 daga tímabil, kemur í ljós að hugsanlega má sjá merki jarðhitasvæðisins á þeirri stöð sem næst er jarðhitasvæðinu, *th4* í miðju netsins. Þessi órói er á tíðnisviðinu 3–7 Hz, hann er stöðugur yfir allt skráningartímabilið og er mestur á lárétta þáttum mælisins. Við Krókóttuvötn-*kn2*, sem er 5 km vestan Kröflu, sést nokkuð samfellt suð fyrir neðan 10 Hz (og einnig dálítið um og yfir 20 Hz). Suðið er aðallega í böndum við 10, 7 og 5 Hz, á öllum þáttum mælisins og er líklega vegna suðs frá Kröflusvæðinu (vinnslutengds og hugsanlega líka náttúrulegs suðs) (Kristín S. Vogfjörð 1999c). Svipað mynstur sást einnig í órógögnum frá Sandabotnaskarði, 5 km fyrir sunnan Kröflu (Kristín S. Vogfjörð 1999a). Það virðist því sem svo að óróinn á jarðhitasvæðum sé aðallega á tíðnum undir 10 Hz.

Þó svo þetta suð sé tengt jarðhitasvæðinu, er þó ekki vitað hvort það tengist einungis suðu svæðisins í hverum, við yfirborð, eða einnig suðu dýpra í kerfinu. Til að komast að því þyrfti að setja upp fjölda tímabundinna smáneta (*e. arrays*) og miða út upptök og fasahraða þessa suðs.