

**Könnun á bakgrunnsróa við jarðhitasvæðið
á Þeistareykjum**

Kristín S. Vogfjörð

Greinargerð KSV-2000-02

Könnun á bakgrunnsóroa við jarðhitasvæðið á Peistareykjum

Inngangur: Í byrjun september 1999 var sett upp tímabundið jarðskjálftamælanet umhverfis Peistareyki 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 [1, 2]. Áður en þetta fastanet er sett upp umhverfis jarðhitasvæðin er nauðsynlegt að meta virknina (stærð skjálfta), til að tryggja að netið muni skrá smáskjálftana sem eiga síðan að notast til að kortleggja (vatnsleiðandi) sprungur með nýjustu staðsetningaraðferðum [3]. 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 Peistareykjanetið, en úrvinnsla er enn í gangi og því ekki búið að staðsetja skjálftana. Búið er við að gróft mat á virkni svæðisins fáist, og þar með vitneskja um hvort núverandi fastanet Veðurstofunnar vanmetur skjálftavirkni á Peistareykjum.

Athugun á bakgrunnssuði hefur farið fram á stöðvunum tveim sem voru til athugunar vegna uppsetningar fastastöðva [2] og fjórum nyrstu stöðvum Peistareykjanetsins. 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 Peistareykjum, 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 Peistareykjanetinu 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 bandvidd, 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 mjóða 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 hljóðlát 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. Klukkutíma 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 samanburðinn. 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. Dálítill 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 óróagluggunum. 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 [4], 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 tækjatrúflun, en það eru topparnir á heiltölutíðnunum. Ef horft er fram hjá þessari trúflun, 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 trúflaðar 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 [2], líkt og á *th4*.

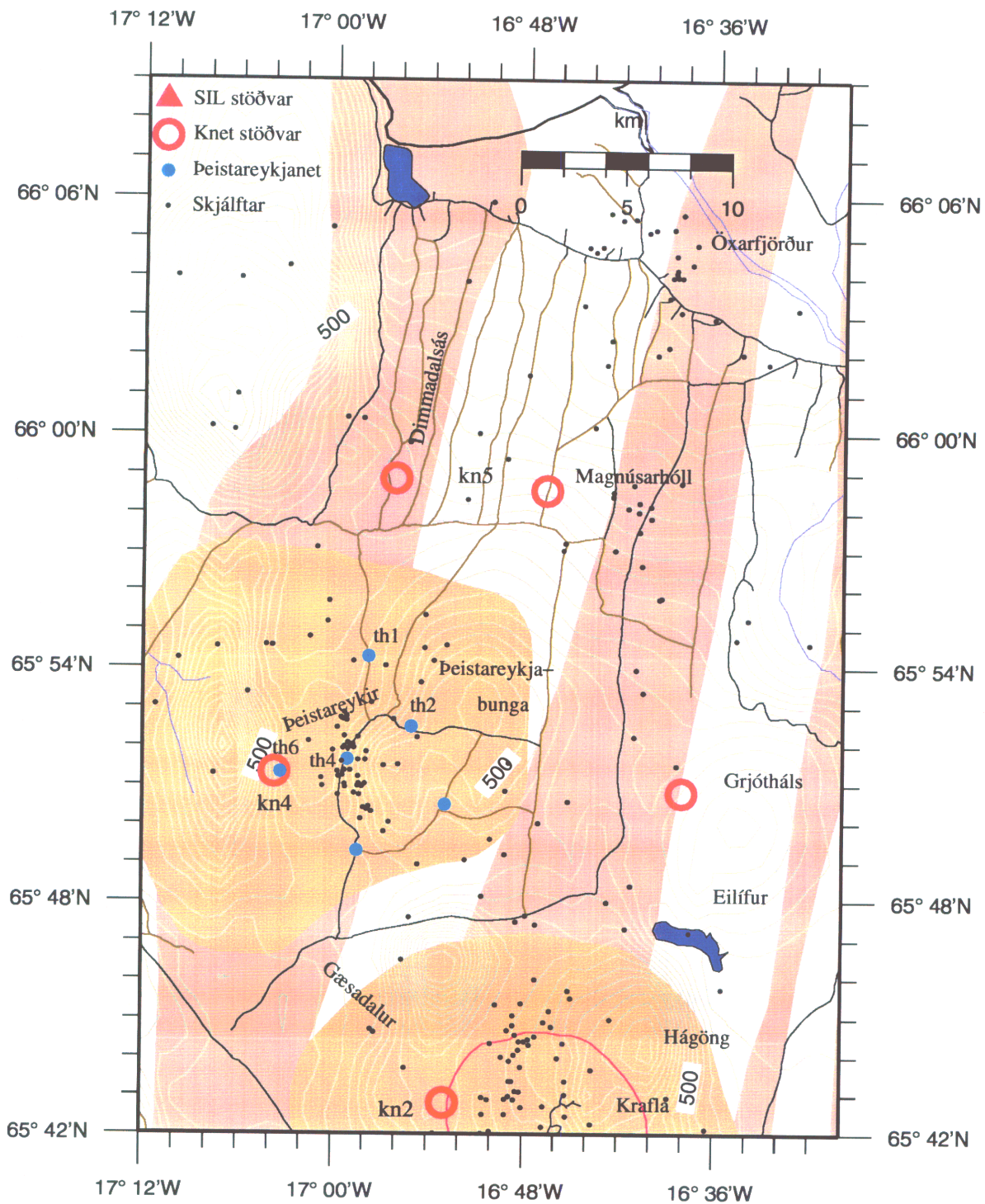
Samantekt: Þegar skoðað er suð á nokkrum stöðvum Þeistareykjanetsins yfir 12 daga tímabil, kemur í ljós að hugsanlega má sjá merki jarðhitasvæðisins á þeirri stöð sem næst er jarðhitasvæðinu, *th4* í miðju netsins. Þessi órói er á tíðnisviðinu 3–7 Hz, hann er stöðugur yfir allt skráningartímabilið og 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) [2]. Svipað mynstur sást einnig í óróagögnum frá Sandabotnaskarði, 5 km fyrir sunnan Kröflu [5]. Það virðist því sem svo að óróinn á jarðhitasvæðum sé aðallega á tíðnum undir 10 Hz.

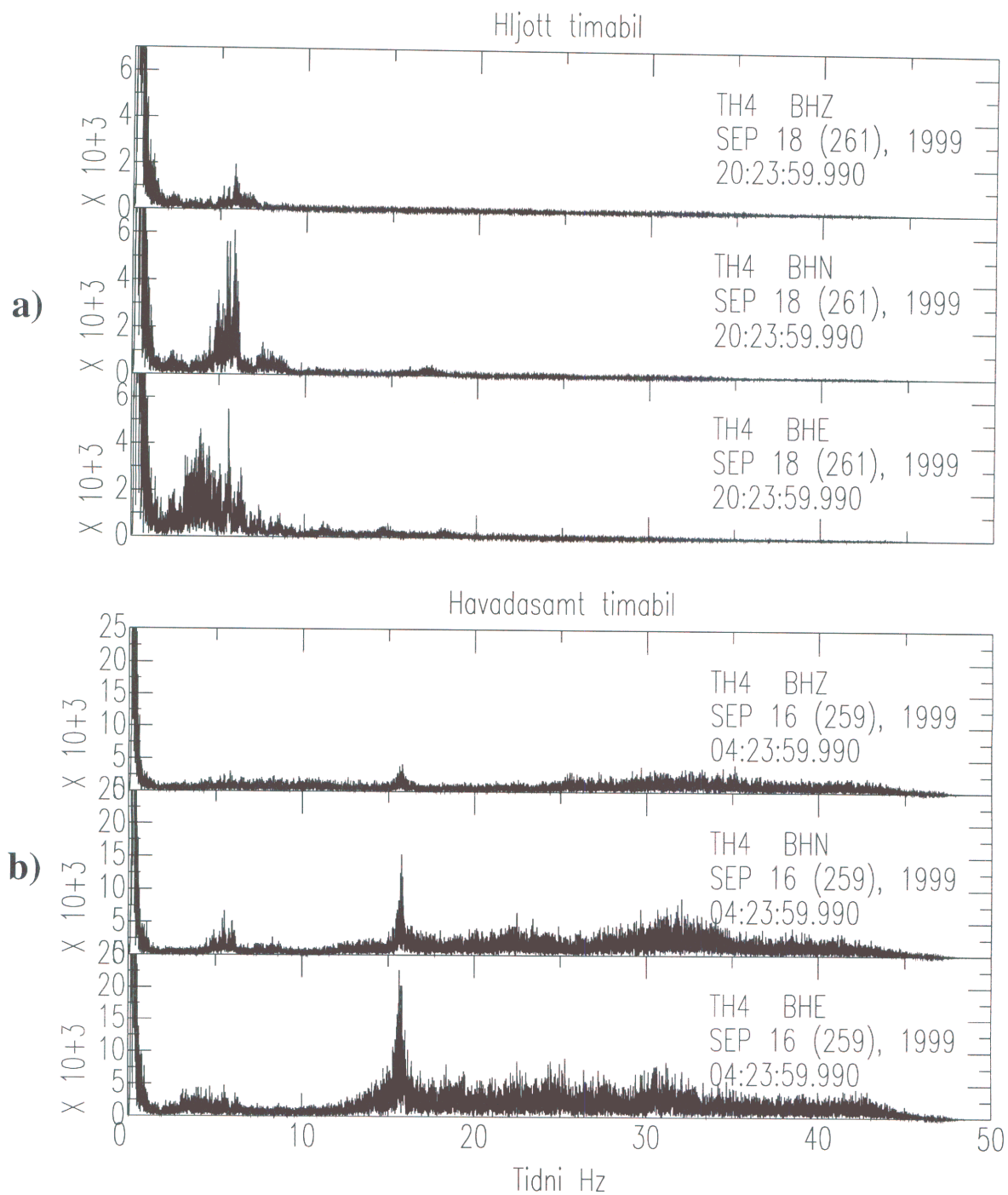
Þó svo þetta suð sé tengt jarðhitasvæðinu, er þó ekki vitað hvort það tengist einungis suðu svæðisins í hverum, við yfirborð, eða einnig suðu dýpra í kerfinu. Til að komast að því þyrfti að setja upp fjölda tímabundinna smáneta (*e. arrays*) og miða út upptök og fasahraða þessa suðs.

Heimildir

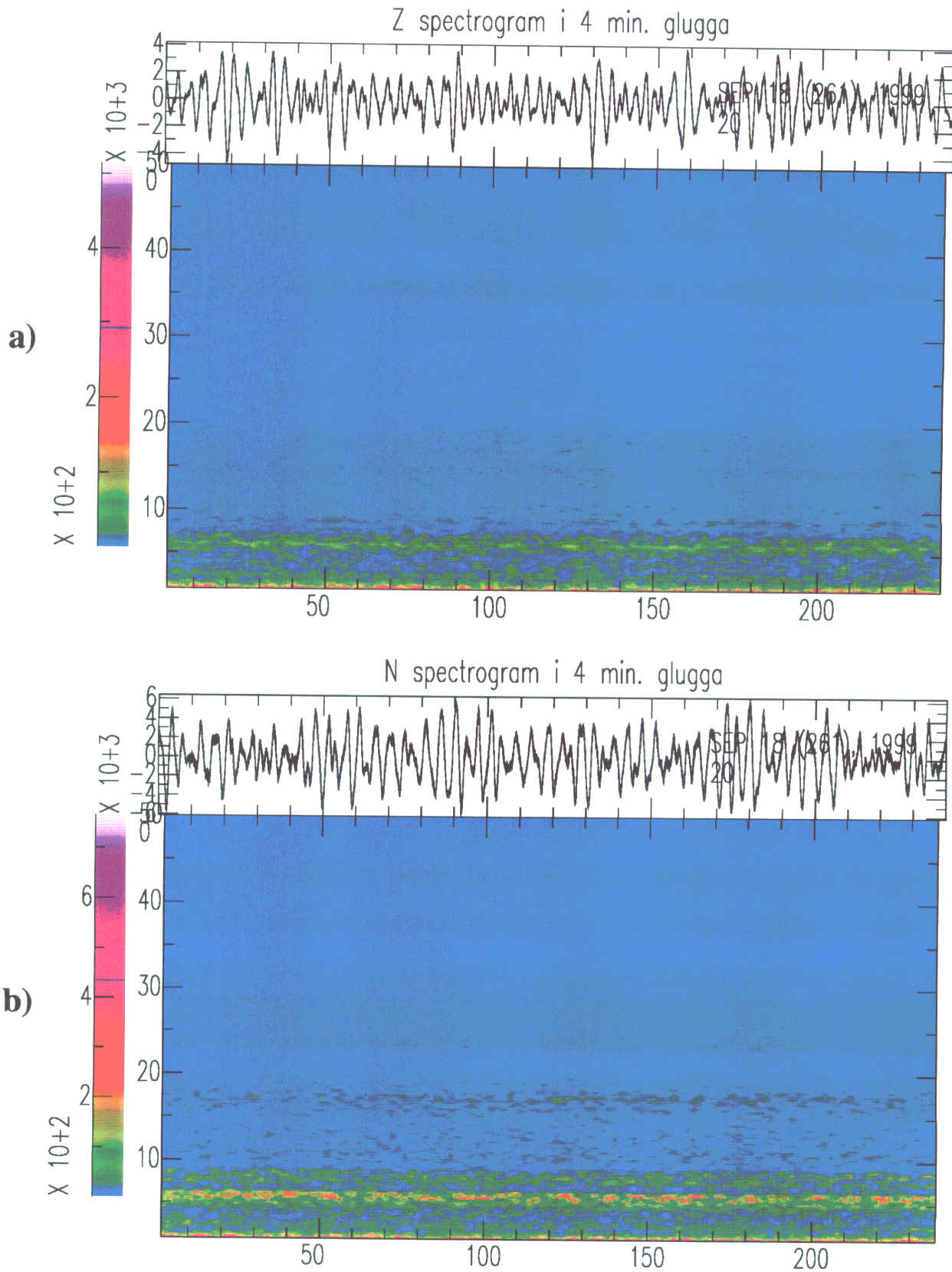
- [1] Kristín S. Vogfjörð, “KNET: Tillögur að uppsetningu mælanets til skráningar smáskjálfta á háhitasvæðunum við Námafjall, Kröflu, Þeistareyki og í Öxarfirði,” 1999. Greinargerð á OS, maí 1999.
- [2] Kristín S. Vogfjörð, “Forkönnun mælistaða fyrir skjálftamælanet í NA gosbeltinu,” 1999. Greinargerð á OS, nóv. 1999.
- [3] Sigurður Th. Rögnvaldsson, Kristín S. Vogfjörð, og Ragnar Slunga, “Kortlagning brotflata á Hengilssvæði með smáskjálftum,” Skýrsla VÍ-R99002-JA01, Veðurstofa Íslands, 1999.
- [4] Gestur Gíslason, Gunnar V. Johnsen, Halldór Ármannsson, Helgi Torfason, og Knútur Árnason, “Þeistareykir. Yfirborðsrannsóknir á háhitasvæðinu,” 1984.
- [5] Kristín S. Vogfjörð, “Smáskjálftar í Kröflu í lok borunar holu KJ-31 í október 1997,” Skýrsla OS-99012, Orkustofnun, 1999.



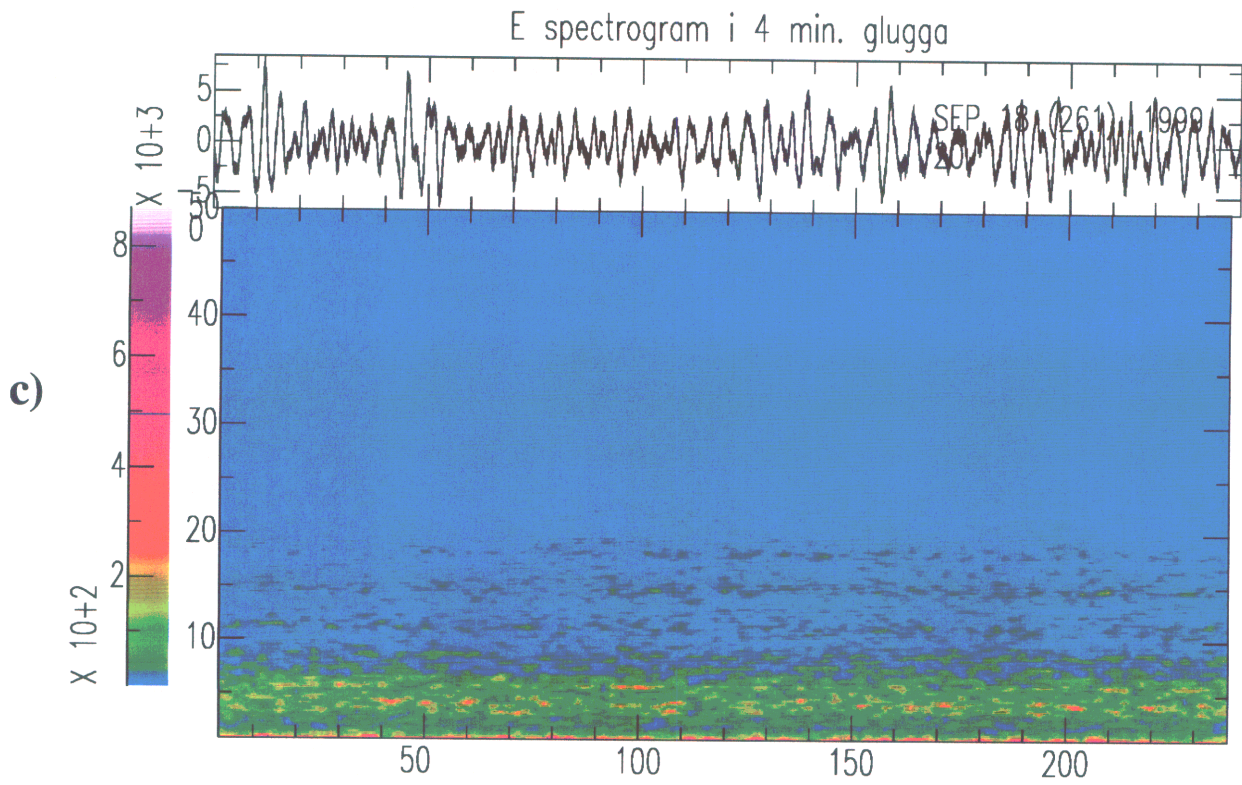
Mynd 1. Kort af norðaustur gosbeltinu, sem sýnir staðsetningar stöðva í Peistareykjaneti (bláar) og staðsetningar fyrirhugaðra fastasköðva (rauðir hringir). Sprungusveimar og megineldstöðvar eru skyggðar og helstu kennileiti merkt.



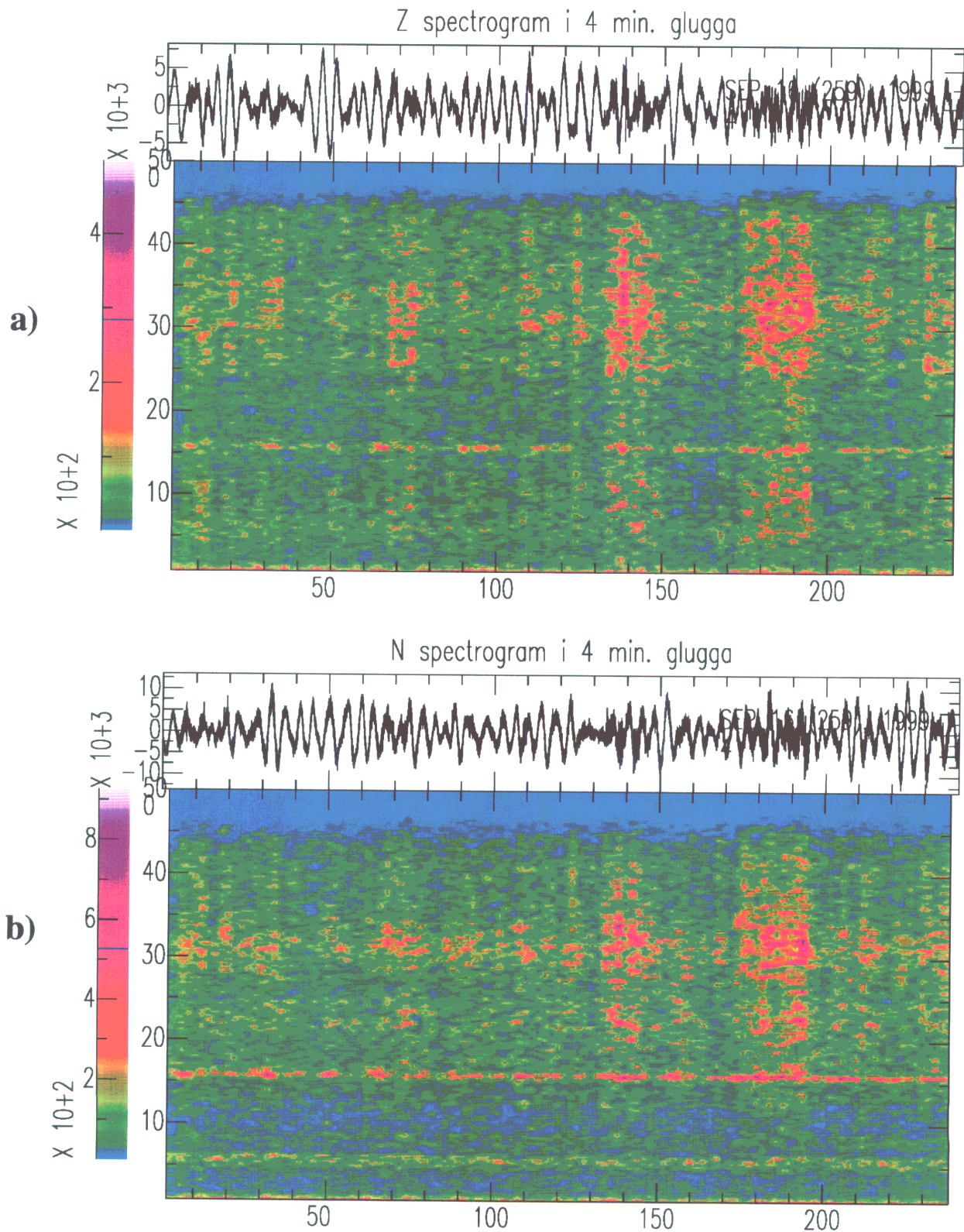
Mynd 2. a) Tíðniróf í 4 mín. löngum hljóðlátum glugga, kl. 20:24, 18. sept. frá stöð th4 við Bæjarfjall. Efst er lóðréttur þáttur mælisins, þá norður þáttur og neðst austur þáttur. Bakgrunnsóróinn er á tíðnibilinu 3-7 Hz. b) Tíðniróf í hávaðasömum 4 mín. löngum glugga kl. 04:24, 16. sept. frá stöð th4. Óróinn á tíðnibilinu 3-7 Hz er svipaður og áður, en að auki hefur orðið mikil aukning í óróa fyrir ofan 13 Hz. Sterkur toppur er við 16 Hz.



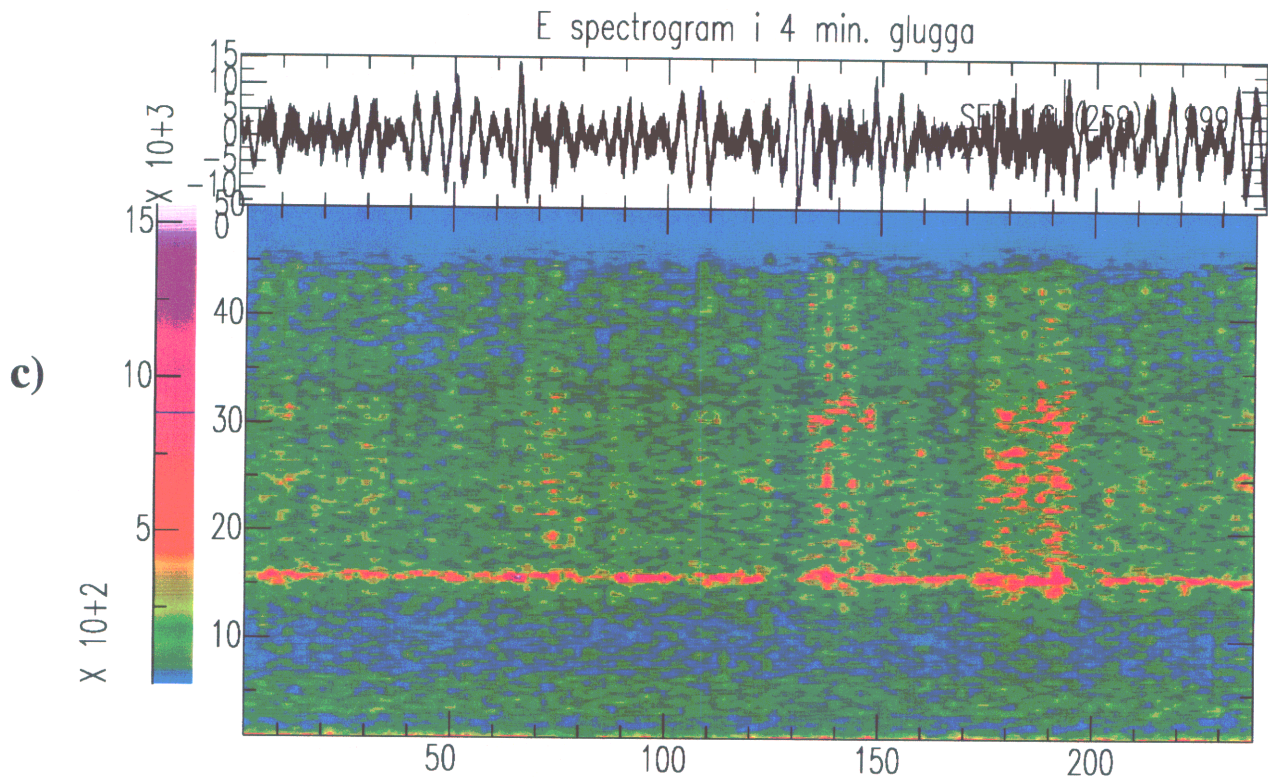
Mynd 3. a) Tíðnirit lóðrétta þáttar frá stöð th4 á sama hljóðláta tímabili og sýnt er á mynd 2a. Á lóðrétta ásnum er tíðni, frá 0.8-50 Hz, á þeim lárétta tími í sek, alls 4 mínútur. Við 6 Hz er greinilegt samfellt orkuband og lítil orka er fyrir ofan 10 Hz. b) Tíðnirit norður þáttar frá stöð th4 fyrir sama tímabil og í a. Bandið við 6 Hz er einnig greinilegt á þessum þætti og talsvert orkumeira en á lóðrétta þættinum. orkann er líka dálítið dreifðari. (frh.)



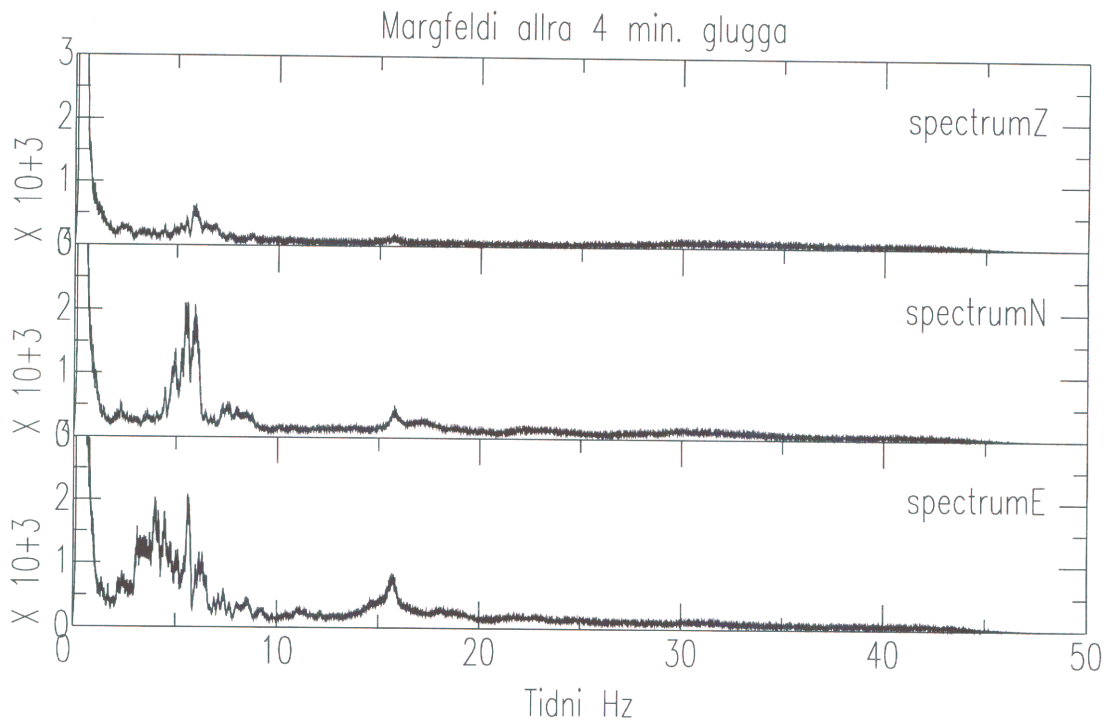
Mynd 3. (frh.) c) Tíðnirit austur þáttar á stöð th4 í hljóðlátum glugga. Tíðni (frá 0.8-50 Hz) er á lóðrétta ásnum og tími í sek. á þeim lárétta. Orkan er nokkuð jafndreifð yfir tíðnibandið 3-6 Hz.



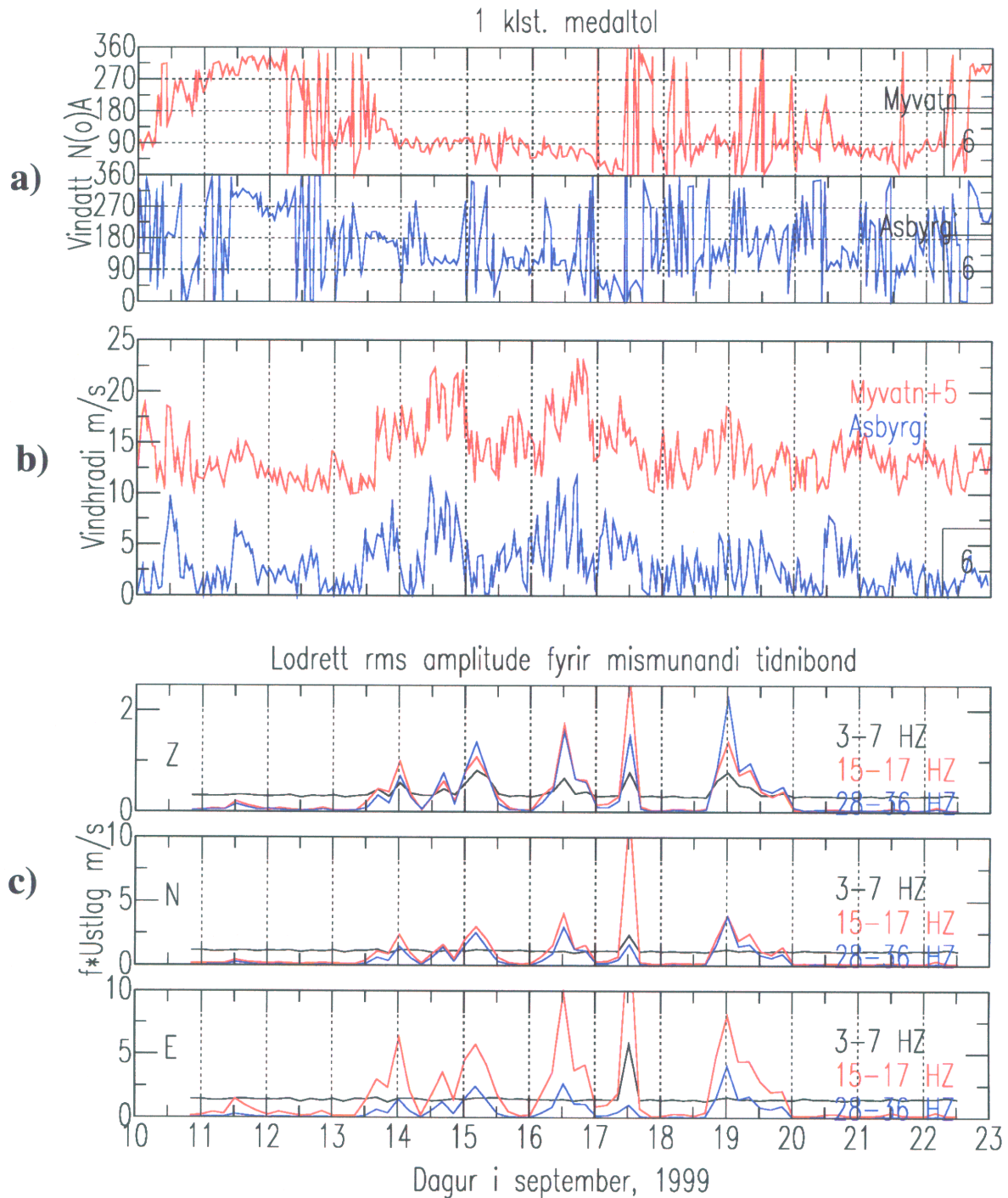
Mynd 4. a) Tíðnirit lóðrétta þáttar frá stöð th4 á sama hávaðasama tímabili og sýnt er á mynd 2b. Á lóðrétta ásnum er tíðni, frá 0.8-50 Hz, á þeim lárétta tími í sek, alls 4 mínútur. Nú er orka á öllum tíðnum og sjá má skarpann topp við 16 Hz og svo breiðara band frá ~25-35 Hz. Orkubandið við 6 Hz, sem áður sást á hljóðlata tímabilinu er nú grafið í öðrum hávaða. b) Tíðnirit norður þáttar fyrir sama tímabil. Orkutopparnir við 16 Hz og í kringum 30 Hz eru greinilegir, og svo á einnig við um toppinn við 6 Hz. Þó hann sé heldur orkuminni en efri böndin.



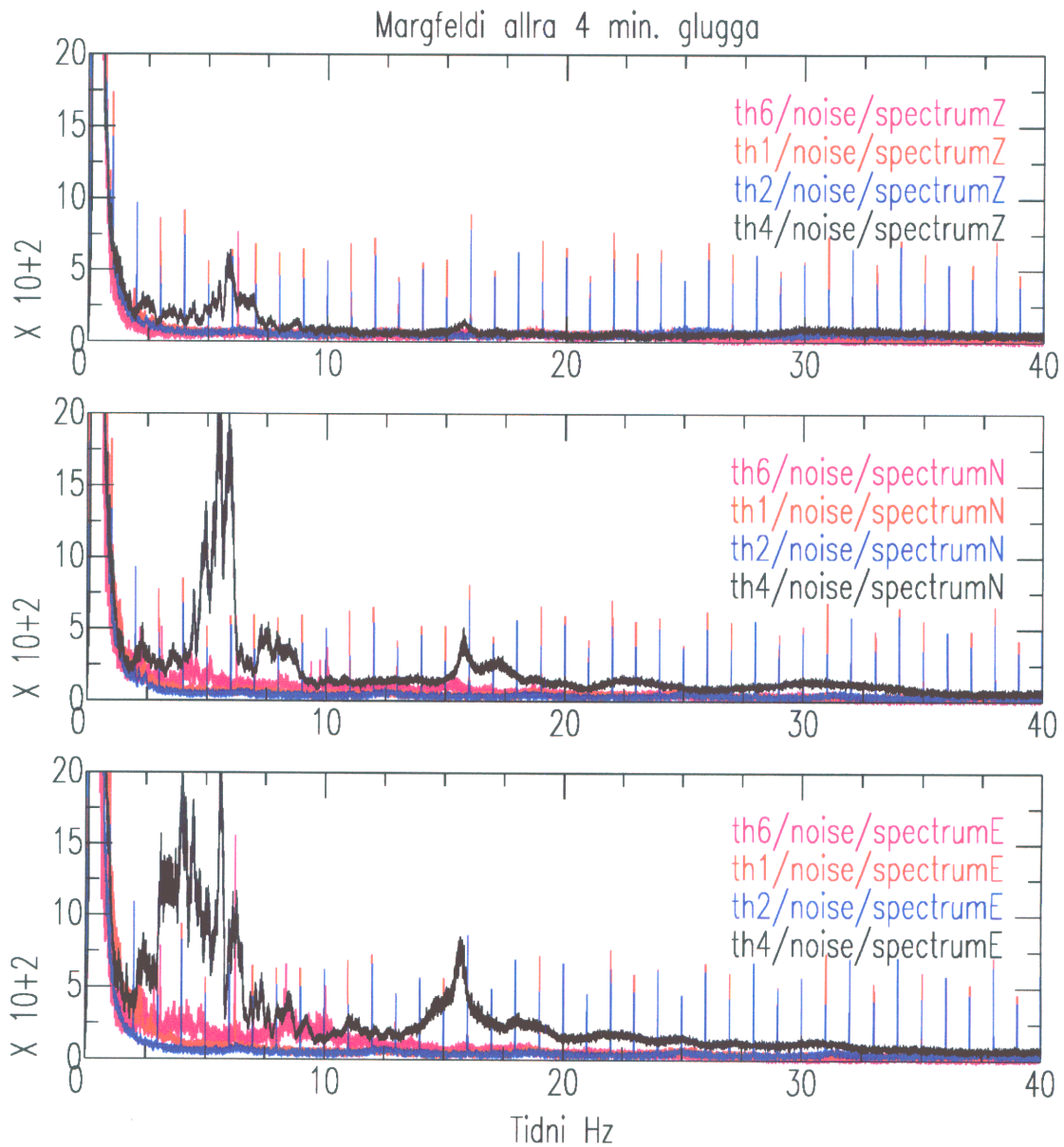
Mynd 4. (frh.) c) Tíðnirit austur þáttar á stöð th4, í hávaðasömum glugga. Tíðni (frá 0.8-50 Hz) er á lóðrétta ásnum og tími í sek. á þeim lárétta. Orkan á tíðnisviðinu milli 3 og 6 Hz sést enn vel, en mun meiri orka er á hærri tíðnum. Sterkastur er toppurinn við 16 Hz og einnig er bandið í kringum 30 Hz orkuríkt.



Mynd 5. Uppsafnað tíðniróf allra 4 mínútu óróaglugga á stöð th4, yfir 12 daga tímabil (alls 71). Tíðnirófið er mjög svipað rófinu á mynd 2a fyrir hljóðlát tímabil, en með minna flökti. Uppspretta óróabandsins milli 3 og 6 Hz er greinilega stöðug í tíma, en orkan á hærri tíðnum er breytileg og hefur því eyðst út. Þó sér enn merki toppsins við 16 Hz, einkum á láréttu þáttunum.



Mynd 6. a) Klukkustundarmeðaltöl vindáttar við Mývatn (rauður ferill) og í Ásbyrgi (blár) yfir skráningartímabilið, sem stóð frá 11.-23 sept. 1999. b) Klukkustundarmeðaltöl vindhraða við Mývatn og í Ásbyrgi. Nokkuð sterkur vindur er á tímabilinu frá miðjum degi 14. sept., þar til árla morguns þann 18. og svo aftur í kringum miðnættið þann 19. Þá er enn fremur nokkuð stöðug austanátt. c) Rms útslag x mögnunarfaktor tækjanna, f á tíðniböndunum : 3-7 Hz (svart), 15-18 Hz (rautt) og 28-36 Hz (blátt) frá öllum þáttum mælisins á th4. Aukin orka í efri tíðniböndunum tveim viðist nokkurn vegin fylgja vindstyrk við Mývatn, á meðan orkan í bandinu: 3-7 Hz er því sem næst stöðug allt tímabilið.



Mynd 7. Uppsöfnuð tíðniróf allra þátta [Z,N,E] stöðvanna: th1, th2, th4 og th6 í Þeistareykjanetinu. Tækjatrufanir á stöðvum th1, th2 og th6 valda tíðnitoppunum á heiltölutíðnum. Á lóðrétta þættinum er svipuð orka fyrir ofan 10 Hz á öllum stöðvum, en á lárétta þáttinum er hún meiri á stöð th4. Vindhávaðinn við 16 Hz á stöð th4 er heldur ekki sýnilegur á hinum stöðvunum. Fyrir neðan 10 Hz er einnig mun meiri orka á stöð th4, en á hinum þrem. Óróinn á stöð th6, við Gæsku er þó heldur meiri en á th1 og th2. Það gæti þó stafað af staðsetningu hennar í miðjum sprungusveim. Nálægð stöðvar th4 við jarðhitasvæðið á Þeistareykjum og stöðugleiki óróans milli 3 og 6 Hz bendir til að hann geti tengst suðu í jaðhitakerfinu.