



Jarðskjálftar og brot við Trölladyngju og Krýsuvík

Samanburður við eðlisviðnám

Ingvar Þór Magnússon
Knútur Árnason

Unnið fyrir Jarðlind ehf.



ORKUSTOFNUN
Rannsóknasvið

Verknr. 8-630404

Ingvar Þór Magnússon
Knútur Árnason

**Jarðskjálftar og brot við Trölladyngju
og Krýsuvík**
Samanburður við edlisviðnám

Unnið fyrir Jarðlind ehf.


OS-2002/048

Október 2002

ORKUSTOFNUN – RANNSÓKNASVIÐ

Reykjavík: Grensásvegi 9, 108 Reykjavík – Sími: 569 6000 – Fax: 568 8896
Akureyri: Sólborg v/ Norðurslóð, 600 Akureyri – Sími: 463 0957 – Fax: 463 0999
Netfang: os@os.is – Veffang: <http://www.os.is>



Skýrsla nr: OS-2002/048	Dags: Október 2002	Dreifing: <input type="checkbox"/> Opin <input checked="" type="checkbox"/> Lokuð til 1.1.2008
Heiti skýrslu / Aðal- og undirtitill: Jarðskjálftar og brot við Trölladyngju og Krýsuvík Samanburður við eðlisviðnám	Upplag: 30	
	Blaðsíður: 24	
Höfundar: Ingvar Þór Magnússon Knútur Árnason	Verkefnisstjóri: Sverrir Þórhallsson	
Gerð skýrslu / Verkstig: Jarðskjálftar, eðlisviðnám, samanburður.	Verknúmer: 8-630404	
Unnið fyrir: Jarðlind ehf.		
Samvinnuaðilar:		
Útdráttur: Athugun á skjálftavirkni við Trölladyngju og Krýsuvík 1971-1976 og 1991-2001 leiðir í ljós hreyfingar á NS- og AV-lægum brotum. Þessara brota sér lítil merki á yfirborði en þau virðast hafa stórt hlutverk í höggun og eldvirkni. Viðnámsmælingar sýna nokkuð útbreidda jarðhitavirkni og virðist hún mest þar sem AV- og NS-læg jarðskjálftabrot mætast.		
Lykilorð: Trölladyngja, Krýsuvík, jarðskjálftar, eðlisviðnám, jarðhiti.	ISBN-númer:	
	Undirskrift verkefnisstjóra: 	
	Yfirfarið af: SP, SvB	

Efnisyfirlit

1	Skjálftavirkni við Trölladyngju og Krýsuvík	5
1.1	Dreifing virkni í tíma	6
1.2	Óvissa í staðsetningum	9
1.3	Lárétt dreifing skjálfta	9
1.4	Dreifing í dýpi	12
1.5	Brotahreyfingar	15
2	Samanburður á viðnámi og brotavirkni	15
3	Heimildir	24

Myndaskrá

1	Jarðskjálftar á Reykjanesskaga	7
2	Skjálftavirkni við Trölladyngju og Krýsuvík	8
3	Dreifing óvissu í staðsetningu skjálfta	10
4	Samanburður á dreifingu óvissu í staðsetningu skjálfta	10
5	Dreifing skjálfta í láréttu plani 1971–2001	11
6	Dreifing í upptakadýpi skjálfta	13
7	Dreifing skjálfta í láréttu plani á 0–4 km dýpi	14
8	Lárétt dreifing skjálfta frá 1. júlí 1991 til 31. desember 2001	16
9	Túlkað viðnám 100 m yfir sjávarmáli og brot	18
10	Túlkað viðnám við sjávarmál og brot	19
11	Túlkað viðnám 100 m undir sjávarmáli og brot	20
12	Túlkað viðnám 200 m undir sjávarmáli og brot	21
13	Túlkað viðnám 400 m undir sjávarmáli og brot	22
14	Túlkað viðnám 600 m undir sjávarmáli og brot	23

1 Skjálftavirkni við Trölladyngju og Krýsuvík

Undir lok árs 2001 var lokið við skýrslu um viðnámsmælingar við Hengil og á Hellisheiði. Það verk var unnið á Orkustofnun fyrir Orkuveitu Reykjavíkur. Þar voru niðurstöður viðnámsmælinga bornar saman við aðrar jarðeðlisfræðilegar athuganir – jarðskjálftavirkni, gögn úr borholum, gas í gufuaugum og þyngdarmælingar (Knútur Árnason og Ingvar Þór Magnússon, 2001). Þessi vinna og niðurstöður þeirra vöktu áhuga forsvarsmanna Jarðlindar ehf. á að láta gera ámóta samanburð á niðurstöðum viðnámsmælinga og dreifingu jarðskjálfta við Trölladyngju.

Með því að skrá jarðskjálfta má fá upplýsingar um brotahreyfingar í jarðskorpunni. Virk brot skapa og viðhalda lekt og þar með rennslisleiðum fyrir grunnvatn. Kortlagning virkra brota er sérstaklega áhugaverð á háhitasvæðum því að þar sem þau er að finna má búast við að vatn komist djúpt í skorpuna og vinni varma úr berginu. Megindrífkrafturinn í varmaflutningi í háhitakerfum, frá varmagjöfum djúpt í jörðu og upp á vinnanlegt dýpi er hræring, þar sem heitt vatn stígur upp og dregur að kaldara vatn frá hliðum. Opnar sprungur í háhitakerfum og nágrenni þeirra geta því ýmist verið aðrennslisleiðir tiltölulega kalds vatns að varmagjöfum eða uppstreymis- og/eða frárennslisleiðir heits vatns.

Þegar jarðhitavökvi streymir um bergið ummyndar hann frumsteindir þess og einnig falla oft út steindir úr vökvanum sem geta á endanum lokað rennslisleiðum. Útfellingar eru einkum miklar þar sem jarðhitavatn kólnar eða blandast kaldara grunnvatni, svo sem á jöðrum uppstreymissvæða eða þar sem jarðhitavirknin er dvínandi og einnig þar sem suða á sér stað. Útfellingar virðast oft vera furðu fljótar að loka rennslisleiðum einkum á ytri mörkum jarðhitakerfa því að jaðrar þeirra eru oft mjög skarpir og breytast lítið með dýpi, jafnvel þar sem yfirborðsummerki sýna verulega nýlega brotavirkni nærri þvert á útmörkin. Það getur því oft verið erfitt að draga ályktanir um rennslisleiðir jarðhitavökvans út frá sýnilegri brotavirkni á yfirborði því að útfellingar geta hafa lokað sprungum og eins getur höggunuarmynstrið djúpt í jörðu verið verulega öðruvísi en virðast kann út frá ummerkjum á yfirborði.

Árið 1971 hófst samvinna Orkustofnunar, Raunvísindastofnunar Háskólans og Lamontstofnunar (Columbia University, USA) um rekstur á varanlegum skjálftastöðvum á Reykjanesskaga til að fylgjast með skjálftavirkni. Mælar voru settir upp sumarið 1971 við Valahnúka, Minni-Vatnsleysu, Gufuskála, Krýsuvík, Þorbjarnarfell og Sýrfell. Sveinbjörn Björnsson veitti góðfúslegt leyfi til að birta hér þann hluta gagnasafnsins er varðar staðsetningar jarðskjálfta á Reykjanesskaga árin 1971–1976. Mynd 1a sýnir dreifingu skjálftanna. Dreif skjálfta kemur fram við Reykjanes og þaðan liggur mjó rein skjálfta til austurs í átt að sunnanverðu Kleifarvatni.

Árið 1990 hóf Veðurstofa Íslands uppbyggingu skjálftamælanets á Suðurlandi, sem almennt gengur undir nafninu SIL-kerfið (Södra Íslands Lågland). Í fyrstu voru settir upp átta skjálftamælar á Suðurlandi, en þeim fjölgaði í árunna rás. SIL-kerfið er háþróað jarðskjálftamælanet og að verulegu leyti sjálfvirkt. Einstakar mælistöðvar skrá atburði við jarðskjálfta og senda upplýsingar til móðurtölvu á Veðurstofu Íslands. Móðurtölvann staðsetur skjálftann sjálfvirkt og kallar eftir frekari gögnum frá mæli-

stöðvum sé þess þörf. Þrátt fyrir háþróaðan hugbúnað kerfisins eru allar sjálfvirkar staðsetningar yfirfarnar og endurbættar, ef þörf er á, af sérfræðingum Veðurstofunnar, áður en þær eru skráðar í gagnagrunn. Ef fjöldi skjálfta á tímaeiningu verður mjög mikill getur komið fyrir að ekki hafist undan að yfirfara alla skjálfta og afleiðingin getur orðið sú að í öflugum hrinum eru ekki allir skjálftar sem kerfið nemur skráðir í gagnagrunn. Nánari lýsingu á SIL-kerfinu og næmni þess á Suðvesturlandi er að finna í skýrslu eftir Sigurð Th. Rögnvaldsson o.fl. (1998).

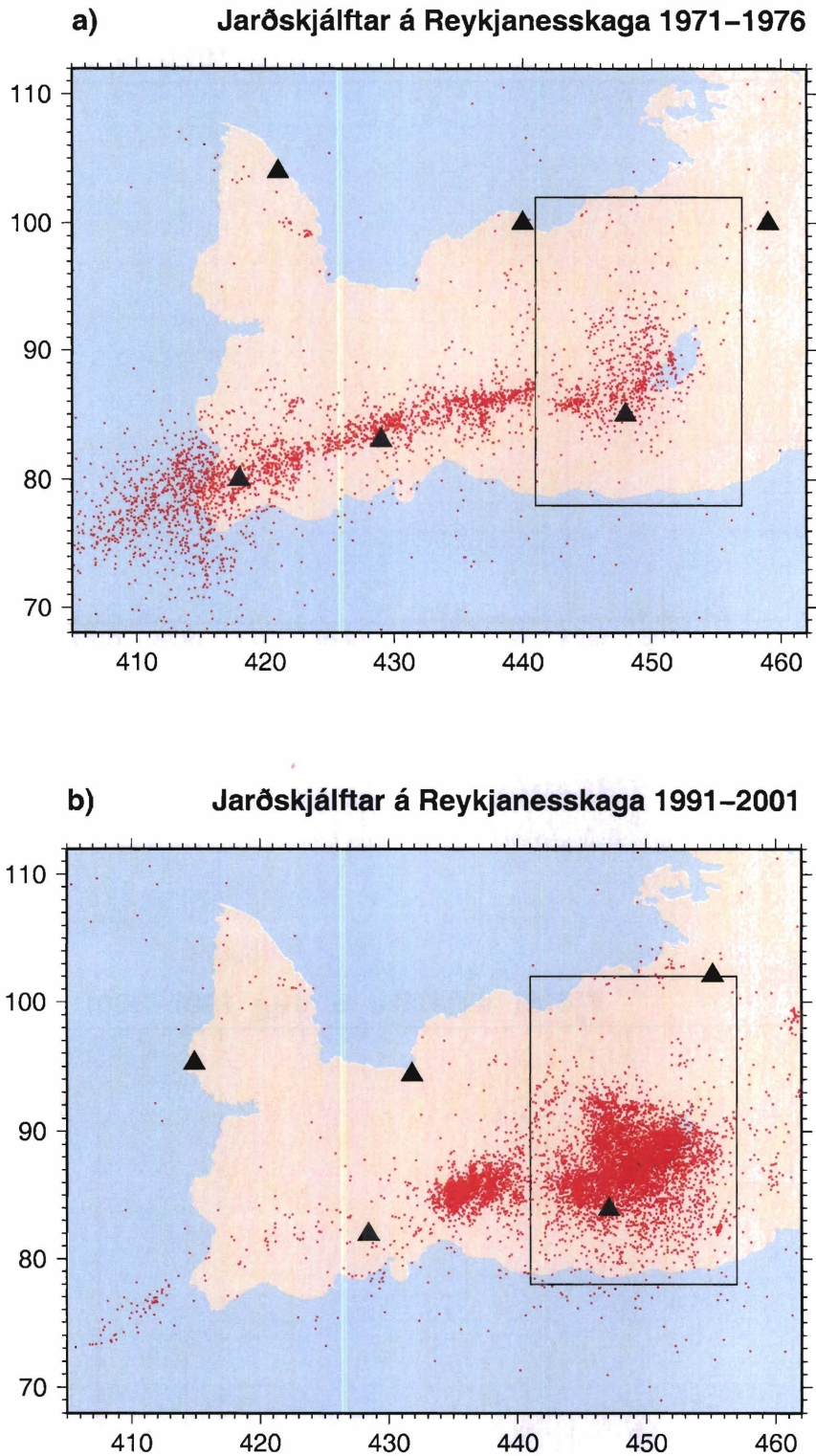
Í gagnagrunni Veðurstofunnar eru skráð gögn um skjálftavirkni á Reykjanesskaga frá 1. júlí 1991. Í byrjun árs 1993 er tekin í notkun mælistöð í Krýsuvík en undir lok ársins 1996 og í ársbyrjun 1997 var netið á Reykjanesskaga bætt verulega með sex nýjum stöðvum; Þær eru á Sandskeiði, Stafnesi, í Grindavík, Hafnarfirði, Selvogi og Vogum. Þá fyrst verður nákvæmni SIL-netsins á Reykjanesskaga viðunandi. Veðurstofa Íslands lét í té alla skjálfta sem voru skráðir og staðsettir frá 1. júlí 1991 til ársloka 2001 og sýnir mynd 1b dreifingu skjálftanna.

Teknir voru til athugunar allir skjálftar sem skráðir hafa verið og staðsettir á svæði, sem markað er með ferning á myndum 1a og 1b. Það takmarkast af Sandfelli og Keili í vestri (UTM-austurhnit 27441000), Fagradalsmúla og Vörðufelli í austri (UTM-austurhnit 27457000), Hraunum og Straumsvík í norðri (UTM-norðurhnit 7102000) og Krýsuvíkurbjargi í suðri (UTM-norðurhnit 7078000). Þetta eru 734 skjálftar í mæliátakinu 1971–1976 og 7.414 skjálftar skráðir af SIL-kerfinu.

1.1 Dreifing virkni í tíma

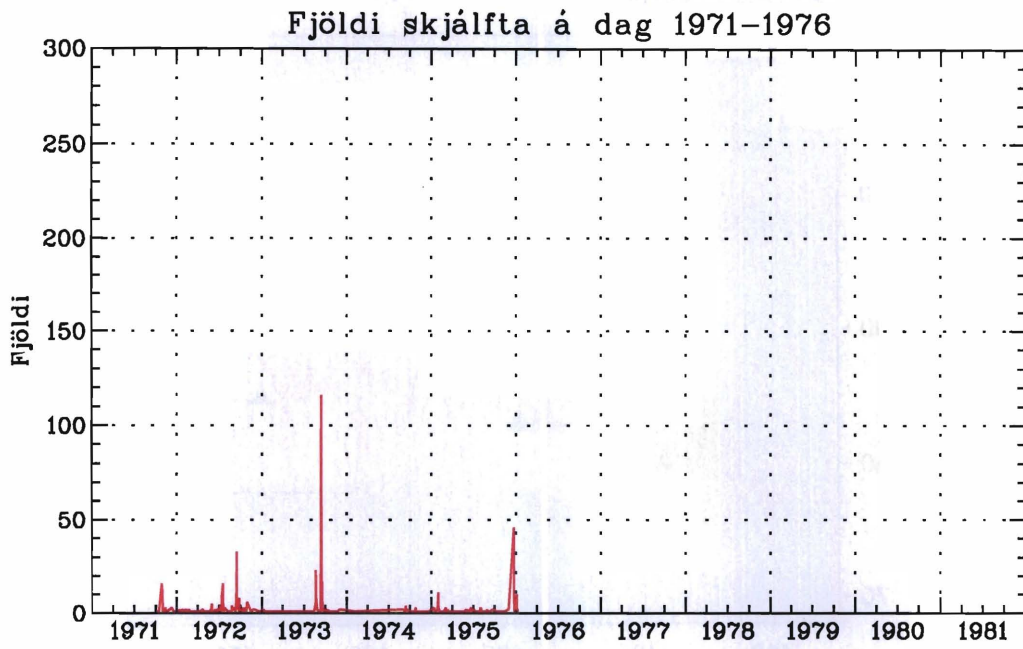
Mynd 2a sýnir skjálftavirkni sem skráð var á þessu athugunarsvæði í mæliátaki Orkustofnunar og Raunvísindastofnunar 1971–1976. Skjálftavirknin á þessum tíma einkennist af stuttum hrinum, með 10–50 skjálfta. 15. september 1973 varð skjálfti rúmlega 5 stig að stærð við Núpshlíðarháls og tveimur dögum síðar álíka stór skjálfti við Fagradalsfjall norðaustan Grindavíkur. Þessum stóru skjálftum fylgdu margir smáir skjálftar og færðust upptök þeirra á fjórum dögum eftir mjórri rein vestur á Reykjanes og austur að Kleifarvatni, sbr. mynd 1a (Stefán Arnórsson o.fl., 1975; Páll Einarsson og Sveinbjörn Björnsson, 1987).

Mynd 2b sýnir dreifingu skjálftavirkni á þessu svæði frá 1. júlí 1991 til ársloka 2001. Þar sést að virknin er tiltölulega lítil fram til loka árs 1996, að undanskildum stuttum hrinum í nóvember 1992, september 1993 og maí 1996. Um áramótin 1996–1997 eykst jarðskjálftavirknin. Hrina með rúmlega 160 skjálfta á dag verður 23. febrúar 1997 og allt árið eru tíðar stuttar hrinur með 10–50 skjálfta á dag. Árið 1998 er virknin nokkuð meiri en fyrra ár og fimm sinnum verða hrinur með fleiri en 50 skjálfta á dag. Heldur dregur úr virkni í ársbyrjun 1999 en eftir miðjan júní og út júlí verða nokkrar hrinur, sú stærsta 12. júlí með 258 skjálfta. Seinnihluta árs 1999 dregur úr virkni. Í janúar og apríl árið 2000 verða nokkrar smáar hrinur. Stór jarðskjálfti verður á Suðurlandi 17. júní 2000 og í kjölfar hans fylgja jarðskjálftar við Kleifarvatn. Eftir það hefur virknin verið tiltölulega lítil fram til dagsins í dag.

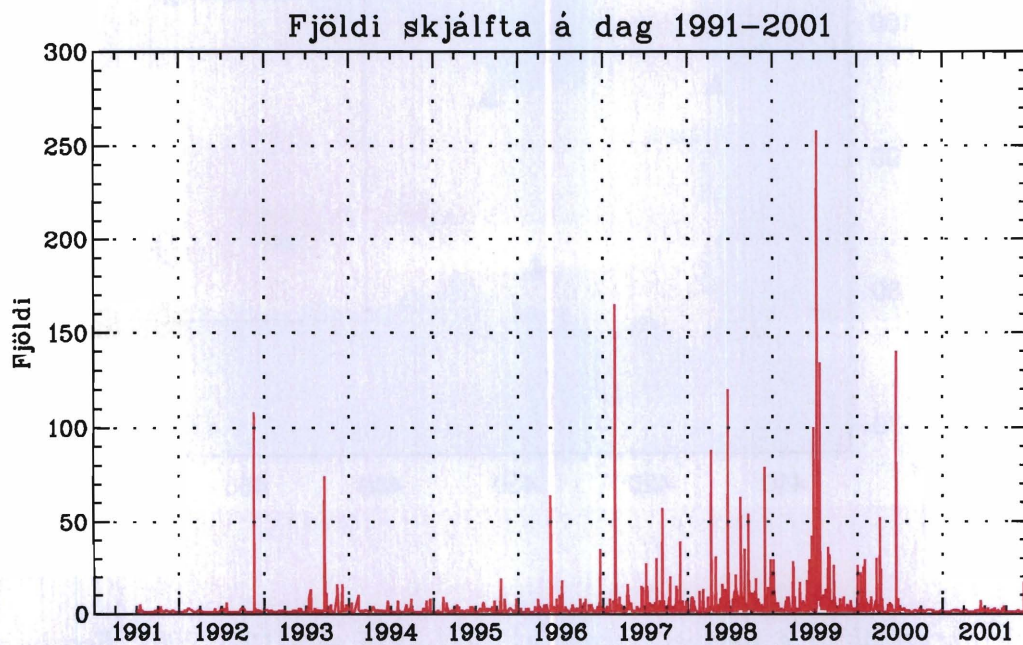


Mynd 1: Jarðskjálftar á Reykjaneskaga a) 1971-1976 og b) 1991-2001. Ferningur á myndunum markar svæði sem tekið er til nánari athugunar í þessari skýrslu. Þríhyrningar tákna mælistaði.

a)



b)



Mynd 2: Skjálftavirkni við Trölladyngju og Krýsuvík; a) 1971-1976, b) 1991-2001.

Hafa ber í huga að vegna jarðskjálfta á Suðurlandi árið 2000 var gæðaþröskuldur hækkaður fyrir sjálfvirkt staðsetta og sóttu atburði frá 20. júní til 31. ágúst það ár.

Austan Kleifarvatns virðist ástand jarðskorpunnar breytast og bergið vera sterkara því þar mælast fáir jarðskjálftar fyrr en kemur að austur að Brennisteinsfjöllum og Hengilssvæðinu.

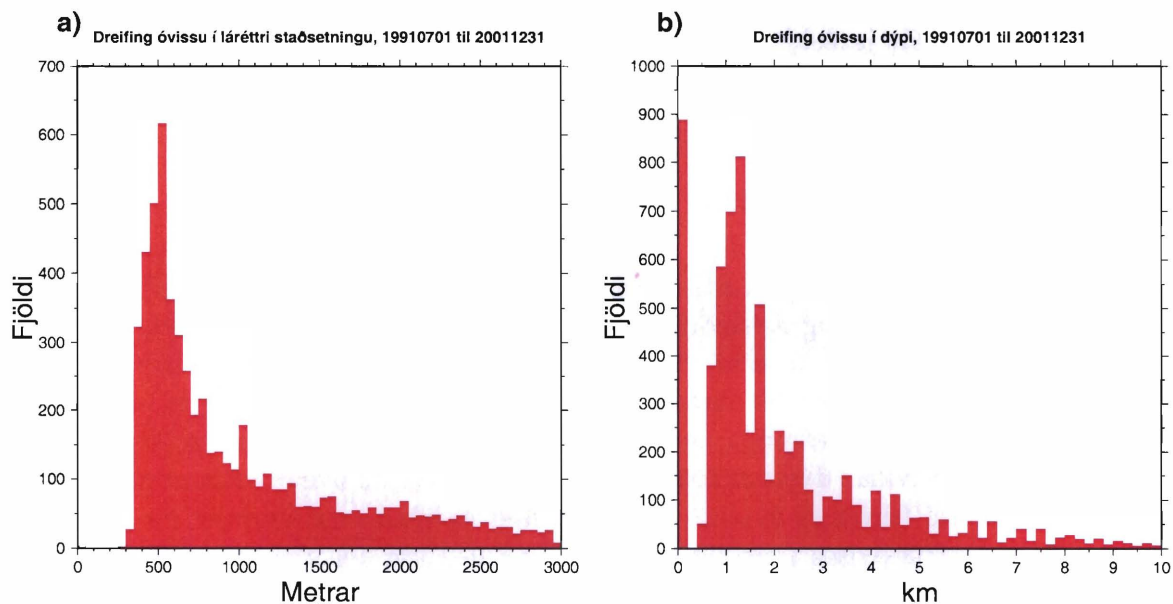
1.2 Óvissa í staðsetningum

Við staðsetningu skjálfta, sem SIL-kerfið skráir, er reiknuð út óvissa, bæði í láréttar stefnur og í dýpi. Dreifing áætlaðrar óvissu í staðsetningu skjálfta á Reykjanesskaga er sýnd á mynd 3. Mynd 3a sýnir dreifingu staðalfrávika staðsetninga í láréttum fleti (68% líkindi eru fyrir því að lárétt hnit upptaka skjálftans séu innan hrings með miðju í uppgefinni staðsetningu og radíus upp á eitt staðalfrávik) og mynd 3b sýnir dreifingu staðalfrávika í dýptarákvörðun. Af mynd 3 sést að óvissa er mun meiri í dýpi en í láréttu plani (dreifing óvissu í láréttum fleti er sýnd í metrum en í kílómetrum fyrir dýpi). Algeng óvissa í dýptarákvörðun er 0,8–2 km, en verulegur fjöldi skjálfta er með meiri óvissu. Súlan með óvissuna núll svarar til skjálfta þar sem dýpi hefur verið ákvarðað handvirkt. Algeng óvissa í láréttum fleti er 400–700 m og meginhluti skjálftanna er með lárétta óvissu innan við 1 km.

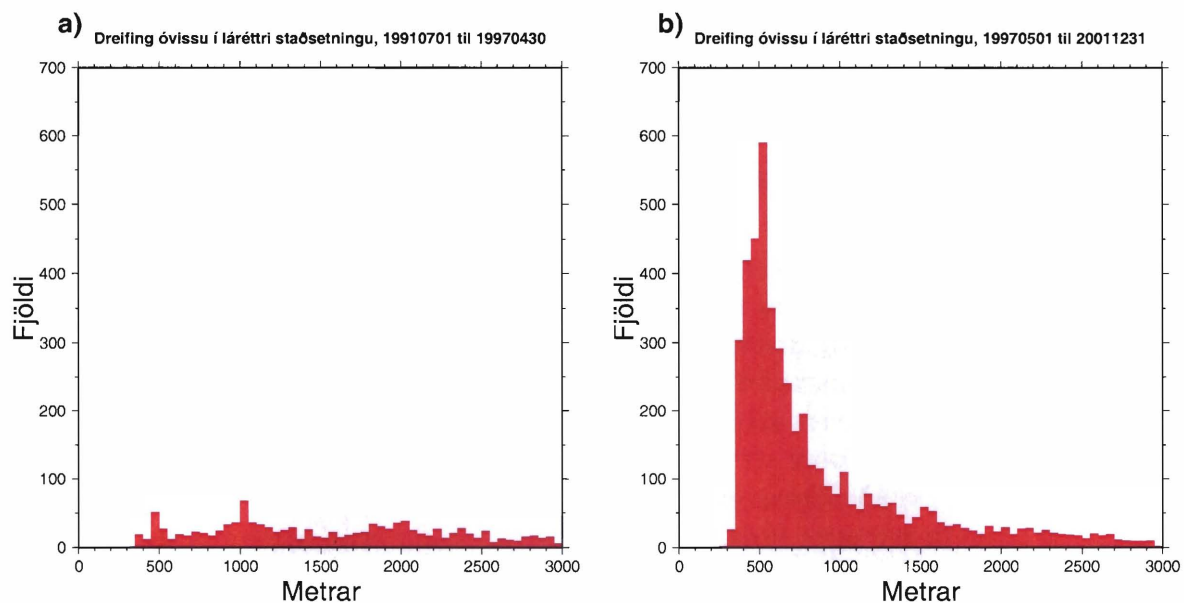
Eins og áður hefur komið fram, var SIL-skjálftamælanetið á Reykjanesskaga bætt með því að bæta við nýjum mælum í í árslok 1996 og ársbyrjun 1997. Eldri mælar sem einkum nema skjálfta við Trölladyngju eru í Krýsuvík, á Heiðarbæ í Þingvallasveit og á Bjarnastöðum í Ölfusi. Með tilkomu nýju stöðvanna jókst næmni og staðsetningarnákvæmni kerfisins verulega, eins og sést á mynd 4. Mynd 4a sýnir dreifingu í lárétttri óvissu fram til loka apríl 1997 og mynd 4b sýnir samsvarandi dreifingu frá byrjun maí 1997, eftir að nýju stöðvarnar eru komnar í rekstur.

1.3 Lárétt dreifing skjálfta

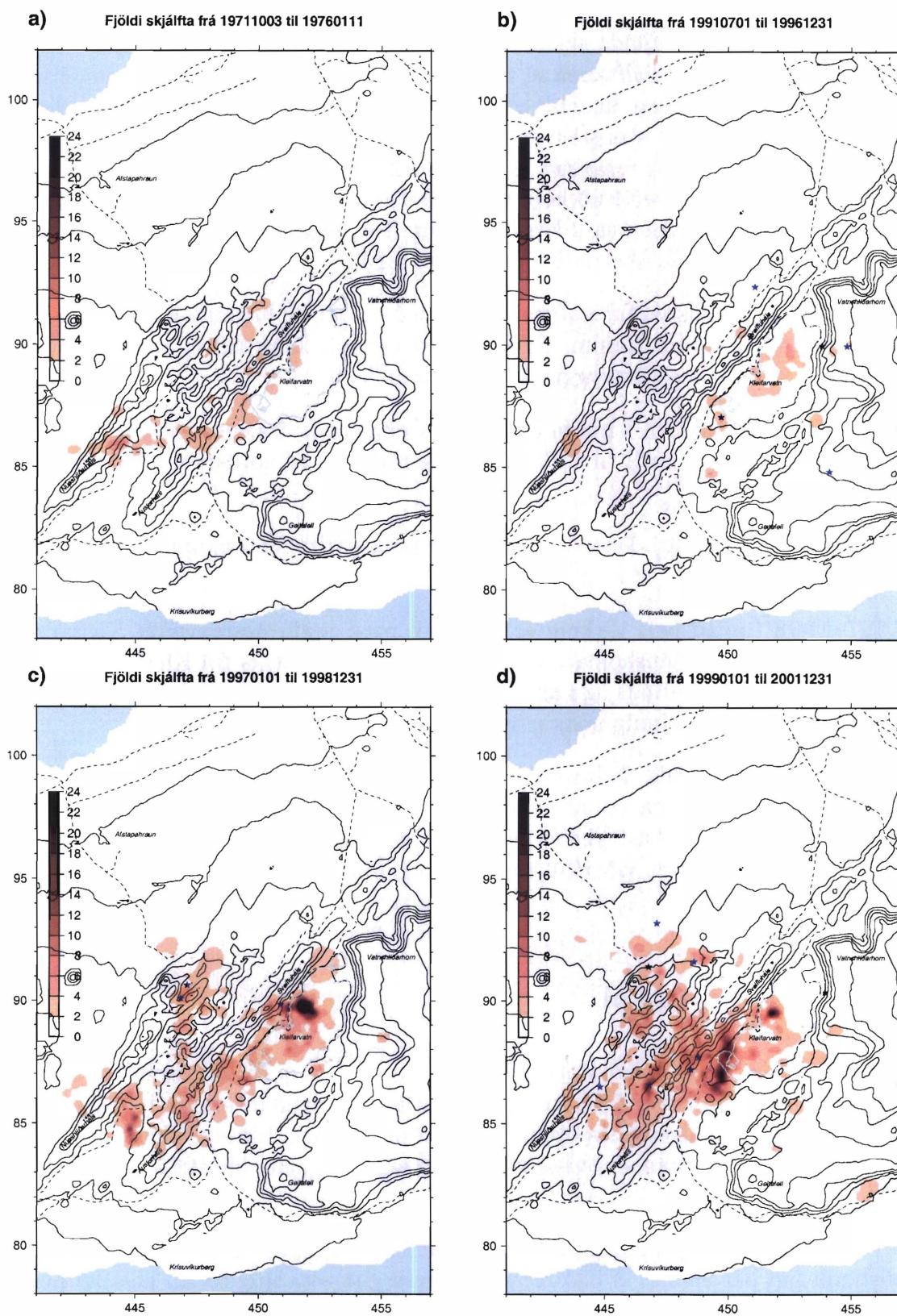
Til að draga fram upplýsingar um brotavirkni á Trölladyngju- og Krýsuvíkursvæði var dreifing skjálftavirkinnar í láréttum fleti skoðuð, þ.e. staðsetningu hvers skjálfta er varpað til yfirborðs og dreifing ofanvarpanna (e. epicenters) skoðuð. Til að skoða dreifinguna var athugunarsvæðinu skipt upp í reiti, 250 m á kant, og fjöldi skjálfta með lárétt hnit innan hvers reits talin. Í ljósi óvissu í staðsetningum skjálftanna, sem sýnd er hér að framan, kann að virðast óraunhæft að ætla að greina lárétta dreifingu á svo finum skala, því að óvissan er yfirleitt verulega meiri en 250 m. Það ber þó að hafa í huga að líkindin eru mest fyrir því að skjálftarnir hafi í raun uppgefna staðsetningu (svo fremi að ekki séu fyrir hendi kerfisbundnar skekkjur) og minnka með fjarlægð frá henni. Þannig eru 68% líkindi fyrir því að hún sé innan uppgefinna óvissumarka.



Mynd 3: Dreifing óvissu í staðsetningu skjálfta á Trölladyngju- og Krýsuvíkursvæði; a) staðalfrávik í lárétrri staðsetningu, b) staðalfrávik í dýpi.



Mynd 4: Samanburður á dreifingu óvissu í staðsetningu skjálfta á Trölladyngju- og Krýsuvíkursvæði; a) áður en netið var þétt, b) eftir að bætt var við stöðvum.



Mynd 5: Dreifing skjálfta á Trölladyngju- og Krýsuvíkursvæði í lárétu plani; árin 1971-1976 (a), 1991-1996 (b), 1997-1998 (c) og 1999-2001 (d); Skjálftar stærri en 3 stig á Richterkvarða eru sýndir með bláum stjörnum.

Í ljósi þessa og mikils fjölda skjálfta (rúmlega 7.400) er við því að búast að upplausn í rúmlægri dreifingu skjálftanna sé verulega meiri en óvissa í staðsetningum einstakra skjálfta. Upplausnin var könnuð með því að telja skjálfta í misstórum reitum. Þá kom í ljós að myndin skerptist og kerfisbundnir fínir drættir komu í ljós eftir því sem möskvastærðin var minnkuð, allt niður í 250 m, en breyttist lítið með enn minni möskvum. Því var ákveðið að nota net með 250 m möskvum en jafnframt að útiloka skjálfta með meiri óvissu en 2 km í láréttum fleti, sem fækkaði heildarfjölda skjálfta sem skráðir eru af SIL-kerfinu úr um 7.400 í 5.200.

Áður en dreifing alls skjálftasafnsins er skoðuð er rétt að huga að því hvernig virknin dreifist á mismunandi tímum. Fjöldi skjálfta innan 250×250 m reita fyrir nokkur tímabil er sýndur með litskyggingu á myndum 5a–5d.

1971–1976 (mynd 5a). Virknin er vestan Kleifarvatns, frá sunnanverðu Kleifarvatni er dreif af skjálftum bæði til VSV að Vigdísarhálsi og til norðurs um Sveifluháls í átt að Mávahlíðum.

1991–1996 (mynd 5b). Þessi ár mælast fáir jarðskjálftar en virknin er einkum bundin við Kleifarvatn.

1997–1998 (mynd 5c). Virknin er áberandi mest undir vestanverðu Kleifarvatni á milli Innristapa (Stefánshöfða) og Syðristapa. Til suðvesturs frá Kleifarvatni er töluverð virkni við Austurháls og í átt að Vigdísarvöllum. Austan Djúpavatns og norðurs um Fíflavallafjall er einnig nokkur virkni.

1999–2001 (mynd 5d). Töluverð virkni er undir vestanverðu Kleifarvatni. Áberandi er skjálftadreif syðst og vestast við Kleifarvatn á NS-lægri línu. Töluverð virkni er undir vestanverðum Austurhálsi og þaðan er virknin annars vegar til norðurs um Djúpavatn að Eldborg við Höskuldarvelli og hins vegar í átt að norðaustanverðu Fíflavallafjalli.

1.4 Dreifing í dýpi

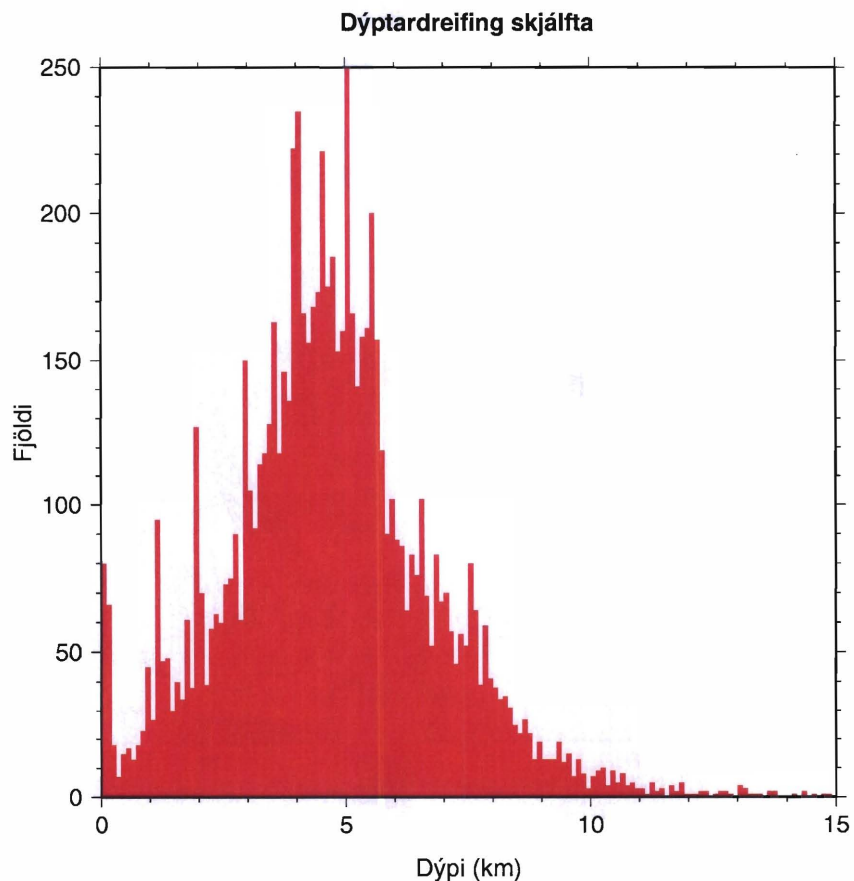
Mynd 6 sýnir tíðnidreifingu á upptakadýpi jarðskjálfta á Trölladyngju- og Krýsuvíkursvæði, sem skráðir eru af SIL-kerfinu. Þar kemur fram að meginhluti skjálftanna er á 3–7 km dýpi og að algengasta upptakadýpi er um 4–6 km. Eins og áður er komið fram, á mynd 3 hér að framan, er óvissa í dýpi verulega meiri en í lárétttri staðsetningu, eða um 1 til 2 km.

Mynd 6 sýnir nokkuð dæmigerða dýptardreifingu skjálfta. Lítið er um skjálfta nærri yfirborði því þar er bergið það brotið að sprungur geta hreyfst án þess að því fylgi skjálftar (toppur í efstu 200 m er ekki marktækur, því hann er leifar frá sjálfvirkum staðsetningum, trúlega úr stórum hrinum, sem sloppið hafa framhjá handvirkri endurstaðsetningu). Eftir því sem þrýstingur eykst með dýpi eykst skjálftavirknin og nær hámarki á 4–6 km dýpi. Þar fyrir neðan fækkar skjálftum aftur því að bergið fer að verða deigt við háan hita og þrýsting. Þar fer bergið að hníga undan álagi frekar en brotna með skjálftum.

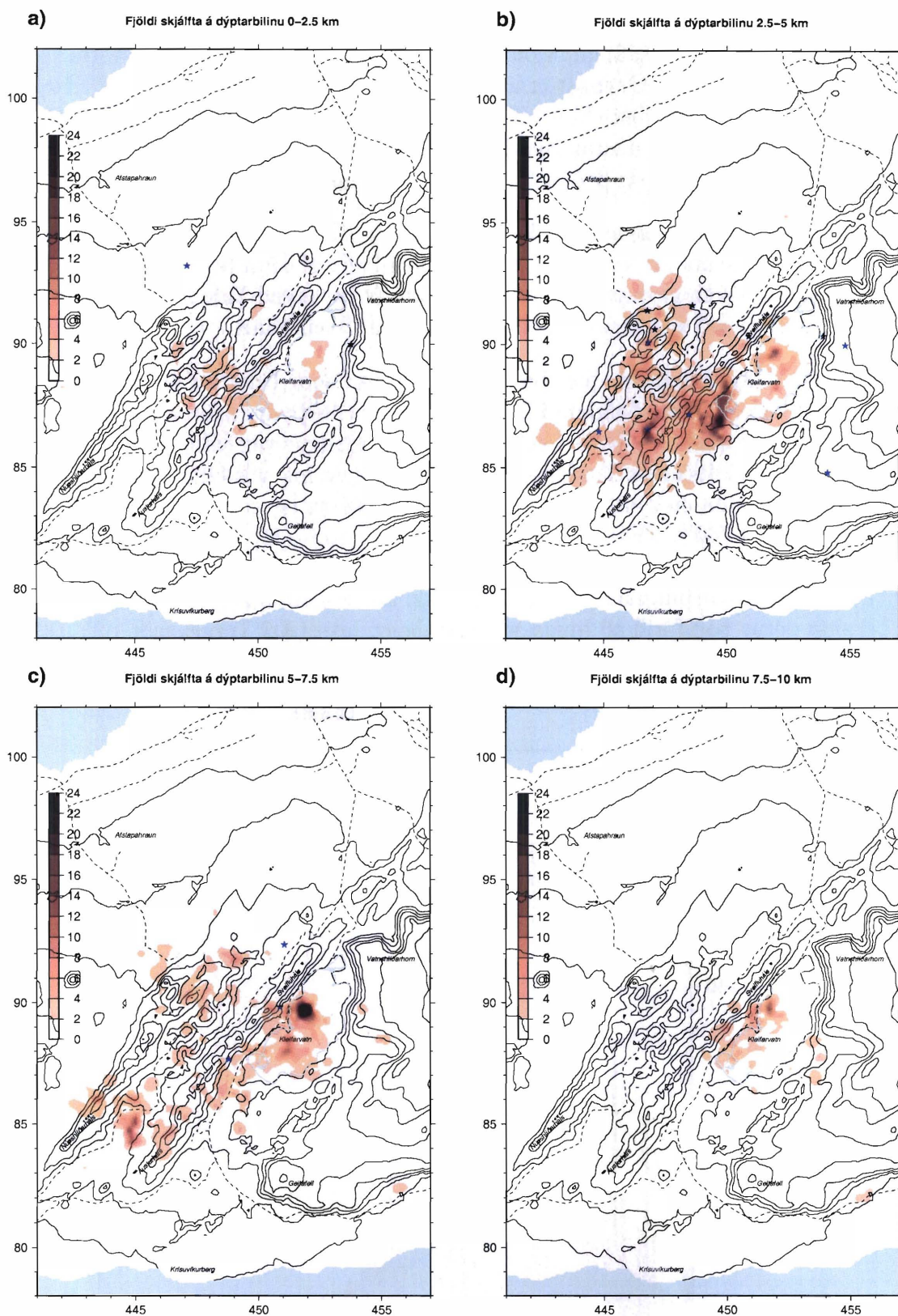
Mynd 7 sýnir lárétta dreifingu í fjölda skjálfta í 2,5 km þykkum sneiðum, frá yfirborði og niður á 10 km dýpi. Grynnt er á skjálfta austan Djúpavatns og þaðan til suðausturs um Sveifluháls að syðsta hluta Kleifarvatns. Einnig er grunnt á skjálfta á N-S-lægu beltinu undir Kleifarvatni austan Syðristapa. Á 2,5–5 km dýpi er virknin mest áberandi suðvestan Kleifarvatns og þaðan til vesturs að Núpshlíðarhálsi og Trölladyngju.

Á 5–7,5 km dýpi er áberandi mikil virkni undir Kleifarvatni, undan Syðristapa, og þaðan til suðvesturs að Vigdísarvöllum. Athyglivert er að á þessu dýpi er lítil virkni á þeim stöðum sem grynnt er á skjálftavirkni (s.br. mynd 7a). Á 7,5–10 km dýpi er virknin bundin við vestanvert Kleifarvatn austan Sveifluháls.

Neðri mörk skjálftavirkni, þ.e. það dýptarbil þar sem berg fer að hníga frekar en brotna, ráðast einkum af ríkjandi hitastigi, því að eðlisþyngdarbreytingar eru yfirleitt litlar frá einum stað til annars í skorpunni og þrýstingur vex yfirleitt á svipaðan hátt með dýpi. Í basaltskorpu landsins verður þessi breyting yfirleitt á um 6–7 km dýpi innan gosbeltanna en á um 9–10 km dýpi utan þeirra og er hún talin verða við hita á bilinu 600 til 700°C (Foulger, 1995; Ari Tryggvason o.fl., 2001). Breytingar í neðri mörkum skjálftavirkni, frá einum stað til annars, eru því taldar gefa upplýsingar um hitaástand jarðskorpunnar. Þetta þarf þó ekki að vera einhlítt, því ef vatn er til staðar í berginu getur það farið að hníga við mun lægri hita (Ari Tryggvason o.fl., 2001).



Mynd 6: Dreifing í upptakadýpi skjálfta á Trölladyngju- og Krýsuvíkursvæði.



Mynd 7: Dreifing skjálfta á Trölladyngju- og Krýsuvíkursvæði í láréttu plani á mismunandi dýpi: 0–2,5 km (a), 2,5–5 km (b), 5–7,5 km (c) 7,5–10 km (d); Skjálftar stærri en 3 stig á Richterkvörða eru sýndir með bláum stjörnum.

1.5 Brotahreyfingar

Með því að skoða myndir 5 og 7 í smáatriðum, og með nánari skoðun á einstökum hrinum, sem ekki eru sýndar hér, má sjá merki um allmörg brot sem hreyfst hafa á undanförunum árum. Þau virðast flest falla inn í sama mynstur, þ.e. AV-læg brot, sem hliðrast til suðurs um NS-læg brot, og tengjast síðan aftur brotum með AV-læga stefnu sunnar og vestar.

Mynd 8 sýnir lárétta dreifingu allra skjálfta sem skráðir hafa verið af SIL-kerfinu frá 1. júlí 1991 til ársloka 2001 ásamt skjálftum, sem voru skráðir í mæliátaki Orkustofnunar og Raunvísindastofnunar 1971-1976. Á myndinni er einnig sýnd (með grænum línunum) áætluð staðsetning helstu brota eða brotabelta sem hreyfst hafa á þessu tímabili. Brot sem talið er að glögglega megi greina eru dregin með heildreginni línu, en óvissari brot með brotnum línunum. Brotin eru annars vegar með stefnu um N-7°-A og hins vegar N-84°-A. Mynd 8 sýnir (með bláum línunum) sjáanleg brot á yfirborði við Trölladyngju og Krýsuvík samkvæmt könnun Hauks Jóhannessonar (pers. uppl.). Hvorug skjálftabrotastefnan er nærri meginbrotastefnunni, N-45°-A, sem mest er áberandi á yfirborði. Brot og misgengi með NS-læga stefnu er samt víða að finna í Vigdísarhálsi, Vatnshlíðarhorni og Lambafelli. Í nútímahraunum eru lítil merki um sprungur og misgengi. Á mynd 8 sést að NS-læg brot, samkvæmt skjálftum, falla víða saman við sveigi eða breytingar á stefnu brota á yfirborði. Þetta sést t.d. vel í Núpshlíðarhálsi vestan Vigdísarvalla og við Trölladyngju. Þetta sést einnig í Sveifluhálsi vestan við suðurenda Kleifarvatns. Þar taka ekki aðeins sprungur á yfirborði sveigi til suðurs, heldur virðist sem það geri Sveifluhálsinn sjálfur og sveigi síðan aftur til suðvesturs sunnan jarðhitans við Krýsuvík.

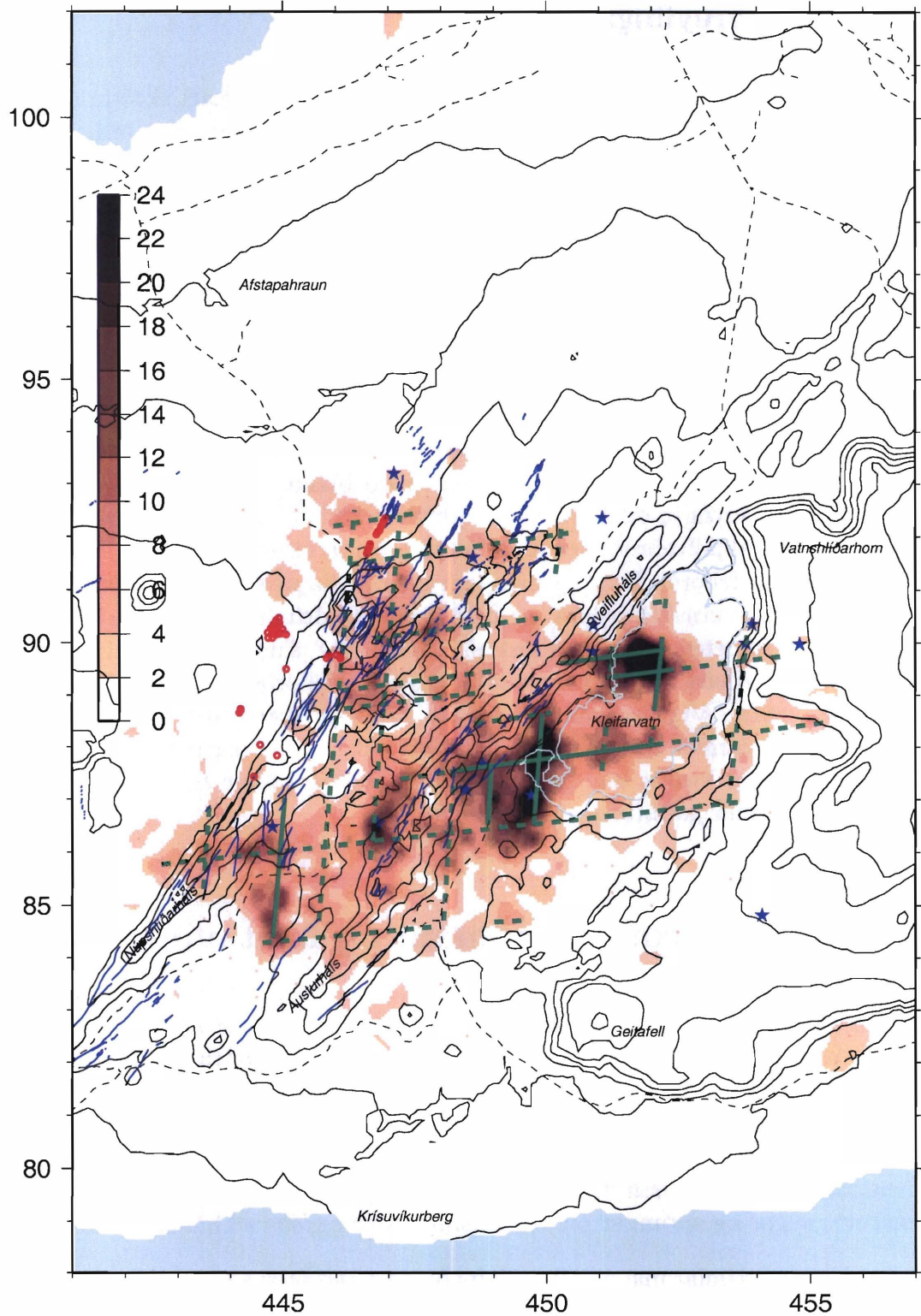
2 Samanburður á viðnámi og brotavirkni

Sameiginlegur grundvallarþáttur háhitakerfa hér á landi er að eldvirkni leggur til varmagjafa (kvikuhólf, innskot og ganga) á nokkurra kílómetra dýpi, sem valda hræringu grunnvatns. Grunnvatn næst varmagjöfunum hitnar og stígur upp en um leið streymir kaldara grunnvatn að varmagjöfunum frá hliðunum. Þannig myndast hræringarhringrás með uppstreymi yfir varmagjöfunum. Í raunveruleikanum er rennslismynstrið reyndar oft mun flóknara því að það stýrist verulega af lekt. Einnig mynda innskot, gangar og sprungur oft rennslishindranir og/eða stefnuháða lekt.

Vegna hræringarinnar má, að öllum jafnaði, gera ráð fyrir að jarðhitavirknin sé öflugust og rísi hæst í uppstreyminu yfir varmagjöfunum. Viðnámsfrávik grunnt í jörðu gefa því oft vísbendingar um uppstreymissvæði. Brotavirkni og lekt ráða hins vegar miklu um streymismynstrið t.d. hvar kalt grunnvatn streymir að varmagjöfunum og hvar heitur jarðhitavökvi streymir upp og út frá meginhræringarkerfinu.

Vorið 2001 kom út skýrsla Hjálmars Eysteinnssonar (2001) um viðnámsmælingar umhverfis Trölladyngju og Núpshlíðarháls. Þar eru birt viðnámskort, sem eru byggð á mælingum 1999 og 2000 auk eldri mælinga. Í lok febrúar 2002 var traustur ís á Kleif-

Fjöldi skjálfta frá 19711003 til 20011231



Mynd 8: Lárétt dreifing skjálfta á Trölladyngju- og Krýsuvíkursvæði frá 3. október 1971 til 11. janúar 1976 og frá 1. júlí 1991 til 31. desember 2001 (skjálftar stærri en 3 á Richterkvörða eru sýndir með bláum stjörnum). Áætluð brot eru sýnd með heildregnum grænum línum, en óvissari brot með brotnum línum. Jarðhiti vestan Núpshlíðarháls er sýndur með rauðum hringjum.

arvatni og var það tækifæri notað til að gera 11 TEM-viðnámsmælingar á vatninu, en notaðir voru vélsleðar við mælingarnar. Mælingar á vatninu hafa verið túlkaðar og niðurstöðum bætt við viðnámskortin (Hjálmar Eysteinnsson, pers. uppl.).

Þegar viðnámskortin eru skoðuð sést að megindrættirnir eru mikið – nær hringlaga – viðnámsfrávik (lágt viðnám með háviðnámskjarna undir) sem afmarkast af Driffelli, Trölladyngju, Kleifarvatni, Krýsuvík og Vigdísarvöllum. Frá lágviðnámssvæðinu liggur lágviðnámsrenna til suðvesturs undir Núpshlíðarhálsi að Sandfelli.

Í kaflanum hér að framan um nýlega skjálftavirkni á Trölladyngju- og Krýsuvíkursvæði kemur hins vegar fram brotamynstur þar sem ríkjandi stefnur eru aðrar en stefnur brota á yfirborði. Til að skoða nánar fylgni eðlisviðnáms við brotastefnur eru nokkur viðnámskort birt hér og brotum samkvæmt athugun Hauks Jóhannessonar bætt inn á myndirnar (bláar línur) og áætluðum brotum samkvæmt skjálftavirkni (grænar línur).

100 m ofan sjávarmáls (mynd 9). Lágviðnámið rís hæst við Djúpatn og í Sogum sunnan Trölladyngju og þar virðist það fylgja brotum á yfirborði með SV-SA stefnu. Frá Grænavatni er lágviðnám til ASA undir Sveifluháls að Austurengjahver. Í hrauninu vestan við Köldunámur í Sveifluhálsi eru gufuaugu með brennisteinsútfellingum og þar kemur fram stök lágviðnámskella. Ef brotið við Lambatanga syðst í Kleifarvatni er framlengt til norðurs þá sker það óljóst A-V brot á stað þar sem er jarðhitinn við Köldunámur.

Við sjávarmál (mynd 10). Jarðskjálftabrotin spanna allt lágviðnámið, sem kemur fram á þessu dýpi. Svæði með lágu viðnámi stækkar með dýpi og hér er kominn háviðnámskjarni neðan lágviðnámsins sem var sýnt á mynd 9 (nema við Köldunámur). Lágviðnámið nær lengst til norðurs á sama stað og N-S brot teygja sig lengst til norðurs og mæta stuttu A-V broti við Eldborg norðan Trölladyngju.

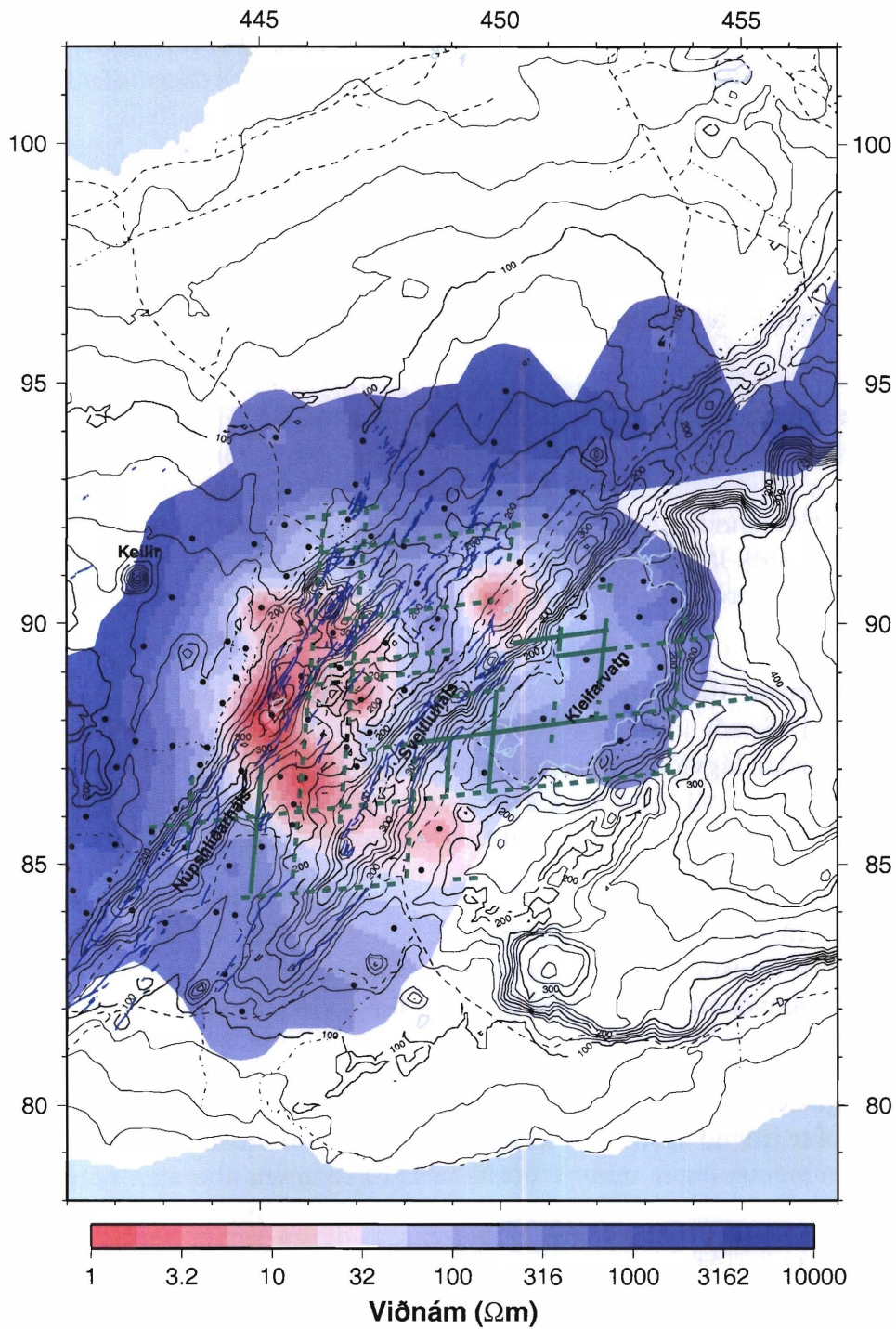
100 m undir sjávarmáli (mynd 11). Nú er kominn fram nær hringlaga háviðnámskjarni og viðnámsfráviknið er allt á svæði þar sem NS-brot skera AV-brot og takmarkast fráviknið af ystu brotunum. Tunga með lágu viðnámi liggur til suðvesturs undir Núpshlíðarhálsi. Lágviðnámið næst ströndinni hefur verið túlkað sem sjávarmettuð jarðlög.

200 m undir sjávarmáli (mynd 12). Viðnámsfráviknið hefur í aðalatriðum svipaða lögun og 100 m ofar (mynd 11), nema hvað það hefur heldur stækkað til vesturs í átt að Driffelli. Lágviðnámsstungan undir Núpshlíðarhálsi er meira áberandi en ofar.

400 m undir sjávarmáli (mynd 13). Eftir því sem dýpra kemur verður viðnámsfráviknið flóknara í lögun. Hátt viðnám er nú neðan lágviðnámsins undir Núpshlíðarhálsi. Viðnámsfráviknið hefur mjög skörp skil í norðri og austri og virðast þau fylgja stefnum á djúplægum jarðskjálftabrotum.

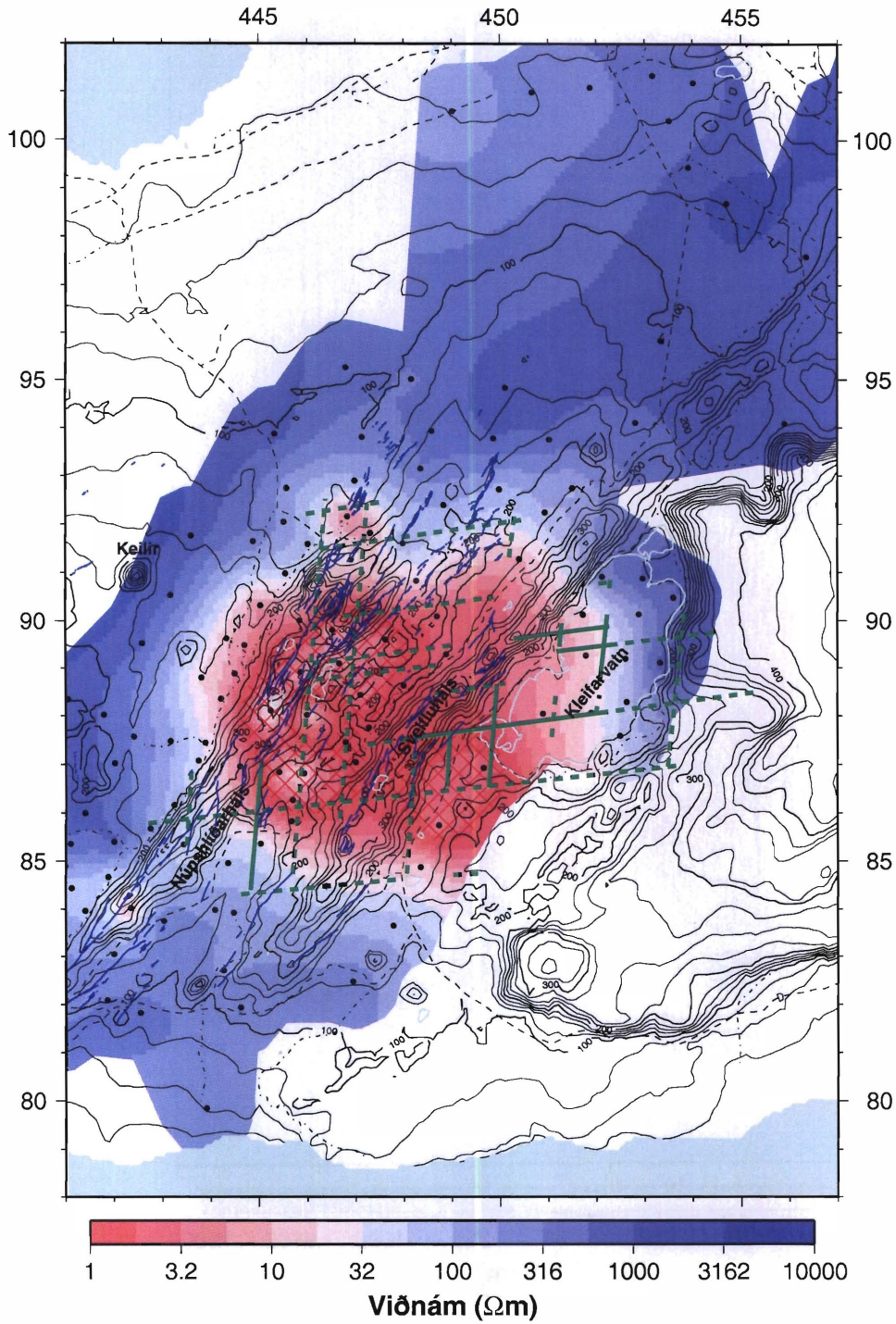
600 m undir sjávarmáli (mynd 14). Þetta dýpi er á neðri mörkum þess sem viðnámsmælingarnar skynja. Hér sést hvernig viðnámsfráviknið er takmarkað af NS- og AV-brotum að norðan, austan og sunnan. Óvíst er um mörk þess til suðausturs en þar hafa enn ekki verið gerðar viðnámsmælingar.

Túlkað viðnám 100 m yfir sjávarmáli og brot



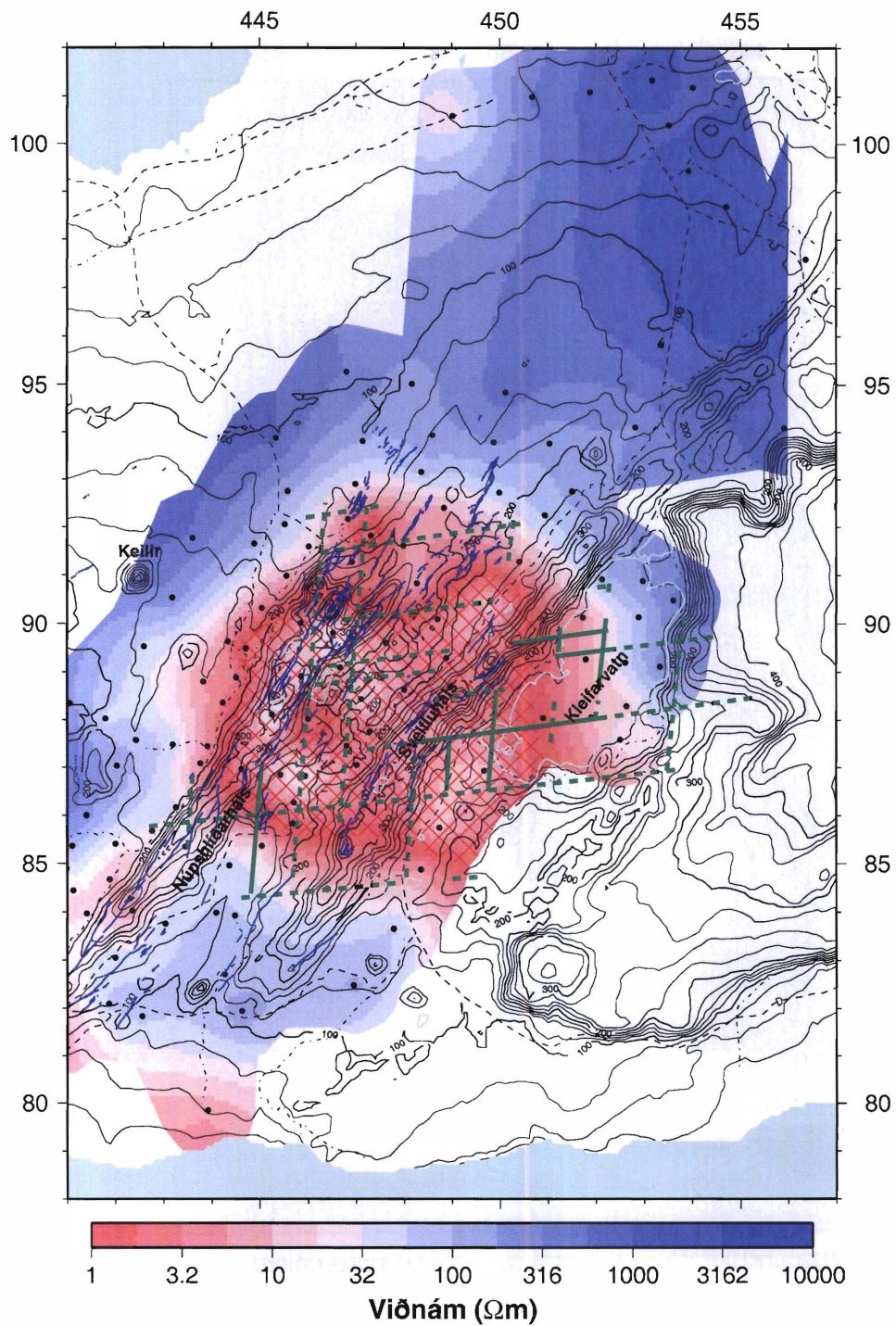
Mynd 9: Túlkað viðnám 100 m yfir sjávarmáli og brot á Trölladyngju- og Krýsuvík-ursvæði.

Túlkað viðnám við sjávarmál og brot



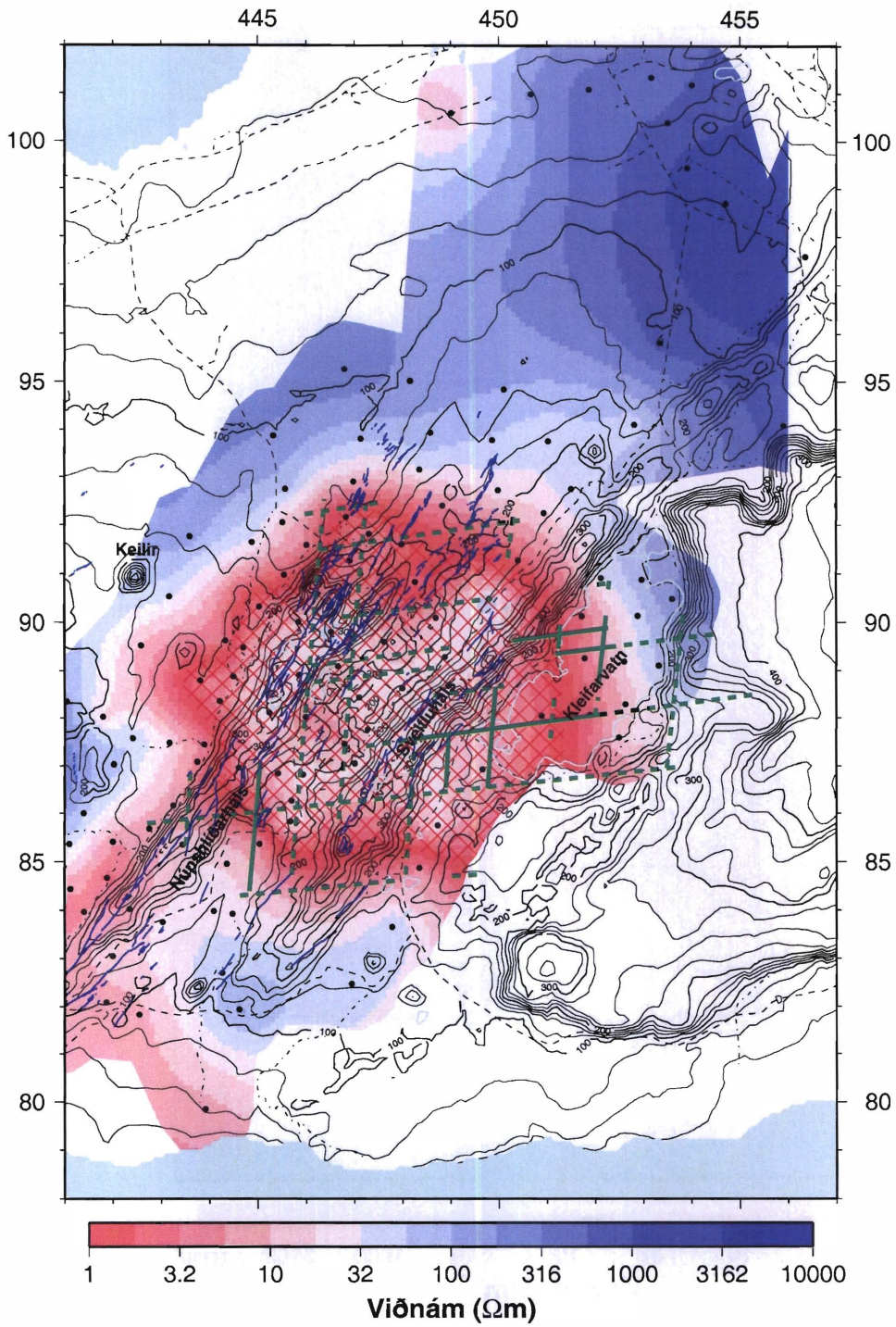
Mynd 10: Túlkað viðnám við sjávarmál og brot á Trölladyngju- og Krýsuvíkursvæði.

Túlkað viðnám 100 m undir sjávarmáli og brot



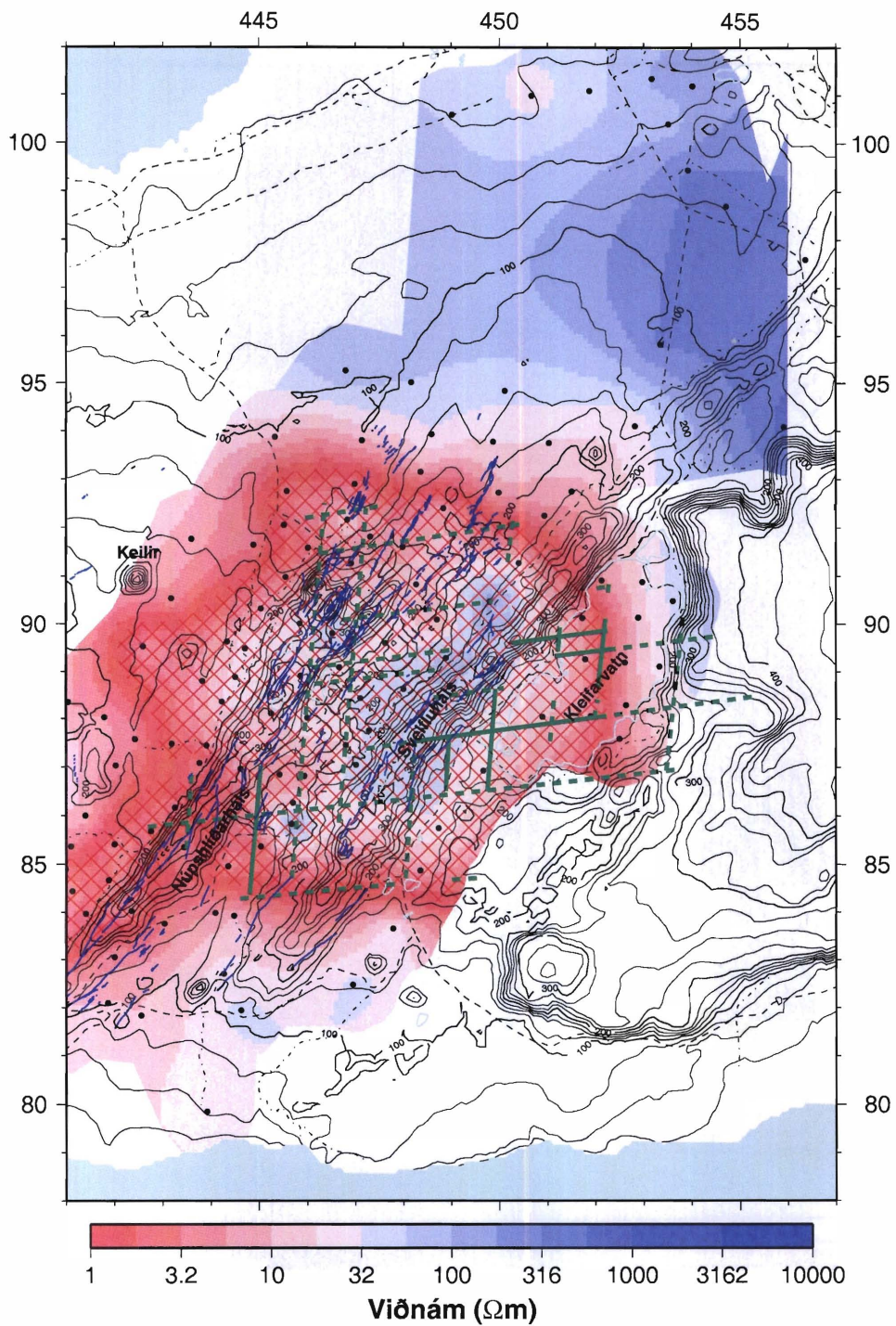
Mynd 11: Túlkað viðnám 100 m undir sjávarmáli og brot á Trölladyngju- og Krýsu-
víkursvæði.

Túlkað viðnám 200 m undir sjávarmáli og brot



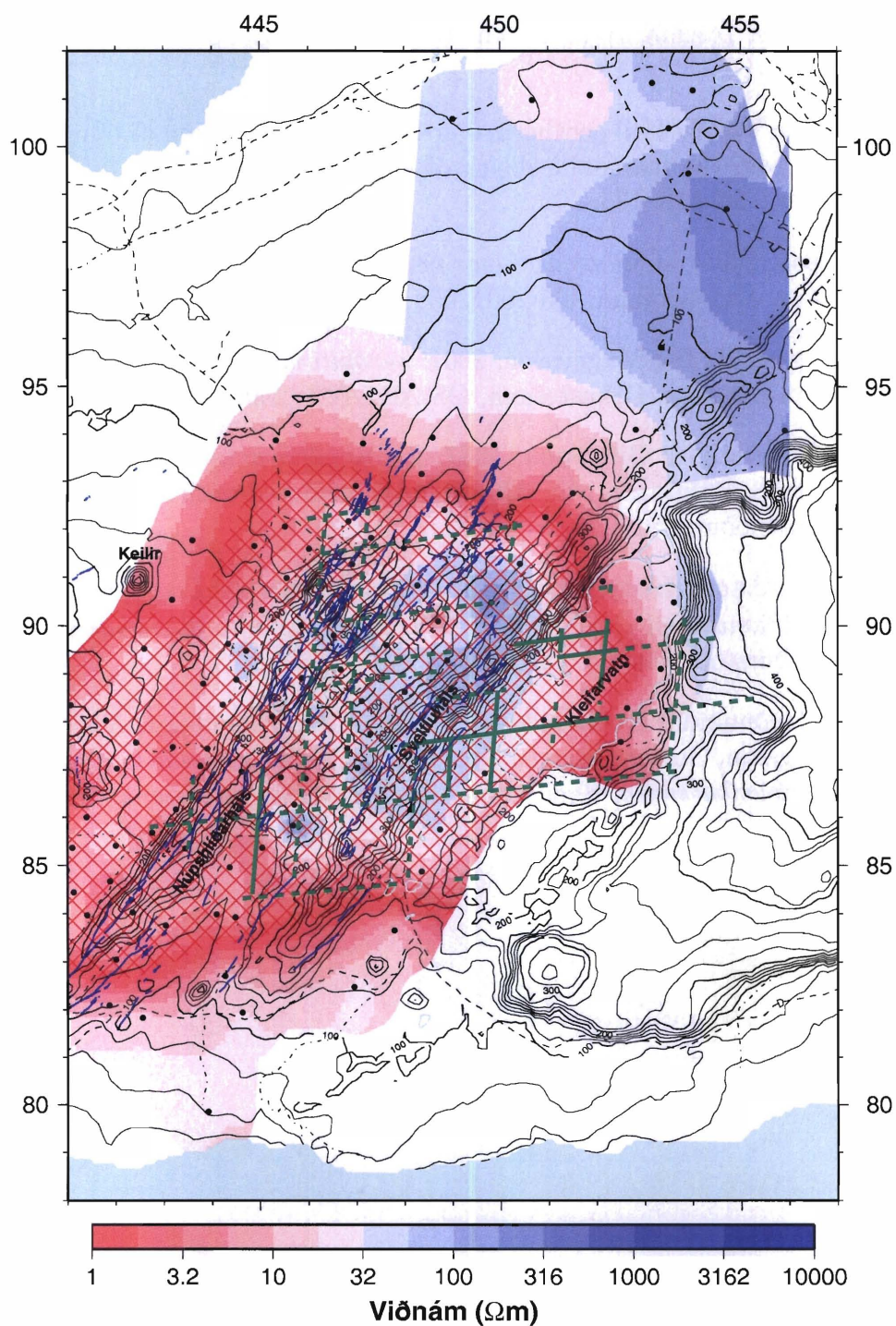
Mynd 12: Túlkað viðnám 200 m undir sjávarmáli og brot á Trölladyngju- og Krýsuvíkursvæði.

Túlkað viðnám 400 m undir sjávarmáli og brot



Mynd 13: Túlkað viðnám 400 m undir sjávarmáli og brot á Trölladyngju- og Krýsuvíkursvæði.

Túlkað viðnám 600 m undir sjávarmáli og brot



Mynd 14: Túlkað viðnám 600 m undir sjávarmáli og brot á Trölladyngju- og Krýsuvíkursvæði.

3 Heimildir

Ari Tryggvason, Sigurður Th. Rögnvaldsson og Ólafur G. Flóvenz, 2001: *Three-dimensional Imaging of the P- and S-wave Velocity Structure and Earthquake Locations beneath Southwest Iceland*. Handrit sent til birtingar í Geophysical Journal International.

Foulger, G. R., 1995: The Hengill geothermal area, Iceland: Variation of temperature gradients deduced from the maximum depth of seismogenesis. *Journal of Volcanol. and Geothermal Res.*, 65, 119–133.

Hjálmar Eysteinnsson, 2001: *Viðnámsmælingar umhverfis Trölladyngju og Núpshlíðarháls, Reykjanesskaga*. Orkustofnun, OS-2001/038, 110 s.

Knútur Árnason og Ingvar Þór Magnússon, 2001: *Jarðhiti við Hengil og á Hellisheiði. Niðurstöður viðnámsmælinga*. Orkustofnun, OS-2001/091, 250 s.

Páll Einarsson og Sveinbjörn Björnsson, 1987: *Jarðskjálftarannsóknir við Raunvísindastofnun Háskólans*. Í hlutarins eðli. Afmælisrit til heiðurs Þorbirni Sigurgeirssyni prófessor. Menningarsjóður, 251–278 s.

Sigurður Th. Rögnvaldsson, Kristján Ágústsson, Bergur H. Bergsson og Grímur Björnsson, 1998: *Jarðskjálftamælanet í nágrenni Reykjavíkur – lýsing á mælaneti og fyrstu niðurstöður*. Rit Veðurstofu Íslands, VÍ-R98001-JA01, 15 s.

Stefán Arnórsson, Guðmundur Guðmundsson, Stefán G. Sigurmundsson, Axel Björnsson, Einar Gunnlaugsson, Gestur Gíslason, Jón Jónsson, Páll Einarsson og Sveinbjörn Björnsson, 1975: *Krísuvíkursvæði. Heildarskýrsla um rannsókn jarðhitans*. Orkustofnun, OS-JHD7554. 71 s.