

# Jarðskjálftamælingar á Raunvísindastofnun Háskólans.

## *Inngangur.*

Skil milli flekanna sem bera Norður-Ameríku og Evrasíu, liggja um Ísland þvert. Skilunum fylgja eldgos og jarðskjálftar sem stundum hafa valdið Íslendingum þungum búsisfjum. Nábýli við þessi náttúruöfl á eftir að vera hlutskipti þjóðarinnar svo lengi sem hún lifir í þessu landi. Það er því eðlilegt að rannsóknir á eðli þeirra skipi veglegan sess í þeirri menningu sem hér er stunduð. Þær hafa ekki einungis menningarlegt gildi heldur snerta niðurstöður þeirra daglegt líf fólkis á margan hátt.

Séð frá sjónarhlóli alþjóðlegra jarðvísinda er Ísland eitt áhugaverðasta land heimsins. Flekaskil af því tagi sem hér eru, er mjög víða að finna í heiminum, en þau eru nánast alls staðar á hafssbotni og óaðgengileg til rannsókna. Ísland er því ekki einungis vettvangur innlendra vísindamanna heldur hefur það löngum dregið til sín hópa erlendra vísindamanna sem koma til að rannsaka jarðskorpuhreyfingar, jarðskjálfta, eldvirkni og önnur fyrirbrigði sem tengjast reki fleka hvers frá öðrum. Í þessu flóði erlendra rannsóknarleiðangra skiptir það íslensk vísindi miklu að halda frumkvæði og yfirsýn. Öflugar innlendar rannsóknir á þessum svíðum jarðfræði eru metnaðarmál, auk þess sem þær setja erlendum skammtímarannsóknum þann ramma, sem þær þurfa, til að skila sem mestum árangri. Erlendir leiðangrar þarfnaðast oft leiðbeininga um áhugaverð verkefni og leiðir til að leysa þau af hendi. Niðurstöðurnar þarf líka oft á tíðum að túlka í víðu samhengi við niðurstöður annarra og atburðarás liðinna áratuga og alda. Þær er reynsla og yfirsýn innlendra vísindamanna ómissandi.

Við rannsóknir á jarðskorpuhreyfingum og eldyirkni gegna jarðskjálftamælingar lykilhlutverki. Skjálftamælar skrá bylgjur sem berast frá upptökum skjálfta. Þær bera með sér upplýsingar um jarðskjálftann, upptök hans, stærð og þær jarðskorpuhreyfingar sem ollu honum. Auk þess bera þær með sér upplýsingar um berglögin sem þær fara um. Eldsumbrotum fylgir oftast

nokkur skjálftavirkni. Með skjálftamælingum má því oft finna staði þar sem umbrot eru í gangi og ráða í eðli þeirra.

Jarðskjálftamælingar voru fyrst gerðar á Íslandi árið 1909. Næstu áratugina voru þær að mestu í höndum Veðurstofu Íslands. Um og eftir 1970 varð mikil aukning í skjálftamælingum og kom Raunvísindastofnun Háskólangs þar verulega við sögu. Í þessari grein verður fjallað nokkuð um þátt Raunvísindastofnunar í þessari þróun, lýst landsneti skjálftamæla, sem nú hefur verið starfrækt í hátt á annan áratug, og gefið yfirlit yfir helstu viðfangsefni Raunvísindastofnunar á sviði skjálftafræði.

### Forsaga.

Fyrsti jarðskjálftamælir á Íslandi var settur upp árið 1909 í Reykjavík á vegum erlendra aðila. Honum var komið fyrir í húsi Stýrimannaskólangs við Öldugötu, þar sem nú er Vesturbæjarskólinn. Hann var af Mainka gerð og mældi láréttan, N-S þátt hreyfingarinnar. Öðrum sams konar mæli var bætt við 1913 og mældi hann A-V þáttinn. Rekstur mælanna var nokkuð stopull, og var mælingum hætt vegna heimsstyrjaldarinnar 1914 (Eysteinn Tryggvason 1951).

Mælarnir voru settir upp aftur 1925 og 1927 á vegum Veðurstofunnar og voru þeir starfræktir í Reykjavík til 1952. Mögnun þeirra var lág, um og innan við 100, einkum vegna þess að svörun þeirra var mest á tiðnisviði þar sem órói frá úthafinu er mikill. Nokkuð var bætt úr þegar stuttbylgjumælar með hæri mögnun voru settir upp í Reykjavík 1951-52. Þetta voru þrír mælar af Sprengnether gerð, sem mældu alla þrjá þætti hreyfingarinnar. Gömlu mælarnir voru þá færðir til Akureyrar og Víkur í Mýrdal. Með þessu sköpuðust aðstæður til að staðsetja upptök stærstu skjálftanna, auk þess sem mun fleiri skjálftar mældust.

Nýjar mælistöðvar voru settar upp á Kirkjubæjarklaustri 1958 og Eyvindará 1967. Pessar stöðvar hafa einn lóðréttan Willmore mæli hvor. Sams konar mæli var bætt við í Reykjavík 1966.

Stórt skref var stigið í skjálftamælingum á Íslandi árið 1964, en þá var sett upp alþjóðleg skjálftamælastöð á Akureyri. Hún er hluti af neti staðlaðra mæla sem komið var fyrir viða um heim á fyrra hluta sjöunda áratugsins. Stöðin hefur þrjá langbylgju- og þrjá stuttbylgjumæla. Net þetta (World Wide Standardized Seismograph Network) skipti sköpum fyrir jarðskjálftarannsóknir í heiminum, og mæligögn frá Akureyrarstöðinni hafa mikið verið notuð af vísindamönnum viða um heim við rannsóknir á jarðskjálftum og innri gerð jarðarinnar.

Stöðvar þær sem hér hafa verið taldar hefur Veðustofa Íslands starfrækt og þar hefur farið fram úrvinnsla á mæligögnunum. Gefin hefur verið út ársskýrsla, Seismological Bulletin, allt frá árinu 1926, þar sem er að finna mikinn fróðleik um íslenska skjálfta. Þá hefur einnig birst fjöldi greina og skýrslna um skjálfta á Íslandi, sem byggja á mæligönum frá þessum stöðvum.

### Mælingar í Surtsey.

Jarðskjálftarannsóknir eru eitt af elstu viðfangsefnum Raunvísindastofnunar Háskólangs, og má rekja upphaf þeirra til Þorbjarnar Sigurgeirssonar, eins og raunar upphaf margra annarra viðfangsefna þeirrar stofnunar. Árið 1964 var Surtseyjargosið í algleymingi og voru stundaðar allumfangsmiklar rannsóknir á því. M. a. var settur upp skjálftamælir í Heimaey til að fylgjast með gangi umbrotanna og kanna hvort hætta væri á því að þau færðust til Heimaeyjar. (Guðmundur Pálmason, 1966). Þá kom einnig til álita að setja upp skjálftamæla í Surtsey. Um þessar mundir var einnig til umræðu að stofna prófessorsembætti í jarðeðlisfræði við Háskólan og var nafn Gunnars Böðvarssonar nefnt í því sambandi. Í samráði við Gunnar varð það úr að Þorbjörn sótti um styrk til erlendra aðila til að afla tækja til skjálftamælinganna. Styrkurinn fékkst, en ekki varð úr í það skipti að Gunnar flyttist til Íslands.

Til mælinganna var keypt 7-rásá segulbandstæki af Geotech-gerð, sem gat skráð í 10 sólarhringa án þess að skipta þyrfti um band. Einnig voru keyptir stuttbylgjuskjálftanemar, en magnarar voru smíðaðir. Eftir prufumælingar í mars og apríl 1966 hófust mælingar í Surtsey í byrjun júní og var haldið áfram með hléum til ágústloka (Þorbjörn Sigurgeirsson og Ragnar Stefánsson, 1967). Aftur var mælt sumarið 1967 (Þorbjörn Sigurgeirsson, 1968). Nemum var komið fyrir á þrem stöðum í eynni og var merki frá þeim leitt í köplum að segulbandstækinu, sem var í Pálsbæ.

Við ýmsa erfiðleika var að etja í Surtsey. Ekki var alltaf hægt að komast út í eyjuna til að skipta um segulband og voru mælingarnar því nokkuð slitróttar. Veður voru válynd, til dæmis slitnaði eitt sinn kapall í stormi. Vegna sandfoks grófst einn nemanna undir skafla, hitnaði og eyðilagðist. Einn kapall lenti undir skriðu, annar undir hrauni.

Nokkur bið varð á því að unnið yrði úr mæligögnunum, enda voru tæki til þess ekki til í landinu. Upptök skjálfta reyndust vera að mestu í efri hluta jarðskorpunnar og afmörkuðu þau aflangt umbrotasvæði umhverfis eyna með ANA-VSV stefnu. Skjálftavirknin var að miklu leyti tengd breytingum á gosrásunum, flestir skjálftar urðu þegar ein gosstöð hætti og önnur tók við (Páll Einarsson, 1974).

Mælitækin í Surtsey voru smíðuð á merkilegum tímamótum í jarðskjálftamælitækni. Fram til þessa tíma höfðu jarðskjálftamælar verið umfangsmikil tæki sem kröfðust natni við uppsetningu og verndaðs umhverfis. Þetta voru vinnustofutæki sem einungis var hægt að starfrækja á föstum stöðvum. Með tilkomu smárans í rafeindatækninni opnuðust nýir möguleikar til að smíða rafeindatæki sem voru meðfærlieg og neyslugrön á rafmagn. Með langtíma-skráningartæki, svo sem tromlusírita eða segulbandstæki, var nú hægt að smíða tiltölulega ódýra skjálftamæla, sem voru lítið viðkvæmir fyrir veðri, og hægt var að setja upp nánast hvar sem var með stuttum fyrirvara. Slíka færانlega skjálftamæla má nota á upptakasvæði skjálfta og í nágrenni eld-

fjalla meðan á umbrotum stendur og afla þannig upplýsinga sem ekki fást á annan hátt. Fyrsta könnun af þessu tagi var gerð með fremur frumstæðum tækjum á upptakasvæði skjálfants mikla í Alaska 1964. Pessi tækni varð hins vegar ekki almenn fyrr en upp úr 1970. Að þessu leyti voru mælingarnar í Surtsey brautryðjendaverk, eins og raunar margt af því sem Þorbjörn Sigurgeirsson hefur fengist við.

### Páttur Lamont-manna.

Sumarið 1967 kom til Íslands leiðangur vísindamanna frá Lamont-Doherty jarðfræðistofnuninni við Columbia háskólan í New York. Hvati til þessa leiðangurs var ráðstefna sem haldin var um rannsóknir á Surtsey. Upp úr ráðstefnunni spannst samvinna við Orkustofnun og Raunvísindastofnun. Lamont-hópurinn hafði meðferðis nokkra færانlega skjálftamæla og ferðaðist með þá víða um landið með því markmiði að finna virk upptakasvæði smáskjálfta og afmarka þannig hryggjarásinn gegnum landið (Ward o. fl., 1969). Hugmyndin sem að baki lá byggist á því að ákveðið samband er á milli stærðar skjálfta og tíðni þeirra. Ef búist er við einum skjálfta af stærðinni 4 á einhverju upptakasvæði innan ákveðins tíma, má búast við 10 skjálftum af stærðinni 3 og 100 skjálftum af stærðinni 2, og svo framvegis. Pannig mátti til sanns vegar færa, að á svæði þar sem einn kippur af stærðinni 4 verður á hverju ári mætti búast við 3 kippum á dag af stærðinni 1, og 30 kippum á dag af stærðinni 0. Með nænum mæli nálgæt upptakasvæðinu átti því að vera hægt að fá hugmynd um virknina með fæinna daga mælingu. Þetta var kölluð smáskjálftakönnun, og var henni beitt á nokkrum stöðum í heiminum um þetta leyti. Fljótega kom þó í ljós, að skjálftavirkni á flestum svæðum var mjög breytileg með tíma, og að formúlan, sem aðferðin byggir á, gildir einungis ef athugunartíminn er langur. Aðeins þau svæði sem eru virk hverju sinni koma fram við könnun sem þessa, en sum af virkstu skjálftasvæðum landsins láta lítið á sér kræla milli stóratburða.

Hér var vel þekkt að háhitasvæði landsins voru með sífelliðum kippum, sem menn nefndu hverakippi. Leiðangrinum var því beint að þessum svæðum. Þar reyndist smáskjálftavirkni vera tiltölulega stöðug frá degi til dags og jafnvel frá ári til árs (Ward og Sveinbjörn Björnsson 1971, Conant 1972). Pessi reynsla varð til þess að vekja athygli á smáskjálftakönnun sem aðferð til jarðhitaleitar og rannsókna á jarðhitasvæðum (Ward 1972). Þegar smáskjálftakönnun var endurtekin 1968 voru jafnframt gerðar nokkru ítarlegri kannanir á jarðhitasvæðunum í Krísuvík, við Hveragerði og Kröflu. Voru þá notuð segulbandstæki til skráningar, meðal annars Geotech-tækið sem notað hafði verið í Surtsey, og voru þrír skjálftanemar tengdir þeim með köplum. Pannig fengust nákvæmari staðsetningar á upptökunum en ádur, sérstaklega hvað dýpi varðaði (Ward og Sveinbjörn Björnsson 1971). Stefna til upptaka var ákvörðuð út frá mismun í komutíma P-bylgjunnar til mismunandi nemu, upphafstími var reiknaður út frá mismuni á komutímum P- og S-bylgna og fjarlægð og dýpi voru fundin út frá fartíma og sýndarhraða P-bylgju yfir

mælanetið. Pessi aðferð hafði þó ýmsa galla. Lítill óregla í bylgjuhraða undir mælanetinu gat til dæmis valdið verulegri skekkju í reiknaðri stefnu til upptaka. Einnig gat verið erfitt að mæla komutíma S-bylgju ef skjálftinn var svo stór að hann mettaði mælitækin.

Pótt ýmsir annmarkar væru á þessum fyrstu mælingum þeirra Lamont-manna hér, skiptu þær sköpum fyrir íslenskar skjálftarannsóknir á ýmsan hátt. Mælingarnar voru gerðar í náinni samvinnu við íslenska vísinda- og tæknimenn sem komust þar með í beina snertingu við það helsta sem var að gerast á þessu sviði í þróun mælitækja og aðferða. Meðal margra annarra sem þátt tóku í þessum mælingum, stigu þarna báðir höfundar þessarar greinar sín fyrstu skref á sviði skjálftarannsókna. Mælingarnar juku mjög skilning manna og þekkingu á skjálftavirkni á Íslandi, einkum tengsl hennar við jarðhitasvæðin. Þar að auki vöktu þær til umhugsunar um tengsl íslenskrar jarðfræði við kenningar um landrek og virkni úthafshryggja sem um þessar mundir urðu rískjandi í heimi jarðvísinda. Jarðfræðafélagið hafði efnt til ráðstefnu um þessi mál í ársbyrjun 1967 (Sveinbjörn Björnsson, 1967) og ekki spillti það áhuganum að sumir þeirra manna sem hingað komu vegna mælinganna voru meðal frumkvölda landrekkskenningarinnar, svo sem Lynn Sykes, Jack Oliver og Charles Drake.

Næstu tvö árin, 1969 og 1970 var frumkvæði um mælingar með færانlegum skjálftamælum að mestu í höndum Íslendinga. Mælingarnar voru kostaðar af Orkustofnun, en gert var út frá Raunvísindastofnun. Sumarið 1969 var haldið áfram mælingum með Geotech-tækinu við Hveragerði, en auk þess voru gerðar tilraunir til að mæla óróa í gosbeltunum og á jarðhitasvæðum. Til þess var notað nýtt segulbandstæki, sem Raunvísindastofnun og Orkustofnun höfðu keypt í sameiningu og Þorbjörn Sigurgeirsson notaði m. a. til að skrá mæligögn við flugsegulmælingar sem hann hafði þá hafið í stórum stfl. Gerðar voru ítarlegar óróamælingar í Krísuvík, og leiddu þær í ljós að órói var tengdur virkstu jarðhitasvæðunum, langmestur frá Engjahver. Auk þess veittu mælingarnar mikilvægar upplýsingar um helstu óróavalda í umhverfinu, en sú reynsla kom sér vel síðar þegar farið var að fjlóga skjálftamælum á landinu.

Þegar gos hófst í Heklu vorið 1970 var brugðið við skjótt og sett upp net skjálftamæla vestan við fjallið. Geotech-segulbandstækið var sett upp við Glerhaus og merki frá skjálftanemunum ýmist leitt þangað með köplum eða sent þráðlaust með senditækjum. Skjálftavirkni reyndist ekki vera mikil samfara gosinu, helst komu skjálftar þegar breytingar urðu á gosstöðvum (Páll Einarsson og Sveinbjörn Björnsson, 1976). Þetta kom einnig í ljós í gosinu 1980-81. Eldsumbrotum í Heklu virðast ekki fylgja miklir skjálftar. Engin óeðlileg skjálftavirkni mældist á undan þessum gosum fyrr en 20-30 mínútum ádur en eldur kom upp (Karl Grönvold og fleiri, 1983). Þrýstingsbreytingar í kvíkunni undir fjallinu virðast ekki vera nægilegar til að valda skjálftum í jarðskorpanni.

Mest af skjálftunum sem komu fram á mælunum við Heklu vorið 1970 reyndust eiga upptök við Sandvatn ofan við Haukadal í Biskupstungum. Þar

var í gangi talsverð skjálfthrina sem stóð fram eftir sumri. Að gosinu loknu voru því mælitækin færð að Sandvatni og var mælt þar í nokkrar vikur.

### Mælingar á Reykjanesskaga.

Árið 1971 urðu nokkur þáttaskil í samvinnunni við Lamont. Peter Ward, sem verið hafði aðaldrifffjöldur mælinganna, lauk þá doktorsverkefni sínu, sem að mestu fjallaði um Ísland (Ward, 1971), og sneri sér að öðru. Við töku tveir nýir Lamont-stúdentar, þeir Fred Klein og Páll Einarsson. Smáskjálftamælingarnar 1967-70 höfðu sýnt að Reykjanesskagi var virkasta svæði landsins ingarnar um þær mundir. Einnig fór áhugi á jarðhitasvæðunum á skaganum vaxandi, um þær mundir. Gerð var áætlun um nánari rannsóknir við Krísuvík, Svartsengi og Reykjanes. Gerð var áætlun um nánari rannsóknir á jarðskjálftum á vestanverðum Reykjanesskaga sem gerðar yrðu í samvinnu Raunvísindastofnunar, Orkustofnunar og Lamont. Styrkur fékkst frá National Academy of Sciences í Bandaríkjunum til smiði og kaupa á 6 skjálftamælum ásamt sendistöðvum. Íslensku stofnanirnar sáu um þessa mæla sem voru settir upp á Reykjanesskaganum og reknir samfellt í fimm ár. Mælarnir voru settir upp sumarið 1971 við Valahnúka í Kaldárseli, Krísuvík, Minni-Vatnsleysu, Þorbjarnarfell, Sýrfell á Reykjanesi og Gufuskála á Garðskaga. Mælispennur frá nemunum voru sendar með útvarpssendum í hús Raunvísindastofnunar þar sem þær voru skráðar á Geotech-segulbands-tækið góða. Útveguð voru tæki til að spila gögnin út af segulböndunum og forrit til að nota við staðsetningu skjálftaupptaka.

Þáttur Lamont í þessum rannsóknum var í því fólginn að gera ítarlegar skammtímamælingar með mörgum skjálftamælum á afmörkuðum svæðum á skaganum. Með þeim átti að vera hægt að fá mjög nákvæmar staðsetningar og ákvárða brotlausnir skjálfta, þ.e. finna hvers konar brotahreyfingar í jarðskorpanni tengdust jarðskjálftunum (sjá skýringar í kafla eftir Sveinbjörn Björnsson og Pál Einarsson, 1981). Leiðangur Lamont-manna kom hingað sumarið 1971 og starfrækti net mæla á Krísuvíkursvæðinu. Gögn frá mælum voru skráð á 3 segulbandstæki og voru nemarnir tengdir með köplum við skráningarstöðvarnar. Þetta sumar lágu því samtals um 20 km af köplum á Krísuvíkursvæðinu. Sauðfé var gráðugt í að tyggja þá og olli það talsverðum vandræðum í rekstri. Auk þess voru hannaðir og smiðaðir 6 mælar sem voru sjálfstæðar einingar og skráðu á sótaðan pappír. Með þeim mátti fylgjast með virkninni frá degi til dags.

Prír þessara mæla voru skildir eftir hér á landi um haustið þegar Krísuvík-urmaelingunum lauk. Tilgangurinn var að reyna mælana við íslenskar vetrar-aðstæður og fá í leiðinni hugmynd um skjálftavirkni í eystra gosbeltinu. Rannsóknir vegna virkjunar Tungnár voru þá mjög á döfinni og höfðu Landsvirkjun og Orkustofnun áhuga á að kanna jarðskoruhreyfingar á þeim slóðum. Mælunum var komið fyrir á Skammadalshóli í Mýrdal, við Vatnssfell hjá Þórisvatni og Búrfell í Hreppum. Landsvirkjun bar kostnað, tæknimenn Orkustofnunar sáu um viðhald, en heimafólk um daglegt eftirlit. Pennan Orkustofnunar sáu um viðhald, en heimafólk um daglegt eftirlit. Pennan vetur fékkst mikilvæg reynsla við rekstur mæla af þessu tagi, sem jók

mönnum bjartsýni á að unnt væri að reka umfangsmikið mælanet á Íslandi með viðráðanlegum kostnaði. Mælarnir sýndu áhugaverða skjálftavirkni, m.a. undir Mýrdalsjökli, Vatnajökli og Surtsey.

Aftur kom leiðangur frá Lamont sumarið 1972, með nokkru fleiri mæla en árið áður. Senditæki voru notuð í stað kapla, en að öðru leyti var tækjabúnadur svipaður. Að þessu sinni var mælt á svæðinu milli Grindavíkurvegar og Reykjaness. Svo einstaklega heppilega vildi til að talsverð skjálftahrina með kippi allt að stærð 4 varð einmitt á þessu svæði þegar mælingarnar stóðu sem hæst. Pannig var hægt að fá mjög glögga mynd af gangi skjálftahrinu frá upphafi til enda. Niðurstöður þessara mælinga voru birtar í tveimur greinum eftir Fred Klein, Pál Einarsson og Max Wyss (1973, 1977).

Eftir mælingarnar sumarið 1972 voru enn skildir eftir þrír mælar til reynslu, að þessu sinni á Skammadalshóli, Laugarvatni og við Sigöldu.

Mælingarnar á Reykjanesskaga sýndu að langflestir skjálftar eiga upptök á 2-5 km breiðu belti sem liggur eftir sunnanverðum skaganum endilöngum. Þetta belti markar flekaskilin sem áður var lýst. Þau ganga á land 1-2 km norðan við vitann á Reykjanesi, liggja síðan um Svartsengi og undir suður-enda Kleifarvatns. Skjálftaupptökin eru flest á 2-5 km dýpi, en þó ná skjálftar frá yfirborði og niður á 8 km dýpi. Það sýnir að jarðskorpan er stökk a.m.k. niður á þetta dýpi. Brotlausnir skjálftanna benda til þess að austantil á skaganum séu sniðgengishreyfingar ríkjandi, þannig að norðurhluti skagans hreyfist til vesturs, en suðurhlutinn til austurs. Eftir því sem vestar dregur beygir skjálftabeltið til suðvesturs, og þar verða siggengishreyfingar meira áberandi.

Fasta mælanetið skráði margar skjálftahrinur, sumar allhressilegar. Stærsta hrinan varð í september 1973 með tveimur skjálftum um 5 að stærð og tók hún til alls svæðisins frá Kleifarvatni og vestur undir Reykjanes. Eftir þessu hrinu varð mun rólegra á skaganum og má segja að með henni hafi lokið óróleikatímabili sem hófst 1967.

### NASP-mælingarnar 1972.

Sumarið 1972 var gerð viðamikil könnun á undirlagi hafsbotsins milli Skotlands, Færeys og Íslands. Sprengt var á mörgum stöðum á mælilínum milli þessara landa og tekið við skjálftabylgjunum á mælistöðvum á landi og hafsbottini. Frumkvædi að þessum mælingum áttu vísindamenn við Durham-háskóla í Englandi, en fjölmargir aðrir töku þátt í þeim, m.a. Danir, Íslendingar, Bandaríkjamein og Sovétmenn. Á Íslandi voru settar upp tvær línur mæla til að taka við bylgjunum. Önnur línan lá frá Breiðdalsvík og Fljótsdal, þar sem Sveinbjörn Björnsson og Pál Einarsson ráku segulbandsstöðvar, vestur um Norðurland, en þar mældi sovéskur hópur, sem þetta sumar var við skjálftaathuganir á Norðurlandi undir stjórn Sergei Zverev. Lamont-hópurinn setti upp línu sótmæla meðfram suðausturströndinni frá Hornafirði vestur til Fljótshlíðar. Birtar hafa verið nokkrar greinar um niðurstöður þessara mælinga (Bott o.fl., 1974, Zverev o.fl. 1976, Bott og

Karl Gunnarsson, 1980). Meðal annars var sýnt fram á að undir Færeyjum er meginlandsskorpa, og að jarðskorpan undir Íslands-Færeyja-hryggnum er þykkari en venjuleg úthafsskorpa.

### Gos og skjálftar á Heimaey 1973.

Um það bil 30 klst. áður en gos hófst í Heimaey varð mjög sérkennileg, áköf skjálftahrina undir eyjunni. Hrinan kom einkum fram á tveimur málum, sem komið hafði verið fyrir til reynslu á Laugarvatni og Skammadalshóli í Mýrdal. Þetta voru tveir af sótmálum Lamont-manna, sem skildir höfðu verið eftir um haustið þegar mælingum þeirra lauk á Reykjanesi. Alls mældust yfir 200 kippir frá kl. 20, 21. janúar til kl. 10 hinn 22. janúar. Skjálftar fundust þó ekki í Vestmannaeyjum fyrr en um kl. 22 um kvöldið 22. janúar, síðustu klukkustundirnar fyrir gosbyrjun, líklega þegar kvikan var að brjótast síðasta spölinn til yfirborðsins. Um leið og fréttist af gosinu voru gerðar ráðstafanir til að fjölgja skjálftamálum. Fengnir voru að láni 3 sótmálar til viðbótar frá Lamont og var þeim komið fyrir meðfram suðurströndinni í fyrstu viku gossins. Á Raunvísindastofnun voru í skyndi settir saman málar sem komið var fyrir á nokkrum stöðum á Heimaey. Peir sendu gögn um símalínu til Reykjavíkur, þar sem þau voru skráð á segulband. Reykjanesmælingarnar voru að hluta látnar víkja fyrir þessu aðkallandi verkefni þar til smíðuð höfðu verið ný tæki og m. a. nýtt skráningartæki fyrir segulband sem Karl Benjamínsson, vélsmiður stofnunarinnar átti heiður af.

Nokkur skjálftavirkni fylgdi gosinu. Í febrúar mældust u.p.b. 4 kippir á dag að jafnaði, en virknin minnkaði jafnframt því sem gosákaffinn dvínaði. Í mars mældust um þrír kippir á dag, en í maí ekki nema einn á dag. Pregar gosinu lauk hætti skjálftavirknin svo að segja alveg.

Jarðskjálftar sem urðu meðan á gosinu stóð áttu upptök á 15-25 km dýpi undir Heimaey, en það er talsvert dýpra en mælast hefur með vissu annars staðar á landinu. Peir benda til þess að hraunkvikan sem kom upp í gosinu hafi komið af þessu dýpi. Annað hvort hefur hún losnað þarna við bráðnun, eða staldrað þarna við á leið sinni til yfirborðs af ennþá meira dýpi.

Með Heimaeyjargosinu var sýnt fram á gildi þess að hafa tiltölulega þétt net fastra skjálftamælistöðva til að fylgjast með virkni í landinu.

### Skjálftar í Borgarfirði 1974.

Vorið og sumarið 1974 varð mikil skjálftahrina í upphérudum Borgarfjarðar, sem náði hámarki 12. júní með skjálfta að stærð 5,5 (m<sub>b</sub>). Hrina þessi var óvenjuleg á ýmsan hátt, hún stóð lengi og átti upptök utan þeirra svæða sem oftast eru kennd við jarðskorpuhreyfingar. Upptakasvæðið var ekki á plötuskilum, en slíkir skjálftar eru gjarnan kallaðir innplötuskjálftar.

Um þessar mundir var hafin smíði skjálftamæla á Raunvísindastofnun, eins og síðar verður rakið, og var því fljóttlega hægt að setja upp mæli nálægt upptakasvæðinu, í Síðumúla á Hvítársíðu. Þá komu einnig til skjalanna þeir

Lamont-menn, en í seinni hluta júní komu þeir til landsins og settu upp net níu færarlegra mæla á vesturhluta svæðisins, en austurhlutinn var óaðengilegur.

Unnt reyndist að staðsetja á sjötta hundrað skjálftaupptaka með mikilli nákvæmni og ákvarða allmargar brotlausnir (Páll Einarsson, Fred Klein, Sveinbjörn Björnsson, 1977). Upptakasvæðið var nokkuð flókið að gerð, og var greinilegt að skjálftarnir áttu ekki upptök á einu meginmisgengi, heldur voru að verki mörg smærri. Flestir skjálftarnir áttu upptök á aflöngu belti, um 4 km breiðu, sem teygði sig úr ofanverðri Pverárhlið til austurs norðan við Kjarrárdal í átt til Eiríksjókuls um 25 km leið. Annað belti með NA-SV stefnu skar hið fyrra nokkurn veginn miðja vegu. Stærsti skjálftið átti líklega upptök á síðarnefnda beltinu. Hrinan byrjaði að öllum líkindum austast á svæðinu og færðist vestar þegar á leið. Upptökini voru nokkuð jafndreifð frá yfirborði og niður á 8 km dýpi, og engir skjálftar voru dýpra en 10 km. Brotlausnir sýndu að skjálftarnir tengdust siggengishreyfingum. Ás minnstu þrýstispennu í bergeninu er láréttur og hefur stefnu til norðvesturs eða norðurs. Það þýðir að heldur hefur tognað á jarðskorpunni til þessara átta. Við bæina Kvíar og Hamra fundust siggengi með A-V strikstefnu, sem höfðu haggast í skjálftunum, og er það í samræmi við brotlausnirnar.

Gliðnun í jarðskorpunni í Borgarfirði stingur nokkuð í stúf við hefðbundnar hugmyndir um rek jarðskorpunnar út frá plötuskilunum sem liggja um Ísland. Raunar eru fleiri slíkar óreglur í jarðfræði Íslands, og margar þeirra er einmitt að finna nálægt 65. breiddargráðu, t.d. gosbeltið á Snæfellsnesi, gosvirkni á svæðinu milli Langjökuls og Bárðarbungu, og stefnubreyting á eystra gosbelteinu, sem virðist eiga sér langa sögu. Pessar óreglur eru hluti af miklu stærri óreglu, sem nær yfir a.m.k. 2000 km langan hluta af hryggjakerfinu við Ísland og stundum er nefnt íslenski heiti reiturinn. Sumir telja hann afleiðingu af uppstreymissstrók í móttlinum undir Íslandi með miðju undir norðvestanverðum Vatnajökli.

EKKI ER HELDUR ÓHUGSANDI AÐ SKJÁLFTARNIR Í BORGARFIRÐI TENGIST KVÍKUVIRKNI Í RÓTUM JARÐSKORPUNNAR EÐA RéTT UNDIR HENNI. VEL MÁ ÍMYNDA SÉR AÐ SLÍK KVÍKUVIRKNI KYNDI UNDIR JARÐHITA Í BORGARFIRÐI ÞEGAR TIL LANGS TÍMA ER LITIÐ (Stefán Arnórsson og Gunnar Ólafsson, 1986).

Eftir mælingarnar í Borgarfirði voru málar settir upp á Suðurlands-undirlendi til að skrá smáskjálfta og sprengingar sem gerðar voru til að mæla bylgjuhraða. Því næst voru gerðar svipaðar mælingar umhverfis Mýrdalsjökul. Pessar mælingar skiluðu ekki sjálfstæðum rannsóknarniðurstöðum, en komu að miklu gagni síðar, þegar ráðist var í umfangsmeiri mælingar.

### Landsnet, hönnun mælisins.

Sumarið 1972 þróuðust hugmyndir um að koma á fót landsneti skjálftamæla svipaðrar gerðar og Lamont-mælarnir. Ætlunin var að bæta við 18 málum í þremur áföngum. Verkið var skilgreint sem samvinnuverkefni Raunvísindastofnunar og Lamont-Doherty jarðfræðistofnunarinnar í New York og fékkst

styrkur til fyrsta áfanga frá Vísindanefnd NATO, alls \$ 10.000. Álíka styrkir fengust síðar til 2. og 3. áfanga verksins.

Umsjónarmenn verksins voru Sveinbjörn Björnsson, sem þá var að flytjast af Orkustofnun til starfa á Raunvísindastofnun, og Páll Einarsson, sem var við nám við Lamont. Fenginn var nýútskrifaður verkfræðingur, Marteinn Sverrisson, til að hanna raftæknibúnað mælisins, en að auki kom verulega við sögu Jón Sveinsson tæknifræðingur á Raunvísindastofnun. Síritinn var smíðaður á renniverkstæði Raunvísindastofnunar og sá Karl Benjamínsson um þá hlið málssins. Af ýmsum ástæðum þótti hagkvæmt að hanna og smíða takin hérlandis. Ekki fékkst mælir á markaðnum sem hentaði alls kostar íslenskum aðstæðum, auk þess sem flest benti til þess að hér mætti smíða mæla sem væru ódýrari en þeir erlendu. Einnig þótti mikilvægt að hér safnaðist reynsla sem síðar kynni að nýtast við viðhald mælanna og við smíði annarra mælitækja. Þetta reyndist happadrjúg ákvörðun, því skjálftamælasmíðin varð mikil lyftistöng fyrir hvers konar tækjasmíð á Raunvísindastofnun.

Við hönnunina var Lamont-mælirinn hafður til hliðsjónar, en hann var einmitt fyrirmund nokkurra virtra bandarískra skjálftamælafyrirtækja við hönnun á færانlegum skjálftamælum, sem enn eru á markaðnum.

Tilgangur landsnetsins er einkum tvíþættur. Í fyrsta lagi á það að safna gögnum til vísindalegra rannsókna á skjálftavirkni, jarðskorpuhreyfingum, eldvirkni og gerð berglagu undir landinu. Og í öðru lagi gegnir netið mikilvægu hlutverki við eftirlit og vöktun eldstöðva og umbrotasvæða.

Hönnunarforsendur voru skilgreindar með þessi hlutverk í huga. Mælirinn átti að vera eins næmur og unnt var fyrir bylgjum frá nálægum skjálftum, þ.e. mögnun varð að vera hæst á tíðnibilinu 3-30 Hz. Jafnframt varð að gæta þess að órói frá úthafsöldunum truflaði ekki mælinguna. Undiraldan á úthafinu veldur hér á landi umtalsverðum óróa, sem er mestur á tíðnibilinu 0,1 - 0,2 Hz og má næmi mælisins ekki vera mikil í nágrenni við þetta tíðnisvið. Hér þarf að sigla milli skers og báru, því P-bylgjur frá fjarlægum skjálftum, sem geta gefið mikilvægar upplýsingar um berglög djúpt undir landinu, eru á því tíðnisviði sem á milli liggur. Það er því nokkuð vandaverk að velja hvar neðri mörk á tíðnisviði mælisins eiga að liggja, en þau ráðast að verulegu leyti af eiginþíðni skjálftanemans. Í fyrstu mælunum var notaður lítill nemi með eiginþíðni 2 Hz. Skömmu síðar var hætt að framleiða hann, og voru þá keyptir nemar með eiginþíðni 3 Hz. Auk síunarinnar sem fer fram í nemanum var mælirinn útbúinn með lágtíðnisum (HP-síum) sem stilla má á 0,1 eða 1 Hz eftir því hve úthafsóróinn er mikill.

Til þess að unnt yrði að reka mælinn vítt um landið við mismunandi skilyrði varð hann að vera sterkyggður og auðveldur í rekstri. Þannig var frá gengið að auðvelt er að skipta um einstaka hluta mælisins ef bilun verður. Rafþúnaður hans er í einum kassa og er honum skipt niður á 5 prentrásaplótum sem stungið er í samband hverri fyrir sig, þ.e. aflgjafi, formagnari, stillimagnari, aflmagnari og tímaviðtæki.

Aflgjafinn tekur við 220 volta riðspennu frá rafveitunni og matreiðir út henni jafnspennu fyrir hina ýmsu hluta mælisins. Hann hleður einnig raf-

geymi sem knýr mælinn ef veiturafmagnið fer af. Formagnarinn tekur við merkinu frá skjálftanemanum og magnar það upp hundraðfalt, eða um 40 dB. Þá tekur við stillimagnari þar sem breyta má mögnun í 6 dB þrepum frá 0 og upp í 60 dB. Auk þess eru á þessu spjaldi lágtíðnisfur, sem áður er getið, og hátíðnisfur sem stilla má á 15 eða 30 Hz. Úr stillimagnaranum fer skjálftamerkið í aflmagnarann þar sem það er látið stýra straumi sem hreyfir pennu síritans. Penninn hreyfist þannig í takt við skjálftanemann og skrifar á síritatromlu. Tímaviðtækið tekur við tímamerki sem sent er út á 60 kHz frá sérstakri tímamerkjastöð í Rugby í Bretlandi. Stöðin sendir út sekúndu- og mínutumerki. Pau fela í sér tákni svo að á hverri mínuáru má lesa dagsetningu og tíma. Þessu tímamerki má ná næstum alls staðar á landinu, og er það til mikils hagrædis við rekstur melanetsins. Tímamerkinu frá viðtækinu er blandað saman við skjálftamerkið í aflmagnaranum og kemur það því fram á línrutinu. Allir skjálftamælnir hafa þannig nákvæmlega sama tímamerki og eru tímaleiðréttigar því óþarf. Að þessu leyti er mælirinn frábrugðinn öðrum gerðum mæla, sem venjulega hafa klukkur sem þarfnað leiðréttunga.

Viðast hvar þarf að leggja símakapal nokkur hundruð metra frá skjálftanemanum að húsi þar sem síritinn er geymdur. Tíðar bilanir voru á þessum köplum þar til þeir voru dregnir í hlifðarrör úr plasti sem oft voru plægð niður í jörð.

Í sumum tilfellum getur síritinn ekki verið nálægt skjálftanemanum, til dæmis ef neminn er fjarri mannabyggð. Þá þarf að vera hægt að senda merkið þráðlaust milli nema og sírita. Því var hönnuð rafrás sem tekur merkið frá stillimagnaranum og mótar með því tón, sem síðan er sendur með útvarpssendi. Tónmótaranum er komið fyrir á prentrásarplötu sem stinga má í samband í staðinn fyrir aflmagnarann og nota þannig sama raftækjakassann. Útvarpsiðtæki tekur síðan við tóninum á áfangastað og þar er hann settur í afmótun á prentrásarplötu sem kemur í stað formagnaraplötunnar. Afmótarninn breytir tóninum aftur í spennu, sem síðan fer í gegnum stillimagnara og aflmagnara, og stýrir að lokum penna síritans.

Öll raftæki eru viðkvæm fyrir raka og ísingu. Rekstur mæla við óblíð veðurskilyrði var því erfiður í fyrstu en með reynslu og útsjónarsemi tækni-manna er hann nú orðinn furðu öruggur.

Auk þeirra Marteins, Jóns og Karls sem fyrr eru nefndir lögðu margir á ráðin við hönnun og smíði mælanna. Mætti þar nefna til Reyni Böðvarsson, Jósep Hólmjárn, Egil Hauksson og Jón Steindór Ingason. Henry Johansen kom síðar til sögunnar og gerði þýðingarmiklar endurbætur og viðbætur.

### *Uppbygging landsnetsins.*

Mælasmíðin hófst vorið 1973 og voru fyrstu mælarnir tilbúnir um haustið. Í fyrsta áfanga uppbyggingar landsnetsins var lögð áhersla á Suðurland, einkum Kötlu, enda hafði þar mælst nokkur ókyrrð. Settir voru upp nýir mælar í stað lánsmælanna sem verið höfðu í gangi á Skammadalshóli í Mýrdal, Selkoti undir Eyjafjöllum og á Laugarvatni. Þá var bætt við mæli á Snæbýli í

Skaftártungu. Við Langöldu, skammt fyrir sunnan Hrauneyjafoss, var settur mælir sem sendi merki niður að Ísakoti við Pjórsá, þar sem það var skráð. Við Langöldu hafði orðið vart sprunguhreyfinga í tengslum við tilraunalón sem þar var myndað til að kanna lekt í gegnum hraun (Haukur Tómasson, 1976). Þegar skjálftahrinum mikla hófst í Borgarfirði í apríl 1974 var mæli komið fyrir í Síðumúla á Hvítársíðu og hefur mælir verið þar síðan. Fyrsta áfanga lauk svo með því að mælar voru settir upp á Árgilsstöðum í Hvolhrepp og Hveravöllum.

Ætlunin var að hrinda öðrum áfanga mælanetsins í framkvæmd 1975 og var gert ráð fyrir að setja þá upp mæla á Norðurlandi. Vegna áhuga Orkustofnunar á eftirliti með jarðskorpuhreyfingum á svæði Jökulsár á Fjöllum var uppsetningu fyrstu mæla flýtt og voru mælar settir upp á Húsavík, Skinnastað í Öxarfirði og Grímsstöðum á Fjöllum þegar haustið 1974. Sumarið 1975 var síðan bætt við mælum í Grimsey, á Siglufirði og Hrauni á Skaga. Um tíma var rekinn mælir á Dalvík vegna skjálftahrinu sem varð fyrir mynni Eyjafjarðar í mars.

Mælingarnar veturnar 1974–75 sýndu að virkni var nokkuð mikil á Norðurlandi. Það sem helst kom á óvart var að talsverður fjöldi skjálfta átti upptök á Kröflusvæðinu. Var því áætlunum breytt og ákveðið að setja upp mæli í Mývatnssveit. Var honum valinn staður í Reynihlíð. Fleiri mælum var síðan komið fyrir um haustið þegar ljóst var orðið að þarna var eithvað óvenjulegt á seyði. Mælir var þá settur upp nálægt vinnubúðunum við Kröfluvirkjun, og sendi hann merki um símalínu niður í Reynihlíð, þar sem síritinn var settur. Í Gæsadal var komið fyrir færانlegum mæli sem skráði á sótaðan pappír, og þurfti að fara þangað annan hvern dag til að skipta á honum. Síðar var settur sendir á Tjaldfell fyrir ofan Gæsadal sem sendi merki frá mælinum til Reynihlíðar. Það var þó ekki gert fyrr en skjálftavakt var sett á í Reynihlíð vegna yfirvofandi umbrota sumarið 1976.

Árið 1976 voru gerðar nokkrar breytingar á landsnetinu. Í samvinnu við Orkustofnun og Landsvirkjun voru settir upp 3 mælar umhverfis virkjunarstaðina í Tungnaá til þess að fylgjast með hugsanlegri aukningu á skjálftavirkni samfara myndun uppistöðulóna við Sigöldu og Hrauneyjafoss. Nemarnir voru við Sigöldu, við Vatnsfell nálægt útfallinu úr Pórisvatni og skammt vestan við Bjallavað. Útskrift mælanna var í vinnubúðum við Sigöldu og síðar í stöðvarhúsinu. Rekstur þessara mæla gekk nokkuð brösótt. Náttúran var óblíð, virkjunarframkvæmdir við Sigöldu og útfallið úr Pórisvatni ollu truflunum, og frágangi var ábótant. Mælarnir gengu þó með hléum í nokkur ár áður en rekstri var hætt.

Þegar hlaup kom úr Grímsvötnum í október 1976 var settur upp bráðabirgðamælir á Kvískerjum í Öræfum til að fylgjast með því hvort hláupinu fylgdi skjálftavirkni. Varanlegur mælir var svo settur upp sumarið eftir. Aukin umræða um skjálftahættu á Suðurlandsundirlendi varð til þess að Selfossbær keypti mæli og tók að sér að kosta rekstur hans að hluta. Mælistöðvarnar sem reknar höfðu verið á Reykjanesskaga síðan 1971 voru sumar orðnar úr sér gengnar og var þá fyrirkomulagi þeirra breytt. Sett var

ný stöð á Hengilssvæði við skíðaskála ÍR í Hamragili í febrúar 1977 og stöðin í Valahnúkum endurnýjuð. Aðrar stöðvar voru lagðar niður. Um tíma var einnig í gangi mælir við Stardal í Kjalarsnesreppi sem sendi merki til Reykjavíkur. Þessar breytingar voru að mestu til komnar vegna vaxandi áhuga á skjálftavirkni á Hengilssvæðinu og tengslum hennar við jarðhita þar.

Sumarið 1977 voru settir upp mælar á Miðfelli í Hornafirði og Aðalbóli í Hrafnkelsdal. Þá var einnig komið fyrir mæli í Sandbúðum á Sprengisandi, en þar var þá rekin veðurathugunarstöð. Hún var lögð niður árið eftir og var þá skjálftamælirinn fluttur í Svartárkot í Bárðardal. Par með má segja að uppybyggingu landsnetsins samkvæmt upphaflegum áætlunum hafi lokið.

Smávægilegar breytingar urðu á mælanetinu næstu árin. Árið 1978 varð aukning á skjálftavirkni á skjálftasvæðinu á Suðurlandsundirlendi. Var þá bætt við mæli nálægt austurenda svæðisins, á Hellum í Landssveit. Við úrvinnslu skjálftagagna á Norðurlandi kom í ljós að tilfinnanlega vantaði skjálftamæli á Melrakkasléttu, og var mælir settur á Leirhöfn sumarið 1979. Mælir var settur upp í Hafursey í janúar 1980, sem sendi merki að Herjólfsstöðum í Álfavéri þar sem síritinn var staðsettur. Pessi mælir kom í stað mælis, sem Veðurstofan hafði rekið um árabil við Selfjall á Mýrdalssandi til eftirlits með Köllu. Síriti þess mælis var í loranstöðinni á Reynisfjalli, sem var lögð niður um þetta leyti.

Áhugi á jarðhita á Hengilssvæðinu fór mjög vaxandi á þessum árum, einkum vegna hugmynda um vinnslu heits vatns á Nesjavöllum fyrir Hitaveitu Reykjavíkur. Þar sem Hengilssvæðið er eitt af virkustu skjálftasvæðum landsins þótti rétt að rannsaka þann þátt sérstaklega. Samningur var gerður milli Raunvísindastofnunar, Hitaveitu Reykjavíkur og Orkustofnunar um auknar mælingar. Reknir voru færðir skjálftamælar á fjórum stöðum umhverfis svæðið sumarið 1979, á Bjarnastöðum í Ölfusi, Nesjavöllum, Stóra-Hálsi í Grafningi og í Gufudal í Ölfusi. Síðar voru mælar smíðaðir og settir upp á sömu stöðum seitn á árinu 1980. Hámarki náðu þó mælingar á Hengilssvæðinu sumarið 1981, en þá fengust að láni 23 skjálftamælar frá Bretlandi fyrir milligöngu Durham-háskóla. Peim fylgdu senditæki og segulbandstæki til að skrá gögnin. Gillian Foulger, sem þá var starfsmáður Raunvísindastofnunar rak mælana fram á haust, og söfnuðust þarna merk gögn sem urðu uppistaða doktorsritgerðar hennar við Durham-háskóla (G. Foulger, 1984). Veturinn eftir voru mælarnir í Gufudal og á Stóra-Hálsi teknir niður, en mælarnir á Bjarnastöðum og Nesjavöllum ganga enn.

Heklugosið 1980-81 varð til þess að reynt var að setja upp mælitæki til þess að fylgjast betur með fjallinu. Komið var fyrir skjálftamæli og hallamæli á Litlu-Heklu í maí 1981, í samvinnu við Norrænu Eldfjallastöðina. Notuð var vindrafstöð til að knýja mælitæki og sendingu gagnanna til Reykjavíkur um endurvarpsstöð á Bláfjöllum. Vedrahámar reyndist slískur á Litlu-Heklu að tækin þoldu illa við. Vindrellan fauk og hallamælirinn sprakk af frosti. Það kom hins vegar í ljós þann stutta tíma sem mælingar gengu, að skjálftamælirinn var óvenju næmur fyrir skjálftum úr ýmsum áttum. Skjálftamælirinn var endurreistur í mars 1982, en illa gekk að halda honum gangandi.

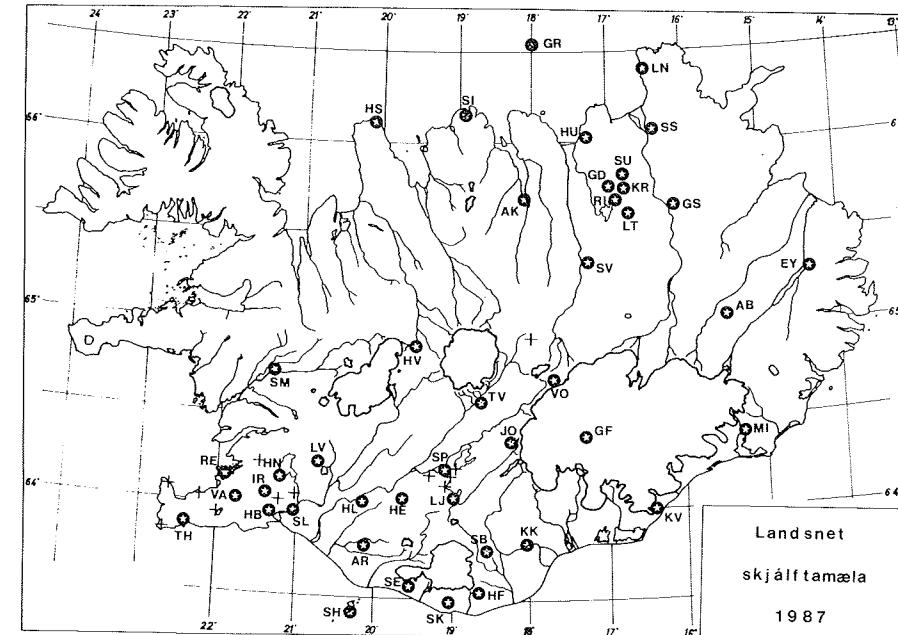
Sýnt þótti 1981 að umbrot og gos á Kröflusvæði ætluðu eitthvað að dragast á langinn. Þótti þá rétt að styrkja mælanet á svæðinu og fjölgja skjálftamælum. Fjárveiting fékkst gegnum Almannavarnir til að bæta við tveimur mælum, og voru þeir settir upp við Sandmúla í Gjástykki í apríl 1982 og á Lúdent í júlí 1982. Skráning var staðsett í Kröflu og Reynihlíð. Með tilkomu þessara mæla var unnt að staðsetja upptök mun fleiri skjálfta á Kröflusvæði en áður.

Eins og áður er komið fram liggur skjálftabeltið á Reykjanesskaga beint undir Svartsengi, og er jarðhiti þar nátengdur því. Til þess að fylgjast með jarðskorpuhreyfingum í nágrenni orkuversins þótti nauðsynlegt að reka þar skjálftamæli. Hitaveita Suðurnesja keypti því mæli og hefur hann verið rekinn þar síðan 1984. Neminn er í Porbjarnarfelli, en merki frá honum er sent með símalínu inn í stöðvarhúsið þar sem síritinn er.

Pegar skjálftamælir er starfræktur fjarri mannabyggðum getur verið vanda-mál að sjá honum fyrir orku. Við skammtímamælingar reynist vel að nota venjulega bílrafgeyma, en þegar mælt er í langan tíma þarf að hafa önnur ráð. Lengst af hafa verið notaðar vindrafstöðvar sem Ævar Jóhannesson, tækni-maður á Raunvísindastofnun hefur hannað og smíðað. Rafstöðin hleður rafgeymi sem síðan knýr mælinn. Vindrafstöðvar hafa verið starfræktar með góðum árangri í Valahnúkum, Hafursey, Gæsadal og við Húsavík. Annars staðar hefur verið notast við langtímarafhlöður, svokallaðar loftrafhloður (air depolarized battery). Þær endast lengi, 2-3 ár, en eru dýrar.

Mjög óvenjuleg leið var farin í orkuöflun þegar reist var mælistöð á Grímsfjalli í Vatnajökli 1982. Smíðuð var varmarafstöð sem nýttir jarðhita Grímsvatna til að hlaða rafgeyma. Kostnaður við mælistöðina var greiddur með styrk frá Eggert V. Briem, Jón Sveinsson stjórnaði uppsetningu, en Þorbjörn Sigurgeirsson var einn helsti hugmyndafræðingur verksins. Reistur var turn fyrir loftnet til að senda mæligögn til byggða. Nauðsynlegt reyndist að reisa endurvarpsstöð á Skeiðarársandi, en þaðan var sent til Skaftafells þar sem skráningartæki eru. Auk gagna frá skjálftamæli mátti senda ýmiss konar stafræn mæligögn um þetta sendikerfi. Eftir 3 mánuði bilaði rafstöðin, en hún var endurnýjuð árið eftir og voru þá boraðar holur til að tryggja orku. Þá var hallamælir frá Norrænu Eldfjallastöðinni tengdur við stöðina. Síðan hefur mælistöðin gengið áfallalítið og hafa fengist frá henni mikil gögn um skjálfta, ísbresti, skriðuföll og eldgos. Nánari upplýsingar um mælistöðina á Grímsfjalli er að finna í grein eftir Jón Sveinsson (1984).

Meginátak var gert í uppbyggingu landsnetsins árið 1985. Landsvirkjun óskaði eftir auknu eftirliti með umbrotum sem hugsanlega gætu valdið tjóni á orkuvernum á Tungnaárvæðinu. Beindist því athygin að megineldstöðvum í eystra gosbeltinu sem gætu komið við sögu. Var ákvæðið að reisa 5 nýjar mælistöðar og endurnýja mælinn á Litlu-Heklu. Einnig var ákvæðið að skráning skyldi fara fram í Reykjavík, og þurfti því að setja upp fjarskiptanet til að koma gögnunum áleiðis. Hönnun og smíði annaðist Henry Johansen, og var uppsetningu stöðvanna lokið sumarið 1985. Síritarnir í húsi Raunvísindastofnunar komust síðan í gagnið einn af öðrum eftir því sem leiði á



1. mynd. Skjálftamælistöðvar í landsneti 1987. Skammstafanir vísa til töflu 1, þar sem er að finna nöfn og staðsetningar. Krossar tákna stöðvar þar sem rekstri hefur verið hætt.

haustið. Mælnir voru settir upp í Vonarskarði, við Púfuver, skammt norðvestan við Jökulheima, sunnan við Ljótapoll og á Sporðöldu við Hrauneyjavirkjun. Endurvarpsstöðvar eru á Vatnsfelli, Búrfelli og Skarðsmýrarfjalli. Með þessum mælum gjörbreyttust aðstæður til rannsóknar á skjálftavirkni undir Vatnajökli og á Torfajökulssvæðinu, en það eru auk Kötlusvæðisins helstu skjálftasvæði í gosbeltinu eystra. Þar að auki batnaði mjög aðstaða til að fylgjast með skjálftavirkni á landinu jafnöðum, því nú voru alls átta síritar á sama stað þar sem lesa mátti af þeim samtímis.

Listi yfir núverandi stöðvar í landsnetinu er í töflu 1, og staðsetningar þeirra eru sýndar á mynd 1.

### Rekstur landsnetsins.

Fyrir utan þá mæla sem Veðurstofan sér alfaríð um (Reykjavík, Akureyri og Eyvindará), er rekstur og viðhald landsnetsins í höndum Raunvísindastofnunar. Fjölmargir aðilar koma þó nærrí rekstrinum og kosta hann að miklu leyti samkvæmt samningi við Raunvísindastofnun. Þeir sem bera kostnað eru Raunvísindastofnun (13 mælar), Landsvirkjun (7 mælar), Orkustofnun (vatnsorkudeild 5 mælar), jarðhitadeild 3 mælar), Veðurstofan (6 mælar),

TAFLA 1: Skjálftamælistöðvar á Íslandi 1987

Staður	skst.	N breidd	V lengd	h.y.s.	sett upp
		g m	g m	m	ár mán.
Stórhöfði	SH	63 23.85	20 17.60	120	1973 02
Skammadalshóll	SK	63 27.21	19 05.88	50	1972 09
Hafursey	HF	63 30.85	18 44.20	110	1980 01
Selkot	SE	63 32.94	19 36.56	180	1973 08
Snæbýli	SB	63 43.25	18 37.30	200	1973 12
Kirkjubæjarklaustur	KK	63 47.10	18 03.50	26	1958
Árgilsstaðir	AR	63 47.30	20 06.90	90	1974 08
Svartsengi	TH	63 51.97	22.25.9	80	1984 07
Bjarnastaðir	HB	63 56.59	21 18.16	40	1979 06
Selfoss	SL	63 56.63	21 00.09	160	1976 12
Kvísker	KV	63 58.68	16 26.3	30	1976 10
Litla-Hekla	HE	64 00.34	19 40.9	940	1982 03
Hellar	HL	64 00.64	20 09.6	100	1978 04
Valahnúkar	VA	64 01.09	21 50.35	137	1971 09
Ljótipollur	LJ	64 01.41	19 01.4	600	1985 10
ÍR-skáli	IR	64 02.51	21 22.54	300	1977 02
Nesjavellir	HN	64 06.93	21 15.44	180	1979 06
Reykjavík	RE	64 08.30	21 54.30	51	1925
Laugarvatn	LV	64 12.93	20 45.18	100	1972 09
Sporðalda	SP	64 13.28	19 14.9	360	1985 09
Jökulheimar	JO	64 21.16	18 14.2	790	1985 10
Miðfell	MI	64 23.90	15 20.7	60	1977 06
Grímsfjall	GF	64 24.92	17 16.00	1725	1982
Púfuver	TV	64 34.68	18 35.8	600	1985 12
Vonarskarð	VO	64 40.00	17 46.02	1017	1985 10
Síðumúli	SM	64 42.60	21 22.8	70	1974 05
Hveravellir	HV	64 52.10	19 34.1	640	1974 08
Aðalból	AB	65 01.15	15.34.9	480	1977 06
Eyvindará	EY	65 17.00	14 23.00	25	1967
Svartárkot	SV	65 20.36	17 15.30	405	1978 08
Lúdent	LT	65 35.10	16 49.1	400	1982 07
Grímsstaðir	GS	65 38.60	16 07.9	450	1974 10
Reynihlíð	RI	65 38.80	16 54.7	340	1975 07
Akureyri	AK	65 41.20	18 06.4	24	1951
Krafla	KR	65 41.80	16 46.9	450	1975 10
Gæsadalur	GD	65 44.37	16 57.38	430	1976 07
Sandmúli	SU	65 46.23	16 46.6	610	1982 04
Húsavík	HU	66 01.10	17 19.5	180	1974 10
Skinnastaður	SS	66 03.80	16 26.3	80	1974 10
Hraun	HS	66 06.70	20 07.3	20	1975 09
Siglufjörður	SI	66 09.30	18 55.0	120	1975 07
Leirhöfn	LN	66 24.38	16 29.7	40	1979 07
Grímsey	GR	66 32.50	18 00.7	20	1975 06

Almannavarnir ríkisins (2 mælar), Hitaveita Reykjavíkur (1 mælir), Hitaveita Suðurnesja (1 mælir) og Selfoss (1 mælir).

Frá stöðvum þar sem skráning fer fram eru skjálftalínuritin send með reglulegu millibili til Raunvísindastofnunar, en þar eru þau yfirfarin. Frumúrvinnsla gagnanna fer einnig þar fram og á Veðurstofu Íslands. Lesnir eru af

línuritunum komutímar skjálftabylgna á mismunandi stöðvum og annað sem nauðsynlegt er til að ákvarða upptök skjálftanna og stærð á Richterskvarða.

Fljótlega eftir að rekstur landsnetsins hófst þótti sýnt að halda þyrfti uppi einhvers konar fréttamiðlun til allra þeirra fjölmörgu aðila, sem að mælingunum standa eða þurfa á niðurstöðum þeirra að halda. Var þá hafin útgáfa Skjálftabréfs, en það er fjölrít sem sent er til allra sem áhuga hafa. Í því er listi yfir helstu skjálfta á landinu og í næsta umhverfi þess ásamt fréttum af niðurstöðum rannsóknna. Á þeim tólf árum sem liðin eru síðan útgáfa hófst, hafa komið út 63 Skjálftabréf.

### Úrvinnsla mælinganna.

Til þess að reikna út upptakastað skjálfta eru notaðir komutímar skjálftabylgna á mismunandi skjálftamæla. Mest er stuðst við P-bylgjur, en þær eru fljótastar í förum og koma því fyrstar á skjálftaritunum. Aflestrarnákvæmnin er um 0,1 sekúnda. S-bylgjur koma nokkru seinna og er því meiri vandkvæðum bundið að lesa komutíma þeirra nákvæmlega. Par við bætist að þær eru stundum ógreinilegar og erfiðar að bera kennsl á.

Óþekktu stærðirnar sem reikna þarf eru fjórar, þ.e. hnit lengdar, breiddar og dýptar upptakanna og upphafstími bylgjunnar. Því þarf a.m.k. fjórar mælingar frá minnst þremur mælistöðum til að ákvarða upptökin. Miklu skiptir fyrir nákvæmni að mælistöðvarnar dreifist hæfilega umhverfis upptökin, nákvæmnin er t.d. lítl fyrir skjálfta með upptök utan við mælanetið. Þá er dýptarákvörðun ekki nákvæm nema mælir sé nálægt upptökum skjálftans. Þess vegna er lögð áhersla á að hafa mæla sem næst helstu upptakasvæðum á landinu.

Tölvuforritið sem notað er til að reikna út upptökin er nokkuð viðamikið enda eru útreikningar flóknir. Bylgjuhraði breytist með dýpi í jarðskorpunni, og breiðast því bylgjurnar ekki út eftir beinum brautum. Föllin sem útreikningarnir byggjast á eru því ólinuleg og stundum ósamfelld. Beitt er endurteknum nálgunum til að finna lausn sem passar við mæligögn þannig að viðunandi sé.

Allt frá upphafi mælinganna á Reykjanesskaga hefur verið fylgst náið með þróun tölvuforrita á þessu svíði og hafa verið notuð forrit sem þróuð hafa verið við Bandarísku jarðfræðistofnunina (USGS) í Menlo Park, svo sem HYPO71 (Lee and Lahr, 1972), HYPOELLIPSE (Lahr and Ward, 1975) og HYPOINVERSE (Klein, 1978). Hið síðastnefnda tekur hinum fram og er notað um þessar mundir víða um heim. Sá sem það skrifði, Fred Klein, fékk einmitt sína eldskírn í skjálftamælingum á Reykjanesi, þá sem stúdent á Lamont.

Við útreikningana er nauðsynlegt að þekkja bylgjuhraðann í jarðskorpunni og efstu lögum móttulsins undir henni. Hér hafa komið að góðu gagni rannsóknir Guðmundar Pálssonar (1971) á þessu efni sem að mestu voru unnar á sjóunda áratugnum. Einnig hafa komið að miklum notum sprengi-

mælingar sem gerðar voru 1977 (RRISP 77) að frumkvæði þýskra vísindamanna (Angenheister o.fl. 1979, 1980, Gebrande o.fl. 1980, Páll Einarsson 1979).

Auk bylgjuhraðanna er nauðsynlegt að þekkja staðbundnar óreglur í byggingu jarðskorpunnar sem koma fram sem frávik í fartíma bylgnanna til einstakra mælistöðva. Verulegur munur getur verið milli einstakra landshluta í þessu tilliti. Því er nauðsynlegt að skipta landinu í svæði og reikna skjálftastadsetningar fyrir hvert svæði fyrir sig. Stöðvafrávik eru fundin fyrir hvert svæði annað hvort með sprengingum eða með því að fíkra sig áfram út frá hópi skjálfta sem komið hafa fram á mörgum mælistöðvum.

Stærð skjálfta er venjulega fundin út frá útslagi sem fram kemur á skjálftamálum. Þarf þá að leiðréttu fyrir fjarlægð mælis frá upptökum, enda minnkar útslag bylgnanna með vaxandi fjarlægð. Á síðari árum hefur önnur aðferð verið notuð í vaxandi mæli í heiminum þegar um er að ræða nálæga skjálfta. Í stað útslags er notuð tímalengd skjálftans, þ.e. tíminn frá því að bylgjuhreyfing hefst og þangað til útslag fer aftur undir eitthvert ákveðið mark. Það kemur í ljós að tímalengdin er háð stærð skjálftans, og það sem meira er, hún er næstum óháð fjarlægð mælis frá upptökum. Það er því mun auðveldara að ákvarða stærð með þessu móti en áður var, því ekki þarf fyrst að ákvarða upptök skjálftans. Stærðarkvarði fyrir hverja stöð er fundinn með því að bera saman tímalengd T og stærð M fyrir hóp skjálfta. M er fundið út frá stöðvum sem þegar hafa verið kvarðaðar. Mynd 2 sýnir dæmigert samanburðarrit. Með aðferð minnstu kvaðrata má síðan finna bestu línu sem lýsir sambandinu milli M og log T

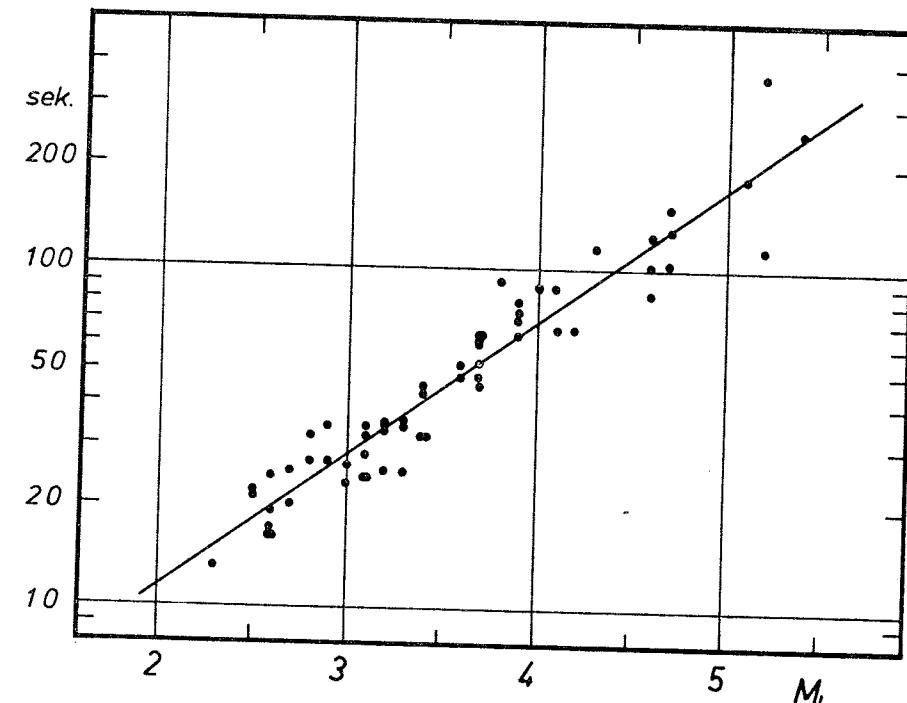
$$M = a \log T - b$$

Þegar hafa verið kvarðaðar 20 stöðvar með þessu móti.

### Rannsóknarverkefni.

Gögn frá landsnetinu hafa verið kveikjan að fjölmögum rannsóknarverkefnum á Raunvísindastofnun og margar greinar hafa verið birtar sem byggja að einhverju leyti á þeim. Þá hafa einnig mörg verkefni tengst landsnetinu þótt gögn frá því séu ekki notuð. Mæligögn áranna 1982- 85 hafa verið fullunnin og sýnir mynd 3 kort af upptökum og stærðum skjálfta þessara ára. Skjálftakortið á mynd 3 fylgir einnig bókinni sérprentað. Úrvinnsla áranna 1975-81 er einnig langt komin, en enn er eftir nokkur vinna við að koma niðurstöðum á endanlegt form. Á skjálftakortinu koma fram margir af helstu dráttum í skjálftavirkni landsins, og af því má draga margar ályktanir um eðli jarðskorpuhreyfinga og eldstöðva. Gott dæmi um hagnýtingu slíkra gagna má finna í skýrslu sem skrifuð var fyrir Staðarvalsnefnd um iðnrekstur (Páll Hall-dórsson o.fl. 1984) þar sem borin var saman skjálftahætta á nokkrum stöðum á landinu, sem til greina komu fyrir stóriðjuver.

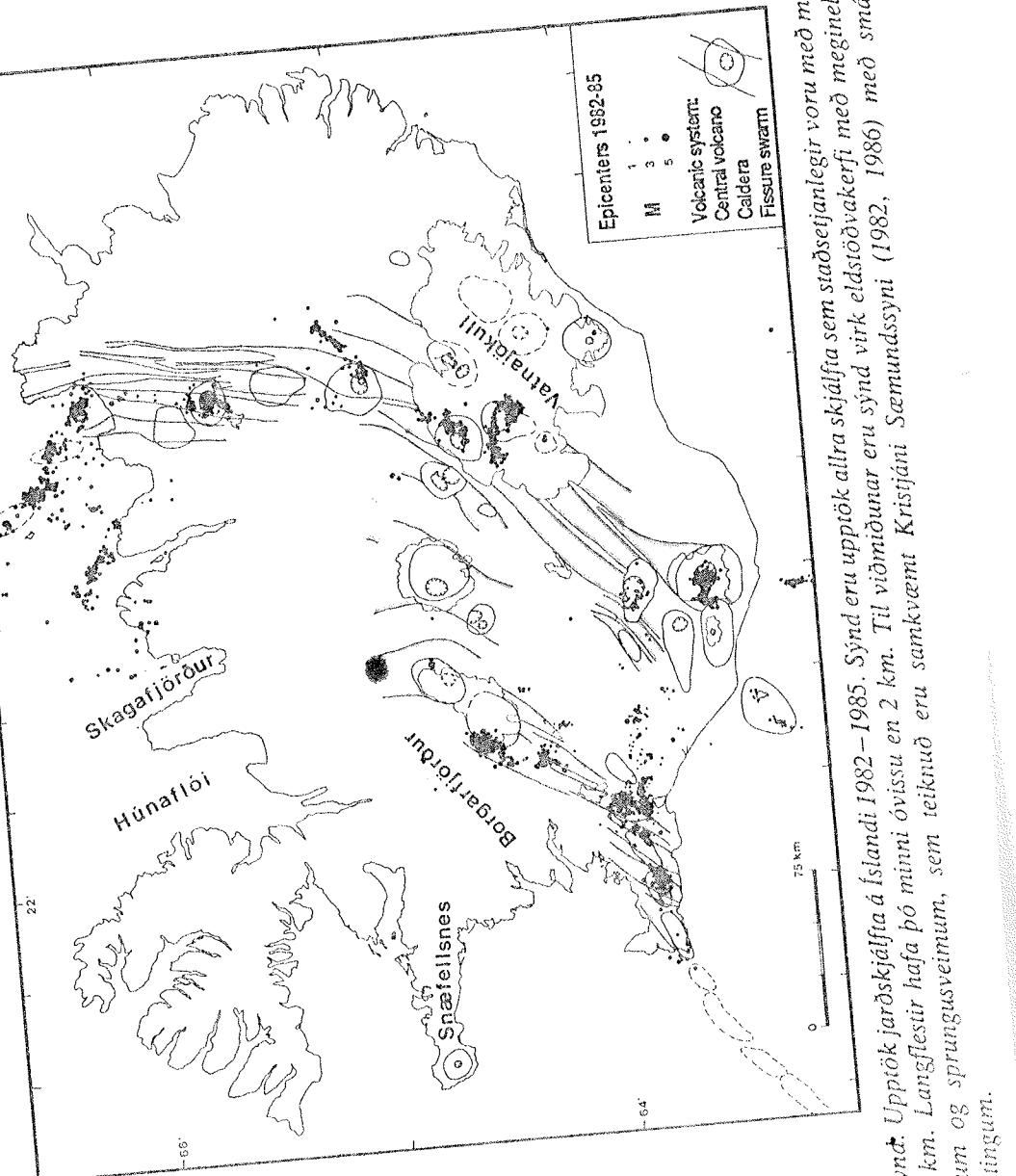
Á kortinu má glöggjt sjá skjálftabeltið á Reykjanesskaga, sem áður var lýst. Nokkru austar má einnig sjá þéttu þyrpingu skjálfta á Hengilssvæðinu sem virðist liggja nokkru norðan við aðalflekaskilin. Áður var sagt frá könnun Gillian Foulger á þessu skjálftasvæði sem að nokkru byggði á landsnetsmæl-



2. mynd. Kvörðunarlinna fyrir mælinn á Miðfelli í Hornafirði. Punktur sýnir samband milli tímalengdar skjálfta samkvæmt Miðfellsmælinum og stærðar hans samkvæmt mælum Veðurstofunnar í Reykjavík, á Akureyri, Eyvindará og Kirkjubæjarklaustri. Punktarinn falla nálægt beinni línu sem lýsir sambandi milli stærðar skjálfta (M) og log t. Línan er fundin með aðferð minnstu kvaðrata.

ingum (Gillian Foulger, 1984, Foulger og Long, 1984). Ein merkasta niðurstaða þeirrar könnunar var, að nokkur hluti skjálftanna reyndist tengdur gliðnun á sprungum í jarðskorpunni en ekki misgengishreyfingum eins og vanalegt er. Þessa tegund hreyfinga djúpt í jarðskorpunni er erfitt að skilja nema hún sé á einhvern hátt tengd jarðhita og samspili bergs og vatns. Hugsanlega verða skjálftarnir þegar samdráttarsprungur myndast í heitan bergmassa þegar hann kólnar fyrir áhrif vatns sem sækir að honum. Skjálftarnir gætu því verið merki um virkt jarðhitánám í jarðskorpunni.

Lengra til austurs má sjá hvernig flekaskilin teygja sig austur yfir Suðurlandsundirlendið. Hér hafa orðið stærstu og skaðvænlegustu skjálftar í sögu þjóðarinnar. Samkvæmt kortinu er skjálftabeltið um 10 km breitt og liggur um Ölfus, Flóa, Skeið, Holt, Land og Rangársvelli. Frá því að sögur hófust hefur a.m.k. 33 sinnum orðið tjón á þessu svæði af völdum jarðskjálfta. Tjónasvæði stærstu skjálftanna hafa verið kortlögd af Sveinbirni Björnssyni, og er kortin að finna í skýrslu Almannavarna ríkisins um landskjálfta á



Suðurlandi (Almannavarnir, 1978). Með u.p.b. 100 ára millibili verður hrina stórra skjálfta sem tekur til meginhluta skjálftabeltisins (Páll Einarsson og fl., 1981). Það sem nú eru liðin meira en 90 ár frá síðustu hrinu af því tagi, getur það varla talist óhófleg svartsýni að gera ráð fyrir næstu hrinu innan tveggja áratuga. Líklegt er að stærstu skjálftar verði um og yfir 7 á Richterskvarða og að þeir valdi verulegu tjóni. Talsvert átak hefur verið gert til að fylgjast með aðdraganda skjálftanna ef verða mætti til að einhvern tíma verið unnt að spá fyrir um slíkar hamfarir á Suðurlandi (Páll Einarsson, 1985). Margar stofnanir koma við sögu í þessari viðleitni, bæði innlendar og erlendar. Á vegum Veðustofunnar hefur verið rekið net þenslumæla á skjálftasvæðinu og í nágrenni þess síðan 1979. Með því má fylgjast með því hvernig spenna hleðst upp í jarðskorpanni. Sviþóum tilgangi gegna nákvæmar landmælingar sem gerðar voru á vegum Orkustofnunar. Á hennar vegum hafa líka verið gerðar hæðarmælingar á línum eftir endilöngu skjálftasvæðinu og byngdarmælingar á fjölmögum fastmerkjum. Verkfræðistofnun Háskóla Íslands hefur séð um uppsetningu og viðhald nokkurra sterkröðunarmæla sem ætlað er að mæla bylgjuhreyfingar í stórum skjálftum. Verk þetta er unnið er unnið samkvæmt samkomulagi milli Verkfræðistofnunar, Landsvirkjunar, Orkustofnunar og Raunvísindastofnunar. Sumarið 1986 voru gerðar nýstárlegar landmælingar á neti mælipunkta á Suðurlandi. Notuð voru merki frá Navstar-siglingatungum til að staðsetja punktana með nákvæmni upp á 2-3 cm. Það var fjölbjóðlegur hópur víssindamanna sem þessar mælingar gerði (G. Foulger og fl., 1987), en þessi tækni er að ryðja sér til rúms um þessar mundir og mun að líkendum valda byltingu í landmælingum. Til viðbótar við landmælinganet Orkustofnunar á Suðurlandi voru mældar fjarlægdir í neti fastmerkja á vegum Raunvísindastofnunar (Sigurður Erlingsson og Páll Einarssonar, 1985). Þá hefur verið fylgst með radonmagni í jarðhitavatni á nokkrum stöðum síðan 1977. Mælingarnar hófust í samvinnu við Lamont-Doherty stofnunina í New York, en síðustu árin hafa þær verið í höndum Raunvísindastofnunar. Pessar mælingar hafa skilað merkilegum árangri (Egill Hauksson og Goddard, 1981, Egill Hauksson, 1981). Greinileg frávik mældust í radoninnihaldi á undan skjálftum á Suðurlandi 1978 og 1986. Þetta gefur vonir um að unnt verði að spá fyrir um skjálfta á þessu svæði þegar fram líða stundir. Víða á Suðurlandi má sjá sprungur sem opnast hafa í tengslum við skjálfta. Talsverð vinna hefur verið lögð í að kortleggja sprungurnar til þess að fá hugmynd um umfang skjálftasvæðisins og eðli jarðskorpuhreyfinganna sem skjálftunum valda. Stúdentar í námskeiði í tektóník í Háskólanum hafa farið árlega til að kortleggja sprungur og hefur hluti af árangrinum verið birtur í greinum (Páll Einarsson og Jón Eiríksson, 1982, a og b).

Lengi hefur verið vitað að undir Mýrdalsjökli er tiltölulega virkt skjálftasvæði, og hafa menn tengt það eldstöðinni Kótlu. Nokkrum erfiðleikum er bundið að staðsetja skjálfta á þessu svæði með nákvæmni. Bylgjuhraði virðist vera nokkuð óreglulegur og bylgjurnar verða fyrir óeðlilegri deyfingu á leið sinni um jarðskorpuna þarna. Þegar staðsetningar bötnuðu með tilkomu landsnetsins kom í ljós að skjálftasvæðin eru tvö. Annað er þar sem Katla

hefur verið talin liggja, en hitt er undir suðvesturhorni jöklusins. Eðlilegt er að líta svo á að þarna sé önnur megineldstöð, svotil mitt á milli Kötru og Eyjafjallajökuls. Ekki er fráleitt að ætla að hlaup úr vestanverðum Mýrdalsjökli niður á Skóga- og Sólheimasand hafi stafað af eldsumbrotum í þessari eldstöð.

Á skjálftakortinu má sjá skjálftaþyrpingu á Torfajökulssvæðinu. Skjálftarnir eiga upptök í vestanverðri Torfajökulsöskjunní, sem Kristján Sæmundsson kortlagði á sínum tíma (1972), en í þeim hluta öskjunnar hafa jarðhiti og eldvirkni verið mest á seinustu öldum. Aðrar eldstöðvar á gosbeltinu á þessum slóðum, svo sem Hekla, Tindfjallajökull og Eyjafjallajökull, eru áberandi rólegar hvað skjálfta snertir. Sama er að segja um gos- og sprungusvæðið suðvestan við Vatnajökul.

Um gosbeltið undir Vatnajökli gagnir allt öðru mál. Þar hefur verið talsverð skjálftavirkni (Bryndís Brandsdóttir, 1984), einkum síðasta áratuginn. Mest eru áberandi skjálftaþyrpingar við Grímsvötn, Bárðarbungu, Kverkfjöll og á aflöngu svæði norðvestan við Grímsvötn. Ekki er vafí á því að skjálftavirknin er tengd eldstöðvum og umbrotum í þeim. Til dæmis eru næstum allir skjálftarnir í þyrringunni við Grímsvötn tengdir eldgosinu sem þar varð í maí 1983, aðdraganda þess og eftirköstum (Páll Einarsson og Bryndís Brandsdóttir, 1984). Skjálftasvæðið norðvestan við Grímsvötn fellur saman við upptakasvæði Skraftárhlaupa. Jarðhiti bræðir ísinn að neðan og bræðsluvatnið fær framrás í hlaupum á u.p.b. 2 ára fresti (Helgi Björnsson, 1977). Telja verður líklegt að þarna undir jöklinum séu a.m.k. þrjár megineldstöðvar sem raða sér á A-V línu.

Mikilvirkust hefur þó Bárðarbunga verið. Þar hafa á síðustu árum orðið nokkrir skjálftar stærri en 5 á Richterskvarða. Þeir hafa komið fram á nægilega mörgum erlendum mælistöðvum til að hægt hefur verið að ákvarda brotlausnir (Páll Einarsson, 1986, Nishenko og fl., 1986). Samkvæmt þeim tengjast skjálftarnir samgengishreyfingum innan öskju megineldstöðvarinnar. Þær má túlka sem afleiðingu af minnkandi kvikuþrýstingi í kvíkuhólfí í jarðskorunnini undir Bárðarbungu. Það er athyglisvert að skjálftarnir hafa verið mestir þegar mest landris var í Kröflu, sem er önnur megineldstöð, um 110 km norðar í gosbeltinu. Það þýðir að þegar kvikurennslíð var mest upp í kvikuþró Kröflu, var rennslíð örast niður úr kvikuþró Bárðarbungu. Sett hefur verið fram sú hugmynd að þessir atburðir séu tengdir og að á milli eldstöðva geti verið einhvers konar þrýstingssamband, t.d. milli Bárðarbungu og Kröflu, og Kötru og Vestmannaeyja (Páll Einarsson, 1987).

Aberandi skjálftaþyrping kemur fram á Kröflusvæði, jafnvel þótt kortið nái yfir tímabil sem var tiltölulega rólegt við Kröflu. Skjálftar á þessu tímabili voru flestir tengdir landrisi, sem stafaði af auknum kvikuþrýstingi í kvíkuhólfí Kröflueldstöðvarinnar. Á tímabilinu 1975-81 var stundum talsvert miklu meira um að vera (sjá t.d. grein eftir Axel Björnsson og fl. 1977), og hefur landsnetið reynst notadrjúgt til að fylgjast með atburðarásinni á þessum slóðum. Umtalsverð skjálftavirkni hefur fylgt umbrotunum sem hófust 1975 á Kröflusvæðinu og er hún einkum tvenns konar, þ.e. stöðugur órói og

einstakir skjálftakippir. Þegar kvikuþrýstingur hækkar, vex spenna í þaki kvikuþróarinnar uns í því tekur að bresta. Skjálftarnir sem þannig verða til eru því ágætur mælikvarði á kvikuþrýstinginn. Bylgjur frá skjálftunum má einnig nota til að „gegnumlysa“ kvikuþróna. S-bylgjur komast ekki í gegnum fljótandi efni. Með því að athuga hvar S-bylgjur komast ekki um, má því fá hugmynd um það hvar kvíkuhólfíð er staðsett og hversu stórt það er (Páll Einarsson, 1978).

Þegar kvikuþró brestur vegna aukins kvikuþrýstings myndast sprunga sem jafnharðan fyllst af kviku. Sprungan getur rifnað áfram um jarðskorpuna, annað hvort lárétt eins og gerst hefur í mörgum kvíkuhlaupum við Kröflu síðan 1975, eða í átt til yfirborðs sem getur leitt til eldgoss. Sprungumynduninni fylgir gjarnan jarðskjálftahrina, og gefa upptök skjálftanna þá til kynna hvar kvikan er stödd hverju sinni. Pannig má ákvarda hraða kvíkuhlaupa og fá upplýsingar um eiginleika kvíkunnar og jarðskorunnar (Bryndís Brandsdóttir og Páll Einarsson, 1979, Páll Einarsson og Bryndís Brandsdóttir, 1980).

Kvíkuhlaupum fylgir einnig stöðugur órói og virðist útslag hans háð rennslishraða kvíkunnar út úr kvíkuhólfinu. Skjálftavirkni breytir oft um hegðun þegar kvika nær yfirborði og eldos hefst. Skjálftakippir hætta og óróinn breytist. Tíðni hans lækkar, útslag verður jafnara og virðist nú einkum háð kvíkustrókavirkninni og ákafa gossins.

Umbrotin við Kröflu hafa verið ákaflega lærðómsrík og hafa gefið mikilvæga innsýn í eðli megineldstöðva og landreks. Um þau hafa verið skrifðar margar vísindaritgerðir og haldnir fjölmargir fyrilestrarar á innlendum og alþjóðlegum ráðstefnum.

Við norðurströndina hliðrast flekaskilin til vesturs. Þar sem slíkt gerist er skjálftavirkni venjulega mikil og skjálftar stórir og er Norðurland þar ekki undantekning. Stærstu skjálftar geta náð stærðinni 7 eins og varð í mynni Skagafjarðar 1963 (Ragnar Stefánsson, 1966, Páll Halldórsson, 1984). Eins og fram kemur á skjálftakortinu er upptakasvæði skjálfta fyrir Norðurlandi nokkuð flókið að gerð. Greinilega koma fram þrjú samsíða skjálftabelti með norðvestlægri stefnu. Á þetta var fyrst bent í grein Páls Einarssonar (1976). Mest áberandi er belti sem nær úr Öxarfirði út fyrir Grímsey. Annað belti er úti fyrir mynni Eyjafjarðar, og liggur það um Flatey og á land við Húsavík. Priðja beltið liggur um Dalvík, þvert yfir Tröllaskaga, um Fljót og út í mynni Skagafjarðar.

Auk rannsókna sem beinast að jarðskjálftum og tengslum þeirra við eldvirkni, hafa gögn frá landsnetinu verið notuð til könnunar á jarðskorunnini og móttlinum undir henni. Áður var minnst á RRISP77- mælingar (Reykjanes Ridge-Iceland Seismic Project, Angenheister og fl., 1979, 1980, Gebrande og fl., 1980, Páll Einarsson, 1979). Sprengt var á nokkrum stöðum umhverfis landið og í Pverölduvatni á Sprengisandi. Bylgjurnar voru skráðar á nokkrum mælilínum út frá sprengistöðunum, en auk þess komu þær fram á flestum stöðvum landsnetsins. Í ljós kom að móttullinn undir Íslandi er talsvert frábrugðinn því sem er undir svæðinu umhverfis. Bylgjuhraði er

óvenjulega lágur og hlutfall milli hraða P-bylgju og S-bylgju er óeðlilega hátt. S-bylgjur deyfast líka óvenju hratt. Þetta bendir til þess að möttullinn sé hlutbráðinn, og er hlutfall bráðins efnis áætlað allt að 25%. Lag þetta virðist liggja undir meginhluta landsins og er líklegt að íslenskar eldstöðvar fái úr því kviku sína. Með þessu lagi er líka fundin leið til að skýra hugsanlegt þrýstingssamband milli eldstöðva, sem áður var minnst á.

Landsnetið skráir oft P-bylgjur frá mjög fjarlægum skjálftum, sem koma mjög bratt upp undir landið. Með þeim má kanna undirlag landsins niður á mikið dýpi (Eysteinn Tryggvason 1964). Rannsókn á komutíma þeirra bent til þess að efni með óvenju lágum P-bylgjuhraða nái niður á a.m.k. 300 km undir landinu (Kristján Tryggvason og fl., 1983). Eldvirkni Íslands virðist því eiga sér mjög djúpar rætur.

Auk þeirra rannsóknagreina sem hér hafa verið taldar hafa verið skrifaðar nokkrar yfirlitsgreinar um skjálfta á Íslandi og Atlantshafshrygnum og ástand jarðskorpunnar og möttulsins (Sveinbjörn Björnsson og Páll Einarsson, 1974 og 1981, Páll Einarsson og Sveinbjörn Björnsson, 1979, Páll Einarsson, 1979 og 1986, Sanford og Páll Einarsson, 1982, Sveinbjörn Björnsson, 1975 og 1984).

### Framtíðarþróun.

Við stöndum nú á tímamótum í jarðskjálftamælingum. Mælar í núverandi landneti skrá gögn með penna á pappír á talsvert samþjöppuðu formi. Af þeim má með góðu móti lesa komutíma bylgna og mesta útslag, en þessi gögn nýtast vel til að ákvarða upptök og stærð skjálfta. Einnig nýtast gögnin til grófra kannana á eðli jarðlaganna sem bylgjurnar berast um. Aflestur af línuritunum er seinunninn, krefst talsverðar yfirlegu og erfitt er að koma við sjálfvirkni.

Um þessar mundir er að ryðja sér rúms ný kynslóð skjálftamæla. Örtölvutæknin opnar nýja möguleika til að safna gögnum á stafrænu formi, sem vinna má beint í tölvu. Auk komutíma og útslags fást þá upplýsingar um bylgjuna í heild sinni, en í henni eru fólgarnar upplýsingar um eðli skjálfta-upptakanna sjálfra og ýmsa eiginleika jarðlaganna á milli upptaka og mælistaðar. Gögn á þessu formi má tiltölulega auðveldlega vinna á sjálfvirkjan hátt, þannig að staðsetja megi upptök og ákvarða stærð skjálfta.

Helsta vandamálið við söfnun stafrænna mæligagna er hversu gífurlegt gagnamagnið er. Til þess að skrá bylgjuformið þarf að safna 100 tölum á sekúndu, en slíkt gagnastreymi fyllir flestar gagnageymslur á stuttum tíma. Af þessum sökum þarf að gæða mælinn einhverri „skynsemi“ sem gerir honum fært að safna einungis gögnum þegar eithvað markvert er að gerast. Þetta getur verið nokkrum vandkvæðum bundið, því í jarðeðlisfræði er það ekki alltaf ljóst fyrirfram hvað er merkilegt og hvað ekki. Tiltölulega auðvellt er að „kenna“ mælinum að þekkja venjulega jarðskjálfta og skrá þá, en sleppa öðru. Ýmis íslensk fyrirbrigði gætu þó reynst erfið slíkum mæli, svo sem eldgosaórói, péttar skjálftahrinur og frostbrestahrinur. Brýnt er orðið að

taka í notkun stafræna skjálftamæla á Íslandi til þess að safna reynslu á þessu sviði við íslenskar aðstæður.

Nú eru uppi áform um að gera myndarlegt átak í þessu efni. Skjálftafræðingar á Veðurstofunni og Raunvísindastofnun hafa tekið höndum saman með skjálftafræðingum á Norðurlöndum og gert áætlun um að reisa net stafrænna mæla á Suðurlandsundirlendi til þess að fylgjast með aðdraganda næstu landskjálftahrinu þar (Ragnar Stefánsson og fl., 1986). Ætlunin er að mælanir sendi gögn sín jafnóðum til Reykjavíkur þar sem unnið verði úr þeim sjálfvirkít innan fárra mínumáta. Ef fé fæst til þessa verkefnis ætti þróunarvinna að geta hafist innan skamms. Vonir standa til að mælanet svipaðrar gerðar megi síðar setja upp í öðrum landshlutum. Það er þó ljóst að mælar af þeirri gerð, sem hönnuð var á Raunvísindastofnun á síðasta áratug, verða enn um langa hríð meginuppistaðan í landsneti skjálftamæla á Íslandi.

### Pakkarorð.

Auk þeirra sem eru nefndir í þessari grein hefur mikill fjöldi fólks komið við sögu skjálftamælinga á Raunvísindastofnun, og yrði of langt mál að telja alla upp hér. Meðal þeirra eru gæslumenn skjálftamæla víðsvegar um landið, aðstoðarfólk við gagnaúrvinnslu, tæknimenn, tölvumenn og stúdentar sem hafa unnið í lengri eða skemmtíma á Raunvísindastofnun. Án framlags þessa fólks væru skjálftamælingar við stofnunina komnar mun skemur en raun ber vitni.

### Heimildir.

- Almannavarnir, 1978. *Landskjálfti á Suðurlandi, skýrsla vinnuhóps Almannavarnardóðs um jarðskjálfta á Suðurlandi og varnir gegn heim*, 54 pp.  
 Angenheister, G., H. Gebrande, H. Miller, W. Weigel, P. Goldflam, W. Jacoby, Guðmundur Pálmasón, Sveinbjörn Björnsson, Páll Einarsson, S. Zverev, B. Loncarevic, S. Solomon, 1979. First results from the Reykjanes Ridge Iceland seismic project 1977. *Nature*, 279, 56-60.  
 Angenheister, G., H. Gebrande, H. Miller, P. Goldflam, W. Weigel, W. Jacoby, Guðmundur Pálmasón, Sveinbjörn Björnsson, Páll Einarsson, N.I. Pavlenkova, S.M. Zverev, I.V. Litvinenko, B. Loncarevic, S. Solomon, S. Richard, 1980. Reykjanes Ridge Iceland Seismic Experiment (RRISP 77). *J. Geophys.*, 47, 228-238.  
 Axel Björnsson, Kristján Sæmundsson, Páll Einarsson, Eysteinn Tryggvason, Karl Grönvold, 1977. Current rifting episode in north Iceland. *Nature*, 266, 318-323.  
 Bott, M.H.P., J. Sunderland, P.J. Smith, 1974. Evidence for continental crust beneath the Faeroe Islands. *Nature*, 248, 202-204.  
 Bott, M.H.P., Karl Gunnarsson, 1980. Crustal structure of the Iceland-Faeroe Ridge. *J. Geophys.*, 47, 221-227.  
 Bryndís Brandsdóttir, 1984. Seismic activity in Vatnajökull in 1900-1982 with special reference to Skeiðarárhlaups, Skáftárhlaups and Vatnajökull eruptions. *Jökull*, 34, 141-150.  
 Bryndís Brandsdóttir, and Páll Einarsson, 1979. Seismic activity associated with the September 1977 deflation of the Krafla central volcano in NE Iceland. *J. Volcanol. Geothermal Res.*, 6, 197-212.

- Conant, D.A., 1972. A microearthquake survey of geothermal areas in Iceland, 1970. *Earthquake Notes*, 43, 19-32.
- Egill Hauksson, 1981. Radon content of groundwater as an earthquake precursor: Evaluation of worldwide data and physical basis. *J. Geophys. Res.*, 86, 9397-9410.
- Egill Hauksson, J.G. Goddard, 1981. Radon earthquake precursor studies in Iceland. *J. Geophys. Res.*, 86, 7037-7054.
- Eysteinn Tryggvason, 1951. Jarðskjálftamælingar á Íslandi 1909-1951. *Veðrattan*, p. 52-53.
- Eysteinn Tryggvason, 1964. Arrival times of P-waves and upper mantle structure. *Bull. Seismol. Soc. Am.* 54, 727-736.
- Foulger, G.R., 1984. *Seismological studies at the Hengill geothermal area, SW Iceland. University of Durham, Ph.D. thesis*, 313 pp.
- Foulger, G.R., R.E. Long, 1984. Anomalous focal mechanisms: evidence for tensile crack formation on an accreting plate boundary. *Nature*, 310, 43-45.
- Foulger, G.R., R. Bilham, J. Morgan, Páll Einarsson, 1987. A GPS-survey of Iceland, 1986. *EOS*, 68, í prentun.
- Gebrande, H., H. Miller, Páll Einarsson, 1980. Seismic structure of Iceland along RRISP-Profile I. *J. Geophys.*, 47, 239-249.
- Guðmundur Pálsson, 1971. Crustal structure of Iceland from explosion seismology. *Vísindafélag Íslendinga, Rit XL*, 187 bls.
- Guðmundur Pálsson, 1966. Recording of earthquakes and tremors in the Vestman Islands Jan. 23 – April 11 1964. *Surtsey Research Progress Report II*, 139–153.
- Haukur Tómasson, 1976. The opening of tectonic fractures at the Langalda dam. Commission Internationale des Grands Barrages. *Douzième Congrès des Grands Barrages*, Mexico, p. 75-91.
- Helgi Björnsson, 1977. The cause of jökulhlaups in the Skaftá River, Vatnajökull. *Jökull*, 27, 71-78.
- Jón Sveinsson, 1984. Rannsóknastöð á Grímsfjalli. *Skjálfabréf nr. 57*, 6-9.
- Karl Grönvold, Guðrún Larsen, Páll Einarsson, Sigurður Þórarinsson, Kristján Sæmundsson, 1983. The Hekla eruption 1980-1981. *Bull. Volcanol.*, 46, 349-363.
- Klein, F.W., 1978. Hypocenter location program HYPOINVERSE. *U.S. Geol. Surv. Open-File Report 78-694*, 113 pp.
- Klein, F.W., Páll Einarsson and M. Wyss, 1973. Microearthquakes on the mid-Atlantic plate boundary on the Reykjanes Peninsula in Iceland. *J. Geophys. Res.*, 78, 5084-5099.
- Klein, F.W., Páll Einarsson and M. Wyss, 1977. The Reykjanes Peninsula, Iceland, earthquake swarm of September 1972 and its tectonic significance. *J. Geophys. Res.*, 82, 865-888.
- Kristján Sæmundsson, 1972. Jarðfræðiglefsur um Torfajökulssvæðið. *Náttúrufræðingurinn*, 42, 81-99.
- Kristján Sæmundsson, 1982. Öskjur á virkum eldfjallasvæðum á Íslandi. *Eldur er í norðri, Sögufélag, Reykjavík*, 221-239.
- Kristján Sæmundsson, 1986. Subaerial volcanism in the western North Atlantic. In: Vogt, P. R., and Tucholke, B. E., eds., *The Geology of North America, Vol. M, The Western North Atlantic Region*. Geological Society of America, p. 69–86.
- Kristján Tryggvason, E.S. Husebye, Ragnar Stefánsson, 1983. Seismic image of the hypothesized Icelandic hotspot. *Tectonophysics*, 100, 97-118.
- Lahr, J.C. and P.L. Ward, 1975. HYPOELLIPE: A computer program for determining local hypocentral parameters, magnitude, and first motion pattern, *U.S. Geol. Surv. Open-File Report*.
- Lee, W.H.K., and J.C. Lahr, 1972. HYPO71: a computer program for determining hypocenter, magnitude and first motion pattern of local earthquakes. *U.S. Geological Survey, Open-file Report*, 100 pp.
- Nishenko, S.P., Páll Einarsson, M.L. Zoback, 1986. Seismicity and state of stress of the North Atlantic Ocean basin and adjacent regions. In: Vogt, P.R., and Tucholke, B.E., eds., *The Geology of North America, Vol. M, The Western North Atlantic Region: Geological Society of America, Plate 11*.
- Páll Einarsson, 1974. Seismic activity recorded in Surtsey during the summer of 1966. *Surtsey Research Progress Report VII*, 83-90.
- Páll Einarsson, 1976. Relative location of earthquakes within the Tjörnes Fracture Zone. *Soc. Sci. Isl., Greinar V*, 45-60.
- Páll Einarsson, 1978. S-wave shadows in the Krafla caldera in NE-Iceland, evidence for a magma chamber in the crust. *Bull. Volcanol.* 41, 1-9.
- Páll Einarsson, 1979. Seismicity and earthquake focal mechanisms along the mid-Atlantic plate boundary between Iceland and the Azores. *Tectonophysics*, 55, 127-153.
- Páll Einarsson, 1979. Travel times recorded at Icelandic seismograph stations during the Reykjanes Ridge Iceland Seismic project (RRISP). *Science Institute, University of Iceland, Report RH-79-10*, 33 pp.
- Páll Einarsson, 1985. Jarðskjálftaspár. *Náttúrufræðingurinn*, 55, 9-28.
- Páll Einarsson, 1986. Seismicity along the eastern margin of the North American Plate. In: Vogt, P.R., and Tucholke, B.E., eds., *The Geology of North America, Vol. M, The Western North Atlantic Region: Geological Society of America*, p. 99-116.
- Páll Einarsson, 1987. The anomalous mantle beneath Iceland and possible magma pressure connection between volcanoes. *Hawaii Symposium on How Volcanoes Work, Abstract Volume*, p. 61, Hilo, Hawaii.
- Páll Einarsson, and Sveinbjörn Björnsson, 1976. Seismic activity associated with the 1970 eruption of volcano Hekla in Iceland. *Jökull*, 26, 8-19.
- Páll Einarsson, F.W. Klein and Sveinbjörn Björnsson, 1977. The Borgarfjörður earthquakes of 1974 in West Iceland. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 67, 187-208.
- Páll Einarsson, Sveinbjörn Björnsson, 1979. Earthquakes in Iceland. *Jökull*, 29, 37-43.
- Páll Einarsson, and Bryndís Brandsdóttir, 1980. Seismological evidence for lateral magma intrusion during the July 1978 deflation of the Krafla volcano in NE-Iceland. *J. Geophys.*, 47, 160-165.
- Páll Einarsson, Sveinbjörn Björnsson, Gillian Foulger, Ragnar Stefánsson, Pórunn Skaftadóttir, 1981. Seismicity pattern in the South Iceland Seismic Zone. In: *Earthquake Prediction - An International Review* (eds. D. Simpson and P.G. Richards). *American Geophys. Union, Maurice Ewing Series 4*, 141-151.
- Páll Einarsson, og Jón Eiríksson, 1982. Jarðskjálftasprungur á Landi og Rangárvöllum. *Eldur er í norðri, Sögufélag, Reykjavík*, 295-310.
- Páll Einarsson, Jón Eiríksson, 1982. Earthquake fractures in the districts Land and Rangárvellir in the South Iceland Seismic Zone. *Jökull*, 32, 113-120.
- Páll Einarsson, Bryndís Brandsdóttir, 1984. Seismic activity preceding and during the 1983 volcanic eruption in Grímsvötn, Iceland. *Jökull*, 34, 13-23.
- Páll Halldórsson, 1984. *Skagafjarðarskjálftinn 1963* (27. mars kl. 23:15 að íslenskum staðaltíma). *Vedurstofa Íslands*, 152 bls.
- Páll Halldórsson, Ragnar Stefánsson, Páll Einarsson og Sveinbjörn Björnsson, 1984. *Mat á jarðskjálftahættu: Dysnes, Geldinganes, Helguvík, Vatnsleysuvík, Vogastapi og Þorlákshöfn. Staðarvalsnefnd um iðnrekstur, Iðnaðarráðuneytið*, 34 bls.
- Ragnar Stefánsson, 1966. Methods of focal mechanism with application to two Atlantic earthquakes. *Tectonophysics*, 3, 209-243.
- Ragnar Stefánsson, H. Bungum, Reynir Böðvarsson, J. Hjelme, E. Husebye, Henry Johansen, H. Korhonen, R. Slunga, 1986. *Seismiskt datasamlingssystem för Södra Islands lågland. Vedurstofa Íslands*, 72 bls.
- Sanford, A. R., and Páll Einarsson, 1982. Magma chambers in rifts; in *Continental and Oceanic Rifts*, ed. Guðmundur Pálsson. *Geodynamics Series, Vol. 8, Amer. Geophys. Union*, 147-168.
- Sigurður Erlingsson og Páll Einarsson, 1985. Fjarlægðarmælingar á jarðskjálftasvæði Suðurlands árið 1984. *Raunvisindastofnun Háskólangs, skýrsla RH-04-85*, 28 bls.
- Stefán Arnórsson og Gunnar Ólafsson, 1986. A model for the Reykholtsdalur and the upper Ármessýsla geothermal systems with a discussion on some geological and geothermal processes in Southwest Iceland. *Jökull*, 36, 1-10.

- Sveinbjörn Björnsson (ritstj.), 1967. Iceland and Mid-Ocean Ridges. *Vísindafél. Íslendinga*, XXXVIII, 209 bls.
- Sveinbjörn Björnsson, 1975. Jarðskjálftar á Íslandi. *Náttúrufræðingurinn*, 45, 110-133.
- Sveinbjörn Björnsson, 1983. Crust and upper mantle beneath Iceland. In: *Structure and Development of the Greenland-Scotland Ridge*, eds. Bott, Saxow, Talwani and Thiede. Plenum Publ. Co., pp. 31-61.
- Sveinbjörn Björnsson and Páll Einarsson, 1974. Seismicity of Iceland, in: *Geodynamics of Iceland and the North Atlantic Area*, edited by Leó kristjánsson. Reidel, Dordrecht, Holland, p. 225-239.
- Sveinbjörn Björnsson og Páll Einarsson, 1981. Jarðskjálftar. Í *Náttúra Íslands. Almenna Bókafélagið, Reykjavík*, bls. 121-155.
- Ward, P.L., 1971. New interpretation of the geology of Iceland. *Geol. Soc. Am. Bull.* 82, 2991-3012.
- Ward, P.L., 1972. Microearthquakes: Prospecting tool and possible hazard in the development of geothermal resources. *Geothermics*, 1, 3-12.
- Ward, P.L., Guðmundur Pálmason, and C.L. Drake, 1969. Microearthquake surveys and the mid-Atlantic ridge in Iceland. *J. Geophys. Res.*, 74, 665-684.
- Ward, P.L., and Sveinbjörn Björnsson, 1971. Microearthquakes, swarms and the geothermal areas of Iceland. *J. Geophys. Res.*, 76, 3953-3982.
- Zverev, S.M., I.P. Kosminskaya, G.A. Krasilshchikova, G.G. Mikhota, 1976. The crustal structure of Iceland and the Iceland-Faeroe-Shetland region. *Vísindafél. Ísl.*, Greinar V, 72-95.
- Þorbjörn Sigurgeirsson, 1968. Continued geomagnetic and seismic measurements on Surtsey. *Surtsey Res. Progr. Report IV*, 173-176.
- Þorbjörn Sigurgeirsson and Ragnar Stefánsson, 1967. Seismic measurements in Surtsey. *Surtsey Res. Progr. Report III*, 107-109.

## HELGI BJÖRNSSON

# Könnun jöklar með rafsegulbylgjum

## Inngangur

Á árunum 1976–78 urðu þáttaskil í könnun á þykkt jöklar hér á landi þegar starfsmenn Raunvísindastofnunar háskólans hófu að beita til þess rafsegulbylgjum. Stóraukin vitneskja hefur nú fengist um landslag undir jöklum, fjalllendi og dali, legu og lögum eldstöðva og rennslsleiðir jökulhlaupa, sem frá þeim kunna að falla (Helgi Björnsson 1977, 1986 a, 1986 b). Mat hefur einnig fengist á ísforða, sem bundinn er í jöklum. Ég mun sýna dæmi frá Hofsjökli um árangur af þeiri landkönnun. En megin tilgangur greinarinnar er að rekja nokkur atriði um útbreiðslu rafsegulbylgna í jöklum. Skilningur á eðli hennar er grundvöllur að allri stefnumörkun við val rannsóknarverkefna, markvissri smíði mælitækja, mælingum og úrvinnslu þeirra. Greinin er til-einkuð Porbirni Sigurgeirssyni, sem lagði grundvöllinn að gerð rafeindatækja og jarðeðlisfræðilegri könnun við Raunvísindastofnun háskólans.

## Útbreiðsla rafsegulbylgna í jöklum

Næstliðna tvo áratugi hafa rafsegulbylgjur verið notaðar við könnun á gaddjöklum Grænlands og Suðurskautslandsins (Bailey o. fl. 1964, Robin o. fl. 1969, Gudmandsen 1969), en um 1975 komu fyrst fram leiðir til þess að beita þeim á þíðjöklum, sem eru á bræðslumarki og í er bræðsluvatn (Watts and England 1975, Ferrari o. fl. 1976, Helgi Björnsson 1977, Marteinn Sverrisson o. fl. 1980). Á árunum 1977–79 var svonefnd íssjá smíðuð til jöklamælinga við Raunvísindastofnun með stuðningi frá Vísindasjóði og Rannsóknasjóði Eggerts V. Briem (1. mynd). Við Raunvísindastofnun hefur frá fyrstu tilverið áhugi á jöklarannsóknum og hún hefur um langt skeið átt að skipa færustu tæknimönnum. Einnig naut hún árangurs af samstarfi við Verksfræðideild háskólans í Cambridge í Englandi og upplýsinga um reynslu starfsmanna við Jarðfræðastofnun Bandaríkjanna.

Íssjáin vinnur þannig að rafsegulbylgur eru sendar niður í jökulinn. Þær endurkastast frá lögum inni í honum og frá botni og berast upp á yfirborð á