

ORKUSTOFNUN  
JARÐHITAEILD

# GOSVAKT VIÐ KRÖFLU

ÁFANGASKÝRSLA UM STÖÐU RANNSÓKNA  
OG EFTIRLITS Á KRÖFLU-NÁMAFJALLSSVÆÐI  
VEGNA ELDSUMBROTA OG JARÐHRÆRINGA

AXEL BJÖRNSSON

OS JHD 76 50

NÓVEMBER 1976

GOSVAKT VIÐ KRÖFLU

Áfangaskýrsla um stöðu rannsókna og  
eftirlits á Kröflu-Námafjallssvæði  
vegna eldsumbrota og jarðhræringa.

Axel Björnsson

<u>EFNISYFIRLIT</u>	Bls.
Myndaskrá	3
Formáli	4
0. Ágrip, helstu niðurstöður.	6
1. Skipulag og tilgangur gosvaktar.	7
2. Um jarðfræði og gossögu Kröflu-Námafjallssvæðis.	9
3. Rannsóknir og eftirlit vegna goshættu.	12
3.1 Eftirlit með hveravirkni, sprungumyndunum og öðrum breytingum á yfirborði.	12
3.2 Hitamælingar í hveraaugum og jarðvegi.	13
3.3 Hæðar- og hallamælingar lands.	17
3.4 Hallabreytingar stöðvarhúss.	20
3.5 Þyngdarmælingar.	25
3.6 Sprungumælingar.	26
3.7 Skjálftamælingar.	32
3.8 Viðnámsmælingar við Kröflu og Námafjall.	37
3.9 Athuganir á borholum.	40
4. Líkan af hreyfingum Kröflusvæðis.	44
5. Um mat á hættuástandi á Kröflusvæði.	55
Heimildir	59

MYNDASKRÁ

		Bls.	
Fnr.	14928	Yfirlitskort af Kröflu-Námafjallssvæði.	11
Fnr.	14911	Staðsetning hitamæla R1-R10, T5.	15
Fnr.	14627	Niðurstöður hitamælinga.	16
Fnr.	14661	Hæðarbreytingar lands við Kröflu.	18
Fnr.	14912	Hæðarbreytingar lands við Kröflu.	19
Fnr.	14599	Hallabreytingar, landris og skjálftavirkni.	22
Fnr.	14626	Hallabreytingar stöðvarhúss, mælt úti.	23
Fnr.	14673	Hallabreyting stöðvarhúss, mælt inni.	24
Fnr.	14910	Staðsetning sprungumæla RN1-13, L2-4	28
Fnr.	14909	Staðsetning sprungumæla L1, K1-3, L5-9.	29
Fnr.	14628	Sprungumælingar RN1-13, L2-4.	30
Fnr.	14929	Sprungumælingar L1, K1-3, L5-9.	31
Fnr.	14624	Fimm daga meðaltal skjálftavirkni.	34
Fnr.	14914	Sprungur, húshalli, skjálftar.	36
Fnr.	14916	Staðsetning viðnámsmælinga.	39
Fnr.	14600	Breytingar á borholum 3 og 4.	43
Fnr.	14913	Rishraði/sighraði í mismunandi fjarlægð.	48
Fnr.	14915	Rishæð lands eftir Mogi og Gauss.	49

## FORMÁLI

Undanfarna mánuði hafa jarðvísindamenn á Orkustofnun (OS) svo og sérfræðingar frá öðrum opinberum stofnunum, eins og Raunvísindastofnun Háskólans (RH), Norrænu Eldfjallastöðinni (NE) og Veðurstofu Íslands (VÍ), unnið að rannsóknum og fylgst náið með þróun jarðhræringa á Kröflu-Námafjallssvæði. Með þessum rannsóknum svo og fyrri athugunum Jarðhitadeildar OS á svæðinu hafa fengist mjög ýtarlegar upplýsingar um gerð jarðhitasvæðisins svo og hegðan þess í jarðhræringum undanfarna mánuði. Má fullyrða að ekkert annað háhitasvæði né nokkur megineldstöð hér á landi séu eins vel þekkt jarðvísindalega séð, eins og Kröflu-Námafjallssvæði.

Þrátt fyrir þetta er langt í land að jarðvísindamenn skilji til hlítar eðli þessa svæðis og þær breytingar er verða á því nær daglega, hvað þá að unnt sé að spá um framvindu jarðhræringa með nokkurri vissu. Ástæðan fyrir þessu er einkum sú að stutt er síðan farið var að fylgjast náið með hræringum og breytingum við eldstöðvar og því um ung vísindi að ræða.

Þegar hlutum er á þennan veg farið er ávallt álitamál hvenær tímabært er að taka saman um þá skýrslu og hvenær gera á tilraun til að öðlast heildarmynd af atburðum. Sé skýrsla skrifuð of fljótt er hætta á að hún verði brátt úrelt vegna nýrra upplýsinga og margir hlutir hljóta þá að fá ófullnægjandi afgreiðslu. Sé aftur á móti dregið of lengi að skrifa samantekt um atburði sem þessa, vill margt gleymast og mikilvæg gögn liggja ótúlkuð í skúffum einstakra manna, þar sem þau eru óaðgengileg öðrum til úrvinnslu.

Hér hefur verið valin sú leið að taka saman flest þau gögn er safnast hafa á undanförunum mánuðum um hræringar á Kröflu-Námafjallssvæði. Tilraun er gerð til að setja þau í samhengi og fá þannig heildarmynd af atburðum síðustu mánaða.

Skylt er að geta þess að margir vísindamenn frá ýmsum stofnunum hafa stuðlað að söfnun og túlkun þessara gagna en undirritaður hefur reynt að ná þeim saman á einn stað. Er fram líða stundir er eðlilegt að hver og einn skrifi ýtarlega um eigin rannsóknir á þessu svæði. Þrátt fyrir það er rétt að reyna að hafa sem besta heildarmynd af atburðum á hverjum tíma og verður það reynt í þessari skýrslu.

Hér verður ekki gerð tilraun til að skrifa um jarðfræðilega og jarðeðlisfræðilega uppbyggingu Kröflu og Námafjallssvæðis, né um gufuöflun fyrir Kröfluvirkjun. Það hefur þegar verið gert eða er í undirbúningi. Áhersla er einkum lögð á breytingar og hræringar á svæðinu er orðið hafa í kjölfar eldgossins í Leirhnjúk í desember 1975. Um gosið sjálfst hefur þegar verið fjallað á prenti. Varðandi jarðfræði og gossögu svo og fyrri rannsóknir á svæðinu vísast til heimilda (2), (3) og (4) í heimildaskrá.

A.B.

## 0. ÁGRIP, HELSTU NIÐURSTÖÐUR.

Jarðvísindamenn hafa haft reglubundið og náíð eftirlit með þróun mála á Kröflu-Námafjallssvæði frá því jarðhræringar hófust þar árið 1975. Tilgangurinn er sá að fylgjast sem best með öllu því er sagt gæti fyrir um framvindu jarðhræringanna og áhrif þeirra á mannvirki og framkvæmdir. Einnig er reynt að safna sem flestum gögnum um þessa viðburði í jarðsögunni og öðlast meiri skilning á eðli jarðskorpuhreyfinga og eldgosa almennt, sem koma mun að miklum notum síðar bæði á þessu svæði og annars staðar.

Enn er ekki komin kyrrð á við Kröflu. Örar hæðarbreytingar eru á landi og samfara þeim eru breytingar á sprungum og skjálftavirkni. Einnig hafa orðið efnafræðilegar breytingar á borholuvatni.

Frumorsakir jarðhræringanna liggja í landrekinu. Þegar jarðskorpuplötur reka frá hver annarri verður landsig á mótum þeirra. Hraunkvika leitar neðan úr möttli jarðar upp í jarðskorpuna á plötumótunum. Getur kvikan safnast fyrir í kvikuhólfum á fárra kílómetra dýpi í skorpunni eða rutt sér farveg upp á yfirborð. Við Kröflu virðist kvikan safnast saman í kvikuhólfi, þar sem hún veldur þrýstingsaukningu og þar með landrisi og skjálftum. Þetta varir þangað til þrýstingnum léttir í kvikuhólfinu og land sígur bæði vegna rúmmálsaukningar af völdum landreks og vegna þess að kvikan finnur sér leið út út hólfinu lóðrétt upp eða lárétt eftir sprungum í skorpunni.

Hætta á að hraun brjótist upp á yfirborð við Kröflu vex væntanlega með vaxandi þrýstingi í kvikuhólfinu þ.e. með hækkun lands og fjölgun skjálfta. Tvisvar hefur orðið skyndilegt landsig við Kröflu eftir hægfare stöðugt ris upp í ákveðna hæð. Samfara landsiginu urðu örar breytingar á skjálftavirkni og stöðugur órói kom fram á skjálftamælum. Með sömu þróun og undanfarið nær land þessari hæð um næstu áramót. Ekkert verður sagt með vissu um það hvort eldgos verður á næstunni við Kröflu eða hversu lengi jarðhræringar halda þar áfram en meðan þar vara verður að telja að goshætta sé fyrir hendi.

Þótt eldgos verði á Kröflusvæði þarf mannvirkjum ekki að stafa bein hætta þar af. Fer það mikið eftir því hvar gosið verður og hversu mikið magn kemur upp. Aftur á móti eru áhrif jarðhræringanna á jarðhitasvæðið ófyrirsjáanleg og gætu bæði orðið til góðs og ills.

## 1. SKIPULAG OG TILGANGUR GOSVAKTAR

Eftir gosið í Leirhnjúk í desember á síðasta ári kom jarðhitadeild Orkustofnunar á fót auknu og reglubundnu eftirliti með Kröflu- og Námafjallssvæðinu. Reyndar hafði verið settur upp jarðskjálftamælir í Reynihlíð í júlí 1975, til að fylgjast með óróa á Kröflusvæðinu. Þar sem skjálftar reyndust vera nokkuð tíðari en búist var við, voru settir upp tveir mælar í viðbót í október og nóvember 1975, annar við Kröflu og hinn í Gæsadal.

Markmið hins reglubundna eftirlits er tvíþætt:

- a) að fylgjast sem nánast með öllu því, sem sagt gæti fyrir um framvindu jarðhræringanna og áhrif þeirra á mannvirki og framkvæmdir
- b) að safna sem flestum og almennustum gögnum um þessa viðburði í jarðsögunni til að öðlast meiri skilning á hegðan náttúrunnar og eðli jarðhræringa og eldgosa almennt.

Til að ná þessu markmiði eru gerðar margvíslegar mælingar og athuganir á hinu virka svæði. Fylgst er með sprungumyndunum, breytingum á hveravirkni svo og öðrum ummerkjum á yfirborði. Meðal þeirra mælinga sem framkvæmdar eru má nefna mælingar á sprunguhreyfingum, hitamælingar í jarðvegi, hæðarmælingar lands (landris og sig), hallamælingar bæði á stöðvarhúsi og víðar, stöðugt eftirlit með borholum á Kröflusvæði og Bjarnarflagi, þyngdarmælingar, viðnámsmælingar svo og skjálftamælingar.

Að mestu hefur verið framfylgt áætlun er Jarðhitadeild Orkustofnunar gerði í janúar 1976 um þessar rannsóknir, svo og sameiginlegri rannsóknaráætlun nokkurra opinberra stofnana er út kom í mars 1976 (1).



Á vegum Orkustofnunar er einn starfsmaður að staðaldri við Kröflu, sem eingöngu sér um daglegar mælingar og athuganir. Hann mælir m.a. hallabreytingar stöðvarhúss, sprungur, hitastig í jarðvegi og safnar saman upplýsingum um athuganir á borholum og skjálftavirkni. Á Kröflusvæði eru að staðaldri þrjár sérfræðingar frá jarðhitadeild OS, jarðfræðingur, jarðeðlisfræðingur og jarðefnafræðingur vegna framkvæmda við borun. Auk þessa eru tveir starfsmenn á stöðugri vakt við skjálftamæla. Útskrift allra mæla á svæðinu þ.e. Kröflumælis, Gæsadals- og Reynihlíðarmælis er í Reynihlíð. Þar er jafnóðum talinn fjöldi skjálfta og staðsetning þeirra ákveðin. Skjálftavaktin er í beinu síma-sambandi við Kröflubúðir, Kísiliðju og almannavarnanefnd í Mývatnssveit og ætti því að geta komið boðum frá sér mjög fljótt ef yfirvofandi hættu ber að höndum.

## 2. UM JARÐFRÆÐI OG GOSSÖGU KRÖFLU-NÁMAFJALLSSVÆÐIS

Eftir Atlandshafinu endilöngu liggur virkt jarðskjálftabelti, svo kallaður Miðatlandshafshryggur. Flestir jarðskjálftar sem verða á Atlandshafi eiga upptök sín á þessum hrygg, svo og þau eldgos, er orðið hefur vart við neðansjávar á þessu svæði. Samkvæmt hugmyndum flestra jarðvísindamanna er þessi hryggur mót tveggja platna í jarðskorpunni, Evrópuplötunnar svo nefndu og Ameríkuplötunnar. Á mörkum þessara platna kemur stöðugt upp nýtt efni úr iðrum jarðar og myndar nýtt land eða nýjan sjávarbotn. Evrópuplatan mjakast við þetta til austurs en Ameríkuplatan til vesturs um 1 cm á ári að meðaltali. Þessi hreyfing platnanna eða landrek eins og það hefur verið nefnt, verður sennilega í rykkjum eða stökkum, en á sér ekki stað jafnt og þétt. Eitt slíkt gliðunarstökk átti sér stað á Norðausturlandi síðasta vetur.

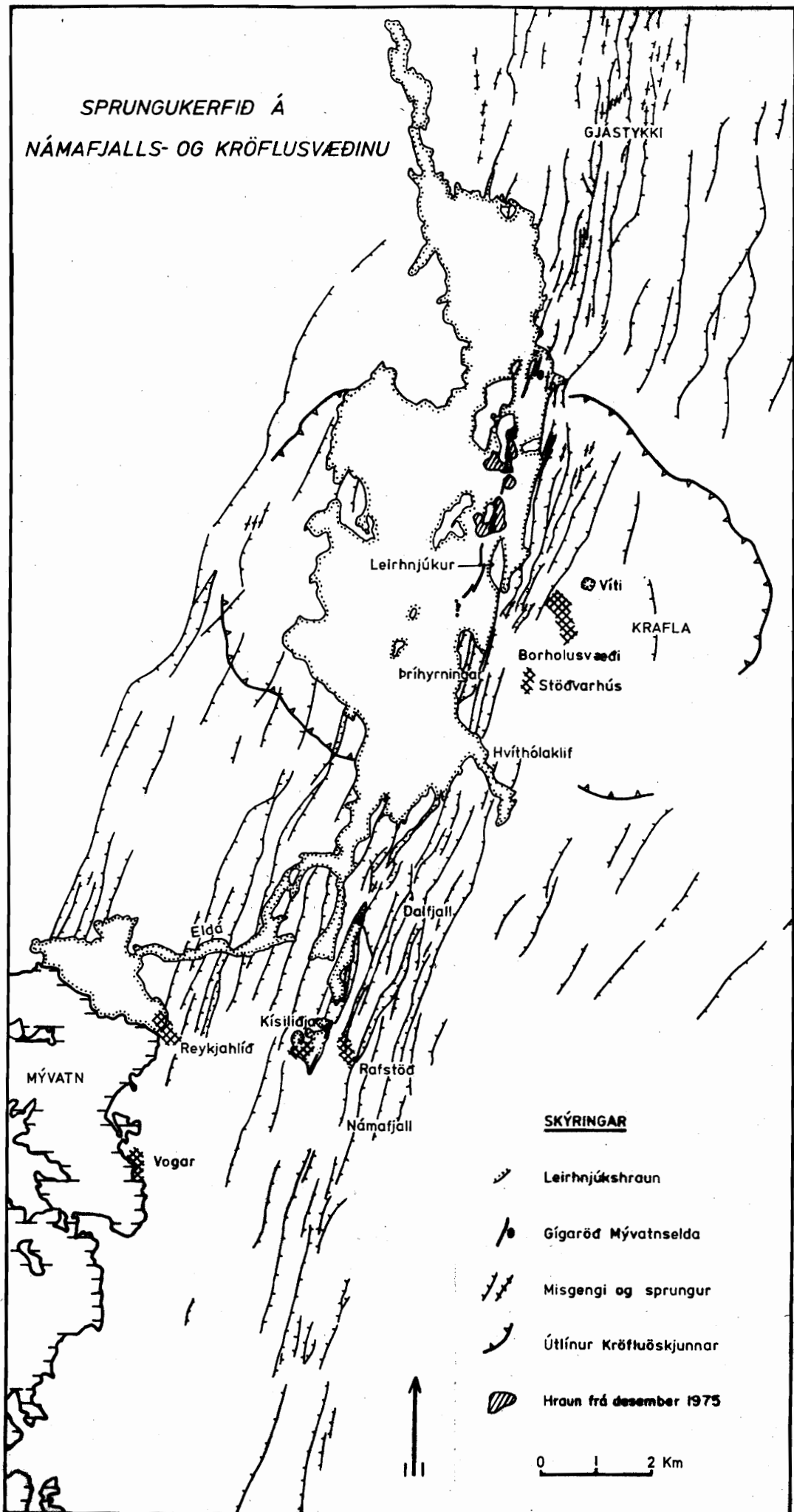
Ísland er staðsett á miðjum þessum hrygg og má glöggst sjá framhald hans á landinu sjálfu. Í gegnum Ísland endilangt frá suðvestri til norðausturs ganga virk sprungu- og eldgosabelti. Þetta belti er eitt á Norðurlandi, nær frá Kelduhverfi til suðurs inn að miðju landsins en greinist þar í tvö belti. Annað heldur áfram til suðvesturs og í þeim hluta eru t.d. eldfjöll eins og Katla og Hekla, hinn anginn, sem teygir sig til suðvesturs, stefnir á Reykjanes og í honum eru eldfjöll eins og Hengill og eldgosasvæðin á Reykjanesi. Miðatlandshafshryggurinn tengist landinu síðan við Reykjanes að sunnanverðu og að norðanverðu nær hann frá mynni Eyjafjarðar og stefnir á Kolbeinsey.

Flest öll eldgos, er orðið hafa á Íslandi á síðustu öldum, hafa átt sér stað innan þessa gosbeltis. Sömuleiðis eru öll háhitasvæði landsins inni á þessu belti. Reyndar hafa einnig orðið eldgos á Snæfellsnesi, en það svæði er þó ekki nándar nærri eins virkt eins og hin fyrrnefndu eiginlegu gosbelti.

Auk gosbeltanna er rétt að benda á ákveðin svæði á Íslandi, sem sérstaklega eru virk hvað jarðskjálfta snertir. Þessi svæði eru um miðbik Suðurlands og á Norðurlandi. Nær nyrðra jarðskjálftasvæðið frá Kelduhverfi og vestur að Skaga, en hið syðra frá Reykjanesi austur á Rangárvelli. Líta má á jarðskjálftasvæðin sem tengiliði á milli gosbeltanna annars vegar og Miðatlantshafshryggisins hins vegar. Innan gosbeltisins má búast við eldgosum næstum því hvar sem er og hvenær sem er. Hættan er þó mjög mismunandi mikil á hinum ýmsu stöðum. Sama má segja um jarðskjálftasvæðin, hættan er alltaf fyrir hendi að þar geti átt sér stað jarðskjálftar þó að sú hættan sé mismunandi mikil, bæði frá ári til árs og eins eftir staðsetningu innan svæðisins.

Í skýrslu Orkustofnunar (Nr. OS JHD 7604) frá janúar 1976 um framkvæmdir við Kröfluvirkjun í ljósi jarðskjálfta, sprunguhreyfinga og eldgosahættu (4), er greinargóð lýsing á jarðfræði og gossögu Kröflu-Námafjallssvæðisins eftir Kristján Sæmundsson jarðfræðing. Það er því óþarft að endurtaka þessi atriði hér en aðeins drepið á helstu niðurstöðum.

Virkjunarsvæðið við Kröflu liggur innan í mikilli sigdæld eða öskju, sem er um 8 km í þvermál með miðju nálægt Leirhnjúk. Gegnum öskjuna gengur sprungusveimur og nær hann allt suður undir Sellandafjall og norður í Kelduhverfi, sjá Fnr. 14928. Umbrotin á Norðausturlandi, er hófust í vetur, eru bundin við þennan sprungusveim. Var skjálftavirknin mest í Kelduhverfi svo og innan öskjunnar við Kröflu, þar sem upp kom lítið hraungos 20. desember á síðasta ári. Þessi sprungusveimur var síðast virkur í Mývatnseldum er stóðu 1724-1729, auk minni hræringa er urðu 1746. Sjá einnig grein eftir Odd Sigurðsson í Týli um gosið í desember 1976 (3).



### 3. RANNSÓKNIR OG EFTIRLIT VEGNA GOSHÆTTU

Í þessum kafla verður vikið að hinum einstöku rannsóknar- aðferðum, sem beitt hefur verið við eftirlit á Kröflu- og Námafjallssvæði. Verður einkum lýst niðurstöðum athuganna en ekki farið út í eðli og framkvæmd einstakra aðferða. Vísast í því sambandi til áðurnefndrar rannsóknaráætlunar nokkurra opinberra stofnana (1).

#### 3.1 Eftirlit með hveravirkni, sprungumyndunum og öðrum breytingum á yfirborði.

Við reglubundið og daglegt eftirlit á jarðhitasvæðinu er einkum hugað að því hvort breyting verður á hveravirkni og sprungumyndunum. Farið er um svæðið í grennd við vinnubúðirnar og borholurnar daglega. Annan hvorn dag eða daglega er farið að gosstöðvunum í Leirhnjúk og að hverasvæðinu við Víti. Einnig er farið jafnoft að sprungum á milli Reykjahlíðar og Námafjalls og fylgst með breytingum, er þar kynnu að verða.

Eftir að gosinu í Leirhnjúk lauk í desember 1975 hafa orðið nokkrar breytingar á jarðhitasvæðinu við Kröflu.

Virkni hefur aukist mjög í tveimur hveraþyrpingum. Önnur er austan við Víti, þar myndaðist nýr hver um miðjan júlí, sem er um 4 m í þvermál og sýður kröftuglega. Hin hveraþyrpingin er í Hveragili, þar mögnuðust um líkt leyti gamlir leirhverir og kröftugur gufuhver varð til. Snemma morguns 12. október 1976 myndaðist kröftugur leirhver á milli holu 3 og holu 9. Rignði leir og grjóti yfir jarðborinn Jötunn og bormenn er voru við borun holu 9. Hverinn var all kröftugur framan af degi en virkni í honum minnkaði brátt og slettist sjaldan upp úr gígskálinni, sem er um 10 m djúp. Komið er nú í ljós að gat á fóðurröri í holu 3 er orsök þessa hvers.

Leirhver syðst í Leirhnjúk, er myndaðist í síðasta gosi, hefur hitnað smám saman undanfarna mánuði, en hann var orðinn kaldur í lok janúar. Hitastig í hvernum er nú 74°C og gasútstreymi nokkuð.

Breytingar á hverasvæðum hérlandis eru hvorki óalgengar né endilega forboði frekari umbrota. Í síðasta Öskjugosi mynduðust þó nýjir hverir nokkrum vikum áður en hraun kom upp á yfirborð. Breytingar þær, sem nú hafa orðið á Kröflusvæði, eru allar í þá átt að virkni hefur aukist.

Sunnan og vestan í Kröfluhlíðum hafa myndast misgengisprungur. Hefur fjallið sigið um allt að 1/2 m miðað við landið vestan og sunnan við. Óvíst er hvenær þessar sprungur hafa myndast en nokkur hreyfing hefur verið á þeim eftir að snjóá leysti vorið 1976. Austur af holu 1 opnuðust minni sprungur um mitt sumar, sem eru nokkurra cm breiðar og leggur gufu upp um þær. Eftir jarðskjálftahrinu er varð í byrjun nóvember 1976 í jarðhita- og sprungusvæðinu vestan Hnútafjalla sáust þar ummerki eftir jarðrask. Gufustreymi hafði aukist upp úr nokkrum sprungum og fjórar sprungur höfðu gliðnað um 10 cm hver.

### 3.2 Hitamælingar í hveraaugum og jarðvegi.

Í byrjun febrúar þessa árs var komið fyrir allmörgum hitamælum í grennd við vinnslusvæðið við Kröflu. Þetta voru termistormælar tengdir við kapal. Voru þeir grafnir niður, einkum í hveraaugum og þíðum blettum. Auk þess voru settir niður tveir mælar í Leirhnjúk nærri Víti en alls voru þetta um 15 mælar. Farið var að þessum mælum einu sinni á dag og viðnámið í termistornum mælt með viðnámsmæli og síðan umreiknað í hitastig. Þessir mælar reyndust ekki vel. Fljótlega kom í ljós, að hvorki efnið í leiðslunum né einangrunarefnið, sem haft var utan um termistorana, þoldi að vera til lengdar ofan í jarðvegi, sem var mettaður brennisteinsgufu. Það varð mikil tæring á þessu efni og sýndu mælarnir fljótlega útleiðslu. Þó kom í ljós við mælingar framan af meðan allt virtist vera í lagi, að litlar breytingar urðu á hitastigi í hveraaugum og brennisteinsskellum á svæðinu.

Til þess að endurbæta þessa mælitækni og geta fylgst með hitastigssveiflum, var komið fyrir annarri tegund af hitamælum. 1 1/2" vatnsrör voru rekin niður á 1-3 m dýpi, þar sem mæla átti hitann. Rörið var látið standa upp úr jörðinni og hitastigið síðan mælt með því að renna termistormæli ofan í rörið þegar mæla skyldi. Í þessari aðferð er termistorinn ekki stöðugt í hinum ágengu gufutegundum heldur eingöngu meðan verið er að mæla. Hefur aðferðin reynst vel og hafa fengist nokkuð góðar mælingar á hitastigi síðan þessi aðferð var tekin upp. Þessir mælar eru 10 talsins, tveir eru við Leirhnjúk, sjö eru í grennd við borholusvæðið og vinnubúðirnar en einn er í vatnsbóli suður af vinnubúðunum. Staðsetningu þessara mæla er að finna á meðfylgjandi yfirlitsmynd Fnr. 14911. Þeir eru númeraðir með táknum R-1 og upp í R-10. T-5 er einn eldri termistormælanna. Niðurstöður eru helstar þær, að ekki hefur orðið vart við verulegar breytingar á hitastigi á þeim stöðum, þar sem mælt hefur verið, nema á einum stað í leirhver syðst í Leirhnjúk. Þessi hver, sem var orðinn kaldur skömmu eftir gosið, en hefur smáhitnað síðan og er núna um 74°C heitur. Hitastig á þessum hitamælistöðum er teiknað upp á meðfylgjandi línuritum, sjá mynd Fnr. 14627, og má þar glöggst sjá þær breytingar, sem á því hafa orðið. Þær eru eins og áður sagði ekki verulegar nema á þessum eina stað.

Auk þessara hitastigsmælinga hefur hitastig vatns í Grjótagjá og Stórugjá verið mælt annað slagið. Ekki hefur orðið vart neinna breytinga í Stórugjá en í Grjótagjá hefur hitastig hækkað um 1,0 - 1,5°C frá því í vetur og er nú 43,3°C.

Þegar aukning hefur orðið á hveravirkni á Kröflusvæði, t.d. austan Vítis, hefur hennar ekki orðið vart á hitamælum í grenndinni. Þetta bendir til þess að hveramyndun sé mjög staðbundið fyrirbæri og því lítil von til þess að sjá megi slíkt fyrir. Þrátt fyrir þetta er talið rétt að halda þessum mælingum áfram til þess að fylgjast með heildarþróun á svæðinu og safna almennum upplýsingum, er komið geta að góðum notum síðar, bæði við Kröflu og annars staðar.



ORKUSTOFNUN

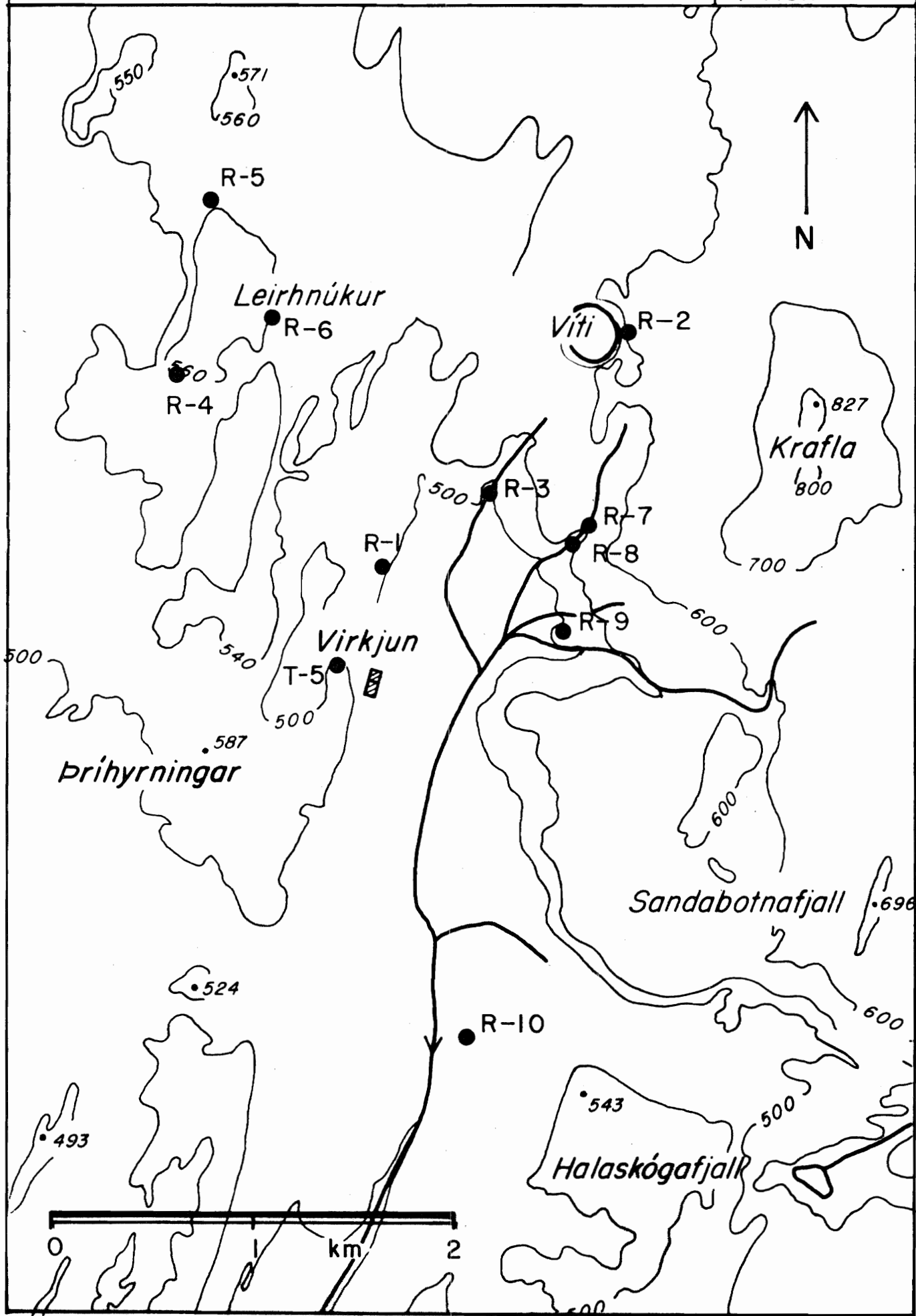
KRÖFLUSVÆÐI  
Hitamælipunktur

'76.II.29 AB/AA

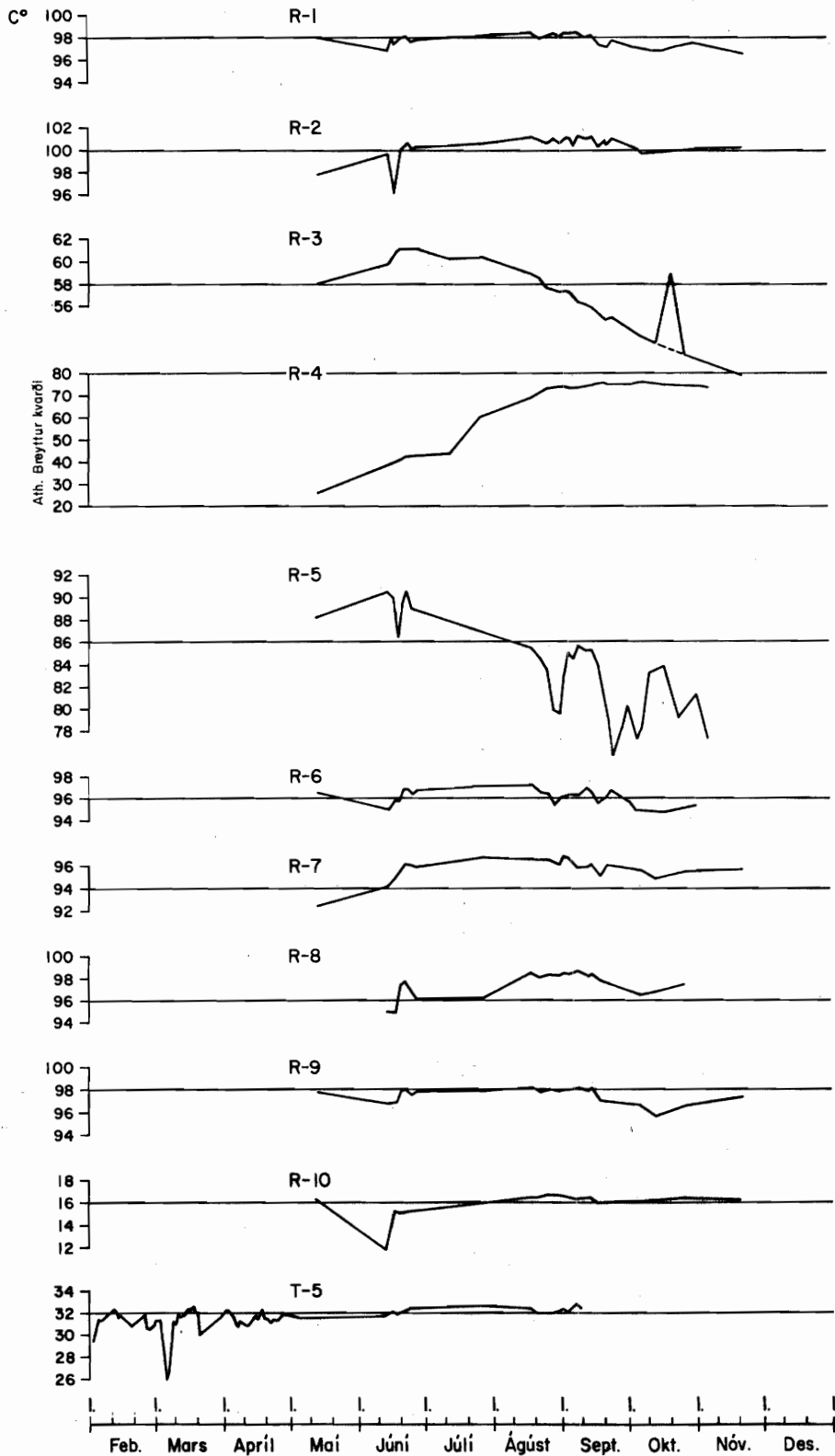
T 247

Krafla

F 14911





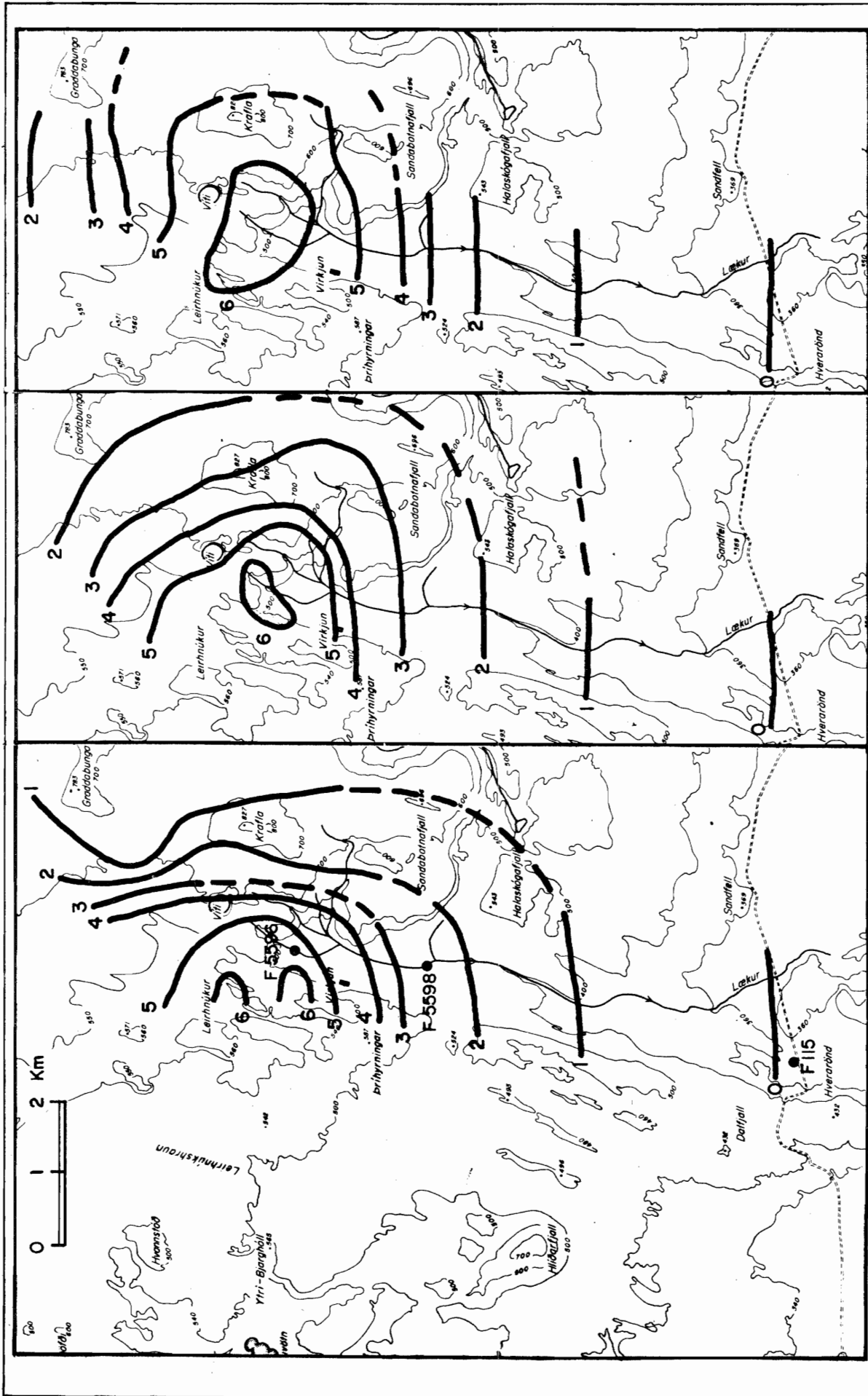


### 3.3 Hæðar- og hallamælingar lands.

Árið 1974 og reyndar nokkru fyrr hafði Orkustofnun látið gera allítarlegar landmælingar í grennd við Kröflu vegna fyrirhugaðra virkjunarframkvæmda. Gerð var nákvæm hæðarmæling á allmörgum punktum í grennd við virkjunarsvæðið svo og eftir Hlíðardal endilöngum suður að Þjóðvegi og þaðan vestur að Reykjahlíð. Einnig voru teknar nákvæmar loftmyndir af svæðinu samhliða landmælingunum. Í marsbyrjun á þessu ári var landmælinganetið endurmælt. Kom þá í ljós, að stór svæði höfðu sigið verulega miðað við eldri mælingar fyrir gos. Einkum hafði orðið verulega mikið sig á vinnslu-svæðinu nyrst í Hlíðardal. Var sigið þar rúmir 2 m miðað við fastan punkt (kóngspunkt) nálægt Reykjahlíð. Einnig hafði orðið sig á svæðinu milli Stórugjár og Námafjalls, en á þessu svæði var landsig mun minna eða um 10-15 cm og kemur það vel heim við vatnsborðshækkun, sem varð í Grjótagjá. Þessar landmælingar hafa verið endurteknar á um það bil mánaðarfresti síðan og hefur komið í ljós, að land hefur risið síðan, þar sem það hafði sigið áður.

Rishraðinn var mestur þar sem mest sig hafði mælst áður, þ.e. á jarðhitasvæðinu í Leirbotnum. Rishraðinn þar var framan af um 6-7 mm/sólarhring. Mælingar í ágúst gáfu um 5 mm/sólarhring og mæling í september um 4 mm/sólarhring norðan við stöðvarhúsið. Latur nærri að um helmingur þess sigs er varð við gosið hafi verið gengið til baka í september. Með sama áframhaldi hefði landið náð sömu hæð og fyrir gos í lok þessa árs. Í lok september sneri þessi þróun við. Mælingar sem gerðar voru 8. október og 28. september sýndu að verulegt sig hafði orðið á svæðinu. Sigið var um 10 mm/sólarhring þar sem það varð mest milli Leirhnjúks og Vítis. Á meðfylgjandi tveimur myndum, Fnr. 14661 og Fnr. 14912, sjást kort með landris- eða landsigstölum á mismunandi tímum.

Af þessum kortum sést greinilega að landris eða sig hefur mælst mest í botni Hlíðardals skammt norður af stöðvarhúsi en minna til norðurs og suðurs svo og til austurs. Fáir mælipunktur voru í vestur frá athafnasvæðinu og því óljóst hve langt vestur landsig og landris nær. Þingdarmælingar benda þó til þess að miðja hæðarbreytinganna sé nálægt Leirhnjúk. Mælipunktur hefur nú verið fjölgað og fást nánari upplýsingar um landsig og ris á næstu vikum.



2. ágúst - 25. ágúst

8. júlí - 2. ágúst

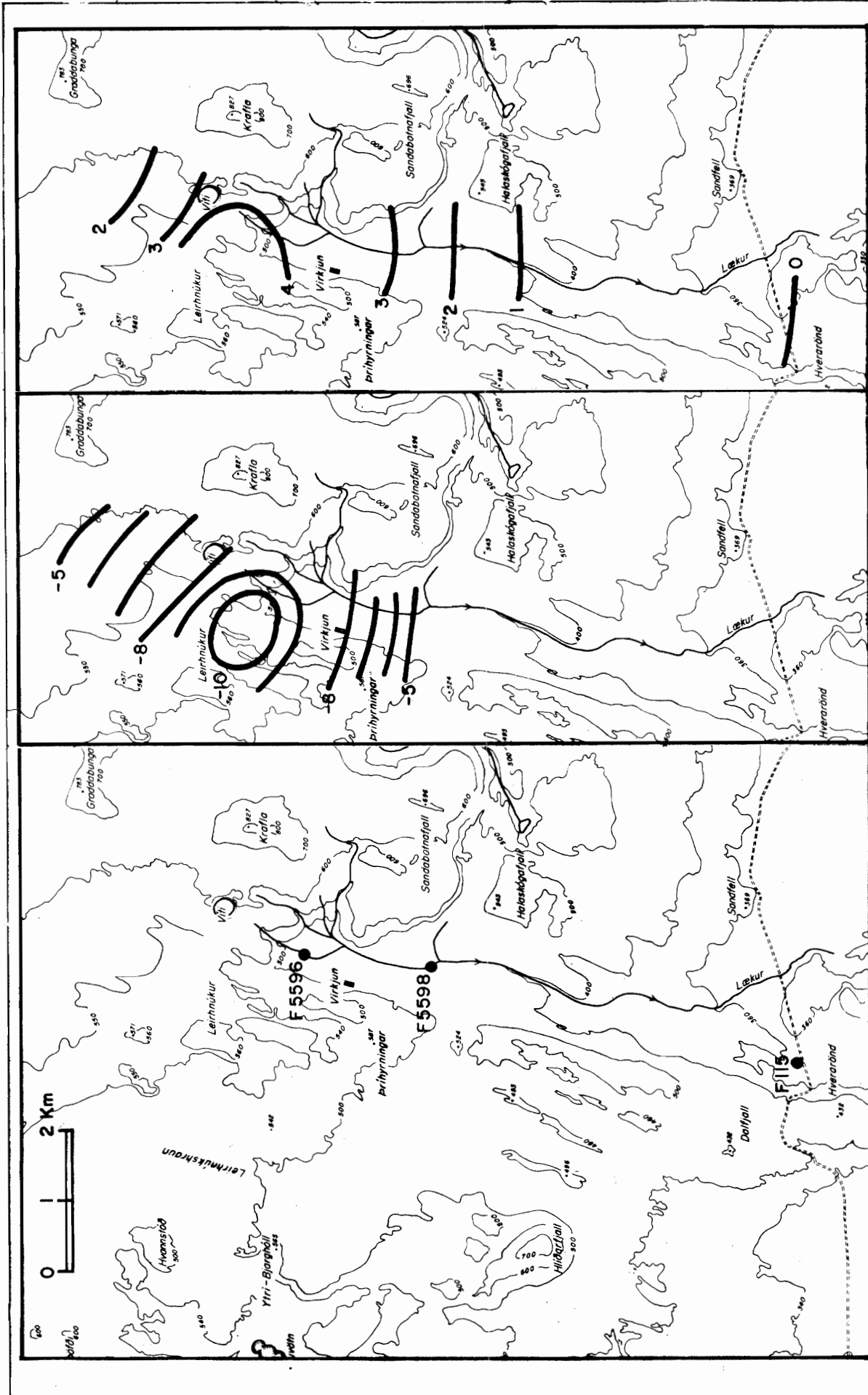
31. maí - 8. júlí

Rishraði lands mælt í mm/sólarhring  
Viðmiðun er kóngspunktur við Reykjahlíð

ORKUSTOFNUNUN  
Jardhitadeild

KRÖFLUSVÆÐI  
Rishraði lands

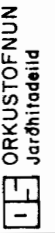
760927	AB./Sv
Tn. 194	J-Krafía
Fnr. 14661	



25. ágúst - 28. september  
ris

28. september - 8. október  
sig

'76. 11. 29.	AB/SL
T. 248	Kratia
F. 14912	



ORKUSTOFNUN  
Jarðhitaeiði

KRÖFLUSVÆÐI  
Ris- sigráði lands

Ris- eða sigráði lands mælt í mm/sólarhring  
Viðmiðun er kóngspunktur við Reykjahlíð

Gunnar Þorbergsson og Guðmundur Pálmason hafa ásamt Gunnari V. Johnsen séð um framkvæmd og frumúrvinnslu landmælinganna.

Til þess að átta sig betur á hæðabreytingum lands á mismunandi stöðum og tíma voru valdir þrír fastir punktar og hæð þeirra teiknuð upp sem fall af tíma. Einn punkturinn, F 5596, er í Leirbotnum um 500 m norður af stöðvarhúsinu, F 5598 er suðvestur af Sandabotnafjalli nálægt öskjurímanum og F 115 er við þjóðveginn austan Námaskarðs. Staðsetning þessara punkta sést á myndum Fnr. 14661 og Fnr. 14912. Á miðhluta myndar Fnr. 14599 sjást niðurstöður þessara (bls.22) athugana. Lítil hreyfing hefur verið á F 115. F 5598 reis um 2,8 mm/sólarhring að meðaltali fram í október. Land við F 5596 reis fyrst um 6,0 - 6,5 mm/sólarhring en síðan minnkaði rishraðinn og var kominn í um það bil 4 mm/sólarhring í byrjun október. Land á þeim stað hafði þá risið um alls 1,3 m frá marsbyrjun en var þó um 0,8 m neðar en fyrir gos.

Þjóðverjar, undir stjórn prófessors Gerke, gerðu nákvæmar lengdarmælingar í grennd við Kröflu sumarið 1975. Við samburð þessara mælinga við mælingar sínar frá 1971 fann Gerke að land hafði þanist eða gliðnað út frá miðpunkti, sem staðsettur var nálægt miðri Kröfluöskjunni (Leirhnjúkur). Hverfjall og Hlíðarfjall höfðu færst til suðurs, Stórisveinn og Skógarmannafjöll til austurs og Gæsafjöll til norðvesturs. Nam þessi hliðrun um 15-20 cm á hverjum stað. Professor Torge (Hannover) gerði hæðar og þyngdarmælingar sumarið 1976 eftir þjóðveginum frá Mátvatni að Grímsstöðum á Fjöllum. Hann fann sig um 10-20 cm á 5 km breiðu beltí við Námafjall miðað við eldri mælingar.

#### 3.4 Hallabreyting stöðvarhúss.

Skömmu fyrir gos, eftir að stöðvarhús hafði verið reist við Kröflu, var gerð hallamæling á húsinu. Þessa mælingu gerðu verkfræðingar Verkfræðistofu Sigurðar Thoroddsen. Viðmiðunarpunktur er rétt sunnan og vestan við húsið og var hæð fjögurra fastamerkja, sem eru utan á hverju horni hússins, mæld miðað við þennan punkt. Skömmu fyrir gos kom í ljós að norðurendi hússins hafði sigið örlítið miðað við suðurendann. Álitið var að þessi breyting stafaði af eðli-

legu sigi og samþjöppun jarðlaga, sem eru undir húsinu. Við næstu mælingu, sem gerð var á húsinu skömmu eftir gos, kom í ljós að húsið hafði snarast verulega. Hafði norðurendinn sigið niður miðað við fastapunktinn, en suðurendinn risið. Var hæðarmunur þessara beggja enda hússins um 5 cm en húsið er um 70 m langt. Þessi hallabreyting á húsinu er í góðu samræmi við hæðarbreytingu þá, sem varð á landi eftir Hlíðardalnum endilöngum og má skýra hana eingöngu með því landsigi, sem varð við gosið. Hæð og halli hússins var síðan mælt nokkrum sinnum og hélt norðurendinn áfram að síga miðað við suðurendann. Í febrúar tók húsið að rétta sig af aftur.

Á mynd Fnr. 14626 sjást niðurstöður þessara hæðarmælinga á hornum hússins. Greinilegt er að hallabreyting í austurvestur er verulega minni en norður-suður. Til þess að athuga þessar breytingar nánar var reiknaður út hæðarmunur á NV og SV horni hússins (mismunur á  $S_3$  og  $S_1$  á mynd Fnr. 14626). Þessi mismunur er teiknaður upp á efsta hluta myndar Fnr. 14599.

Þegar litið er á þessar myndir sést að norðurendi hússins hefur risið miðað við suðurendann, nokkuð jafnt og þétt frá því í mars og fram í miðjan ágúst 1976. Rishraðinn var um 0,16 mm á sólarhring, sem svarar til 2,3  $\mu$  geisla hallabreytingar á sólarhring. Í ágúst verður breyting á þessu. Allt húsið virðist þá síga miðað við fastapunktinn, sem gæti bent til landriss vestan hússins.

20. ágúst var settur upp í húsinu hallamælir. Þessi hallamælir samanstendur af tveimur vatnskerjum, sem tengd eru saman með slöngu. Kerin eru í suðvestur og norðvestur horni hússins uppi á burðarbita, sem krani hússins leikur á. Lesið hefur verið af þessum hallamæli tvisvar á dag eða oftár síðan hann var settur upp. Komið hefur í ljós, að hallabreytingar mælast mjög vel á þessum mæli og fást svipaðar niðurstöður úr honum og úr mælingum, sem gerðar eru utan á húsinu. Reyndar kemur í ljós, þegar lesið er



ORKUSTOFNUN

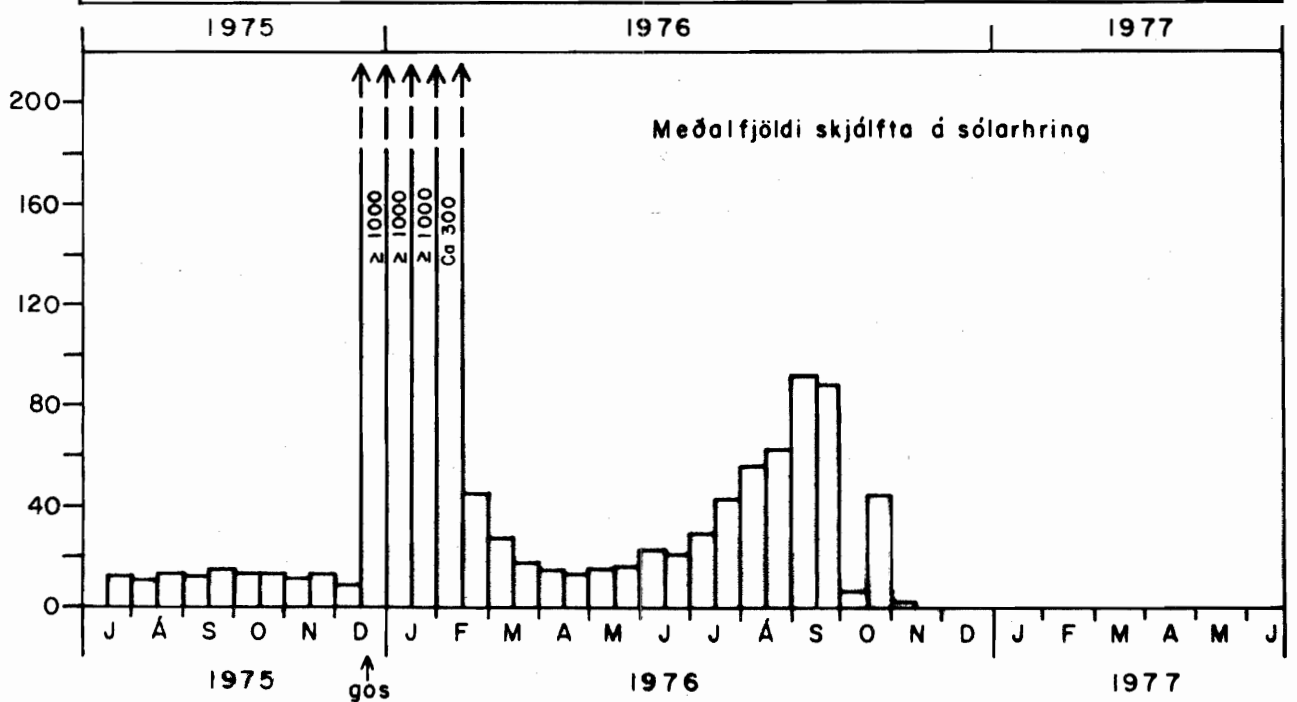
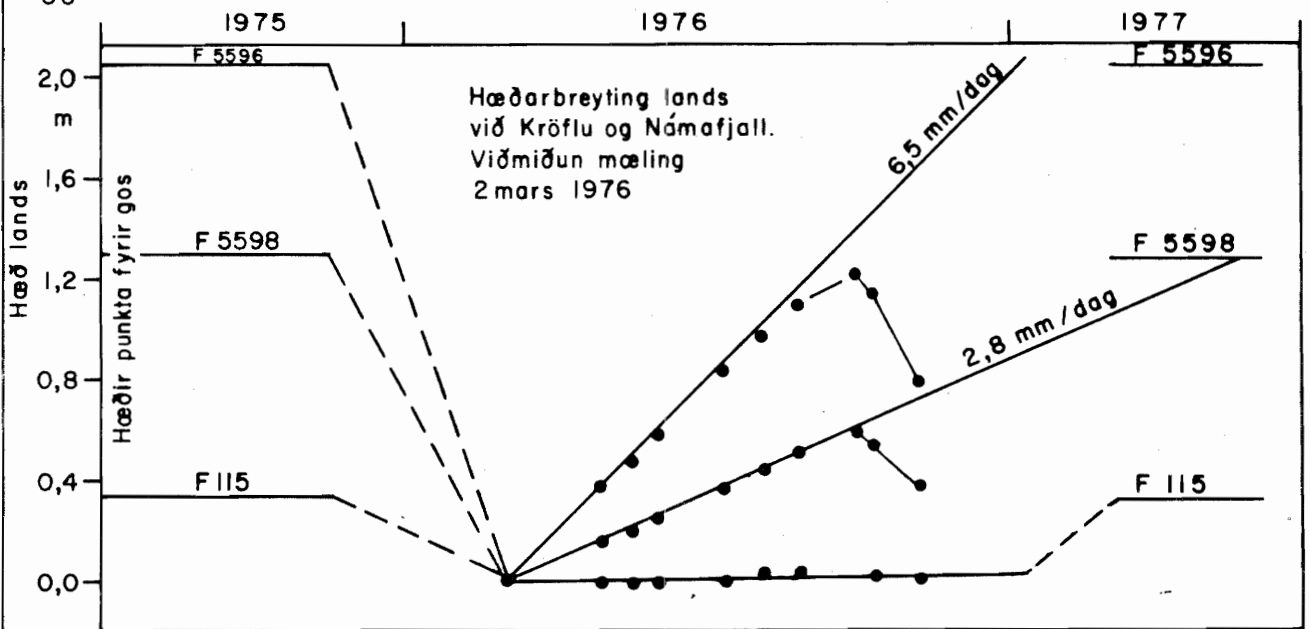
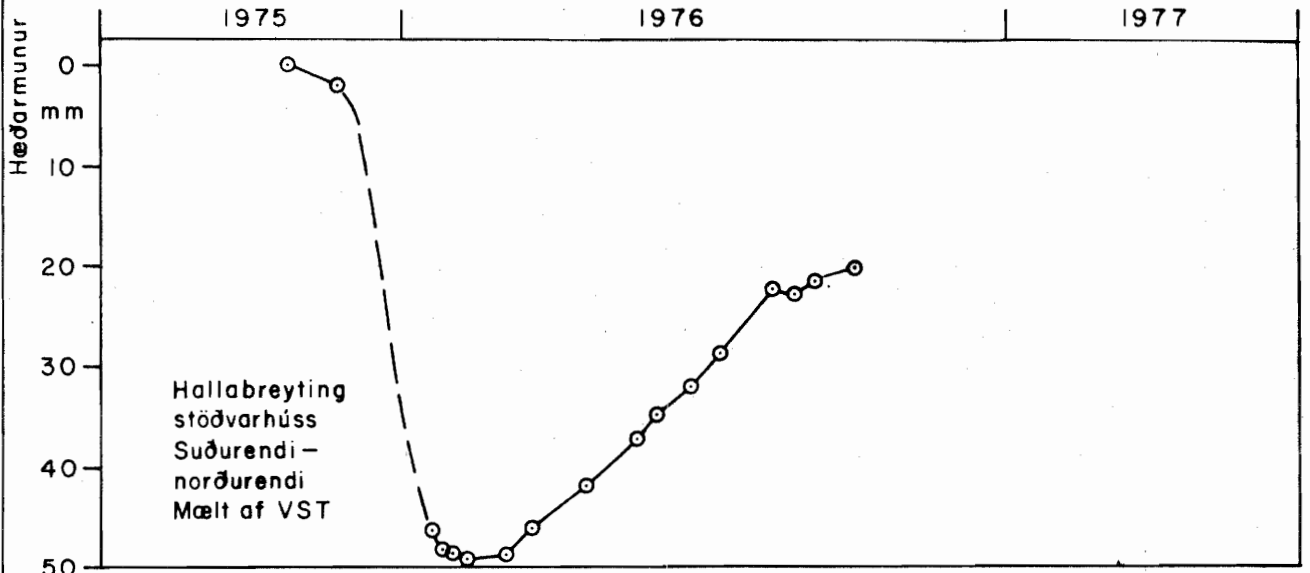
KRÖFLUSVÆÐI  
Landris - Skjálftavirkni

'76.09.10.A.B/H.O

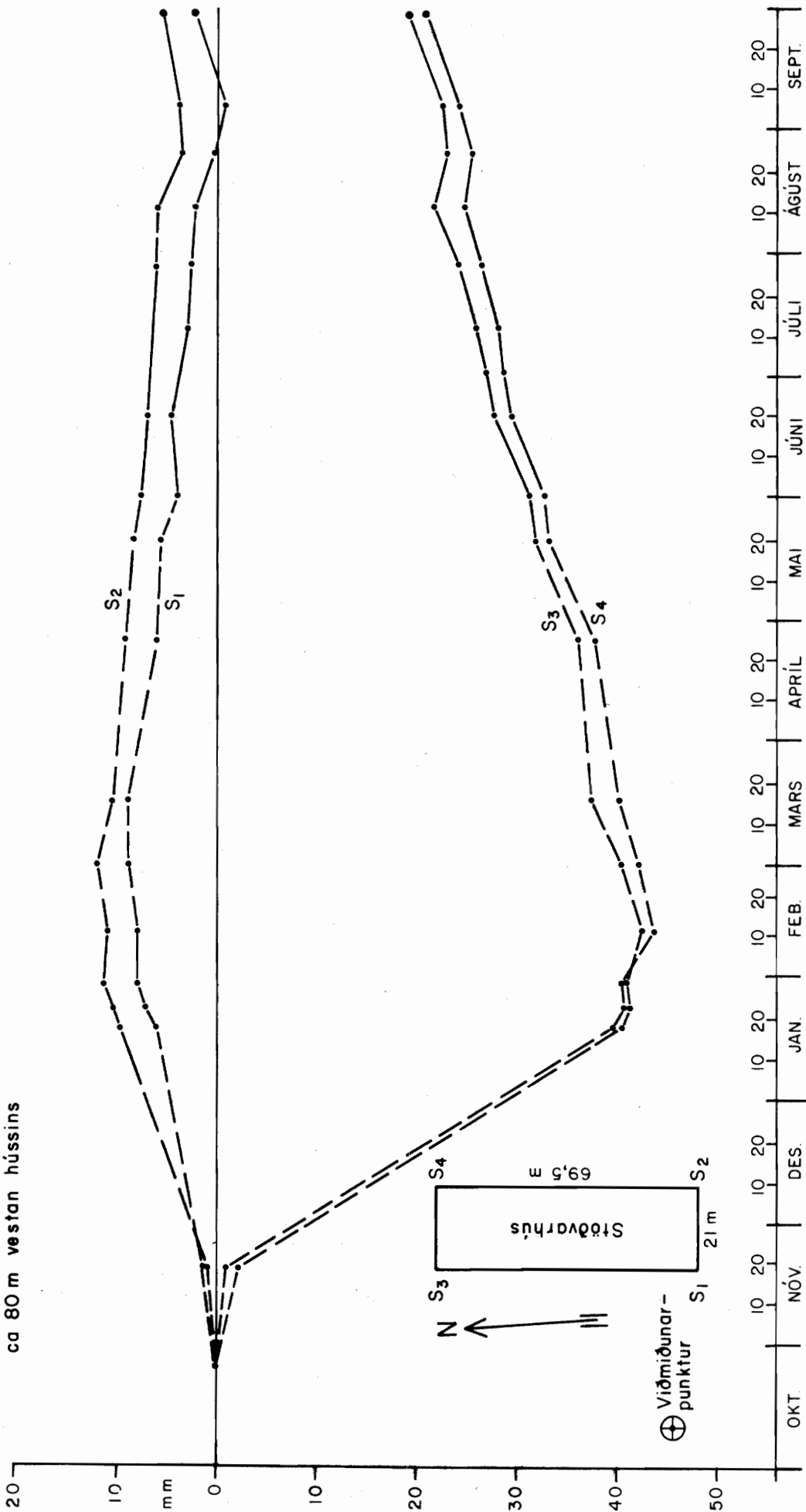
Tnr. 173

J-Krafía

Fnr. 14599




Hæðarmælingar á hornpunktum  
stöðvarhúss við Kröflu.  
Mælt af VST. Viðmiðunarpunktur  
ca 80 m vestan hússins

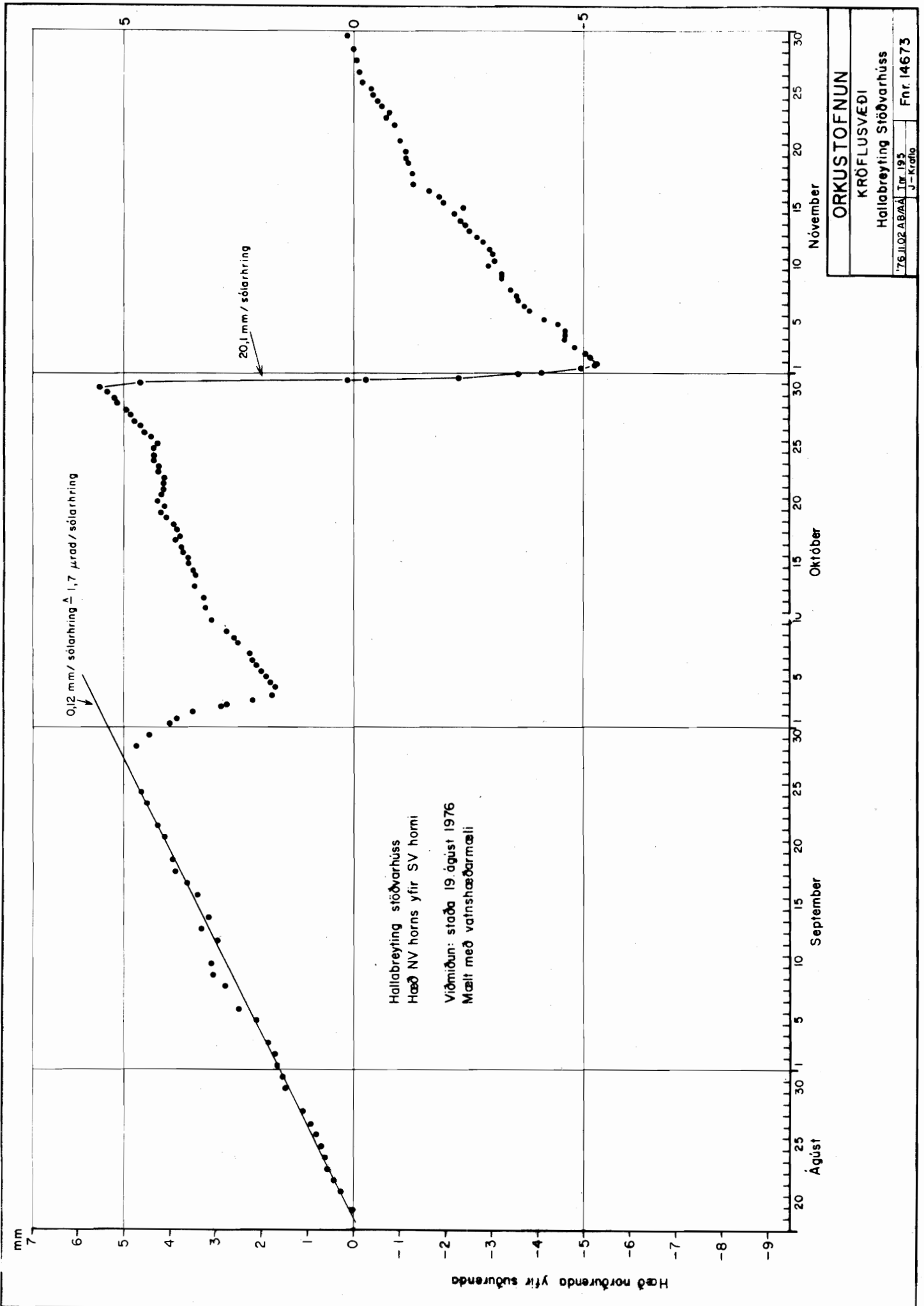


1975

1976

 ORKUSTOFNUN Jardhitadeild	KRÖFLUSVÆÐI		'760920 A.B/HO
	Hallabreyting stöðvarhúss		Tnr. 182
			J-Kraflo
			Fnr. 14626





af þessum mæli daglega, að ris norðurendans er ekki stöðugt. Veldur þar mestu hitasveiflur og þar með mismunandi hitaþensla á veggjum hússins. Áreiðanlegastar virðast þar mælingar vera, sem gerðar eru að morgni dags áður en sól fer að skína. Þegar litið er á heildarhreyfinguna yfir nokkra daga í senn kemur greinilega í ljós sama hreyfing og vart verður við í landmælingunum og í hallamælingum utan á húsinu. Niðurstöður þessara hallamælinga inni í húsinu má sjá af meðfylgjandi mynd Fnr. 14673. Norðurendinn reis miðað við suðurendann fram undir 25. september um 0.12 mm/sólarhring. Þessi hreyfing samsvarar um 1,7 ugeisla hallabreytingu á sólarhring. Í lok september hættir ris norðurendans, sem tekur þá að síga um allt að 1 mm/sólarhring. Sigið stóð yfir í um það bil 6 daga og nam alls 3,2 mm. Þá hefst aftur hægfara ris norðurendans miðað við suðurendann fram á 31. október en þá verður skyndilegt sig um alls 10,8 mm á aðeins tveimur sólarhringum. Sighraðinn á milli tveggja mælinga varð mestur 21,1 mm/sólarhring. Síðan hefur norðurendinn risið um 0,15 - 0,2 mm/sólarhring miðað við suðurendann.

Eysteinn Tryggvason (RH) hefur gert hallamælingar á nokkrum stöðum í grennd við Kröflu undanfarna mánuði. Hann finnur breytingar á halla lands, sem eru í góðu samræmi við hæðarmælingar og hallabreytingar á stöðvarhúsinu.

### 3.5 Þyngdarmælingar.

Í ágúst 1975 var komið upp allmörgum þyngdarmælipunktum á Kröflusvæðinu til þess að fylgjast með hugsanlegum hæðarbreytingum og massabreytingum í jarðskorpunni, er verða kynnu samfara gufuvinnslu á svæðinu. Var hliðsjón höfð af reynslu manna frá Nýja-Sjálandi, þar sem vart hefur orðið við hæðar- og þyngdarbreytingar á jarðhitasvæðum í vinnslu. Þyngdarmælipunktarnir voru flestir á sömu stöðum og landmælingapunktarnir. Þyngdarsvið er mjög háð hæð mælistaðar og hafa þyngdarmælingar þann kost fram yfir hæðar-

mælingar að mun fljótlegra er að framkvæma þær og til þeirra þarf aðeins einn mann í stað þriggja við hæðarmælingar.

Mælingarnar í ágúst 1975 voru gerðar með mjög nákvæmum mæli er fenginn var að láni erlendis frá. Eru þær því góð viðmiðun fyrir seinni mælingar. Í júní 1976 voru þessar mælingar endurteknar með gömlum mæli Orkustofnunar. Erfitt reyndist að ná nákvæmum mælingum með þessum mæli. Niðurstöðurnar bentu þó til þess að landsvæðið í norðanverðum Hlíðardal norður að Víti og vestur fyrir Leirhnjúk hefði sigið verulega eða um 1-3 m miðað við landið norðan og sunnan við. Þetta er í góðu samræmi við niðurstöður hæðarmælinga.

Í september 1976 fékk Orkustofnun nýjan og mun fullkomnari þyngdarmæli og var þá strax hafist handa um endurmælingu á fyrra neti og auk þess var mælipunktum fjölgað verulega. Endanlegar niðurstöður liggja ekki enn fyrir en fyrsta úrvinnsla gagnanna sýnir að landsvæðið í grennd við Leirhnjúk sé nú um 1,3 m lægra heldur en það var í ágúst 1975. Land við Hvannstóð, Hlíðarsel og norður af Víti er um 0,5 m lægra. Þetta bendir til þess að miðja landsigsins er varð við gosið í desember 1975 og landris sem því fylgdi hafi verið mest næst gosstöðvunum en minnkað út frá þeim í allar áttir. Endanleg og nákvæm úrvinnsla mælinga þeirra, sem nú er verið að gera mun liggja fyrir á næstu mánuðum.

Sven Sigurðsson og Gunnar V. Johnsen hafa séð um framkvæmd og túlkun þyngdarmælinganna.

### 3.6 Sprungumælingar.

Eftir gosið í Leirhnjúk í desember á síðasta ári með þeim jarðhræringum, sem því voru samfara, varð vart við sprungumyndanir og hreyfingar á sprungum á Leirhnjúksvæðinu og í suður þaðan allt suður undir Hverfjall. Þessar hreyfingar voru mestar næst Leirhnjúk og þar norður af, en virtust

fara minnkandi eftir því sem sunnar dró og ekki verulegar þegar komið var suður undir Hverfjall. Til þess að fylgjast með hugsanlegum hreyfingum á þessum sprungum, var komið fyrir mæliútbúnaði á 13 stöðum á svæðinu á milli Reykjahlíðar og Námafjalls (RN1-RN13) og á 3 stöðum við Leirhnjúk (L2-L4). Staðsetning mælanna er sýnd á myndum Fnr. 14909 og 14910. Rör voru fest niður á sprungubarmana sitt hvoru megin við sprunguna. Síðan er fjarlægðin á milli þessara röra mæld með rennimáli eða kastklukku upp á hundraðasta part úr mm. Þessar mælingar hafa verið gerðar reglulega síðan í febrúar og hafa ekki fundist neinar marktækar breytingar á vídd sprungna á þessum mælum, nema á tveimur stöðum, öðrum í Leirhnjúk (L3) og hinum á gömlu Leirhnjúkssprungunni (L4) skammt norður af hnjúknum. Þar mældist hægfara gliðnun sem nam um 6 mm/mánuði frá febrúar og fram í september. Síðan hefur verið lítil hreyfing á þessum sprungum. Sjá mynd Fnr. 14628, sem sýnir niðurstöður þessara mælinga.

Seinni hluta september 1976 voru settir upp þrír nýir mælar á Kröflusvæðinu (K1-3) og 6 mælar í grennd við Leirhnjúk (L1 og L5-9). Staðsetning mælanna sést á mynd Fnr. 14909. Niðurstöður eru teiknaðar upp á mynd Fnr. 14929. Greinilega má sjá samræmi í hreyfingu sprungna á mælum L-6 og L-7. Báðar þessar sprungur víkka í lok september um sama leyti og skjálftum fjölgar og landris verður sem mest. Þegar land sígur aftur í byrjun október falla þessar sprungur saman en víkka síðan aftur er land tekur að rísa á þessum stöðum. Það sama skeður um mánaðarmótin september-október er land seig sem mest og hallabreyting varð einna örust á stöðvarhúsinu. Þá falla sprungurnar saman og vart verður einnig við samdrátt á öðrum sprungum á Leirhnjúkssvæðinu. Þegar sigið hættir og land tekur að rísa á ný víkka sprungurnar aftur. Sjá einnig Fnr. 14914 er sýnir vel tengsl á milli skjálftavirkni, hallabreytingar stöðvarhúss og vídd sprungna. (Fnr. 14914 er á blaðsíðu 36). Valgarður Stefánsson sá um uppsetningu sprungumælanna.



ORKUSTOFNUN

KRÖFLUSVÆÐI

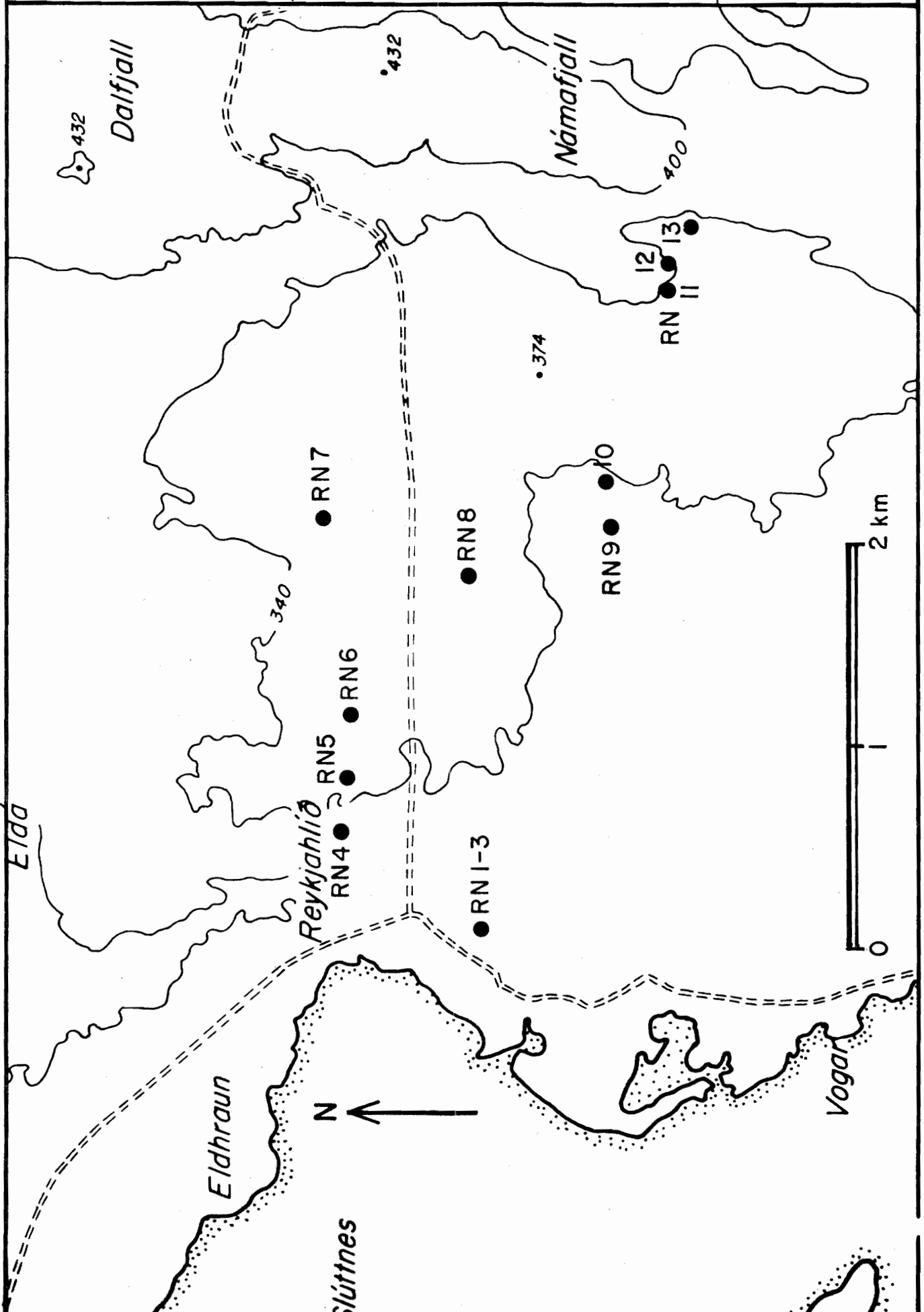
Sprungumælingar Reykjahlíð - Námafjall

'761126 AB/IS

T 246

Krafla

F 14910





ORKUSTOFNUN

### KRÖFLUSVÆÐI

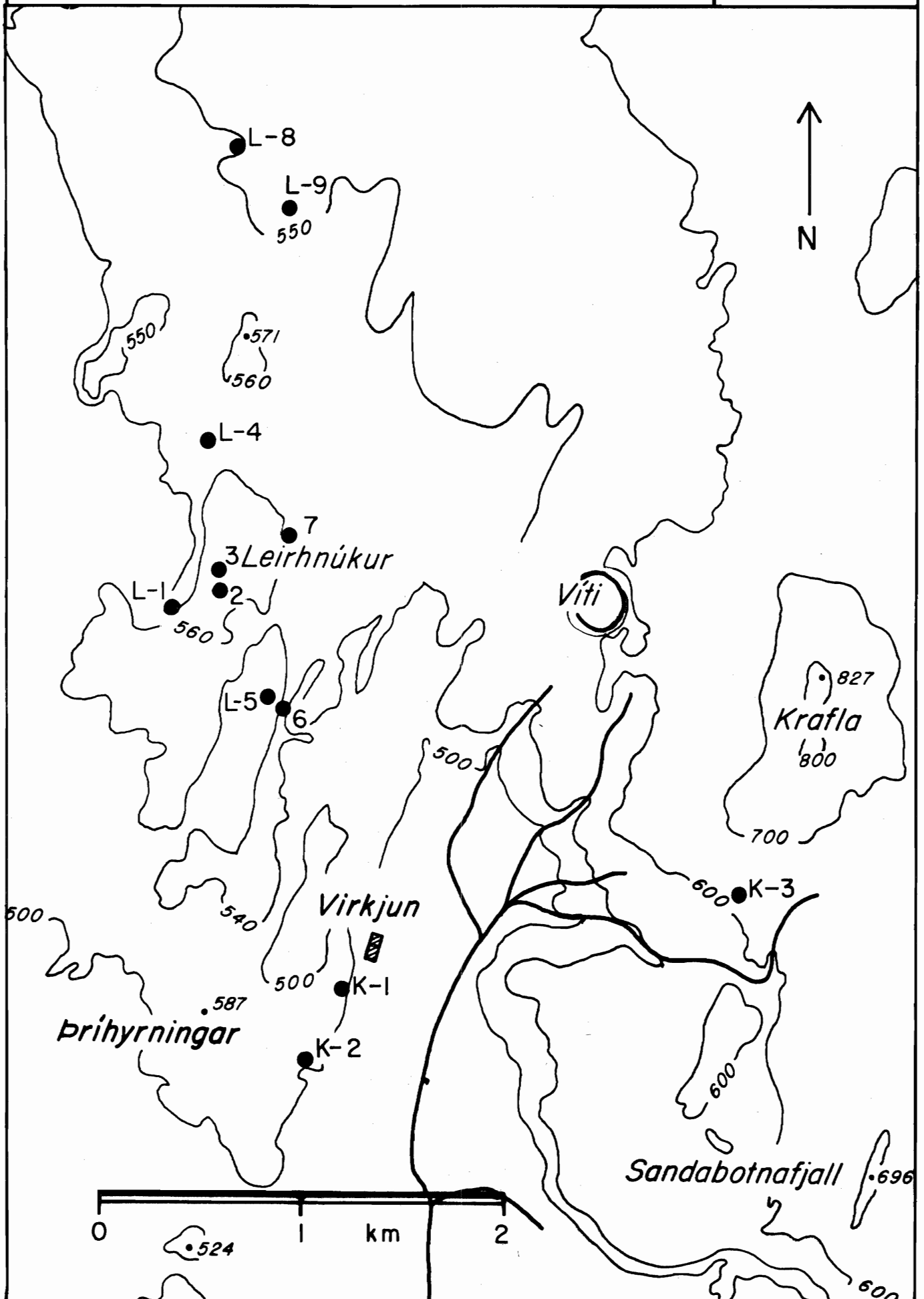
### Sprungumælingar Krafla-Leirhnúkur

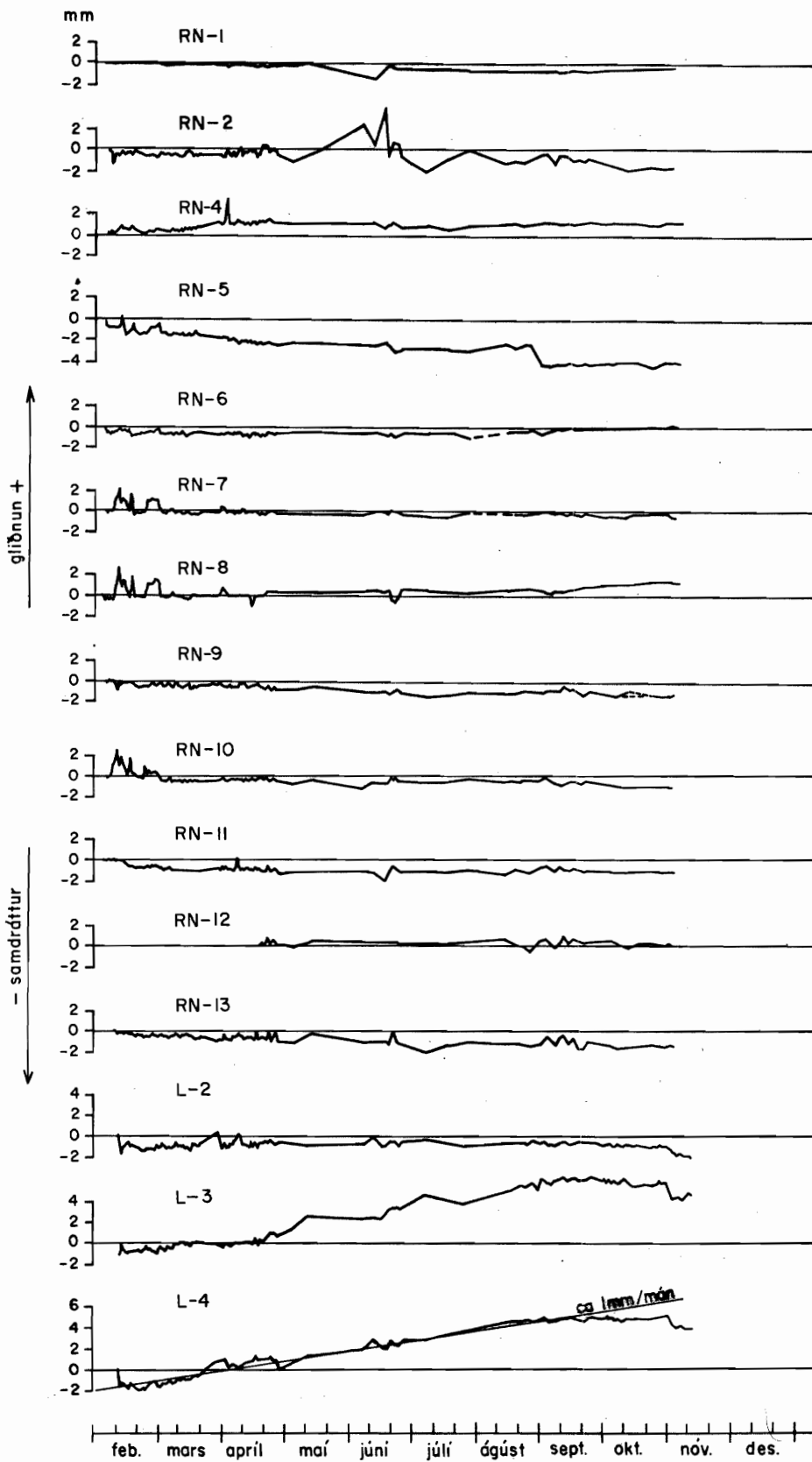
'76.II.26 AB/AA

T 245

Krafla

F 14909







ORKUSTOFNUN

KRÖFLUSVÆÐI  
Sprungumælingar

17.11.30	AB/AA	1254	Krafli	F14929
----------	-------	------	--------	--------

September    Oktober    November    Desember



### 3.7 Skjálftamælingar.

Haustið 1973 og vorið 1974 voru settir upp 3 smáskjálftamælar á Norðausturlandi. Mælarnir voru á Skinnastað í Axarfirði, á Grímsstöðum á Hólsfjöllum og á Húsavík. Í júlí 1975 var bæt við mæli í Reynihlíð, vegna þess að menn höfðu grun um, að óvenjulegur óróri væri á Kröflusvæðinu. Þegar á leið kom í ljós að skjálftavirkni var í reynd óvenju mikil á þessu svæði og var þá bæt við tveimur smáskjálftamælum í viðbót, öðrum við vinnubúðirnar í Kröflu og hinum í Gásadal. Þessir mælar voru settir í gang í október og nóvember 1975. Áður hafði verið mælt á Kröflusvæðinu af erlendum vísindamönnum. 1967 mældi Peter Waard smáskjálfta á Kröflusvæði. Kom þá í ljós að svæðið var mjög virkt og fundust 100 smáskjálftar á dag á mæli, sem var staðsettur rétt við Kröflu. Sami aðili mældi síðan aftur 1968 og 1970, en þá kom í ljós, að virknin var verulega minni og mældust ekki nema um 20 skjálftar á 10 dögum. Þessar tölur eru að sjálfsögðu ekki sambærilegar við þær tölur, sem nú eru gefnar upp um skjálftavirkni á svæðinu, þar sem mælarnir voru ekki á sama stað, en benda þó á að virkni getur verið mjög mismunandi frá ári til árs á hinum virku eldfjöllum landsins.

Samkvæmt upplýsingum Ragnars Stefánssonar Veðurstofu Íslands, komu mun fleiri skjálftar, með upptök á Kröflusvæði, fram á mælum á Akureyri árið 1975 heldur en ein 10 ár þar á undan. Á árunum 1964-1974 voru að jafnaði 4 skjálftar á ári, stærri en 2 á Richter á Kröflusvæði, en á árinu 1975 fram að gosinu í Leirhnjúk voru þeir 45 að tölu.

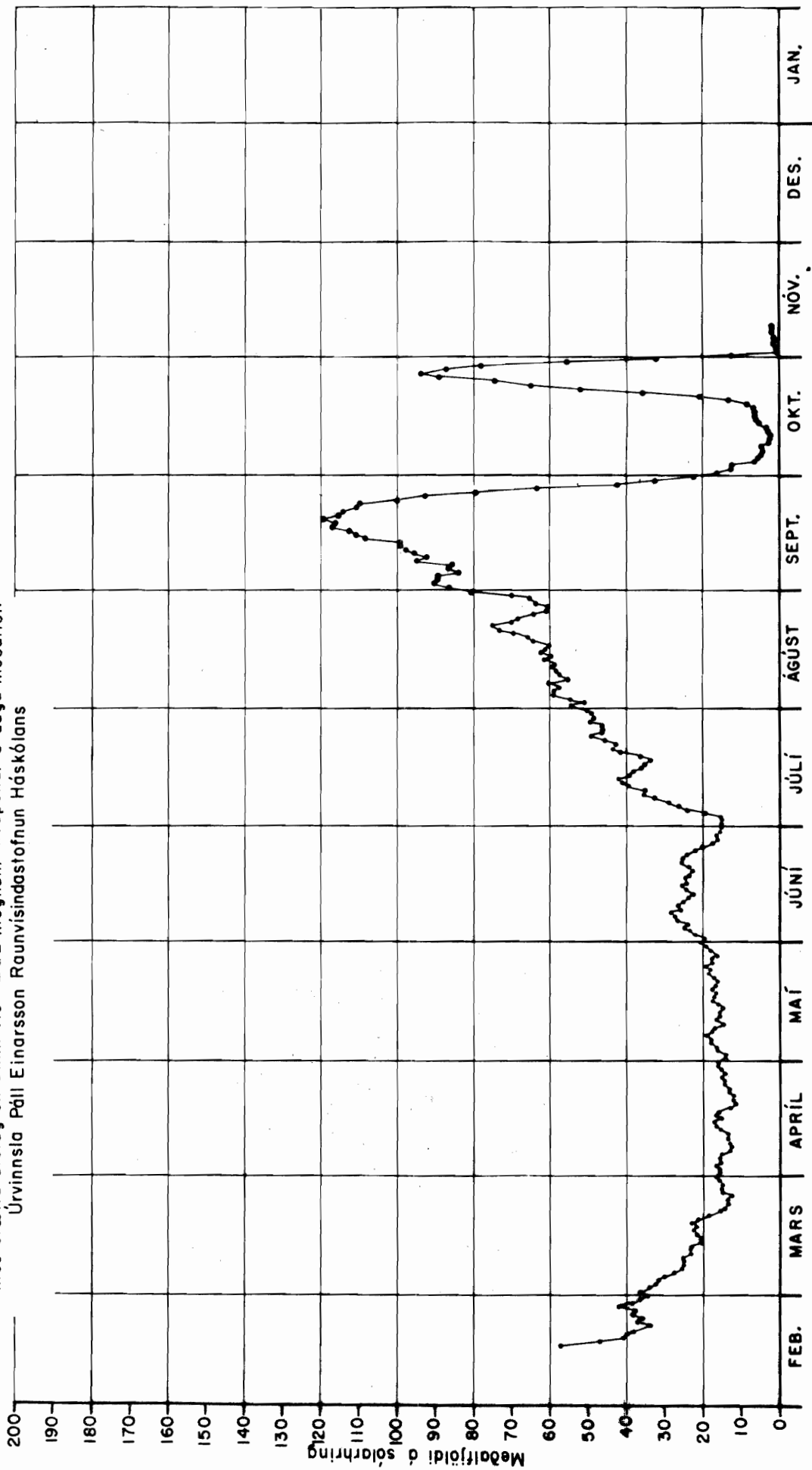
Í Reynihlíð er fylgst stöðugt með þremur skjálftamælum, það eru mælarnir í Kröflu, í Reynihlíð og í Gásadal. Útskrift allra þessara mæla er í Reynihlíð á einum stað og eru þeir vaktaðir 24 tíma á dag. Ef vart verður við skjálfta á svæðinu, sem kemur fram á öllum þessum mælum, er hann staðsettur eins vel og hægt er með beinum aflestri af línuritunum og auk þess er styrkur hans áætlaður. Með þessu er hægt að fylgjast með breytingum á upptökum skjálfta

svo og stærð skjálftanna. Reynsla manna frá öðrum eldgosum hefur leitt í ljós að oftast verða mjög tíðar og örur hræringar skömmu áður og um leið og hraun er að brjótast upp á yfirborðið. Vart var við þessar hræringar fyrir gosið í desember í Leirhnjúk, fyrir síðasta Heklungos svo og í Surtsey. Vonir standa til, að með þessari stöðugu vakt megi vara við yfirvofandi hættu af eldgosi. Erfitt er að segja til um það hversu langur viðvörðunartími gæti orðið. Hann gæti orðið mjög stuttur en hann gæti líka orðið nokkrir klukkutímar. Allaveganna réttlætir þessi möguleiki að hafa vakt á mælunum einkum vegna þeirra mannlífa og verðmæta, sem í húfi eru á Kröflu- og Námafjallssvæði.

Mjög náið hefur verið greint frá skjálftavirkni á þessu svæði í skjálftabréfi, sem gefið er út af Raunvísindastofnun Háskólans. Er því óþarfi að lýsa hér þeirri þróun, sem orðið hefur í jarðskjálftavirkni á þessi svæði á undanförunum mánuðum. Þó er rétt að stikla aðeins á stóru og er einkum stuðst við upplýsingar úr skjálftabréfi og frá Páli Einarssyni Raunvísindastofnun Háskólans, sem hefur haft veg og vanda af uppsetningu mælanna og úrvinnslu gagna.

Til þess að hafa sem best yfirlit yfir skjálftavirknina og þær breytingar sem á henni verða eru skjálftarnir taldir daglega og fjöldi skjálfta á dag á Reynihlíðarmælinum notaður sem mælikvarði á virkni svæðisins. Þessi fjöldi er breytilegur frá degi til dags og hefur því verið horfið til þess ráðs að mynda 5 daga meðaltöl af þessum fjölda, til þess að fá yfirlit yfir hina hægfara þróun í þessum málum. Á meðfylgjandi línuriti á mynd Fnr. 14624 má sjá hvernig 5 daga meðaltal fjölda skjálfta í Reynihlíð hefur breyst á undanförunum mánuðum. Á neðsta hluta myndar Fnr. 14599 má sjá meðalfjölda skjálfta yfir hvern hálfan mánuð frá því fyrir gos. Jarðskjálftavirkni á Kröflusvæðinu náði hámarki skömmu eftir miðjan janúar,

Fjöldi skjálfta á sólarhring er koma fram á mælinum í Reykhiól með stærri útslag en 5mm við 42dB mögnun. Hlaupandi 5 daga meðaltöl.  
 Úrvinnsla Páll Einarsson Raunvísindastofnun Háskólans



1976

ORKUSTOFNUN  
 Jarðhitadeild

Kröflusvæði, fjöldi skjálfta

'76-9-20 AB/IS

Tr. 180

J-Kraflo

Fnr. 14624

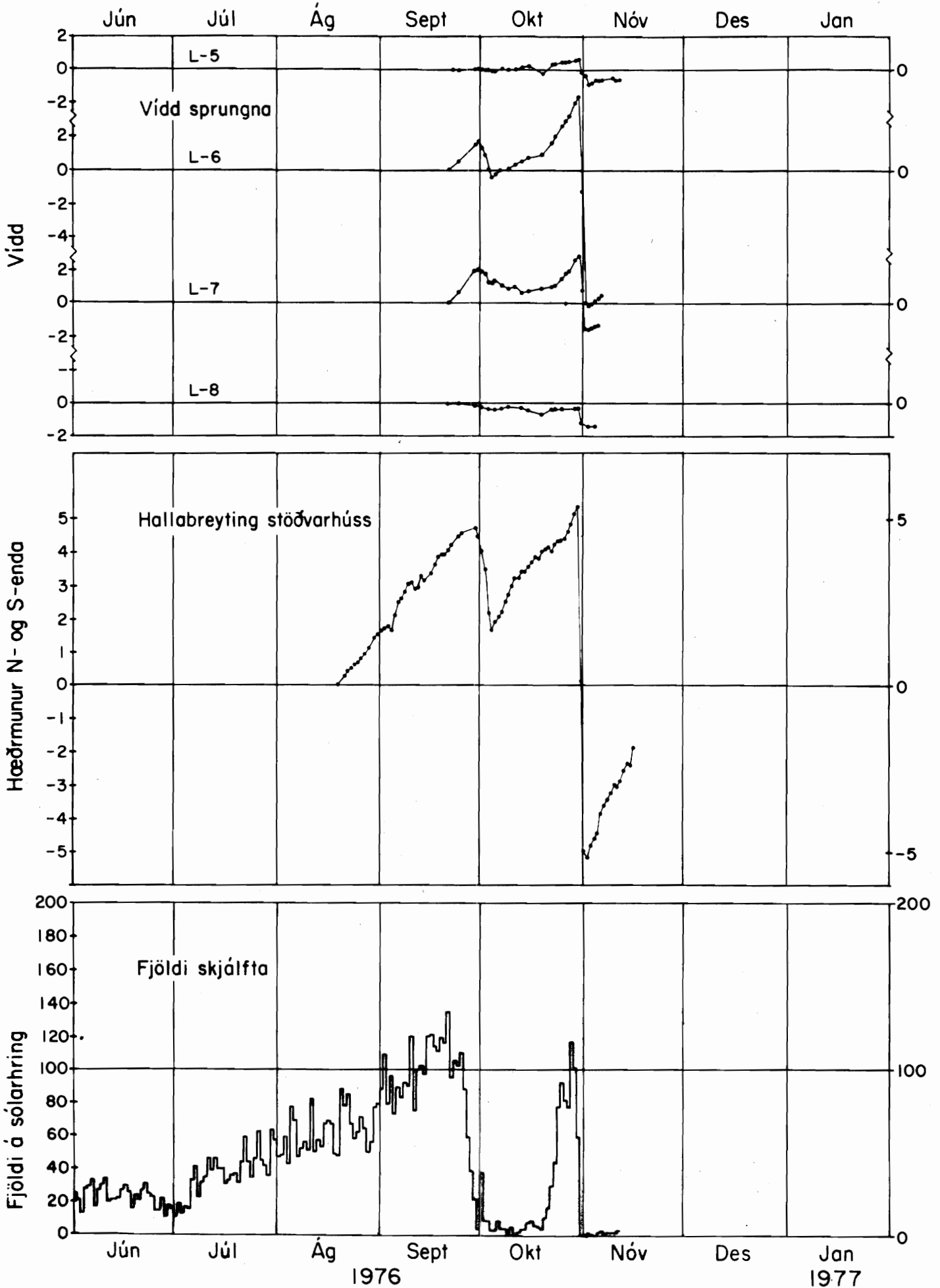
en minnkaði jafnt og þétt. Eftir miðjan janúar 1976 varð ekki vart við neina skjálfta stærri en 3 á Richter-kvarða. Smáskjálftavirkni hélst þó nokkuð stöðug fram í maílok eða um 15 skjálftar á dag á mælinum í Reynihlíð. Síðan jókst smáskjálftavirknin verulega og sáust á mælum mest 135 skjálftar á dag hinn 21. september, sem flestir áttu upptök sín á Kröflusvæðinu þá minnkaði skjálftavirknin skyndilega á fáum dögum og töldust venjulega færri en 10 skjálftar á dag allan fyrri hluta októbermánaðar en þá jókst virknin aftur og komst 5 daga meðaltalið upp í 94 hinn 27. október. Þá datt virknin aftur niður og hefur meðaltalið verið lægra en 3 skjálftar á dag síðan, þ.e. fram að 20. nóvember, er þetta er skrifað. Þessi skyndilega minnkun skjálftavirkni verður samtímis verulegu landsigi á svæðinu, og örum hallabreytingum á stöðvarhúsi eins og sjá má á Fnr. 14914. Í bæði þessi skipti er skjálftavirknin datt niður það er um mánaðarmótin september-október og október-nóvember varð vart við stöðugan titring á skjálftamælunum. Í fyrra skiptið var hann lítill og kom eingöngu fram á Reykjahlíðar- og Húsavíkurmæli. Í seinna skiptið var þessi titringur verulegur og kom fram á öllum mælum á svæðinu. Var þá gefin viðvörðun um að hætta gæti verið á eldgosu, en svo varð þó ekki og hætta titringurinn eftir nokkra klukkutíma.

Fram undir miðjan mars voru upptök flestra jarðskjálfta innan Kröfluöskjunnar, en þá varð einnig vart við skjálfta nærri gömlu gossprungunni, er liggur suður úr öskjunni vestan Dalfjalls og Námafjalls suður í Bjarnarflag.

Skjálftarnir hafa dreifst nokkuð jafnt um alla öskjuna. Þá má segja að flestir stærri skjálftanna hafi átt upptök sín nærri Leirhnjúk fram í september en þá urðu nokkrir meðalstórir skjálftar vestantil í öskjunni norður af Hlíðarfjalli og suðvestur af Leirhnjúk. Þetta bendir til þess að virknin hafi eitthvað fluttst til vesturs á þeim tíma.

# KRÖFLUSVÆÐI

## Skjálftar-landbreytingar



Í bæði skiptin er skjálftum fækkaði verulega innan öskjunnar þ.e. í lok september og í lok október jókst skjálftavirknin verulega á sprungusveimnum norðan öskjunnar í grennd við svokallaðar Hrótafjallahitur. Þetta bendir til þess að nán tengsl séu á milli virkninnar á þessum stöðum.

Við nánari athugun skjálftalínurita hefur komið í ljós að S-bylgju vantar í jarðskjálfta er eiga upptök sín eða fara í gegn um ákveðið svæðið í jarðskorpunni við Kröflu. Þessi staður er á 3-7 km dýpi undir jarðhitasvæðinu við Kröflu eða um það bil innan línu er draga má á milli Leirhnjúks, Vítis og stöðvarhúss. Þetta sýnir að á þessu svæði hlýtur að vera bráðið eða hlutbráðið berg fyrir hendi (kvikuhólf) sem S-bylgjur komast ekki í gegn um (Upplýsingar frá Páli Einarssyni).

### 3.8 Viðnámsmælingar við Kröflu og Námafjall.

Með viðnámsmælingum er mælt eðlisviðnám berglaga á mismunandi dýpi. Eðlisviðnám er háð mörgum eiginleikum jarðlaga, einkum þó vatnsgengd bergs, svo og hitastigi og seltu jarðvatnsins. Með aukinni vatnsgengd eða vatnsmagni (auknum poruhluta), svo og með hækkanði hitastigi og seltu, þá lækkar eðlisviðnám berglaga. Getur eðlisviðnám verið mörgum sinnum lægra í sprungnu og holóttu bergi, einkum ef það inniheldur jarðhitavatn (5-50  $\Omega\text{m}$ ) heldur en í þéttum, holufylltum og köldum berglögum (100-1000  $\Omega\text{m}$ ). Eðlisviðnám í albráðnu bergi er um 1  $\Omega\text{m}$  en 10000 - 100000  $\Omega\text{m}$  í algjörlega þurru bergi. Með breytingum á hitastigi eða á vatnsinnihaldi djúpt í jörðu breytist eðlisviðnám að sama skapi. Það ætti því að vera unnt að fylgjast með sveiflum í hitastigi eða vatnsinnihaldi bergs (sprungumyndunun) niður á allt að 5 km dýpi með því að mæla reglulega eðlisviðnám á svæðinu.

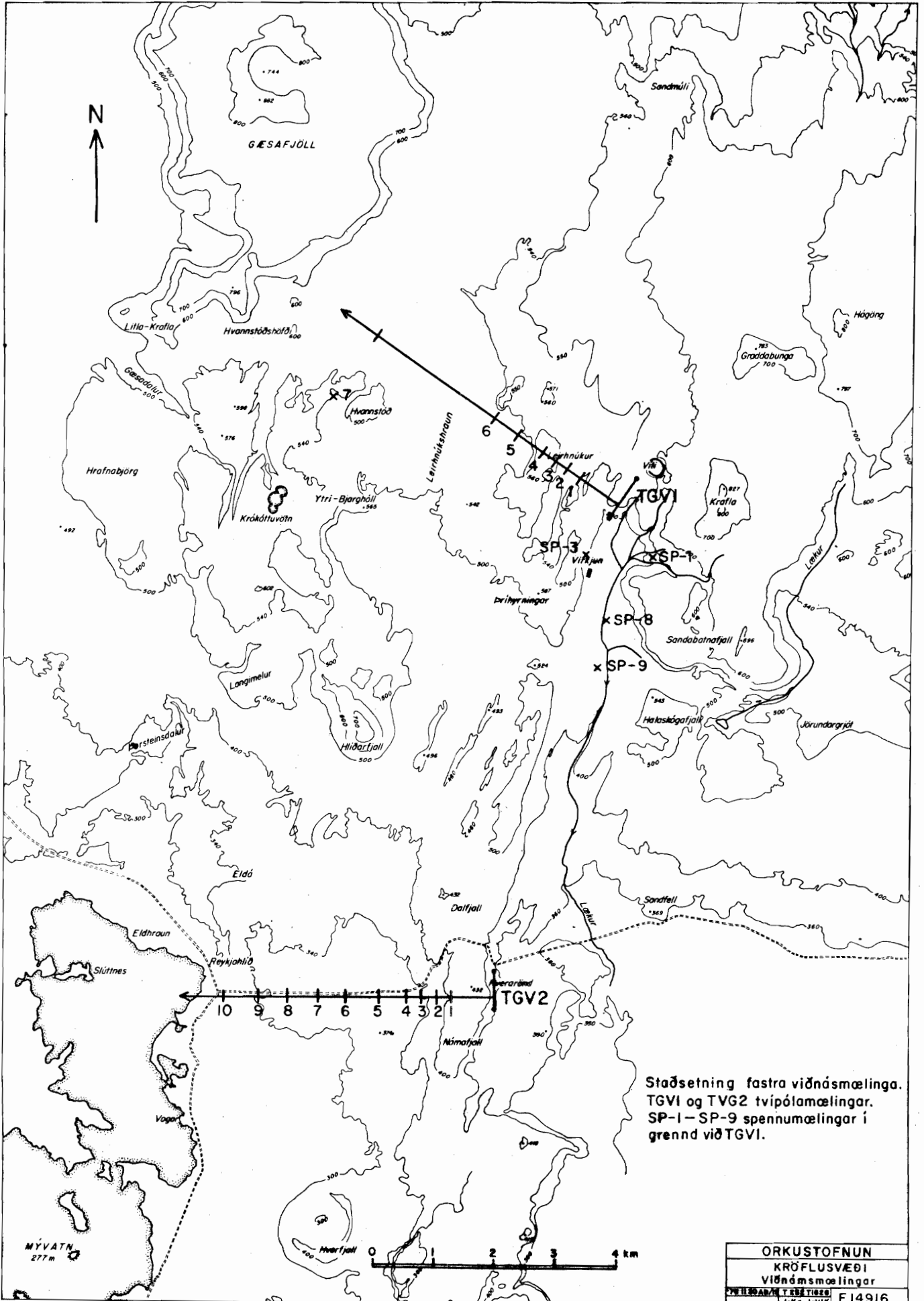
Mjög víðtækar viðnámsmælingar hafa verið gerðar á Kröflu- og Námafjallssvæðum til þess að rannsaka jarðhitasvæðin. Voru síðustu mælingarnar gerðar vorið 1976 á vinnslusvæðinu

við Kröflu. Verið er að vinna endanlega úr þessum mælingum og verða þær birtar í skýrslu Orkustofnunar sem er nú í undirbúningi. Ein helsta niðurstaða mælinganna er sú að undir jarðhitasvæðinu við Leirbotna mælist mjög hátt viðnám á 1000 m dýpi. Þetta gæti stafað af þéttum berglögum (innskotum), sem innihalda lítið vatn eða þá af það miklum hita að verulegur hluti vatnsins sé í gufuformi en ekki vatnsformi og þar af leiðandi leiði það verr en ella.

Viðnámið er mælt með því að senda rafstraum um tvö straumskaut (straumsendir) niður í jarðveginn. Spennufallið sem myndast við þetta er mælt á milli tveggja annarra skauta. Eðlisviðnám er síðan reiknað út úr mælingu straums, spennu og afstöðu skautanna innbyrðis.

Á Kröflusvæðinu var settur upp einn straumsendir í byrjun febrúar 1976. Var annað skautið í Leirbotnum neðan brekkunnar og skammt norður af stöðvarhúsinu, en hola 2 var notuð sem hitt skautið. Fjarlægð á milli skautanna er 825 m. Spennumælipunktur, SP1-SP6, voru settir niður á 4 stöðum í Leirbotnum og á 2 stöðum í Leirhnjúk. Í janúar 1976 var bætt við þremur punktum í Hlíðardal SP7 - SP9 svo og 7 punktum, TGV 1-7, á línu er liggur í vestur frá sendinum yfir Leirhnjúk, Litla-Leirhnjúk og að Hvannstöði. Við Námafjall var einnig komið fyrir jarðskautum til mælinga á eðlisviðnámi. Sendirinn er við Hverarönd austan Námskarðs og eru 650 m á milli straumskauta. Spennimælipunktarnir eru á línu er liggur í vestur yfir Námafjall og í stefnu á Reykjahlíð. Staðsetning þessara viðnámsmælipunkta sést á meðfylgjandi mynd Fnr. 14916. Gengið hefur verið varanlega frá öllum skautum, sem notuð eru við þessar mælingar en slíkt er nauðsynlegt ef mæla á við nákvæmlega sömu aðstæður í hvert sinn.

Ekki hafa fundist verulegar breytingar á eðlisviðnámi við þessar athuganir. Fyrstu mælingarnar, s.l. vetur, voru af tæknilegum ástæðum varla nógu nákvæmar. Þessar mæli-



Staðsetning fasta viðnásmælinga.  
TGV1 og TGV2 tvíþólamælingar.  
SP-1 - SP-9 spennumælingar í  
grend við TGV1.

ORKUSTOFNUN
KRÖFLUSVÆÐI
Viðnásmælingar
VIÐNÁSMÆLINGAR TÆSI TÍÐ 1988
J.R. J-VIÖ F14916



tæknilegu erfiðleikar hafa verið yfirunnir í seinni mælingum en þær hafa ekki bent til stórra breytinga á eðlisviðnámi. Sjálfsagt er þó að halda þessum mælingum áfram því sámileg reynsla hefur fengist af svipuðum athugunum erlendis til þess að fylgjast með breytingum á eðlisviðnámi með jarðskjálftaspár í huga.

### 3.9 Athuganir á borholum.

Stöðugt hefur verið fylgst með borholum á Kröflusvæðinu frá því að borun hófst þar. Þetta eftirlit var aukið og hert eftir að breytingar urðu á holunum, sem rekja mátti til jarðhræringa og eldsumbrota.

Í júní 1976 kom út á vegum Orkustofnunar framvinduskýrsla (5), OS JHD 7640, um breytingar á rennsli og efnainnihaldi í holum 3 og 4 við Kröflu og nú er verið að ganga frá skýrslu um árangur borana þessa árs.

Vísast til þessara skýrslna og verður hér aðeins dregið á helstu breytingar er orðið hafa á aflri og efnainnihaldi borholuvatnsins og rekja má til jarðhræringa.

Afl holu 3 í Kröflu, sem minnkaði ört við gosið, minnkar enn og er nú um 18 kg/sek en var 70 kg/sek fyrir gos. Hið mikla gasmagn  $\text{CO}_2$ , sem kom í holuna í mars s.l., hefur minnkað en er þó enn tífalt á við gasmagn fyrir gos. Sýrustig í holu 4 lækkaði úr pH 9 fyrir gos í pH 1,8 í mars, en hækkaði síðan jafnt og þétt upp í pH 8,4 og hefur verið nokkuð stöðugt síðustu mánuðina. Þessar breytingar má glöggst sjá á Fnr. 14600. Síðustu vikur hefur orðið vart við lítilsháttar breytingar á efnainnihaldi borholuvökvans. Litaðist vatnið úr holu 6 og 7 svart af járn-brennisteins-samböndum.

Ekki er vitað með óyggjandi vissu hvað valdið hefur þessum breytingum á aflri og efnasamsetningu borholuvatnsins. Afl holu getur minnkað ef þrýstingslækkun verður í vatnsæðum hennar, en einnig vegna þrenginga í holunni sjálfri t.d. af völdum útfellinga eða bilunar á fóðurrörum. Minnkum í aflri holu 3 varð örúst um svipað leyti og gosið í Leirhnjúk. Verður því að álíta að áhrif gossins á jarðhitasvæðið eða jarðskjálftarnir er gosinu fylgdu hafi mestu ráðið um þverrandi afl holunnar.

Nú hefur komið í ljós að fóðurrör holu 3 er slitið á 80 m dýpi. Vatn og gufa streymdi þar út úr holunni og kom upp í hvernum, sem myndaðist 12. október. Einnig hefur nýlega komið í ljós að fóðurrör í holu 5 er bogið á 40-50 m dýpi. Ekki er ljóst hvenær þessi fóðurrör sködduðust og hvort það hefur verið í jarðskjálftunum síðasta vetur eða við sprunguhreyfingar síðar, eða af einhverjum öðrum orsökum.

Nærtækasta skýring á lækkun pH í holu 4 og tilkomu brenni-steinssambanda ( $SO_2$  lykt fannst af mekki holu 4 í apríl) er sú, að kvika hafi rutt sér leið inn á svæðið á tiltölulega litlu dýpi (3 - 5 km). Við þetta losna gas-sambönd úr kvikunni og leysast upp í jarðvatninu eða leita upp til yfirborðs og valda lækkun sýrustigs í vatninu. Slíkar sveiflur í efnainnihaldi borholuvökvans, einkum þó skyndileg lækkun sýrustigs, geta haft mjög alvarlegar afleiðingar fyrir fóðurrör, bortæki, gufuskiljur og leiðslur. Líklegt er að hið mikla sýrumagn, er kom í holu 4 í mars, hafi verulega stuðlað að því að fóðurrörin tærðust og bárust upp úr holunni. Fari sýrustig í vatni niður fyrir pH 5 hefur það veruleg áhrif á tæringu járns.

Verði aftur vart við verulegar efnafræðilegar breytingar á borholuvökvanum í þessa átt verða menn að vera viðbúnir því að hætta borun þegar í stað og ganga þannig frá borholum að sem minnst hætta sé á að þær slíti af sér öll bönd. Væri sennilega best að setja tappa við fóðurrörsenda steyptrar fóðringar og steypa síðan í holurnar á meðan slíkt ástand varir. Einnig mætti láta renna stöðugt í þær ferskt vatn ef slíkt er fyrir hendi, eða þá fylla þær með borleðju.

Það hefur einkum verið Gestur Gíslason, sem séð hefur um aflmælingar borhola og haft eftirlit með efnasamsetningu borholuvatnsins.



ORKUSTOFNUN

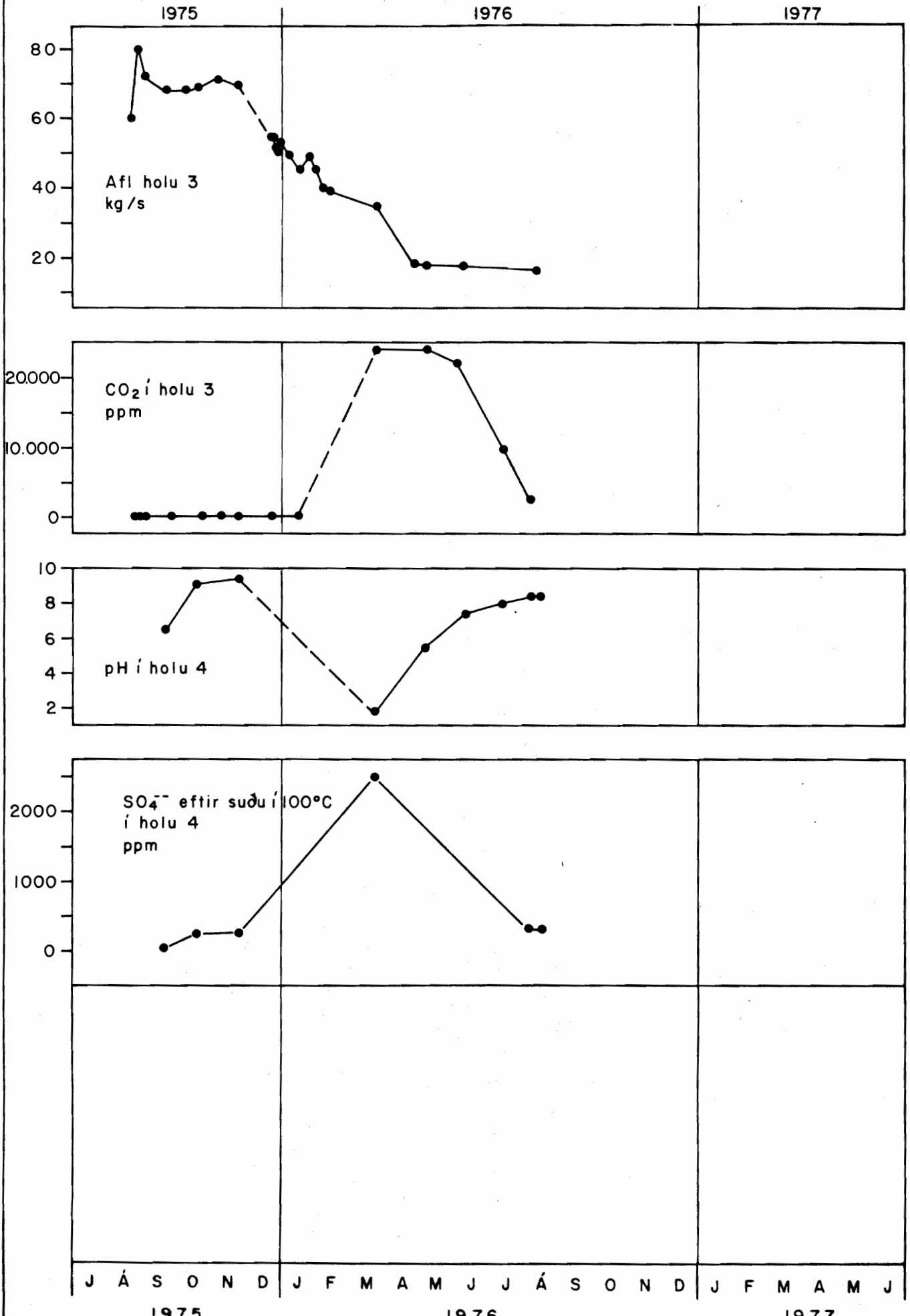
KRÖFLUSVÆÐI  
Breytingar á borholum

76.09.10. AB/H.O

Tnr. 174

J-Krafía

Fnr. 14600



#### 4. LÍKAN AF HREYFINGUM KRÖFLUSVÆÐIS

Hér að framan hafa verið sett fram margvísleg gögn, sem safnað hefur verið á Kröflusvæðinu og víðar á Norðausturlandi undanfarna mánuði. Til þess að geta gert sér einhverja hugmynd um eðli þeirra viðburða, er átt hafa sér stað og eru enn að gerast á þessum slóðum, er nauðsynlegt að fella þessi gögn inn í eina heildarmynd, þ.e. að reyna að finna eðlisfræðilegt líkan af svæðinu, sem útskýrt getur niðurstöður hinna ýmsu mælinga. Verður gerð tilraun til þess að setja fram slíkt líkan í þessum kafla.

Athuganir á skjálftavirkni síðustu 10 árin svo og fjarlægðarmælingar Þjóðverja 1975 og fyrr benda til þess, að þegar á árinu 1975 hafi verið farið að myndast óeðlilegt spennuástand í jarðskorpunni á þessum slóðum. Landið er farið að reka með meiri hraða en venjulegt er og samfara því fjölgar skjálftum. 20. desember 1975 hefjast síðan verulegar hræringar. Land gliðnar á Kröflusvæði og sígur allhratt. Sprungur opnast suður fyrir Grjótagjá og allt norður í Kelduhverfi. Hraun vellur upp við Leirhnjúk, en hraunrennslið er lítið og hættir eldvirkni strax á öðrum degi. Skjálftavirkni er mikil samfara þessum umbrotum og breiðist hún í norður út frá Kröfluöskjunni á fáum klukkutímum. Landsig heldur áfram innan öskjunnar fram í febrúar og verður alls um 2-3 m þar sem mest var. Sama máli gegnir um skjálftavirkni. Hún helst veruleg innan öskjunnar og í Kelduhverfi fram í febrúar en dvínar þá í Kelduhverfi en helst nokkuð jöfn í öskjunni, 15-20 skjálftar á dag. Í mars fer land að rísa aftur og rís mest þar sem sigið var mest áður en minna, er fjær dregur frá miðju öskjunnar. Samhliða þessu gliðna tvær sprungur á Leirhnjúkssvæðinu. Skjálftum fer ekki að fjölga aftur að ráði fyrr en í júlí þ.e. þegar landlyfting hefur verið í gangi í um það bil 4 mánuði. Þetta sýnir að jarðskorpan

er fullsveigjanleg (elastisk) upp að vissu marki. Bergið brotnar ekki eða skriður ekki um sprungur fyrr en vissri spennu er náð. Þegar landlyftingin hefur náð vissri hæð, er svarar til þessarar spennu, tekur það að brotna og skriða um sprungur og þar með valda jarðskjálftum. Létti þrýstingnum á skorpuna hættir lyftingin og skjálftarnir hætta nær samstundis. Þetta hefur gerst um mánaðamótin september-október svo og október-nóvember, þegar land seig skyndilega og skjálftar hættu að mestu. Um leið varð veruleg hreyfing á sprungum við Leirhnjúk. Í bæði þessi skipti tók land fljótlega að rísa aftur. Skjálftar hófust ekki fyrr en seinni hluta október þegar ákveðinni spennu var náð. Skjálftum er ekki enn farið að fjölga eftir síðasta sig, en þess má fastlega vænta eftir fáar vikur haldi landrисиð áfram með sama hraða. Um leið og þrýstingur eykst í jarðskorpunni og land lyftist, hefur einnig orðið vart við gliðnun á sprungum við Leirhnjúk en við sig hafa sprungur dregist saman. Þetta er nákvæmlega það sem búast mætti við inni á miðju þess svæðis, sem ýmist lyftist eða sígur. Sjá mynd Fnr. 14914, sem sýnir glögg tengsl sprunguhreyfinga og hallabreytinga á stöðvarhúsi og skjálftavirkni.

Til þess að átta sig betur á hreyfingum jarðskorpunnar á Kröflusvæðinu, einkum þó innan og í grennd öskjunnar, verður gerð hér tilraun til þess að tengja saman tölulega í stærðfræðilegu líkani hæðar og hallabreytingar á svæðinu.

Hæðarbreyting lands  $h$  er bæði fall af stað og tíma

$h = h_0(x, y, t)$   $x$  og  $y$  eru hnit norður-suður og austur-vestur. Yfirleitt hefur hæðarbreytingin verið reiknuð út fyrir ákveðið tímabil á hverjum stað og því oftast talað um ris eða sikhraða  $h' = h'(x, y, t)$  sem mældur hefur verið í mm/sólarhring (1 mm/sólarhring =  $1,157 \cdot 10^{-8}$  m/sek)

$$h' = \frac{dh}{dt}$$

Á mynd Fnr. 14913 er rishraði/sikhraði teiknaður upp sem fall af fjarlægð frá miðju mesta sigs eða riss. Ferlarnir eru staðlaðir þannig að mesta ris/sig er sett jafnt einum til þess að geta betur borið saman hreyfingar á mismunandi tíma.

Á Fnr. 14915 eru teiknaðir upp ferlar er sýna rishæð á eldfjallasvæðum byggðir á líkani eftir Mogi og Eaton (6). Líkanið gerir ráð fyrir þrýstingsaukningu á kúlulaga svæði í jarðskorpunni. Dýpi niður á miðja kúluna er  $f$  og er gert ráð fyrir að radius hennar sé mun minni en dýpið ( $f \geq 3a$ ). Sé  $h_0$  hæðarbreyting beint yfir miðju kúlunnar,  $x$  lárétt fjarlægð á yfirborði frá punkti beint yfir kúlunni, þá fá Mogi og Eaton eftirfarandi formúlu fyrir hæðarbreytingu í mismunandi fjarlægðum  $x$

$$h(x) = h_0 \frac{f^3}{(f^2 + x^2)^{3/2}}$$

Halli landsins  $\tau$  við lyftingu (eða sig) er samkvæmt þessu

$$\tau = \frac{dh}{dx} = -h_0 \frac{3xf^3}{(f^2+x^2)^{5/2}}$$

Hallinn verður mestur ( $\frac{d\tau}{dx} = 0$ ) fyrir  $x = f/2$

og er þá  $\tau_{\max} = -h_0 \cdot 0,859 \cdot 1/f$  eða

$$h_0 = -1,16 \cdot f \cdot \tau_{\max}.$$

Rúmmálsbreytingu,  $R$  við landsig eða ris má finna með því að tegra yfir  $h(x)$ . Við það fæst

$$R = h_0 \cdot 2\pi \cdot f^2$$

Á mynd Fnr. 14915 eru einnig dregnir upp samsvarandi ferlar fyrir Gaussdreifingu

$$h = h_0 e^{-\frac{x^2}{2x_v^2}}$$

$x_v$  er vendipunktur á Gaussferlinum. Hugsanlegt er að frekar megji finna feril af þessari gerð, sem fellur vel að mældum gögnum heldur en feril af gerð Mogis. Kostur við Gausslíkanið er að auðveldlega má gera með því því líkön þ.e. hafa dreifinguna mismunandi í austur-vestur og norður-suður

$$h = h_0 e^{-\frac{x^2}{2x_v^2} - \frac{y^2}{2y_v^2}}$$

en gögnin sýna að svo er. Þess ber þó að gæta að þetta er eingöngu stærðfræðilegt líkan og byggir ekki á eðlisfræðilegum forsendum eins og líkan Mogis.

Halli lands í Gausslíkaninu verður

$$\tau = \frac{dh}{dx} = h_0 \cdot e^{-\frac{x^2}{2x_v^2}} \cdot \left(-\frac{x}{x_v^2}\right)$$

Rúmmálsbreyting fæst við að tegra

$$R = h_0 2\pi x_v y_v = h_0 2\pi x_v^2$$

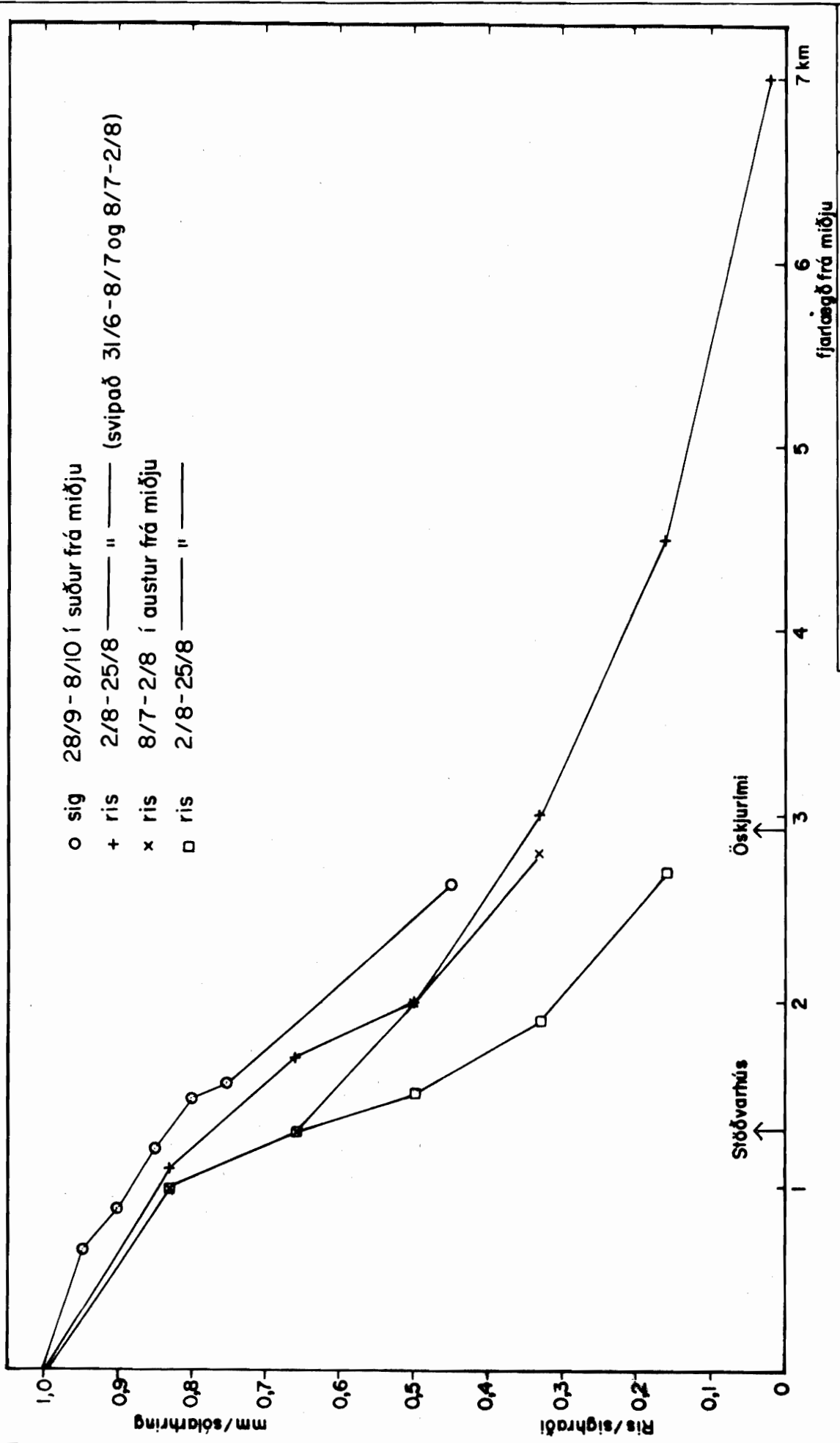
ef  $x_v = y_v$ .

Með samanburði gagnanna á Fnr. 14913 við ferlana á mynd Fnr. 14915 má áætla hvaða líkön falla best að þessum gögnum. Mogiferill með  $f = 3$  km fellur nokkuð vel að mældu ferlunum svo og Gaussferill með  $x_v = 1,8$  km, þó víkja báðir ferlar frá mældum gildum í lengri fjarlægðum. Þar er ónákvæmni í hæðarmælingu reyndar orðin það mikil að hún er álíka stór og þær breytingar er búast má við og því erfitt að skera úr um val líkana.

Með þessum líkönum má finna tengsl á milli hinna ýmsu breytistærða er mældar eru á Kröflusvæðinu. Notuð eru eftirtalin tákni

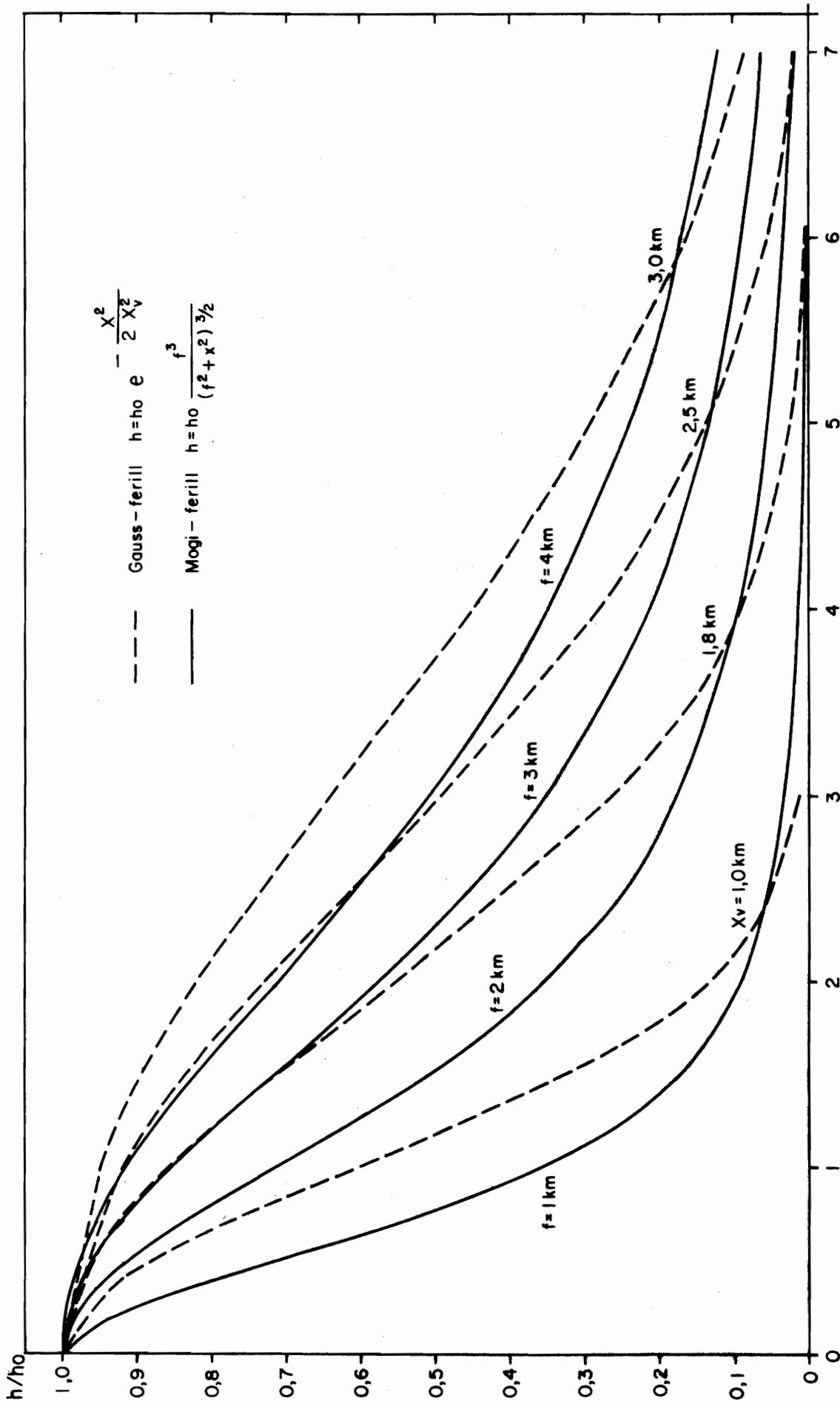
- $h_0$  = hæðarbreyting á miðju svæðinu (m)
- $h'_0$  = ris eða sighraði á miðju svæðinu (mm/sólarhring)
- $d$  = ris/sig norðurenda stöðvarhúss miðað við suðurendann (mm)
- $d'$  = ris/sighraði norðurenda stöðvarhúss miðað við suðurenda (mm/sólarhring)
- $R$  = heildarrúmmálsbreyting við sig/ris (km<sup>3</sup>)
- $I$  = rennsli inn eða út af svæðinu (hraði rúmmálsbreytingar) við sig eða ris (m<sup>3</sup>/sek)





ORKUSTOFNUN  
 Kröflusvæði  
 ris/sighraði við Kröflu

76.II.25 AB/HBS  
 T 249  
 Krafla  
 F 14913



X Fjarlægð frá miðju [km]

ORKUSTOFNUN

KRÖFLUSVÆÐI

Hæðarbreyting - stærðfræðilegt líkan.

76.11.29 AB/EK

Tnr. 251

J - Kröfla

Fnr. 14915

Rishraði sem nemur 1 mm/sólarhring samsvarar  $1,157 \cdot 10^{-8}$  m/sek.

Ris norðurenda stöðvarhúss um 1 mm miðað við suðurendann samsvarar hallatölbreytingu sem nemur  $1,43 \cdot 10^{-5}$  (stöðvarhúsið er 70 m langt). Þar sem um mjög litlar hallabreytingar er að ræða má setja hallatöluna jafna horninu mældu í geislum (radiönum). Ris norðurenda um 1 mm samsvarar því hallabreytingu sem nemur 14,28  $\mu$ geislum.

Með því að setja inn í formúlurnar hér að framan og umreikna einingar allra stærða í mældar einingar fást eftirfarandi tengsl

Gauss-líkan             $x_V = 1,8$  km             $x(\text{stöðvarhús}) = 1,3$  km

$$R \text{ (km}^3\text{)} = 0,020 h_0 \text{ (m)}$$

$$I \text{ (m}^3\text{/sek)} = 0,23 \cdot h'_0 \text{ (mm/sólarhring)}$$

$$h_0 \text{ (m)} = 0,046 \cdot d \text{ (mm)}$$

$$h'_0 \text{ (mm/sólarhring)} = 46 \cdot d' \text{ (mm/sólarhring)}$$

Mogi-líkan             $f = 3$  km,  $x(\text{stöðvarhús}) = 1,3$  km

$$R \text{ (km}^3\text{)} = 0,056 \cdot h_0 \text{ (m)}$$

$$I \text{ (m}^3\text{/sek)} = 0,65 h'_0 \text{ (mm/sólarhring)}$$

$$h_0 \text{ (m)} = 0,051 \cdot d \text{ (mm)}$$

$$h'_0 \text{ (mm/sólarhring)} = 51 \cdot d' \text{ (mm/sólarhring)}$$

Nokkur munur er á þessum tveimur líkönum einkum hvað rennsli og rúmmálsbreytingar snertir. Mogi-líkanið gefur tvöfalt til þrefalt hærri tölur fyrir þessar stærðir heldur en Gauss-líkanið. Þetta liggur í því að Gaussferlarnir falla fyrr niður undir 0 með vaxandi fjarlægð heldur en Mogi-ferlarnir. Illmögulegt er að mæla rennsli og rúmmálsbreytingar með nægjanlegri nákvæmni til þess að betrumbæta þessi líkön svo að nokkru nemi. Aftur á móti gefa báðar aðferðirnar svipaða niðurstöðu fyrir tengsl hallabreytinga á stöðvarhúsi,  $d$ , og landlyftingar á miðju svæðinu  $h_0$ . Þetta er auðvelt að mæla og prófa þannig

modelhugmyndirnar. Þetta hefur verið gert fyrir 5 tímabil og notaður til þess hæðarmælipunktur 5596, sem er í 800 m fjarlægð frá miðju svæðisins. Nokkurn veginn sömu niðurstöður fást úr báðum líkönum

tímabil	d (mm)	h 5596 (mm)	h <sub>0</sub> (mm)	h <sub>0</sub> /d
tími fyrir gos - 2. mars	48,7	2171	2388	49
2. mars - 2. ágúst	24,0	965	1061	44
25. ágúst - 28. sept.	4,2	132	145	35
28. sept. - 8. okt.	2,4	93	102	43
8. okt. - 5. nóv.	6,7	350	385	57
			Meðaltal	46

Þetta sýnir að með samlegri nákvæmni má nota formúluna

$$h_0 \text{ (m)} = 0,046 \cdot d \text{ (mm)}$$

til að tengja saman hallabreytingu stöðvarhúss og landlyftingu eða sig inni á miðju svæðinu milli Kröflu og Leirhnjúks. Þetta er í góðu samræmi við niðurstöðu líkanreikninganna.

Til þess að átta sig betur tölulega á þeim stærðum sem hér er um að ræða má líta á sigið er varð um mánaðamótin október-nóvember. Þá seig norðurendi stöðvarhússins miðað við suðurenda um alls  $d = 10,8$  mm en mesti sikhraði hans 31. október varð um  $d' = 20$  mm/sólarhring. Þetta samsvarar því að heildarsig inni á miðju svæðinu hafi orðið um 50 cm, sem kemur vel heim og saman við hæðarmælingar lands. Nokkuð mismunandi tölur fást fyrir rennsli og heildarrúmmálsbreytingu allt eftir því hvort líkanið er notað. Hámarksrennsli verður  $210 \text{ m}^3/\text{sek}$  og  $660 \text{ m}^3/\text{s}$  en heildarrúmmálsbreyting  $0,01 \text{ km}^3$  og  $0,03 \text{ km}^3$ . Hærri tölurnar eiga við Mogi-líkanið.

Til samanburðar má benda á að sprunga sem er 20 km löng, 5 km djúp og 10-30 cm breið hefur sama rúmmál og hér um ræðir.

Þessi óvissa í ákvörðun rúmmáls og rennslis er ekki það mikil að hún hafi veruleg áhrif á eðli skýringa fyrirbrigðanna.

Rishraði hússins er núna um 0,15 mm/sólarhring. Þetta samsvarar um 7 mm/sólarhring landriss og 1,5 - 4,5 m<sup>3</sup>/sek rúmmálsaukningar eða rennslis inn á svæðið.

Hér má einnig benda á til samanburðar að rennslis í Elliðaám í Reykjavík eða Grænalæk í Mývatnssveit er nálægt 5 m<sup>3</sup>/s. Meðalrennslis Jökulsár á Fjöllum er aftur á móti um 200 m<sup>3</sup>/sek.

Hér hefur enn ekki verið rætt um orsakir hreyfinga lands á Kröflusvæði, enda ekki ljóst í öllum atriðum hverjar þær eru. Rétt þykir þó að benda á nokkra möguleika í þessu sambandi.

Frumorsakir jarðhræringanna liggja í landrekinu. Þegar jarðskorpuplötturnar reka frá hver annarri verður landsig á mótum þeirra. Hraunkvika leitar neðan úr möttli jarðar upp í jarðskorpuna á plötumótunum þar sem sig varð. Getur kvikan safnast fyrir í kvikuhólfum á fárra kílómetra dýpi í skorpunni eða rutt sér farveg upp á yfirborð. Einnig getur kvika, sem nær að brjóta sér leið hátt upp í skorpuna, runnið lárétt lengri eða skemmri veg eftir sprungusveimnum. Ef kvikan safnast saman í kvikuhólfi veldur hún þrýstingsaukningu og þar með landrissi og skjálftum. Þetta varir þangað til aðstreymið að neðan hættir, eða þangað til þrýstingnum léttir í kvikuhólfinu, bæði vegna rúmmálsaukningar af völdum landreks og vegna þess að kvikan finnur sér leið út úr hólfinu lóðrétt upp á yfirborð eða lárétt eftir sprungum í skorpunni.

Telja má fullvíst að kvika sé fyrir hendi á um það bil 3-7 km dýpi undir Kröfluöskjunni einkum þó undir jarðhitasvæðinu innan hennar. S-bylgjuleysi jarðskjálfta á svæðinu verður vart útskýrt á annan veg. Það er því nærtækast að útskýra landsig og landris á Kröflusvæði með breytingum á kvikuþrýstingi undir svæðinu. Þegar kvikuaðstreymi inn á svæðið

eykst rís landið. Þegar skyndilegur landreksrykkur verður og sprungur myndast í sprungusveimnum eykst rúm-  
mál það sem kvikan getur leitað út í og land sígur. Einnig hafa komið fram aðrar skýringar á landrasi og land-  
sigi á Kröflusvæði. Bráðin kvika á fárra kílómetra dýpi sem er um 800-1000°C heit hlýtur að hita verulega jarð-  
vatn fyrir ofan sig og breyta hluta þess úr vatnsfasa í gufufasa. Þetta getur valdið verulegri þrýstingsaukningu og þar með landlyftingu einkum ef gufan safnast saman í gljúpum jarðlögum neðan þéttra laga. Við boranir á Kröflu-  
svæðinu undanfarið hefur komið í ljós að í dýpri holunum er hluti jarðvatnsins í gufufasa en ekki hreint vatn eins og á öðrum háhitasvæðum, sem borað hefur verið í. Sé aukning í gufuþrýstingi orsök landrissins má hugsa sér að skyndilegt sig verði við það að gufan brjóti sér leið upp í efri jarðlög. Þar þéttist hún í jarðvatninu og heildar-  
gufuþrýstingurinn fellur á svæðinu og land sígur. Gufu þarf ekki að verða vart á yfirborði nema uppstreymið sé það mikið að gufan nái ekki öll að þéttast í vatni efri jarðlaganna.

Á þessu stigi málsins verður ekki úr því skorið með vissu hvort hraunkvika eða gufa hafi meiri áhrif á landris og sig við Kröflu, en allavegana er kvikan frumorsökin, því tilvist hennar er forsenda þess að verulegt magn gufu geti myndast.

Í bæði síðustu skiptin er landsig varð við Kröflu, kom fram stöðugur órói á skjálftamælum, sem túlkaður hefur verið sem afleiðing kvikurennslis. Einnig urðu verulegir skjálftar á sprungusveimnum í Gjástykki norður af öskjunni og nýjar sprungur mynduðust þar. Höfust skjálftarnir nokkrum tímum eftir að land tók að síga á öskjusvæðinu. Þetta gæti bent til kvikustrauma norður eftir sprungunum en engir hæðarmælipunktur voru á Gjástykkissvæðinu þannig að unnt væri að fylgjast þar með hugsanlegum hæðarbreytingum.

Ymsir hafa lagt hönd á plóginn við að túlka mælingar frá Kröflusvæðinu. Í þessum kafla koma því fram hugmyndir margra manna sem höfundur hefur rætt þessi mál við. Má einkum nefna Guðmund Pálmason, Pál Einarsson, Karl Grönvold, Kristján Sæmundsson, Eysteinn Tryggvason og Jónas Elíasson í þessu sambandi.

5. UM MAT Á HÆTTUÁSTANDI VIÐ KRÖFLU

Hætta sú er steðjað getur að Kröfluvirkjun vegna jarðhræringa er einkum tvenns konar. Í fyrsta lagi er hætta á að beint manntjón og eignatjón hljótist af hraunrennsli, gjóskufalli og jarðskjálftum, og í öðru lagi hætta á að jarðhræringar valdi breytingum á jarðhitakerfinu og borholum og þar með rekstrartruflunum í virkjuninni. Með gosvakt þeirri sem þessi skýrsla fjallar um og öðrum varúðarráðstöfunum má telja að hättunni á manntjóni sé nokkurn veginn bægt frá.

Erfitt er að meta þessa hattu og sennilega ókleift að gera slíkt tölulega. Veldur þar mestu hve ónákvæm vitneskja manna er um eðli og uppruna eldgosa. Þar sem tekist hefur að spá fyrir um eldgos erlendis með góðum árangri er um eldfjöll að ræða, sem gjósa nokkuð reglulega og haga sér svipað í hvert sinn. Náið eftirlit með eldfjöllum, með gossþá í huga, eru ný fræði hér á landi og því lítil reynsla, sem unnt er að byggja á. Einkum er erfitt að spá fram í tímann um framvindu jarðhræringa og þeim mun erfiðara sem um lengra tímabil er að ræða. Aftur á móti er mun auðveldara að bera saman ástand einhvers svæðis á mismunandi tíma. Unnt er að bera saman virkni svæðisins og hraða þeirra breytinga, er eiga sér stað, og þar með segja til um hvort virkni eykst eða minnkar og eins hvort goshætta fer vaxandi eða þverrandi.

Þrátt fyrir þessa erfiðleika við mat á goshattu og tjónhattu almennt af völdum jarðhræringa verður ekki hjá því komist að freista þess að framkvæma slíkt mat, einkum þar sem bæði mannslíf og verulegir fjármunir í fasteignum, vélum og tækjabúnaði eru í veði. Á Kröflu-Námáfjalls-svæði eru það einkum 5 atriði, sem til greina koma til að meta slíka hattu. Verður stuttlega gerð grein fyrir hverju þeirra hér.



- 1) Skjálftavirkni er beinn mælikvarði á hreyfingar og umbrot í jarðskorpunni og má fullyrða að á eldgos-  
svæðum einkum þó í virkum megineldstöðvum, sé skjálfta-  
virknin eða hraði breytinga á skjálftavirkni í réttu  
hlutfalli við eldgosahættu. Hér hefur fjöldi skjálfta  
á sólarhring verið notaður sem mælikvarði á skjálfta-  
virknina.
- 2) Sama má segja um landris eða sig. Hæð lands miðað við  
fyrri jafnvægisstöðu svo og stöðug breyting á hæð lands  
(hæðar- eða hallabreytingar) má nota á svipaðan hátt og  
skjálftavirknina. Sem mælikvarði á landris hefur verið  
notaður rishraði mældur í mm á sólarhring.
- 3) Í borholum við Kröflu komu fram breytingar, sem varla  
verða skýrðar nema sem afleiðing eldsumbrota og inn-  
skotavirkni. Aukið  $\text{CO}_2$  og  $\text{H}_2\text{S}$  magn hefur venjulega  
verið túlkað sem afgösun bergkviku og bendir því til  
innskotavirkni. Sama máli gegnir um sýrustig borholu-  
vatns, sem mælt er í pH. Venjulegt sýrustig í háhita-  
holum er um pH 8-10. Falli það verulega bendir það til  
innspýtingar brennisteinsgastegunda, sem losna úr bráð-  
inni kviku og þar með aukinnar goshættu.
- 4) Breytingar á vídd sprungna svo og nýjar sprungumyndanir  
hafa verið miklar samfara hræringum undanfarna mánuði.  
Með því að mæla stöðugt sprunguhreyfingar og hafa náð  
eftirlit með myndun nýrra sprungna má fá vitneskju um  
framvindu breytinga á svæðinu.
- 5) Saga hinna langvinnu Mývatnselda á 18. öld er nokkuð  
vel þekkt úr samtíma heimildum. Þá gaus á nákvæmlega  
sömu sprungu og í desember 1975. Eldgos og jarðhrær-  
ingar stóðu þá yfir með hléum í rúm 5 ár. Með hliðsjón  
af gossögu megineldstöðva erlendis má telja nokkrar  
líkur á að gos í sama fjalli eða sömu megineldstöð hagi  
sér svipað í hvert sinn.

Auk þessara fimm þátta, er hér hafa verið nefndir, eru mörg atriði önnur, er stutt geta raunhæft mat á goshættu. Má þar einkum nefna hveravirkni og niðurstöður annarra mælinga eins og t.d. viðnámsmælinga, hallamælinga, gas-samsetningu hveragass o.fl.

Með ofangreind atriði í huga má fullyrða að ekki sé enn komin á kyrrð við Kröflu eftir að jarðhræringar hófust þar á síðasta ári. Land hefur risið nokkuð jafnt og þétt síðan í mars en þó hefur tvisvar orðið skyndilegt landsig eftir að land náði ákveðinni hæð. Samfara landsiginu kom fram stöðugur órói á skjálftamælum, sem bendir til hraunrennslis neðanjarðar, þó ekki kæmi hraun upp á yfirborð. Haldi landris áfram með sama hraðanæstu vikur nær land þessari hæð um næstu áramót. Má telja að goshætta verði þá meiri en undanfarnar vikur. Hvort hraun brýst þá upp á yfirborð eða ekki verður ekkert sagt um með vissu.

Sama máli gegnir um langtíma spár. Ógerlegt er að segja nokkuð með vissu um það hversu lengi órói muni haldast á Kröflusvæði en einhverja viðmiðun má hafa af Mývatnseldum.

En þótt við ráðum þannig ekki yfir öruggum aðferðum til forsagnar um eldsumbrot til langs tíma, þá leyfa núverandi aðferðir forsagnir til skamms tíma (2 klst og minna) að því er talið er. Þetta er afar mikilvægt öryggisatriði, sem alls ekki má vanmeta. Þessir möguleikar eru nýttir til hins ítrasta á Kröflusvæðinu með stöðugri jarðskjálftavakt o.fl. Með þessu má segja að öryggi starfsfólksins gagnvart eldsumbrotum sé gert ámóta gott og gagnvart ýmsum öðrum hættum, sem ávallt eru til staðar við slíka mannvirkjagerð.

Ætli Íslendingar sér að nýta gæði lands síns, einnig innan hinna virku eldgosa- og jarðskjálftasvæða, verða þeir að sjálfsögðu að taka einhverja áhættu á að annað slagið geti hlotist tjón af náttúruhamförum, bæði manntjón og tjón á eignum og mannvirkjum. Um slíka áhættu er að ræða við alla mannvirkjagerð og nýtingu lands á virkum eldgosasvæðum,

t.d. virkjun fallvatna innan þeirra, og við nýtingu háhitasvæðanna, en þau eru yfirleitt tengd virkum megineldstöðvum, þar sem gos verða oftast en annars staðar innan gosbeltisins. Þessa áhættu verður ávallt að hafa í huga þegar taka þarf ákvörðun um hvort nýta eigi tiltekið háhitasvæði.

Við mat á slíkri áhættu kemur margt til greina og er jarðvísindalegt mat á goshættu eða líkur á óvæntum breytingum á jarðhitasvæðinu aðeins einn þáttur í heildarmati áhættunnar, sem tekin er við framkvæmdirnar. Aðrir þættir, er áhrif hafa á mat áhættunnar, eru t.d. gæði undirbúnings og forrannsóknna, staða framkvæmda á hverjum tíma svo og ýmiss atriði af þjóðfélagslegum toga spunnin.

Áhættu hafa Íslendingar tekið allt frá því land byggðist, oftast án þess að gera sér mikla grein fyrir henni. Eftir því sem landsmenn ráðast í umfangsmeiri og dýrari mannvirki í þessu eldfjallalandi sínu eykst það, sem undir er lagt í þessu spili þjóðarinnar við náttúruöflin. Vex þá jafnframt þörfin á því að geta betur en áður lagt tölulegt mat á þá áhættu, sem verið er að taka. Þessa nauðsyn hefur þjóðin þó tæplega gert sér ljósa ennþá. Hún hefur á undanförunum árum og áratugum reist stórvirkjanir á virkum eldgosasvæðum (Krafla er aðeins ein þeirra); reist hús og önnur mannvirki á miklum jarðskjálftasvæðum; lagt vegi og byggt brýr, sem eru í hættu fyrir jökulhlaupum og reist kaupstaði utan í hliðum eldfjalla. Allt þetta hefur verið gert án þess að áhættan kæmi sérstaklega til álita, ef frá eru taldar brýrnar á Skeiðarársandi.

Hér þarf að verða breyting á. Nauðsyn ber til að þróa aðferðir til þess að meta og draga úr áhættunni, og er þar mikið verk óunnið. Hvað hinn jarðvísindalega þátt þessara atriða snertir má minnka áhættu við ákvarðanatöku með auknum almennum rannsóknum á náttúru landsins svo og með eflum frumrannsóknum áður en framkvæmdir eru hafnar. Skynsamur maður tekur oft áhættu. En hann gerir það að yfirveguðu mati, ekki hugsunarlaust.

HEIMILDIR

- (1) Rannsókn á umbrotum við Kröflu og sprungukerfi í Kelduhverfi. Sameiginleg rannsóknaráætlun. Norræna Eldfjallastöðin, Orkustofnun, Raunvísindastofnun Háskólans, Veðurstofa Íslands. Mars 1976.
- (2) Námafjall-Krafla, áfangaskýrsla um rannsóknir jarðhitasvæðanna. Orkustofnun jarðhitadeild, júní 1971.
- (3) Oddur Sigurðsson: Náttúruhamfarir í Þingeyjarþingi veturinn 1975-1976. Týli, 6 (1), 1976.
- (4) Greinargerð um framkvæmdir við Kröfluvirkjun í ljósi jarðskjálfta, sprunguhreyfinga og eldgosahattu. Orkustofnun jarðhitadeild. OS JHD 7604, janúar 1976.
- (5) Framvinduskýrsla um breytingar á rennsli og efnainnihaldi í borholum 3 og 4 í Kröflu. Gestur Gíslason og Stefán Arnórsson. OS JHD 7640, júní 1976.
- (6) The surveillance and prediction of volcanic activity. Unesco 1971. Geodetic measurements eftir Decker og Kinoshita.