

**ORKUSTOFNUN**  
JARÐHITADEILD

# NÁMAFJALL-KRAFLA

ÁFANGASKÝRSLA UM RANNSÓKN  
JARÐHITASVÆÐANNA

 ORKUSTOFNUN  
BOKASAÐN

Keldanahöll

JÚNÍ 1971



**ORKUSTOFNUN**  
JARÐHITADEILD

# NÁMAFJALL-KRAFLA

ÁFANGASKÝRSLA UM RANNSÓKN  
JARÐHITASVÆÐANNA

**HÖFUNDAR:**

Guðmundur Guðmundsson  
Guðmundur Pálason  
Karl Grönvold  
Karl Ragnars  
Kristján Sæmundsson  
Stefán Arnórsson

JARÐFRÆÐI

JARÐEFNAFRÆÐI

JARÐEÐLISFRÆÐI

**UMSJÓN**

**RANNSÓKNAVERKSINS:**

Kristján Sæmundsson

BORHOLUR Í BJARNARFLAGI

**JÚNÍ 1971**

## E F N I S Y F I R L I T

	Bls.
FORMÁLI (K.S.) .....	1
1. JARÐFRÆÐILEGAR RANNSÓKNIR (K.S.) .....	3
1.1 Inngangur .....	3
1.2 Dyngjugos .....	6
1.3 Móbergsmyndanir frá síðasta jökulskeiði .....	9
1.4 Ísúrar og súrar gosmyndanir .....	12
1.5 Sprengigígar .....	16
1.6 Basaltsprungugos á póstglasíaltíma .....	20
1.7 Jökulvatnaset frá lokum ísaldar .....	28
1.8 Útbreiðsla jarðhita og ummyndunar .....	31
1.9 Brotahreyfingar .....	34
1.10 Rannsóknir á bergfræði Námafjalls-Kröflusvæðisins (KG) .....	36
1.11 Jarðfræðileg bygging gosbeltisins á Norðurlandi og lega Námafjalls-Kröflusvæðisins innan þess .....	40
2. HVERAGAS (S.A.) .....	42
2.1 Inngangur .....	42
2.2 Söfnunaraðferðir .....	47
2.3 Uppruni hveragassins .....	48
2.4 Efnabreytingar, sem hafa áhrif á samsetningu hveragass .....	50
2.5 Áhrif uppstreymis djúpvatns, suðu og íblöndunar súrefnis á samsetningu hveragass .....	53
2.6 Samanburður við segulmælingar .....	56
2.7 Vetrnishiti .....	57
3. JARÐEÐLISFRÆÐILEGAR RANNSÓKNIR .....	58
3.1 Inngangur (K.S., G.G.) .....	58
3.2 Segulmælingar (G.G.) .....	59
3.3 Rafleiðnimælingar (G.G.) .....	61
3.4 Jarðsveiflumælingar (G.P.) .....	67
3.5 Innrauðar mælingar (K.S.) .....	68

EFNISYFIRLIT - frh.

Bls.

4.	BORHOLUR Á NÁMAFJALLSSVÆDINU .....	70
4.1	Inngangur (K.S.) .....	70
4.2	Staðsetning borhola (K.S.) .....	70
4.3	Jarðlög, hiti og vatnsæðar (K.S.) .....	72
4.4	Efni í vatni (S.A.) .....	74
4.5	Afl borhola (K.R.) .....	78
	HEIMILDARRIT .....	79

M Y N D A S K R A

	Fnr.
1.1 Ófullgert jarðfræðikort af Námafjalls-Kröflusvæðinu .....	9944
1.2 Dreifing jarðhita á Námafjalls-Kröflusvæðinu .....	9778
1.3 Útbreiðsla jarðhita og ummyndunar á Námafjalls-svæðinu .....	9945
1.4 Tímatal yfir síðjökultíma og póstglasíaltíma á Námafjalls-Kröflusvæðinu .....	9946
1.5 Jarðvegssnið með öskulögum á Námafjallssvæðinu ...	9947
2.1 Samband milli $\text{CO}_2/\text{H}_2$ og $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ í hveragasi .....	9782
2.2 $\text{CO}_2/\text{H}_2$ og $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ í hveragasi á Kröflusvæði .....	9656
2.3 $\text{CO}_2/\text{H}_2$ og $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ í hveragasi á Námafjallssvæði ..	9655
2.4 Samband köfnunarefnis og $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$ í hveragasi úr uppsprettum og borholum .....	9803
2.5 Samband vetrnis í hveragasi og hita í borholum við Námafjall .....	9799
2.6 Samband vetrnis í djúpvatni í borholum við Námafjall og innstreymishita .....	9800
2.7 Samband vetrnis í hveragasi á yfirborði og hita í borholum .....	9801
2.8 Samband $\text{CO}_2/\text{H}_2$ í hveragasi á yfirborði og hita í borholum .....	9802
2.9 Samband hita og hlutfallslegs magns af vetrni í djúpvatni .....	9939
3.1 Segulkort af Námafjalli og umhverfi (jarðsegulmæling) .....	7202
3.2 Segulkort af Námafjalli og umhverfi (jarðsegulmæling) .....	7201
3.3 Flugsegulkort af Námafjalls-Kröflusvæðinu .....	9706
3.4 Rafleiðnimælingar á Námafjalls-Kröflusvæðinu (dýptarmælingar) .....	9777
3.5 Rafleiðnimælingar, lagskipting eðlisviðnáms .....	9953
3.6 Rafleiðnimælingar, lagskipting eðlisviðnáms .....	9954
3.7 Rafleiðnimælingar á Námafjallssvæðinu (lengdar-mælingar) .....	9948

MYNDASKRÁ - frh.

	Fnr.
3.8 Innrauðar mælingar - fluglinur yfir gosbeltinu á Norðurlandi .....	9949
3.9 Þyngdarmælingar á Námafjallssvæðinu .....	7157
4.1 Afstöðumynd af borholum í Bjarnarflagi .....	9950
4.2 Þverskurður af borholum og jarðögum í Bjarnarflagi	9951
4.3 Hitamælingar í borholum í Bjarnarflagi .....	9952
4.4 Útfelling kísils í borholum við Námafjall .....	9937
4.5 Gas í borholum við Námafjall .....	9938
4.6 Kennilínur fyrir gufutúrbínu í Námafjalli .....	9764

Ljósmyndasíður.

- I. Ignimbrít vestan við Krókóttuvötn.
- II. Hraun í Hrossadal, Hverfjallstúff, og sprengigígar vestan við Kröflu.
- III. Biksteinseitlar í Jörundi, áfokið Hverfjallstúff, jarðvegssnið.

## FORMALI

Það svæði, sem hér er fjallað um og kennt er við Námafjall og Kröflu, er um  $280 \text{ km}^2$  að stærð og nær sunnan frá Lúdent norður á móts við mið Gæsafjöll.

Landslagið er mótað fyrst og fremst af eldgosamynnum, sem hafa sakir margbreyleika síns orðið mörgum tilefni til rannsókna oftast að eigin frumkvæði. Orkustofnun (áður Raforkumálaskrifstofan) hefur frá því fyrir 1950 unnið að ýmsum rannsóknum á svæðinu, svo sem vegna virkjana í Laxá og Jökulsá á Fjöllum, vegna brennisteinsvinnslu í Námafjalli og loks var Námafjallssvæðið rannsakað allvel um það leyti, sem boranir hófust eftir gufu fyrir Kísiliðjuna.

Seinni hluta ársins 1969 var ákveðið á jarðhitadeild að hefja frumrannsókn Námafjalls- og að einhverju leyti Kröflusvæðisins á næsta sumri (1970). Var gerð rannsóknaráætlun fyrir það ár, sem byggðist í meginatriðum á skýrslu Sveinbjörns Björnssonar: "Aætlun um rannsókn háhitasvæða, ágúst 1969". Fé til þessara rannsókna var veitt úr Orkusjóði, en kostnaðaráætlun fyrir 1970 nam 2.118.000.- kr. Var í kostnaðaráætlun miðað við fyrsta áfanga Námafjallsrannsóknar, sbr. fylgiskjal um útreikninga með áðurnefndri skýrslu Sveinbjörns. Ákveðið var, að K.S. skyldi vera umsjónarmaður verksins.

I sept. 1969 fór hann ásamt Karli Grönvold, jarðfræðingi í lo daga könnunarferð um svæðið og næsta nágrenni þess svo sem Þeistareyki og Gjástykki. Veður var mjög hagstætt og nýttist tíminn vel. Góð yfirsýn fékkst yfir Námafjalls- og Kröflusvæðið. Útbreiðsla jarðhita og ummyndunar var könnuð. Fjöldi sýnishorna af grjóti var tekinn til bergfræðilegra rannsókna, og svæðið vestan og norðan Hlíðarfjalls var rannsakað allítarlega.

A grundvelli niðurstaðna, sem fengust í þessari ferð, var rannsóknarsvæðið endanlega afmarkað. Keypt voru kort og flugmyndir af svæðinu. Fyrir mælingaflokka var útbúin stækkuð flugmynd í mkv. 1:10.000 af rannsóknasvæðinu. Eigi þótti rétt að takmarka rannsóknir sumarsins við Námafjalls-svæðið eitt. Stutt er á milli háhitavæðanna og þau eru jarðfræðilega séð hluti af stærri heild, centraleldfjalli, sem nauðsynlegt er að fá yfirlit yfir þegar í upphafi frum-rannsóknar. Önnur ástæða er sú, að Kröflusvæðið kann að henta jafnvel eða betur fyrir stóra gufurafstöð en Námafjalls-svæðið og því nauðsyn að hraða rannsókn þess. Í framvindu-skýrslum 1 og 2 er lýst gangi rannsóknanna.

A sumum sviðum var brugðið nokkuð út af upphaflegri rann-sóknaráætlun, og er gerð grein fyrir ástæðunum í framvindu-skýrslu 2. Kostnaður við rannsóknirnar varð um 200.000.- kr. undir áætlun. Hér er lögð fram áfangaskýrsla um rannsóknir á Námafjalls- Kröflusvæðinu fram að áramótum 1970/1971. Það er þegar ljóst, að gott samræmi er á milli hinna einstöku þátta, sem rannsakaðir voru, en nokkuð vantar á til að hægt sé að gera frumlíkan af byggingu og rennsliseiginleikum háhitavæðanna. Sumarið 1971 er stefnt að því að ljúka þeim þáttum frumrannsóknar, sem nauðsynlegir eru til að gera slíkt frumlíkan þannig, að unnt verði að hefja markvissa djúprannsókn Kröflusvæðisins með rannsóknarborunum.

Efni skýrslunnar skiptist í fjóra megin kafla: jarðfræði-rannsóknir, jarðefnafræðilegar rannsóknir, jarðeðlisfræði-legar rannsóknir og kafla um borholur á Námafjallssvæðinu. Nokkrir sérfræðingar jarðhitadeildar höfðu nána samvinnu um rannsóknirnar. Auk K.S. og K.G. sem unnu jarðfræðilegu vinnuna voru í þeim hópi Stefán Arnórsson, sem sá um efna-greiningar á gasi, Guðmundur Guðmundsson og Sveinbjörn Björnsson, sem önnuðust skipulagningu og túlkun jarðeðlis-fræðilegu mælinganna, og Birna Ólafsdóttir og Ragna Karls-dóttir, sem önnuðust daglegan rekstur vinnuflokka og úr-vinnslu jarðeðlisfræðilegra gagna að miklu leyti. Í efnis-yfirliti standa upphafsstafir höfunda á eftir kaflafyrir-sögnum, þannig að ljóst sé hverjir eru höfundar skýrslunnar.

## 1 JARDFRÆÐILEGAR RANNSÓKNIR

### 1.1 Inngangur

Takmörk Námafjalls- Kröflusvæðisins eru ekki glöggt afmörkuð í landslagi, en með hliðsjón af jarðfræðilegri byggingu verða takmörkin skýrari.

Sem centraleldfjall í sprungusveimi afmarkast Námafjalls- Kröflusvæðið að austan og vestan af jöðrum sprungusveimsins, en þeir liggja að vestan um Gæsafjöll-Hrafnabjörg og Grímsstaði í Mývatnssveit, en að austan um Hágöng, Jörund og vestan við Búrfell. Norður- og suðurtakmörkin eru óljósari en þau væru samkvæmt eðli málsins, þar sem myndana central- eldfjallsins (súrt berg, smá hraunspýjur og sprengigígar) hættir að gæta; en það er sunnan við Lúdent og norðan við Graddabungu. Norðurhluti þessa svæðis er nokkuð hálandur, milli 400 og 600 m yfir sjó, og einstök fjöll ná yfir 800 m hæð. Suðurhlutinn er lægri, um og yfir 300 m, og liggur um hann lágor hæðarani, sem teygist frá Námaskarði suður í Lúdent. Svæðið er víðfrægt fyrir margvisleg sérstæð náttúru- fyrirbæri, ekki sízt eldgosamyndanir, sem í meira en loo ár hafa laðað að sér fjölda náttúruskoðara, sem margir hafa jafnframt skýrt frá rannsóknum sínum á prenti. Mikill fjöldi er því til um jarðfræði þessa svæðis. Eftirtalin rit eru að áliti höfundar þýðingarmest af þeim.

1. Samtímaheimildir um Mývatnselda. Safn til sögu Íslands. 4 bindi (1907-1915).
2. Ritgerð F. Johnstrups (1886) - kort af útbreiðslu hrauna, sem runnu í Mývatnseldum, og litprentuð kort af hverasvæðunum við Kröflu, Námafjall og Fremrinámur (öll endurprentuð í Thoroddsen: Geschichte der isl. Vulkane).

3. Samantekt Þorv. Thoroddsen um Mývatnselda í Geschichte der isl. Vulkane og kafli um jarðhitasvæðin í sömu bók (bls. 371-377). Þar er einnig yfirlit yfir eldri rannsóknir.
4. Ritgerðir Rittmanns 1938 og 1939 um gerðir eldfjalla við Mývatn. Klassiskar teikningar og litprentað kort.
5. Ritgerðir Barths frá 1942 og 1950 um eldgosamyndanir á Mývatnssvæðinu og jarðhitann. Litprentað jarðfræðikort.
6. Ritgerðir Sigurðar Þórarinssonar um Laxárgljúfur og Laxárhraun (1951), um myndun Hverfjalls, í Náttúrufræðingnum (1952), um jarðfræði Mývatnssvæðisins í leiðsögubók jarðfræðingabingsins 1960. Með þessum ritgerðum lagði höfundurinn grundvöllinn að gossögu postglasíala tímans á Mývatnssvæðinu.
7. Ritgerðir Trausta Einarssonar í Náttúrufræðingnum 1948 og 1953 og Greinum 1965 um myndun öskugíganna Hverfjalls o.fl., um brotahreyfingar á Námafjallssvæðinu og um jarðfræði svæðisins milli Mývatns og Tjörness.
8. Ritgerð eftir Ólaf Jónsson í Náttúrufræðingnum (1946) um Kröflu og ýmis fróðleikur um Mývatnssvæðið í riti hans um Ódáðahraun (1946).
9. Rit eftir van Bemmelen & Rutten (1955) aðallega um móbergsfjöllin á svæðinu frá Öskju norður fyrir Þeistareyki. Kort, þverskurðir og fjöldi ljósmynda fylgja þessu riti.
10. Rit eftir H. Noll frá Köln (1967) um sprengigíga. Þar er fjallað um Víti og fleiri sprengigíga á Kröflu-svæðinu.
11. Ýmsar skýrslur og ritlingar um afmörkuð efni samdar af starfsmönnum Orkustofnunar (áður Rafmagnsveitna ríkis-ins).

Með þeirri rannsókn, sem nú er hafin, er stefnt að því að fá heildaryfirlit yfir jarðfræði Námafjalls- Kröflusvæðisins, og tengsl þess við gosbelti Norðurlands.

Við lýsingu á jarðmyndunum Námafjalls- Kröflusvæðisins verður fyrst og fremst gengið út frá skiptingu eftir aldri. Yfirborðsjarðfræði svæðisins spannar jarðsögulega stutt tímabil (e.t.v. um 100.000 ár). Má því ljóst vera, að slík skipting er að sumu leyti óeðlileg, ef henni verður fylgt út í æsar, þar sem hætta er á, að mörk séu dregin þar sem engin mörk ættu að vera samkvæmt uppbyggingu svæðisins. Sá kostur verður því valinn að taka einnig tillit til skiptingar eftir eldstöðvagerð og bergtegundum, þar sem því verður við komið. Við lestur þessa kafla vísast til jarðfræðikortanna md. 1.1 og 1.2 aftan við texta skýrslunnar.

## 1.2 Dyngjugos

Elztu sjáanleg jarðlög svæðisins eru þykk beltaskipt hraunlög, sem fyrir koma á norðaustur- og norðvesturparti svæðisins. Þau hafa ekki enn verið rannsökuð að ráði og verður þeirra því aðeins getið stuttlega.

Hraf nabjargadyngjan. Berggrunnur á svæðinu milli Gæsafjalla og Mývatns er úr beltaskiptum basalthraunum (grágrýti). Útlit þeirra (sbr. lýsingu van Bemmelen og Rutten 1955, bls. 50) bendir ótvírátt til dyngjuhrauna. Nyrztu opnur eru í Gæsadal, þar sem grágrýtið er yfir 60 m þykkt. Brekku-brúnirnar vestan við og sunnan við Hraf nabjörg sýna grágrýtið í allt að 100 m þykkt. Það kemur fram í Þorsteinsdal, Seljadal og viða á Grímsstaðaheiði. Grágrýtið finnst á svæðinu norðan við Hlíðarfjall og í Hvannstóðsgígnum. Á svæðinu milli Reykjahlíðar og Dalfjalls allt norður að Hlíðarfjalli sér hvergi í undirlag jökulvatnasetts frá lokum síðasta jökulskeiðs, en telja má líklegt, að grágrýtið sé einnig að finna þar undir þessari þykku setlagamyndun.

Svæði það, sem grágrýtið nær yfir, er mjög sundurrist af misgengjum, og upphafleg lögur grágrýtisflákans því mjög ógreinileg orðin. Hæðarlínur á svæðinu benda þó eindregið til dyngjulögunar og væri dyngjuhvírfillinn nærri Hraf nabjörgum. Á jarðfræðikortinu eru upptök þessara dyngjuhrauna merkt til bráðabirgða suðvestur frá Hraf nabjörgum og er þar mest farið eftir einkennum í landslagi. Hraunlög frá dyngjunni þekja alls rúmlega 100 km<sup>2</sup> svæði milli Hólasands og Reykjahlíðarheiðar. Þeir van Bemmelen og Rutten hafa komið að nokkuð annarri niðurstöðu um aldur og upptök þessara hrauna og afstöðu til nálægra myndana. Líta þeir svo á, að hraunin séu runnin frá Gæsafjöllum á íslausu landi eftir að stapinn varð til og segja grágrýtið leggjast upp að móberginu í Litlu Kröfli.

Jörundargrjótsdyngjan. Á svæðinu austan við Hágöng og Jörund og sunnan við Jörund og Sandabotnafjall allt suður að Búrfellshrauni er grágrýti ráðandi bergtegund. Opnur eru

fáar og grunnar á þessu svæði, nema vestan í Halaskógfjalli, þar koma í ljós beltaskipt, þunnlögótt basalthraunlög í allháum klettabeltum (misgengjum). Samskonar berg er undir þunnu jökulurðarlagi og jökulvatnaseti á Jörundargrjótum og Austaraselsheiði. Hraunlög þessi munu vera dyngjuhraun að uppruna. Hæðarlínur gefa dyngjulögun ótvírátt til kynna á svæði, sem nær í fullan hálfhring frá Dalfjalli austur og norður undir Eilífsvötn. Vestan megin er dyngjan mjög brotin og sigin niður og hafa þeir hlutar síðan kaffærzt í móbergi og hraunum. Hraunlög dyngjunnar ganga væntanlega undir Hágöng og Sandabotnafjall svo og Jörund, en ógerlegt er að segja, hversu langt norðaustur þau kunna að ná undir þessi móbergsfjöll. Hugsanlega geta sprengigígar (Víti) gefið einhverjar upplýsingar um þetta atriði. Dyngjuvirfillinn gæti hafa verið í Sandabotnum. Halaskógfjall er ofan á þessari dyngju og miklu yngra en hún. Þetta fjall er myndað í punnum jöкли, væntanlega undir lok síðasta jökluskeiðs. Verður um það fjallað síðar (sjá bls. 11).

A svæðinu milli Jörundar og Sandfells eru skörp jarðfræðileg skil í grágrýtinu. Kemur fram fjöldi linda við þessi skil. Setlög finnast þar, sem annars eru sjaldséð inni á milli dyngjuhraunanna og ummyndun af völdum jarðhita finnst við þau en nær ekki til bergsins ofan skilanna (e.t.v. ummyndað, aðflutt efni). Þessi skil þarfnaðar nánari rannsóknar, áður en skilið verður til fulls, hvað þau tákna. Jörundargrjóts-dyngjan er álika stór og Hrafnbjargadyngjan, en er í miklu meira mæli hulin yngri jarðmyndunum.

Frá síðasta jökluskeiði eru á svæðinu tveir meiriháttar stapar Gæsafjöll og Hágöng í norðaustur- og norðvesturhorni kortsins. Þeir eru báðir taldir hér vera frá síðasta jökluskeiði og liggja í norðurhalla dyngnanna, sem lýst var hér á undan, að sjálfsögðu ofan á þeim. Staparnir eru gerðir að langmestu leyti úr skálöguðum móbergsbreksíum, sem mynda sökkul undir beltaskiptum dyngjuhraunum efst. A Gæsafjöllum mynda hraunlögin vellagaða dyngju, sem er lítið rofin, en á Hágöngum eru hraunin ósamfelld og virðist gæta þar rofs

mun meira, auk þess sem stór misgengi liggja um norðurhluta fjallsins. Efst á Gæsafjöllum er mikill hringlaga gígur um 1 km í þvermál. A Hágöngum vottar einnig fyrir gíg á hábungu fjallsins austur af Graddabungu. Stærð þessa gígs, sem einnig er hringlaga laut í fjallið með ávölum brekkum umhverfis, er svipuð og gígsins í Gæsafjöllum. Um stapana verður ekki fjallað nánar hér, en vísað til rita van Bemmelens og Ruttens 1955 og Ólafs Jónssonar (Ódáðahraun, 2. bindi, bls. 124).

Dyngjurnar fjórar, sem hér hefur verið lýst, sýna athyglisvert samræmi í afstöðu sinni til sprungusveimsins, sem liggur um Námafjalls- Kröflusvæðið. Dyngjugosin hafa sem sé átt sér stað á jörðum sprungusveimsins, þ.e. á kömbunum, sem skilja hann frá Þeistareykja- og Fremrinámasveimunum. Tvær dyngjur norðan við takmörk kortssins, Þeistareykjabunga og Grjótháls, sýna nákvæmlega sömu afstöðu. Bergtegund dyngnanna er ólivínrikt basalt (ólivínþóleít).

### 1.3 Móbergsmýndanir frá síðasta jökulskeiði

Gosvirkni hefur verið sama eðlis á svæðinu, þegar það var jöklí hulið á síðasta jökulskeiði, og verið hefur á póstglasíala tímanum. Sprungugos, oft smávægileg, hafa orðið um miðbik sprungusveimsins og byggt upp móbergshryggi. Einstök smágos hafa hlaðið upp kringlótta móbergshrauka. Hæð móbergsfjallanna, jökulrof stapanna og skilin milli hrauna og skálagaðs móbergs í þeim eru nokkur mælikvarði á jökulþykktina á þessu svæði. Út frá því verður að gera ráð fyrir, að á síðasta jökulskeiði hafi jökkull náð upp í ca. 900 m hæð norður á móts við Hágöng og hækkað suður (sbr. Walker 1965).

Móbergsmýndanirnar eru aðallega á norðurhluta rannsóknar-svæðisins, þar sem jarðfræðileg rannsókn er enn ófullnægjandi. Þó er ljóst, að móbergsmýndanirnar skiptast samkvæmt gerð og legu í þrjá flokka, sem gerð verður stutt grein fyrir.

Námafjall - Dalfjall - Leirhnúkur mynda um það bil 15 km langan og 1 km breiðan móbergshrygg, sem rís mest um 150 m yfir umhverfi sitt. Hryggurinn er byggður upp úr bólstrabergi, sem helzt sést í misgengisbrúnum hæst í honum. Í hlíðunum ber mest á bólstrabreksíum og móbergstuffi, sem víða nær mikilli þykkt. Stefna hryggjarins er N 15° E eins og aðalsprungustefna svæðisins. Hann liggur í miðjum Námafjalls- Kröflu- sprungusveimnum og rétt vestan við miðju hryggsins er lægsta sigdæld sprungusveimsins. Bergtegundin er ólivínfátækt, smávegis dílótt (glomerophenocrysts) basalt.

Sennilega er hryggurinn myndaður í einu sprungugosi. Sé svo, hefur efnismagnið verið nokkuð mikið, eða samkvæmt áðurgreindri stærð hryggsins nálægt  $0,7 \text{ km}^3$  af móbergi og bólstrabergi, svarandi til um  $0,4 \text{ km}^3$  af hrauni. Hugsanlega eru móbergshæðirnar norður frá Leirhnúk (Hithóll o.fl.) framhald þessa hryggjar til norðurs.

Móbergshryggir á bogsprungusvæðinu norðaustur frá Hlíðarfjalli og Jörundi eru sýndir á jarðfræðikortinu, þótt eigi

hafi þeir verið rannsakaðir til neinnar fullnustu og séu sumpart eingöngu þekktir af loftmyndum. Efnið í þeim er móberg og bólstraberg, oft dílótt (t.d. hryggurinn norður úr Hlíðarfjalli). Hryggirnir eru litlir um sig, en skera sig þó greinilega úr í landslaginu. Hinir stærstu eru Langimelur-Víðidalshnúkur norðvestan við Hlíðarfjall og Graddabunga norðan við Kröflu. Lengd þeirra er rúmir 3 km. Loks er allmikill hryggur suðaustan við Hágöng áfastur þeim, en lægri. Á einum stað hefur fundizt gosgangur í tengslum við einn þessara hryggja (ljósmynd Ic). Líkur eru á, að fleiri slíkir eigi eftir að finnast, enda eru hryggirnir víða rofnir af gilskorningum niður í undirlagið. Stefna hryggjanna er ýmist NNE-SSW, N-S eða NNW-SSE og kemur sama stefna fram í misgengjum, súrum gosstöðvum og postglasíðum gossprungum á þessu svæði.

Það er álit höfundar, samanber kaflann um brotahreyfingar, að þessi óregla í stefnu eigi rætur að rekja til bogsprungukerfis, er tengt sé centraleldfjalli á Kröflusvæðinu. E.t.v. má einnig setja þessa óreglu í samband við tvö þversprungubelti, sem liggja þvert yfir sprungusveiminn um Hlíðarfjall og Jörund (sbr. kaflann um brotahreyfingar).

Móbergshraukar í nágrenni Kröflu skera sig nokkuð úr hvað lögun snertir frá hryggjunum, sem áður var lýst. Kringlóttur grunnflötur, hrauklögun og í einstöku tilfelli varðveittur gígur benda til, að þau séu öll hlaðin upp við gos úr einstökum gosopum, en ekki sprungum. Móbergshraukarnir eru á svæðinu milli bogsprungubeltanna tveggja, sem áður var lýst og öll austan Námafjalls-Dalfjalls-Leirhnúks-hryggjarins. Rannsókn þeirra er skammt á veg komín, og verður þeim því aðeins lýst í stórum dráttum.

Krafla er hæst þessara fjalla (827 m). Vestan í fjallinu er urmull sprengigíga, sem hafa fjarlægt stóran hluta þess og breytt hrauklöguninni þannig, að útlínur fjallsins eru hálfmánalaga. Krafla stendur á flötum móbergspalli, sem er gjörsamlega hulinn rusli frá sprengigígum nema austast, og er myndun þessarar undirstöðu harla óljós.

Sandabotnafjall er gert úr móbergi neðst, en grágrýtis-hraunum ofar. Upptök grágrýtisins og þar með efnisins í fjallinu öllu gætu verið í vel varðveittum gíg á hæðinni suðaustan við Hrafntinnuhrygg. Þetta þarfnaðst þó nánari athugunar. Halaskógafjall er sennilega yngst þessara myndana. Það hefur orðið til, er þunnur jökull, e.t.v. dauðís, lá yfir Kröflusvæðinu. Upptök gossins eru efst í Halaskógafjalli (543 m). Gosefnin hafa fyrst hrúgazt upp og myndað móbergs-hrauk, en runnið síðan undan halla til suðurs og austurs, eftir að skarð hafði opnatz suður úr jökuljaðrinum og gos-stöðvarnar sjálfar voru komnar á þurrt. Hliðstæðar myndanir eru þekktar frá Hellisheiði (Arstaðafjall og Skálafells-dyngja, K.Sæm. 1967) og Hestfjall í Grímsnesi er þannig myndað (G.Kjart. 1970). Halaskógafjall er ísnúið, þannig að jökull hefur gengið þar yfir síðar.

Sandfell syðst í Halaskógafjallsgrágrýtinu er móbergsfjall væntanlega myndað í sérstöku smágosi.

Móbergsfjall austan við Lúdentsskál (aðallega úr bólstra-bergi) og tvö lítil móbergsfell á bakka Mývatns sunnan við Reykjahlíð (gerð úr lausum smábólstrum með glerhúð í móbergs-matrixu) eru einu móbergsmyndanirnar á suðurhluta svæðisins aðrar en Námafjallshryggurinn.

#### 1.4 Ísúrar og súrar gosmyndanir

A Námafjalls- Kröflusvæðinu eru ísúrar og súrar bergtegundir útbreiddar. Bergfræðilega spanna þær diffunarröðina frá basaltandesíti með kísilsýruinnihaldi milli 50 og 60%, yfir íslandít ( $\text{SiO}_2 = 60\text{-}70\%$ ) upp í rhýólít ( $\text{SiO}_2 > 70\%$ ). Diffraða bergið finnst í Lúdentsröðinni og í sambandi við bogsprungusveiminn á norðurhluta svæðisins. Tímalega séð hefur súr gosvirkni átt sér stað fyrir síðasta jökulskeið, á jökulskeiðinu og á póstglasíala tímanum. Stutt lýsing verður gefin á súru gosvirkninni í venjulegri tímaröð, enda er um morphólógískt og textúrelt ólíkar myndanir að ræða.

#### Ignimbrít frá síðasta hlýskeiði

A svæðinu norðan við Hlíðarfjall finnst ignimbrít á nokkrum stöðum ofan á grágrýtinu frá Hraf nabjargadýngjunni. Þessir staðir eru: hæðarkambur rétt norðan við Hlíðarfjall, mis-gengisbrún sunnan við Krókóttuvötn, efst á Hvannstóðshöfða og neðst í Litlu Kröflu norðan við Gæsaladal. Síðastnefndi staðurinn hefur ekki verið skoðaður, en rhýólít, sem van Bemmelen og Rutten (1955, bls.51) nefna þar, hlýtur að vera úr þessu sama lagi. Ignimbrítið er þykkt í suðvestustu opnunni norðan við Hlíðarfjall um 15 m. Sunnan við Krókóttuvötn er það 4-5 m á þykkt og í Hvannstóðshöfða er þykktin heldur minni. Alls staðar er eytt ofan af ignimbrítlaginu og gæti upphafleg þykkt þess hafa verið mun meiri.

A ljósmyndum Ia, b, c má sjá, hvernig ignimbrítið lítur út í opnunni sunnan við Krókóttuvötn. Ofan á dyngjubasaltinu eru 35 cm af lausu ósambræddu ignimbríti, neðst með ósamföllnum vikur og gjallstykkjum, sem hefur runnið saman í biksteinsklessur ofar. Frá 35 cm og upp úr er ignimbrítið vel sambrætt, morandi af útflöttum, samföllnum vikurstykkjum og hnyðlingum, bæði basaltmolum og gabbróhnyðlingum.

Um upptök ignimbrítsins er ekki vitað, en þeirra hlýtur að vera að leita í þeim hluta centraleldfjallsins, sem er vestur frá Kröflu. E.t.v. verður hægt að gefa ákveðnari svör um þetta atriði, þegar útbreiðsla ignimbrítsins, þykkt,

grófleiki og sambræðslustig hafa verið könnuð nánar. Loftborið efni hefur enn ekki fundizt undir ignimbrítlaginu. Þess má geta, að tilvist ignimbrítsins styður tilgátuna um öskjumyndun á Kröflusvæðinu, þar sem ignimbrít finnst óvíða, nema í tengslum við öskjur. Ignimbrítíð gæti þá hafa myndazt í sambandi við síðasta meiriháttar öskjusig á þessu svæði, sem eftir því hefur gerzt fyrir síðasta jökulskeið. Um þetta vísast til kaflans um brotahreyfingar svæðisins.

### Hraungúlar frá síðasta jökulskeiði

Hlíðarfjall, Jörundur, Hrafntinnuhryggur og smáhryggir vestan við Hrafntinnuhrygg eru allt hraungúlar myndaðir við gos í jöкли. Bergtegundin í öllum þessum fjöllum er rhýólít. Berggerðin (textúrinn) er aðallega þrenns konar: gráleitt smáblöðrótt rhýólít, oft nokkuð stuðlað og straumflögótt, myndar kjarnann í Hlíðarfjalli og Jörundi. Ofantil og utan á því er gráleitur, smáblöðróttur glersalli (perlusteinna) og stórir eitlar úr stuðluðum biksteini (hrafntinnu) (ljós. IIIa), sem svara til bólstrabergs í basaltísku móbergi. Loks finnst í Hrafntinnuhrygg og smáhryggjunum þar hjá rhýólít, sem sýnir öll millistig á milli vikurs og hrafntinnu. Hrafntinna myndar nokkurn veginn lóðréttan gang eða þunnar æðar eftir Hrafntinnuhrygg endilöngum og einstöku eitla í ljósum perlusteinssalla. Glersallinn og biksteinseitlarnir eru einkennandi fyrir rhýólít, sem storknað hefur á kafi í vatni (sbr. hliðstæðar myndanir í Húsafellseldfjallinu og á Torfajökulssvæðinu (Bláhnúkur)).

Fjöllin hafa fengið lögum sína fyrst og fremst vegna aðhalðs jökulsins, sem hefur hindrað útbreiðslu til hliðanna. Gosefnin hafa hrúgazt upp í aflanga gúla yfir gossprungunum, sem hafa haft sömu stefnu og aðrar sprungur í næsta nágrenni.

Ísúr póstglasíð finnast í Heiðarsporði og sunnan við Hvannstóð á norðvesturhluta rannsóknarsvæðisins. Öll eru hraunin frá fyrri hluta póstglasíala tímans. Hraunið sunnan við Hvannstóð er um  $2 \text{ km}^2$  að flatarmáli. Þykkt þess er mest syðst, þar sem hraunbrúnirnar eru 15-20 m háar. Norðurjaðar

hraunsins er óljós, og þar er hraunið mjög kaffært í yngri myndunum. Þrír rauðir gjallgígar sunnarlega í hrauninu sýna hvar upptök hraunsins eru. Fleiri upptakagígar munu vera norðan við Krókóttuvötn, en þeir hafa enn ekki verið athugaðir. Syðstu og hæstu hlutar hraunsins eru bezt varðveittir og gefa ótvírætt til kynna póstglasíalan aldur. Norðar hafa bykk, laus jarðlög lagzt yfir hraunið, aðallega rusl frá sprengigígunum í Hvannstóði og Krókóttuvötnum og að líkindum tveim sprengigígum vestast í hrauninu sjálfu. Aldur hrauns þessa hefur ekki verið ákvarðaður nákvæmlega, en afstaðan til sprengigíganna, sem eru a.m.k. eldri en H<sub>3</sub>, bendir til, að hraunið sé frá fyrri hluta póstglasíala tímans.

Heiðarsporður er óregluleg byrping af gígum og hraunspýjum, sem ná sunnan frá Seljahjallagili (fyrir sunnan kortið) norður á móts við Námaskarð. Í Heiðarsporði má greina nokkra aldurslega og bergfræðilega mismunandi gosfasa, og eru ísúru hraunin einn þeirra. Þessi hraun eru 9-lo talsins og um 5 km á milli þess nyrzta og þess syðsta. Þau eru lítil um sig, þau minnstu jafnvel innan við loo m<sup>2</sup>. Hraunbrúnirnar eru lágar en greinilegar á basískari hraununum og allt að tugir metra á hæð á Hraunbunguhraununum, sem eru súrari. Smæstu hraunin líta út eins og stórar kúadellur með lágum sammiðja mágum á yfirborði, en í þeim stærri eru yfirleitt gígar eða gjallhrúgur við upptökin.

Í mörkinni þekkist basaltandesítio á tinnugljáandi grjót-mulningi á yfirborðskraganum, klingjandi hljómi við hamarslátt og dekkra brotsári en títt er í basaltinu umhverfis. Spindillaga hraunkúlur í sumum gjallhrúgunum benda einnig til, að bergið sé ísúrt. Íslandtíðið, sem myndar Hraunbungu, er hins vegar straumflögótt, ljósgrátt í fersku brotsári og yfirborð hraunanna einkennist af hrafntinnukendum grjót-mágum, sem liggja í rennslisstefnu.

Ísúra hraunið sunnan við Hvannstóð stendur augljóslega í sambandi við bogsprungusveiminn á Kröflusvæðinu. Ísúru hraunin í Heiðarsporði eru á svæði þar sem basaltsprungugos og NNA-SSW-brotalínur eru ríkjandi, en nálægð við háhita-

svæðið í Námafjalli bendir til sambands þar á milli.

Granófýr-hnyðlingar finnast í gjóskudreifinni frá Víti, sem upp kom í gosinu 1724 (Noll 1967). Ekki er vitað með vissu, hvort slíkir hnyðlingar hafa komið upp úr fleiri sprengigígum barna í grennd, þó telur Stefán Arnórsson líklegt, að sprengigígur ofarlega á vesturhlíð Kröflu hafi komið upp með granófýr-hnyðlinga. Granófýrið sannar tilvist djúpbergseitla í rótum Kröflusvæðisins eins og raunar líka gabbróhnyðlingar í ignimbrítlaginu.

Í Vítisgosinu kom upp lítils háttar af súrum vikri blönduðum basaltgleri. Þessu gosi verður nánar lýst í næsta kafla, sem fjallar um sprengigíga.

### 1.5 Sprengigígar

A Kröflusvæðinu eru þekktir milli 40 og 50 sprengigígar, sem eru einkum útbreiddir á svæðinu vestan við Kröflu og í kringum íslandshraunið norður frá Hlíðarfjalli á sömu slóðum er jarðhiti útbreiddur eða jarðhitaummyndun. Engir sprengigígar finnast á Námafjallssvæðinu. Rannsókn sprengigígganna er enn tæpast hafin og eru margir þeirra einungis þekktir af loftmyndum. Yfirleitt skilja sprengigígarnir þó eftir sig landslagsform, sem auðþekkt er á loftmyndum. Stærð sprengigígganna er mjög misjöfn, allt frá 10-20 m til u.p.b. 500 m í þvermál, en oftast er þvermál þeirra um 100-300 m. Yfirleitt eru sprengigígarnir <sup>+</sup> kringlóttir í lögum, en þó oft í langir með lengdarás í ríkjandi sprungustefnu. Oft finnast þeir nokkrir saman í röð og grípa þá gjarna hver inn í annan. Í slíkum tilfellum eru einn eða tveir gígar gjarna áberandi stærstir.

Elztu sprengigígarnir, sem munu vera myndaðir á síðasta jökulskeiði, eru í móberginu nyrzt í Dalfjalli nokkuð útaf fyrir sig suðvestur frá Kröflugígunum (sbr. kort md. 1.2). Gjóska frá þessum gígum er ekki finnanleg. Gígtrektirnar og umhverfið er allt úr móbergi með þunnu veðrunar- og jarðvegslagi. Gígar þessir líkjast mjög ýmsum fornum sprengigígum á Krísvíkursvæðinu (Arnarvatn) og Hengilssvæðinu (Katla-tjarnir). Virkur jarðhiti er ekki á útbreiðslusvæði þeirra, en ummyndun sést þar á nokkrum stöðum.

Póstglasíölu sprengigígarnir einkennast af gjóskunni, sem liggar eins og slæða yfir nánasta umhverfi þeirra. Í henni gætir mjög leirs og bergmylsnu, sem er græn eftir ummyndun af völdum jarðhita. Er þetta áberandi við Krókóttuvötn og Hvannstóð. Sprengigígarnir á því svæði eru eldri en öskulagið  $H_3$  og virkur jarðhiti er þar ekki.

Yngstu sprengigígarnir á svæðinu eru vestan undir Kröflu þar sem virkur jarðhiti er jafnframt útbreiddur. Vesturhlíð Kröflu sjálfrar, sem upphaflega hefur verið keilulaga, er nánast eydd burtu af völdum sprengigíga, sem myndazt hafa

utan í henni (ljósmynd IIc). Víti er yngsti sprengigígurinn á þessum slóðum og hefur H. Noll (1967) rannsakað ummerki og sögulegar heimildir um það gos. Gangur gossins skal stuttlega rakinn skv. niðurstöðum Nolls, enda hefur þetta gos að líkindum þróazt á svipaðan hátt og ýmis önnur sprengigos á Kröflusvæðinu.

- 1) Gas brýzt fyrst upp um sprungur (snarpir jarðskjálftar fóru á undan gosinu) og 6 smágígar norðan og suðaustan við Víti urðu til. Fljótlega færist gasútstreymið yfir á einn stað á sprungunni (Víti). Í þessari upphafsgoshrinu hefur einungis verið um að ræða sprengingar frá yfirlitaðri vatnsgufu (úr jarðhitasvæðinu) og gasi frá kviku án hlutdeildar kvíkunnar sjálfrar.
- 2) Basaltgjall og súr vikur fer að komast upp ásamt granófýr-hnyðlingum auk efnis úr gosrásarveggjum. Hlutdeild gjallsins eykst smám saman og hraunstrókar verða virkir. Tvær slíkar hrinur ganga yfir.
- 3) Hlutdeild gjósku af stofni kvíkunnar (juvenile Pyroklastika) hættir næstum alveg, en mjög áköf gasútrás byrjar, sem víkkar gosrásina og stækkar gíginn mjög. Granófýrhnyðlingar halda áfram að koma upp. Myndun Vítis hefur aðallega orðið í þessari síðustu kraftmiklu hrinu.

Gjóskuna frá gosinu bar SSA, og alls mun gosið skv. rituðum heimildum hafa staðið tæpast meira en part úr degi. Víti sjálft hefur fljótlega fyllzt af vatni, en hveragos hafa haldizt lengi í smágígunum suðvestan við Víti, og eru þar virkir gufuhverir enn í dag. Á kortinu (md. 1.1) eru sýndar 5 m og 1 m þykktarlinur gjóskunnar frá Vítisgosinu. Sprengigosið telur H. Noll stafa af áköfu gasútstreymi frá kviku, en einnig komi til freatísk áhrif vegna legu gosstaðarins á virku háhitasvæði.

Væntanlega hafa ýmis önnur sprengigos á Kröflusvæðinu hegðað sér líkt og Vítisgosið. Noll (1967, bls. 41) telur, að

sprengigígur sunnan við og áfastur Víti gæti hafa myndazt á 14. öld. Gjóskan, sem sá gígur kastaði upp, er 2 m þykk við norðurjaðar gígsins en þynnist ört norður. Hún er gerð úr grænum ummynduðum grjótmulningi úr gosrásinni og auk þess gjalli og vikri. Í gjóskunni frá Hvannstöðsgínum er mikið af gjalli og vikri, og virðist það gos skv. niðurstöðum Nolls (1967, bls. 47-50) hafa verið mjög líkt Vítisgosinu.

Hreinir gufusprengigígar (sbr. gíginn, sem myndaðist við holu 5 haustið 1968) eru sennilega einnig til á Kröflusvæðinu. Lýsing Nolls (1967, bls. 46) á sprengigíg (220 m x 150 m) vestan undir Hrafntinnuhrygg, sem vantar alveg gjallhlutann í gjóskuna, gæti átt við slíkt gos. Menjar eru um hveravirkni í þessum gíg eftir að gosinu lauk, en um aldurinn er ekki vitað nánar.

Skýring Nolls á sprengigosinu í Víti mun vera rétt svo langt sem hún nær, en hún er þó engan veginn fullnægjandi. Hafa verður í huga, að í rauninni var gosjó blandað og nokkuð kom upp af súrum vikri, sem í þunnsneið sést vera gegnsósa af basaltgleri.

Höfundur hefur með fulltingi Stefáns Arnórssonar látið sér detta í hug aðra skýringu, sem rétt er að komi fram. Þessi skýring byggist á tilgátu um heitt innskot undir Vítisvæðinu, sem granófyrhnyðlingarnir úr Víti, háhitasvæðið og lega þess á bogsprungukerfinu (ringdyke?) gefa visbendingu um. Gert er ráð fyrir, að gosið hafi byrjað sem n.k. blandgos þar sem basaltmagma hafi brotizt inn í innskotið (kvikuþró) (Walker 1965).

- 1) Basaltsprungugos kemst langleiðina til yfirborðs, en stöðvast í hálfstorknaðri kvikuþró á fárra km dýpi undir Vítissvæðinu. Mestur hluti basaltmagmans safnast í þró þessa, en aðeins lítill hluti nær upp til yfirborðs.

- 2) Rás opnast fyrir innibyrgt gas úr kvikuþrónni til yfirborðsins, svo af verður öflug gassprenging, sem grefur út fyrstu sprengigígana, en basaltgjall og súr vikur fylgir fljóttlega í kjölfarið.
- 3) Eftir að rás (n.k. borhola) er komin í gegnum jarðhitasvæðið, streymir að henni vatn og gufa úr nálægum jarðlögum og verður af feiknamikið gufugos, sem hrifur með sér mikið efni úr gígrásarveggjunum (ef samlíkingunni við borholuna þer haldið, má líkja þessu við að holan sé fullopin og ófóðraðir veggir hennar hryndi inn).

Ahrif svo snöggrar úttæmingar af heitavatnsforða jarðhitasvæðisins hafa væntanlega orðið þau, að vatnsborð hefur lækkað mjög og svæðið kólnað niður um stundarsakir.

### 1.6 Basaltsprungugos á póstglasíal tíma

Póstglasíöl sprungugos á Námafjalls- Kröflusvæðinu koma fyrir á tveim svæðum innan takmarka jarðfræðikortstsins. Annars végur á mjóu belti í meginSigdal Námafjalls-Kröflu sprungusveimsins, hins végur á bogsprungusvæðinu norðan og sunnan við Kröflu.

Sigurður Þórarinsson (1960) hefur sýnt, að gosin á Námafjallssvæðinu skipa sér aldurslega í tvær goshrinur. Sú fyrri, sem hann kalla "Lúdentsskeið", er álíka gömul eða eldri en H<sub>5</sub>. Sú síðari, "Hverfjallsskeið", er yngri en H<sub>3</sub>. Þessari skiptingu er haldið hér, enda þótt óvist sé, hvort hún gildi fyrir basaltgos á Kröflusvæðinu. H<sub>5</sub> og H<sub>3</sub> eru öskulög frá Heklu, sem eru útbreidd á Norðausturlandi, og gera mögulegt ásamt nokkrum fleiri öskulögum að ákvarða aldur hrauna og eldstöðva á Mývatnssvæðinu. Með rannsókn á öskulögum í jarðvegssniðum fann Sigurður Þórarinsson þegar fyrir 10-20 árum aðalatriðin í gossögu Mývatnssvæðisins. Sú viðbót, sem hér kemur, staðfestir niðurstöður hans að miklu leyti og eykur nokkru við. Md. 1.4 sýnir tímasetningu póstglasíal gosa.

Lúdentsskeið. Hraun frá Lúdentsskeiði finnast í Heiðarsporði og utan í Námafjalli allt norður á móts við Sandabotnafjall. Þau mynda 8 km langa hálsaræmu milli Laxárhrauns yngra og Búrfellshrauns og ná norðan frá þjóðvegi suður að móbergsfjöllunum, sem ganga norður úr Bláfjalli og eru um 12 km<sup>2</sup> að flatarmáli. Enn hefur Heiðarsporður ekki verið fullrannsakaður. Það verk er tafsamt, þar sem hann er í sannleika ruglingslegt samsafn af gígum og smáhraunum, og erfitt eða ógerlegt er að komast í jarðvegssnið undir þeim eða á milli þeirra. Hraunin í Heiðarsporði eru nokkuð mismunandi að gerð og samsetningu, og virðist sennilegast, að þau hafi myndazt í þeirri röð, sem að neðan greinir.

1. Elzt er helluhraun án díla nyrzt í Heiðarsporði, sem runnið hefur frá þremur samsíða gossprungum, sem hver er rúmlega 1 km á lengd. Lúdent gæti verið frá sama tíma eða enn eldri, enda öskugos, sem krefst stöðuvatns

á svæðinu um það leyti sem gígurinn myndaðist. Hugsan-lega er gígurinn myndaður í jökullóni í lok síðasta jökluskeiðs, sbr. kaflann um jökulvatnaset.

2. Næstelztir virðast vera gjallgígar úr andesíti (Heiðarsporðshólar), sem standa upp úr hraununum norðan Hraunbungu. Fallegar spindillaga bombur finnast í gjallhólum þessum, en hraun, ef til eru, munu vera kaffærð í yngri myndunum.
3. Yngri en 1 og 2 eru dílótt basalthraun, sem eru útbreidd í Heiðarsporði. Þetta eru apalhraun og eru áberandi hrauntraðir í sumum þeirra, þ.á.m. í nyrzta hrauninu norður við þjóðveg. Gjallhóll er við upptökin og liggur vegurinn utan í hólnum. Öskulagasnið var mælt í jarðvegstorfu norðaustan í hólnum (md. 1.5 nr. 15). Þar fundust ofan á gjallinu Heklulögin  $H_3$ ,  $H_4$  og  $H_5$ . Frá  $H_5$  voru 25 cm af mold niður á gjallið, en 15 cm voru á milli  $H_5$  og  $H_4$  í sniðinu. Nú er aldur  $H_5$  6610 ár og  $H_4$  4030 ár. Gæti því aldur gígsins verið nærrí 8000 ár. Fjögur önnur snið, sem grafin voru í jarðveg ofan á hraunum eða gjalli í Heiðarsporði, sýndu svipuð hlutföll í jarðvegssþykkt upp í öskulögin  $H_5$  og  $H_4$ , þannig að Lúdent og önnur hraun í Heiðarsporði hljóta að vera mun eldri en öskulagið  $H_5$ .
4. Þunn helluhraun úr dílasnauðu basalti finnast í Heiðarsporði innan um dílóttu ólivínhraunin (3), en liggja greinilega ofan á þeim, þannig að þau eru yngri.
5. Yngst eru físnýrðhraun, alls um lo, sem ná frá nyrðri Heiðarsporðshól suður fyrir Lúdent. Gjallhólar eru ekki við upptök þeirra nema Hraunbungu, sem er jafnframt  $SiO_2$ -ríkast. Um þessi hraun vísast til kaflans um súrt berg.

Enn er ekkert vitað um, hversu langur tími hefur liðið milli hinna einstöku gosfasa, sem hér hafa verið greindir. Jarðvegssþykktin upp að  $H_5$  er svipuð þar sem grafið hefur verið

niður á mismunandi hraun, nema hvað hún er meiri syðst, næst Lúdent, vegna þykks öskukennds jarðvegs, sennilega áfoks þaðan nęöst í jarðvegssniðunum.

Utan í Námafjalli hefur gosið a.m.k. prisvar á Lúdents-skeiði. Útbreiðslu hrauna og að nokkru leyti tímaröð hefur tekizt að rekja, þar sem hraunin eru nokkuð ólík að gerð og snertast, auk þess sem jarðvegssnið má víða finna á þeim og í einstöku tilfellum einnig á milli þeirra.

1. Elzt er Rauðaborg, sem Sigurður Þórarinsson (1952) nefnir svo, einstakur áberandi gígur um 1 km norður frá Hverfjalli. Apalhraun frá þessum gíg þekur um  $1/4 \text{ km}^2$  vestan gígsins og liggja um það miklar hrauntraðir. Hraunið er með lítið eitt af feldspatdílum áþekkt neðra hrauninu í Grjótagjá, sem líklega er úr Rauðuborg.
2. Næst að aldri er dílótt helluhraun, sem runnið hefur frá gígum vestan í Námafjalli suðaustan við Jarðbaðshóla. Kvísl af hrauninu hefur runnið suður austan við Rauðuborg og liggar ofan á hrauninu þaðan. Önnur kvísl hefur runnið vestur og sést í Varmholti og sunnan og austan við Ytri Höfða (Stórugjá), í Slúttnesi og loks í Grjótagjármisgenginu um 400 m norður frá böðunum. Hrauntröð sést í þessu hrauni vestan við Stórugjá, og hraunhellir er greinilegur í flákanum í kringum Varmholt. Varmholt sjálft er til orðið þar sem hraun gubbaðist upp úr hraunhellinum líkt og víða má sjá í Hallmundarhrauni. Frá sama tíma eru líklega gossprungur og dílótt hraun í Strandarholti.
3. Yngsta hraunið af þessum þrem er komið frá Gráborgum (nafn frá Sigurði Þórarinssyni 1952). Samtímis hefur sennilega gosið í Námafjalli norður af Svörtuborgum og austan í Dalfjalli. Hraun frá Gráborgum hefur runnið út yfir bæði fyrr töldu hraunin og þekur um  $1 \text{ km}^2$  vestan Gráborga, auk efra hraunsins í Grjótagjá, sem mun vera komið þaðan. Hraun frá gossprungunni á Náma-

fjalli er mjög lítið, tæpast nema kleprar í kringum sjálfa gígana. Sama er að segja um gossprungurnar á Dalfjalli, þó liggur um  $1/2 \text{ km}^2$  stór hraunsvunta austan í hlíðinni niður frá syðstu gossprungunni á Dalfjalli.

Þessi elztu hraun og gígar eru sundurrist af misgengjum, hin stærstu um 20 m á hæð. Aldurshlutföll hraunanna sjást, ef athuguð eru jarðvegssniðin (sjá mynd 1.5, nr. 6, 8 og 9), sbr. einnig Sigurð Þórarinson (1960). Hraunin eru öll eldri en  $H_5$ , (ljósm. IIIc), sennilega álika gömul og Heiðarsporðshraunin. Jarðvegsmýndun á milli hraunanna í Grjótagjársniðinu vitnar um nokkurn aldursmun.

Þar sem Grjótagjármisgengið liggur upp í hæðirnar vestan við Hrossadal er gossprunga með gjallhólum um 1,5 km á lengd, en sundurslitin og hlíðruð. Öskulagasnið, sem mælt var utan í einum gígnum, er sýnt á md. 1.5 nr. 7. Sést af því, að gosið er af líkum aldri og þau, sem fyrr voru nefnd, en bein tengsl vantar við þau. Hraun frá þessari gossprungu er mjög lítið. Á kortinu (md. 1.1) er hraun þetta nefnt "Ruslhauga-hraun" til minningar um ruslhaugana sálugu, sem Mývetningar og Kísiliðjan komu sér þar upp um tíma. Þeir eru nú ei nema svipur hjá sjón frá því sem áður var, er þeir fóstruðu fjölbreytt dýralíf og kjarrið í hrauninu umhverfis og í Hrossadal stóð laufgað allt árið með plastdræsum og pappírssneplum.

Hraun frá Lúdentsskeiði á Kröflusvæðinu eru enn að mestu órannsökuð, og verður þeirra ekki getið hér.

Hverfjallsskeiðið. Hlé virðist hafa verið á gosum í Mývatnssveit í nokkrar árbúsundir (5000 ár?), og á þeim tíma fóllu Heklulögin  $H_5$  og  $H_4$  og moldarjarðvegur breiðist yfir eldri hraunin. Hraun frá Hverfjallsskeiði á Námafjalls-svæðinu eru a.m.k. 5. Verður þeim lýst í stórum dráttum.

1. Elzt er hraunspýja, sem komið hefur suður Eldárrásina og runnið út úr henni til austurs og niður í Hrossadal. Um upptök þessa hrauns er ekkert vitað enn og það er einungis þekkt í nokkrum litlum hraunflákum,

sem gægjast undan yngri hraunum vestan megin í Hrossadal. Í jarðvegssniði, sem grafið var á þessu hrauni, fannst öskulagið  $H_3$  og milli þess og hraunsins voru 12 cm (md 1,3, nr. 12) af mold. Öskulagið  $H_4$  fannst ekki. Hraunið gæti verið milli 3000 og 4000 ára (ljósm. IIIa).

2. Hverfjall, Jarðbaðshólar og eldri Hrossadalsgígarnir munu allt vera samtímagos. Má marka það af afstöðu Hverfjallsöskunnar og  $H_3$  til hraunanna og eldstöðvanna (md. 1,5, 10,8,6). Sigurður Þórarinsson hefur áætlað aldur Hverfjalls um 2500 ár, þar eð einungis mjög þunnt moldarlag skilur Hverfjallsöskuna frá  $H_3$ .

Gos þetta hefur byrjað í Hverfjalli syðst á sprungunni, sem er alls um  $7\frac{1}{2}$  km á lengd milli syðsta og nyrzta gosops. Þegar þarna gaus hefur stöðuvatn sennilega náð þangað sem Hverfjall er nú og valdið freatísku sprengigosi. Stöðuvatn hrekkur að vísu skammt í þessu sambandi og hlýtur vatn að hafa átt greiða leið að gosrásinni annars staðar en yfir gígriemann eftir að hann hafði hlaðið upp, sennilega í gegnum lek jarðlög í undirlagi gígsins. Öskuna hefur borið til norðausturs, og eru sýndar á kortinu, l. md., jafnþykktarlinur öskugeirans. Þar sem askan er þykkt, er mjög erfitt að áætla upp-haflega þykkt hennar, vegna þess hve hún er eydd af völdum vindrofs.

Hverfjallsaskan liggar alls staðar án nokkurs millilags undir Jarðbaðshólahrauninu eða gjalli úr því, þannig að mjög fljótlega eftir öskugosið hefur hraun komið upp í Jarðbaðshólum og í hinum nyrðri gossprungum í Hrossadal. Jarðbaðshólahraunið hefur runnið vestur í Mývatn í tveimur lotum. Eftir fyrstu lotuna, sem enn er varðveitt í helluhrauni sunnan við Reykjahlíð og í hraunmúgunum hjá Vogum virðist hraunið hafa stöðvazt við Grjótagjármisengið og hrúgazt upp og myndað þar allmiklar gjallhrúgur, e.t.v. e.k. gervigígamyndun (líkt og Dimmuborgir). Pessi hraunstífla hefur síðan

brostið og hraunið runnið fram úr trektlaga hrauntröð. Stór gjall- og klepraflykki hafa flotið mæð hrauninu og finnast nú á jöðrum hrauntrektarinnar næst Grjótagjá (td. við veginn frá Grjótagjá niður í Voga). Nokkuð greinilegar hrauntraðir liggja frá Jarðbaðshólum vestur að hrauntrektinni vestan Grjótagjármisgengisins og þessi síðari hraunlota er yfirleitt apalhraun. Þegar uppstíflaða hraunið fékk framrás, hefur helluhraunið ekki verið storknað og hefur það ekizt upp í bogmyndaða múga hjá Vogum og austan við Stórugjá, þar sem uppbrotið helluhraunið minnir á hraunkant og er reyndar teiknað svo í ritgerð Sigurðar Þórarinssonar, Laxárgljúfur og Laxárhraun (1951).

Innst í Hrossadal er stutt gígaröð frá þessu sama gosi (sbr. md. 1.5 nr. 14). Hraun þaðan hefur runnið vestur og suður ofan í Bjarnarflag stutt út á Jarðbaðshóla-hraunið. Alls þekur það rúmlega 1 km<sup>2</sup> svæði. Loks eru um 700 m norðar smá gígahrúrgöld frá sama tíma (sbr. öskulög), og hefur runnið þaðan örstutt hraunlæna ofan í djúpt niðurfall þar hjá.

Hverfjalls- og Jarðbaðshólagosið hefur komið á slænum tíma veðurfarslega séð, þ.e. í byrjun járnaldar, er kuldaskeið gekk í garð. Jarðvegssniðin á Námafjalls-svæðinu breyta mjög um gerð ofan við Hverfjallsöskuna, þau verða miklu sandbornari og jarðvegsþykknunin greinilega miklu hraðari en áður var. Bendir þetta til, að sandfok og uppblástur hafi fylgt í kjölfar gossins, sem sennilega hefur þó aðeins gætt í næsta nágrenni við gjóskugeirann. Um sandfok eftir Hverfjallsgosið vitnar áfokin Hverfjallsaska utan í Jarðbaðshólum og í Jarðbaðshólahrauninu (md. 1.5, nr. 10). Því er rétt að skjóta hér inn, að ýmsar af myndunum þeim, sem Trausti Einarsson lýsir í greinum sínum um Hverfjall, eru einmitt úr áfoki úr hreinni Hverfjallsösku (ljósmynd IIIb), aðrar eru úr "base surges", sem greinilega sjást merki eftir í óhreyfðum tuffstöbbum, t.d. sunnan við Rauðuborg (ljósm. IIb).

3. Laxárhraun yngra hefur Sigurður Þórarinsson rannsakað af mikilli kostgæfni, og verður hér engu bætt við niðurstöður hans en vísað til rita hans, sem nefnd eru í inngangi. Laxárhraunið yngra er runnið frá rúmlega 10 km langri gígaröð, Lúdentsborgum og Þrengslaborgum fyrir nálega 2000 árum. Hraunið, sem er um 170 km<sup>2</sup> að stærð, hefur runnið vestur yfir Mývatn, nema Ytri Flóa, og myndað gervigígana frægu og síðan niður Laxárdal og ofan í Aðaldal. Dimmuborgir eru e.k. gervigígsmyndun, sem fullnægjandi skýring hefur þó ekki fengizt á. Það er athyglisvert, að langstærsti hluti Laxárhrauns yngra hefur komið upp á suðurhluta gossprungunnar. Nyrztu 4 km sprungunnar liggja á milli Námafjalls og Heiðarsporðs. Þar er gossprungan slitrótt og hraunið, sem þaðan er runnið, einungis smáspýja líkt og önnur hraun á Námafjallssvæðinu.
4. Svörtuborgir eru 500 m löng gígaröð vestan í Námafjalli. Nokkru austar og sunnar er önnur gígaröð h.u.b. helmingi lengri, sennilega samtíma. Frá þessum gígum hafa runnið apalhrauntaumar vestur og suður og umlykja næstum Hverfjall. Hraunin eru yngri en 2000 ára, þar sem þau hafa runnið út yfir Laxárhraun yngra. Frá sama tíma er líklega slitrótt gígaröð austan í Dalfjalli á móts við Sandabotnafjall og Halaskógfjall. Þaðan hafa runnið hraun suður dal þann, er Dalfjall dregur væntanlega nafn af, allt niður að þjóðvegi og út á Búrfellshraun. Jarðvegssnið, sem grafin voru á þessu hrauni benda til (md.1.5, nr. 18), að hraunið sé eldra en öskulag, sem Sigurður Þórarinsson hefur rakið á þessu svæði og kallað þ, en hann telur það vera frá því skömmu fyrir landnám. Svörtuborgagosin hafa því orðið einhvern tíma á tímabilinu fyrir 2000-1200 árum. Vegalengdin á milli syðstu og nyrztu gíganna í Svörtuborgagosunum er rúmir 10 km. Alls þekja hraunin um 8 km<sup>2</sup> lands.
5. Mývatnseldahraun eru alls um 50 km<sup>2</sup> að stærð. Stærst þeirra er s.k. Leirhnúkshraun, sem komið hefur úr gossprungu 11 km langri en slitróttri, sem nær norðan frá

Eðhólum suður á móts við Syðri Bjarghól. Gígar í Bjarnarflagi og í Hrossadal hafa framleitt tvö smáhraun, sem eru bæði saman um 1 km<sup>2</sup> að stærð. Að meðtoldum þessum smáspýjum verður lengd gossprungunnar allrar um 18 km.

Upphaf Mývatnselda varð með sprengigosinu í Víti 17. maí 1724, sem áður var lýst. Í janúar 1725 komu upp miklir gufu- og leirhverir í Leirhnúk og héldust virkir síðan. Á sama tíma er getið um, að nýir hverir hafi komið upp í Bjarnarflagi og sprungur og gjár myndazt á því svæði og allt suður í Bláfjall. Ljóst er, að í þessari lotu hafa orðið brotahreyfingar á því svæði, sem síðar gaus á og hverir komið upp, þar sem sprungurnar lágu yfir virk jarðhitasvæði, en hraun ekki runnið. Um hraungos er fyrst getið í ágúst 1727 og þá í Leirhnúk. Ný goshrina varð í apríl 1728 og runnu þá hraunin í Hrossadal og í Bjarnarflagi. Um áramótin 1728/1729 ágerðust gosin á Leirhnúkssprungunni og fór þá hraun að renna suður Eldána yfir byggðina vestan við Reykjahlíð. Hraun hætti að renna í lok september 1729, þannig að hraungosið hefur staðið í full tvö ár. Getið eruum gos í Leirhnúk árið 1746, en menjar þess eru ófundnar enn.

Afstaða gossprungunnar til centraleldfjallsins er lík því, sem áður var lýst um gossprunguna, sem Laxárhraun yngra er komið úr, þ.e. smáspýjur á svæðinu, sem centraleldfjallið nær yfir, en meginhraunmagnið hefur komið upp norðan í og norðan við það.

Hraun frá Hverfjallsskeiði á Kröflusvæðinu eru enn að mestu órannsókuð. Eina hraunið, sem nokkurn veginn er vitað um aldur á, er efst á Jörundargrjótum suðaustur af Sandabotnafjalli. Hraun þetta, sem er rúmir 2 km<sup>2</sup> að stærð, hefur komið upp í 2 km langri gossprungu og runnið bæði austur á Jörundargrjótt og vestur niður dalinn milli Halaskógafjalls og Sandabotnafjalls. Nokkur óvissa ríkir að vísu enn um aldur þessa hrauns, en öskulagasnir, sem mælt var í því (md. 1.5, nr. 22) við lækinn frá Kröflu bendir til, að það sé yngra en Hverfjall.

### 1.7 Jökulvatnaset frá lokum ísaldar

A svæðinu milli Reykjahlíðar og Dalfjalls liggur þykk setlagamyndun sunnan í heiðarbrúninni allt norður á móts við Hlíðarfjall. Setlög þessi eru lagskipt völuberg með sandtil siltkenndri matrix. Yfirleitt er það nokkuð harðnað, einkum suðaustast, þar sem það er ummyndað af jarðhita. Setlög þessi eru þykkust austan við Dalfjall, yfir loo m, en þynnri vestar. Lagskiptingin, halli hennar, sem er norðlægur, og gerð efnisins sýnir, að þetta eru flúvíoglasíalar myndanir, sem sezt hafa til í straumvatni. Sig. Þórarinsson (1951) (sbr. einnig Sig. Þórarinsson 1962) túnkaði þessar myndanir upphaflega sem mórenur (Reykjahlíðarmórenur), sem myndazt hefðu á s.k. Hólkotsstigi (- Búðastigi) í lok síðasta jökulskeiðs, er jökuljaðar skreið fram og hélzt kyrrstæður á þessu svæði. Tímasetningin er enn óviss (md. 1.4), og endamórenur eru hvergi þekktar á svæðinu. Engu að síður mun sú ályktun standa óhögguð, að jökulvatnasetið á Reykjahlíðar- og Grimsstaðaheiði sé myndað framundan kyrrstæðri jöklutungu. A svæðinu þar sem jökulvatnasetið finnst er landslagi svo háttar, að landinu hallar suður, þ.e. á móti skriðjökuls-tungu, sem komið hefur sunnan að. Meginskriðbungi þessarar jöklutungu hefur legið norður eftir Mývatnslægðinni vestan við Bláfjallsfjallgarð.

Greina má a.m.k. 2 stig í stöðu jökulrandarinnar á þessu svæði. Eldra stigið er frá þeim tíma, er jökulröndin lá hæst, nokkurn veginn NV-SA frá Gæsadal að Námaskarði. Meðfram jökuljaðrinum hafa þá myndazt sandsléttturnar milli Hlíðarfjalls og Dalfjalls. Afrennsli straumvatna þeirra, sem þarna hlóðu niður efni, hefur verið til norðurs og norðvesturs, væntanlega niður Gæsadal. Andesíthraunið norðan við Hlíðarfjall var þá ekki til, og austurhluti þessarar sandsléttu hefur sigið um nokkra tugi metra síðan, miðað við útfallið í Gæsadal, sem nú er um 40 m hærra en sandurinn þar sem hann er hæstur. Frá þessu stigi er sennilega skarðið milli Dalfjalls og Þríhyrnings, en í gegnum það virðist vatn hafa runnið vestur úr uppstífluðu löni austan Dalfjalls. A

þeim tíma hefur Námaskarð verið lokað af jökli, sem lá upp að því vestan megin.

A næsta stigi hefur jökuljaðarinn lækkað og færzt suður og legið með nokkru austlægari stefnu frá Tófuöxl (og malar-kantinum norðvestur þaðan) um Reykjahlíðarheiði norðanverða að Námaskarði. Hjallabréunirnar frá fyrra stiginu hafa sigið fram og grafizt í þær gil og skorur svo sem víða má sjá. Lón hefur myndazt meðfram jökuljaðrinum en smáfyllzt af nýjum framburði frá jöklínnum í formi malarása (stefna sem næst N-S) og kame-hjalla. Á svæðinu næst Tófuöxl hefur dauðis legið eftir og kaffærzt í framburði eins og urmull jökul-kerja sýnir. Afrennsli vatnsins á þessu stigi hefur verið til vesturs, fyrst í stað sunnan við Hrafnabjörg og norður með þeim, en þar eru vatnsgrafnir farvegir, þó ekki jafnstórir og Gæsaladalur. Loks hefur þar komið, að vatn fékk framrás sunnar milli framburðarhauganna og dauðíss, sem legið hefur í Mývatnsstæðinu, og lómið tæmzt. Þorsteinsdalur og Selja-dalur eru vatnsfarvegir, sem grafizt hafa í grágrýtið undan vatnsföllum, sem runnu frá norðri til suðurs einhvern tíma á meðan á myndun jökulvatnasettsins stóð. Þar sem malarásar liggja ofan í og yfir þessar vatnsrásir, mun gröftur þeirra hafa orðið fyrir seinna stigið, sem lýst var hér á undan.

Um tíma, sennilega á síðasta stigi í myndun jökulvatnasetts-ins, hefur runnið úr jökulstíflaða lóninu austan Námafjalls í gegnum Námaskarð. Menjar um þetta lón hafa lítt verið kannaðar, þó eru hvarfleirsmyndanir í Kröfludalnum vestan við Halaskógfjall og hjallaleifar í skarðinu milli þess og Sandabotnafjalls. Þetta lón hefur á sínum tíma verið stíflað upp af jökli, sem kom sunnan og austan að frá Jökulsárlægð-inni. Öskugígurinn Lúdent er sennilega myndaður í þessu lóni.

Hér á undan hefur einungis verið drepið á nokkur aðalatriði í myndun jökulvatnasettsins norðan við Mývatnslægðina, enda er rannsókn þess á algjöru frumstigi. Full ástæða er þó til að kanna þessa myndun nánar og fylgja henni eftir vestur á

Hólasand, en hann virðist vera myndaður á sama tíma. Einnig er nauðsynlegt að rannsaka þessa myndun náið vegna misgengjanna, sem finnast á útbreiðslusvæði hennar.

### 1.8 Útbreiðsla jarðhita og ummyndunar

A korti md. 1.2 er sýnd útbreiðsla virks jarðhita og ummyndunar á Námafjalls- Kröflusvæðinu. Þar sem jarðhitinn er þungamiðjan í þeim rannsóknum, sem skýrt er frá í þessari skýrslu, þótti tilhlýðilegt að kenna svæðið við tvö stærstu jarðhitasvæðin í norðanverðu Námafjalli og vestan undir Kröflu. Námafjallssvæðið er um  $4 \text{ km}^2$  að stærð miðað við heita jörð, gufuhveri, leirhveri og kúlnaðar skellur. Er það nokkru lægri tala en nefnd er í skýrslu um "Boranir við Námafjall" (K.S. 1969). Mismuninum  $4 \text{ km}^2$  í stað  $6-7 \text{ km}^2$  veldur sú staðreynd, að við nánari eftirgrennslan og segulmælingar hefur allur jarðhiti í hraununum suður og vestur frá aðaljarðhitasvæðinu reynzt vera einungis gufuuppstreymi frá heitu grunnvatni, sem er útbreitt í hraununum allt vestur að strönd Mývatns milli Reykjahlíðar og Voga. Nákvaðt kort af útbreiðslu jarðhita og ummyndunar á Námafjallssvæðinu fylgir skýrslu Guðmundar Guðmundssonar og Stefáns Arnórssonar, og er sá hluti þess, sem nær yfir jarðhitasvæðið, endurþrent-aður hér (md. 1.3). Mynd 1.2 sýnir útbreiðslu jarðhitans á Námafjallssvæðinu á stóru yfirlitskorti. Þar er einnig sýnd segullægðin, sem fram kom við flugsegulmælingu síðastliðið sumar. Þar sést, að jarðhitasvæðið í Námafjalli er mjög skýrt afmarkað á smábletti í aðalsigbelti Námafjalls-Kröflusprungusveimsins. Eðlilegt virðist að álykta út frá því, að Námafjallssvæðið sé tengt staðbundnum varmagjafa (heimum innskotum) í rótum þess, og sé þannig jarðhitalega séð óháð Kröflusvæðinu.

A Kröflusvæðinu er ummyndun af völdum jarðhita dreifð yfir miklu stærra svæði en í Námafjalli, eða alls  $35 \text{ km}^2$ , ef miðað er við útjaðar á skellum og virkum hverum. Nákvaðt kort af útbreiðslu jarðhitans hefur enn ekki verið gert í líkingu við það, sem til er af Námafjalli. Virkur jarðhiti finnst einungis á miðju þessu svæði, þ.e. vestan Kröflu allt að Hithól og á smábletti í Leirhnúkshrauni um  $1,5 \text{ km}$  vestan við Syðri Bjarghól. Í Hvannstóði og við Krókóttuvötn er urmull sprengigíg, sem kastað hafa upp grænu ummynduðu bergi

og leir. Í Krókóttuvötnum hafa um skeið verið virkir hverir, en að öðru leyti verða ekki séð merki um póstglasíala hveravirkni á því svæði. Kulnaðar skellur í grennd við Hrafn-tinnuhrygg, austan við Halaskógafjall og við gamla gíga við leiðina upp í Kröflu eru frá póstglasíaltíma. Hveravirknin er langmest vestan í Kröflu suðvestur frá Víti á um 1 km<sup>2</sup> stóru svæði. Vestur þaðan er álíka stór spilda, þar sem einungis finnst köld ummyndun. Að flugsegulkortinu kemur helzta lægðin fram syðst á þessu svæði (sbr. kort md. 1.2). Að öðru letyi sést á því korti, að svæðið þar sem ummyndunar gætir á yfirborði lendir í segullægð, sem að vísu nær nokkuð út fyrir takmörk jarðhitaummerkjja. Stefna segullægðarinnar kemur nákvæmlega heim við lögun jarðhitasvæðisins eins og það sýnist vera eftir yfirborðsummerkjum.

Lögun Kröflujarðhitasvæðisins og lega í sprungusveimnum kemur á óvart, þar sem það liggur þversum í honum. Sé hins vegar litið á bogsprungusveiminnum á Kröflusvæðinu sést, að jarðhitasvæðið liggur í honum miðjum í góðu samræmi við hugmyndina um centraleldfjall. Varmagjafi svæðisins væri inn-skot og gangar í rótum centraleldfjallsins. Sprengigígarnir á Kröflusvæðinu voru hér á undan taldir vera myndaðir við ákaft gasútstreymi frá storknandi hraunkiku á tiltölulega litlu dýpi. Eftir að rásin hafði opnazt í gegnum jarðhitasvæðið hefur síðasta stig sprengigosanna orðið freatískar gufusprengingar. Sprengigígarnir á svæðinu munu fyrst og fremst hafa fengið endanlega stærð og lögun í þeim lokabætti gosanna. Forsenda slíkrar víxlverkunar væri vel vatnsleiðandi jarðlög undir þéttu yfirlagi og hitastig nærrí suðumarki miðað við eithvert tiltekið dýpi. Hugsanlega eru einhverjur sprengigíganna orðnir til við gufusprengingar vegna yfirhitunar (sbr. Námafjall, holu 5 1968).

Tengsl jarðhitans við sprungur og misgengi eru engu síður áberandi á Kröflusvæðinu en í Námafjalli. Má í því sambandi t.d. benda á misgengin milli Vítis og Leirhnúks. Af lýsingu á upphafi Mývatnseldra er ljóst, að miklar sprungumyndanir hafa átt sér stað í Námafjalls-Kröflu-sveimnum, allt frá

Bláfjalli norður í Gjástykki. Þar sem sprungurnar lágu yfir virku jarðhitasvæðin mynduðust nýir gufu- og leirhverir, svo sem í Bjarnarflagi og Leirhnúk. Af lýsingum verður ráðið, að í Leirhnúk hafi beinlínis myndatz gufusprengigígar (líkt og við holu 5 hér um árið). Algengt er að sjá skellur teygja sig eftir misgengjum á útjöðrum jarðhitasvæðanna. Sennilega eru þær orðnar til líkan hátt við sprunguhreyfingar, sem opnuðu leið fyrir hveragufu skamma hríð utan aðaluppstreymissvæðis heita vatnsins.

### 1.9 Brotahreyfingar

Brotahreyfingar á Námafjalls- Kröflusvæðinu eru af tvennum toga. Ríkjandi á svæðinu öllu eru misgengi og sprungur með NNA ( $N 15^{\circ} A$ ) - SSV stefnu, og eru þær ákvarðandi fyrir Námafjalls-Kröflu-sprungusveiminn, sem fyrr hefur verið nefndur. á Kröflusvæðinu er auk þess til staðar bogsprungukerfi, sem einkum kemur skýrt í ljós á jöðrum þess að austan og vestan.

Námafjalls-Kröflu-sprungusveimurinn er um 12-15 km breiður á því svæði, sem jarðfræðikortið (md.1.1) nær yfir. Misgengisprungurnar eru tiltölulega gisnar á jöðrunum þar sem stóru dyngjugosin koma fyrir, en áberandi þéttar um miðbik sprungusveimsins, sem liggar um Námafjall - Dalfjall og austan við Lúdent. Í heild mynda misgengin togsprungukerfi með stallsigum frá báðum hliðum inn að miðbiki sprungusveimsins, þar sem heildarsigin eru mest. Frávik finnast frá þessari meginreglu, þar sem aukasigdældir og -kambar koma fram, einkum á svæðinu milli Dalfjalls og Grímsstaðaheiðar. Á jarðfræðikortinu (md. 1.1) eru sýnd misgengi þau, sem fundið hafa á svæðinu, aðallega með hjálp loftmynda. Hreyfing, sem orðið hefur um þau er gefin til kynna, en beinar mælingar á stærð hreyfinga eru enn fáar. Að venju eru misgengin því stærri og meira áberandi sem þau skera eldri myndanir. Við ákvörðun á stærð heildarsigsins í ási sprungusveimsins verður að miða við aldur þeirra myndana, sem eru á yfirborði og velja þá þær elztu mögulegu. Á komandi sumri er fyrirhugað að mæla nokkur þversnið yfir sprungusveiminn á þennan hátt. Sigin inn að ási sprungusveimsins vinna á móti upphleðslunni, sem er örust í honum miðjum. Einungis centraleldfjallið í Kröflu hefur við signum, og er land þar 200-300 m hærra en umhverfið. Sigin eru svo veigamikill þáttur í þróun sprungusveimsins að segja má, að vöxtur centraleldfjallsins verði niður á við en ekki upp í loftið, eins og tittr er um ekta eldkeilur.

Bogsprungukerfið á Kröflusvæðinu kemur fram í stefnu á póstglasíöllum gossprungum, á móbergs- og rhyólit-hryggjum mynd-

uðum á jökultíma og í misgengjum af ýmsum aldri. Þessi afbrigðilegu tektónísku element koma fyrir á um 2 km breiðum bogmynduðum ræmum annars vegar á svæðinu frá Dalfjalli um Hlíðarfjall og norður fyrir Hvannstóð hins vegar á svæðinu frá Sandabotnafjalli norðvestur fyrir Graddabungu (sbr. kortið md. 1.2). Bogsprungukerfið kemur fram sem staðbundin óregla í sprungusveimi, sem annars einkennist af NNA-SSV-stefnandi sprungum. Ytra þvermál bogsprungusveimsins er nálægt 10 km, en innra þvermál hans um 6 km. Bogsprungusveimurinn umlykur Kröflu-jarðhitasvæðið með öllum þess mörgu sprengigígum. Upptök alls differaða bergsins á Kröflusvæðinu eru í honum eða innan hans, nema Jörundur, sem lendir skammt utan við.

Skoðuð í samhengi verða þessi fyrirbæri ekki öðruvísi túlkuð en þannig, að á Kröflusvæðinu sé virkt centraleldfjall. Bogsprungusveimurinn gefur ákveðna vísbindingu um áhrifasvæði og miðju centralvirkninnar. Virðist mega túlka hann sem yfirborðsmerki um keilugangasveim dýpra niðri í rótum centraleldfjallsins. Hugsanlega liggar grafin askja á miðju Kröflusvæðinu, sem mynduð er á síðasta hlýskeiði síðar en Hrafna-bjargardyngjan, og þá væntanlega í tengslum við gos það, sem myndaði ignimbrítið á vesturhluta Kröflusvæðisins. Eina vísbindingin um sigsprungur slíkrar öskju eru á svæðinu vestanverðu, norðan við Hlíðarfjall með stefnu NV-SA og austan við Hvannstóð með stefnu nál. A-V. E.t.v. kemur einnig til mála að túlka þessa staðbundnu tektonísku óreglu sem tvö þversprungubelti, sem lægju þvert yfir sprungusveiminn VNV frá Hlíðarfjalli og Jörundi. Greina má "en echelon pattern" í afstöðu sumra hryggja og annarra sprungna, sem raða sér á þessi þverbrot. Þessi skýring þarf að athugast í sambandi við NV-SA brotlínurnar sunnan við Tjörnes, en þar er e.t.v. um víxlgengissprungur að ræða, sem ná eitt-hvað austur í gosþeltið.

1.1o Rannsóknir á bergfræði Námafjalls- Kröflusvæðisins

Safnað hefur verið um 20 sýnishornum af Námafjalls- Kröflusvæðinu, og er efnagreiningu á þeim senn lokið. Var í upphafi ákveðið að beina bergfræðilegu athuguninni aðallega að ísúra og súra berginu, en láta basalthraunin bíða, þar til lokið væri frumdrögum að jarðfræðikortinu.

Sýnishornin, sem valin voru til efnagreininga, skiptast þannig:

3 sýnishorn úr elztu hraununum vestan Námafjalls (þó ekki því dílótta). Bergtegundin er þóleít.

5 sýnishorn úr ísúrum hraunum í Heiðarsporði. Bergtegundin er basaltandesít og íslandít með  $\text{SiO}_2$  - innihald frá 54% (nyrzta hraunið) - 65% (Hraunbunga).

2 sýnishorn úr ísúru hrauni norðan við Hlíðarfjall. Bergtegundin er íslandít með  $\text{SiO}_2$  - innihald 63-65%. Mismunurinn stafar hugsanlega af mismikilli íblöndun við basaltefni.

2 sýnishorn úr ignimbríti í Hvannstóðshöfða og vestan við Krókóttuvötn. Ignimbrítið er mjög blandað basaltefni og tókst ekki að fá ómengað sýnishorn til efnagreiningar. E.t.v. er rhýólítið í suðurhlíð Litlu Kröflu úr þessu sama lagi, en það hefur verið efnagreint (sbr. van Bemmelen og Rutten 1955). Efnagreiningar af blandaða ignimbrítinu reyndust hafa  $\text{SiO}_2$  - innihald 58-61%.

2 sýnishorn úr Hlíðarfjalli.

2 sýnishorn úr Hrafntinnuhrygg.

3 sýnishorn úr Jörundi.

1 sýnishorn úr granófýri frá Víti.

1 sýnishorn úr gabbróhnyðlingi úr ignimbrítlaginu.

Eldri efnagreiningar:

Wright 1915:

Hrafntinnuhryggur.

van Bemmelen og Rutten 1955:

Hraunbunga (andesít).

Granófýr frá Víti.

Suðurhlíð Litlu Kröflu (rhýólít, hugsanlega ómengarignimbrít).

Sig. Þórarinsson 1952:

Hverfjallsgjall (þóleít).

Basaltbjörg á Hverfjalli, úr undirlagi gígsins (aðeins  $\text{SiO}_2$ ).

Sig. Þórarinsson 1951:

3 efnagreiningar úr Laxárhrauni Yngra (dílótt basalt), þar af tvær úr gjalli, en ein úr borkjarna.

Guðm. Sigvaldason 1969:

Leirhnúkshraun hjá Hótel Reynihlíð (þóleít).

Til eru einnig 2 efnagreiningar frá þessu svæði í Hoppe 1938, en staðirnir, sem sýnishornin voru tekin á, eru svo ónákvæmlæga tilgreindir, að efnagreiningarnar eru einskisverðar. Ónnur er sögð "stórblöðrótt basalthraun af Mývatnsöræfum nálægt Námafjalli hjá leirhverunum", en hin "smáblöðrótt basaltgler vestan til úr Hrafntinnuhrygg".

A svæðinu finnast hraun, sem spanna diffrunarröðina ólivín-þóleít-þóleít-basaltandesít-íslandít-rhýólít (nöfn frá Charmichael 1964), auk dílótt basalts, sem inniheldur botnfall af kristöllum mynduðum sem fyrstu útfellingar úr ólivínþóleiti (sbr. Charmichael 1964).

Eftir ytri einkennum einum saman getur verið mjög erfitt að greina basalthraun til ákveðinnar bergtegundar, þar sem yfирgangur er á milli ólivínþóleíts og þóleíts. Þetta veldur ekki erfiðleikum með dyngjuhraunin, sem innihalda verulegt magn af ólivíni, sem er sýnilegt í stækjunargleri og jafnvel

með berum augum, né heldur með dílóttu hraunin. Mest er óvissan við greiningu fínkornóttu hraunanna, en þar geta þunnsneiðar hjálpað nokkuð.

Út frá þeim efnagreiningum, sem nú liggja fyrir af þessu svæði, merkurgreiningu eftir ótvíræðum ytri einkennum og þunnsneiðum, skal gefið stutt yfirlit yfir þau tengsl, sem virðast vera á milli bergtegundar í einhverri tiltekinni gosmyndun og legu gosstöðvarinnar í sprungusveimnum.

Ólivínþóleít finnst einkum á jöðrum sprungusveimsins í dyngjunum, sem eru stærstu gosmyndanir svæðisins hvað efnismagn snertir, en strjálar og yfirleitt taldar myndaðar í samfelldu gosi.

Dílótt ólivínþóleít finnst bæði á jöðrum svæðisins sem stórgos frá gossprungum (t.d. Laxárhraun yngra) og sem smádyngjugos og sprungugos innan centraleldfjallsins, t.d. dílótta hraunið vestan Námafjalls og Halaskógafjall. Dílótta basaltið hefur öll einkenni ólivínþóleíts og eru ekki skörp skil þar á milli, en mörkin sett við lo% díla skv. venju.

Þóleít finnst einkum innan centraleldfjallsins, t.d. í litlu hraununum vestan Námafjalls, í gossprungum í miðjum sprungusveimnum t.d. Námafjalli og í Leirhnúkshrauni.

Ísúra og súra bergið finnst í tengslum við centraleldfjallið í Kröflu, enda notað með öðru til að ákvarða takmörk þess, en einnig í Heiðarsporði, sem er túlkaður ásamt Námafjalls-svæðinu sem sníkjueldfjall á jaðri Kröflu-centraleldfjallsins. Efnagreiningarnar, sem verið er að gera af ísúra og súra bergen, benda til þess, að það sé alkalífátækara (einkum kalíumfátækara) en önnur íslenzk centraleldfjöll, sem athuguð hafa verið efnafræðilega hingað til. Kemur þetta einkar skýrt í ljós, ef efnagreiningarnar í heild eru bornar saman við hóp efnagreininga af öðrum svæðum.

Charmichael (1964) hefur leitt að því rök, að ólivínþóleít væri frumstæðasta basaltið og þar með móðurmagma hinna bergtegundanna. Með því að fella út plagióklas, pýroxen og ólivín

í réttum hlutföllum og skilja það frá móðurmagmanu, mætti fá þóleít, sem væri eftir því þróaðra basalt. Síðan mætti með áframhaldandi diffrun (eða kristallaútfellingu) fá ísúrar og súrar bergtegundir. Sennilegt er talið að þetta gerist með þeim hætti, að basaltmagma tefjist í skorpunni á leið sinni til yfirborðs og myndi það sem gjarnan er nefnt "þró", en í henni falla kristallarnir út og skiljast frá. Þar sem af einhverjum ástæðum skapast skilyrði til endurtekinnar myndunar slíkra þróa, verða til centraleldfjöll. Gosefnin, sem upp koma í slíkum centraleldfjöllum, eru því einkum diffrað basalt (við kristallaútfellingu = þóleít, við kristalsöfnun = dílótt basalt) auk ísúra og súra bergsins, sem er lokastig diffrunarinnar.

Þetta táknar, að undir virka gosbeltinu á Norðurlandi er til eða verður til ólivínpóleít magma, sem getur komið upp nánast hvar sem er í beltinu. Hins vegar eru aðstæður undir Námafjalls- Kröflusvæðinu og öðrum centraleldfjöllum slíkar, að á uppleiðinni tefst magmað, gjarnan í skorpunni, nógu lengi til þess að það nær að diffra og mynda þóleít, ísúr og súr hraun. Samkvæmt þessu væru þá ólivínpóleít hraunin á jöðrum centraleldfjallsins líkust upprunalegu magma mynduðu við hlutbráðnun á möttulefni.

### 1.11 Jarðfræðileg bygging gosbeltisins á Norðurlandi og lega

#### Námafjalls- Kröflusvæðisins innan þess

Gosbeltið á Norðurlandi, sem nær frá Vatnajökli norður á Melrakkasléttu, stefnir sem næst N-S. Lengd þess er nálægt 200 km og breiddin um 50 km. Gosbeltið er samsett af 5-6 centraleldfjöllum með tilheyrandi sprungusveimum, sem liggja á ská yfir það með NNE-stefnu og mynda þannig vel afmarkaðar einingar. Centraleldfjöllin einkennast af:

- 1) tíðum gosum á takmörkuðu svæði og því örri upphleðslu, sem getur þó dulizt vegna síga
- 2) ísúru og súru gosbergi
- 3) háhitasvæði
- 4) sprengigígum, stundum með gabbró- og granófýrhnyðlingum
- 5) öskjumyndun og bogsprungum.

Ekki þarf allt að fara saman í einu centraleldfjalli. Centraleldfjöllin liggja miðsvæðis í sprungusveimum.

Tvö þau syðstu, Kverkfjöll og Dyngjufjöll, eru s.k. eldkeilur (stratóvulkan) með öskjum, og tengsl þeirra við NNE-SSW (eða NE-SV) sprungusveimina eru óljós. Eldkeilur þessar, einkum Dyngjufjöll, einkennast framar öðru af hringlaga sprungusveimum tengdum öskjumynduninni. Í þeim hluta gosbeltisins, sem liggur norðan Dyngjufjalla en vestan Jökulsár, eru 3-4 centraleldfjöll, hvert um sig í nokkuð vel afmörkuðum sprungusveimi, þau eru frá norðri til suðurs: Peistareykir, Námafjall/Krafla, Fremrinámur og Hrúthálsar. Hrúthálsar hafa ekki áður verið nefndir í þessu sambandi. Ýmislegt bendir þó til, að þarna sé fullgilt centraleldfjall. Sprungusveimarnir einkennast af sprungugosum og misgengjum. Misgengin innan hvers sprungusveims sýna kerfisbundin stallasig inn að dældum í sprungusveimnum. Þessar sigdældir geta verið ein eða fleiri innan hvers sprungusveims, en oftast sker sig úr ein aðalsigdæld einkum í sjálfum centraleldfjöllunum. Skilin milli

sprungusveima, þ.e. (relatífu) kambarnir eru jafnframt þeir staðir, þar sem dyngjur (stapar) eru mest áberandi. Frumstæðasta bergtegund svæðisins, ólivínbóleít, finnst einkum í dyngjunum.

I heild minna sprungusveimarnir á gangasveima þá, sem fundi-  
zit hafa í tengslum við rofin centraleldfjöll á Austurlandi  
og víðar. Gosvirkni í þremur nyrztu sveimunum nær ca. 20 km  
norður og suður frá centraleldfjöllunum, en sprungunum má  
fylgja langt út fyrir þau takmörk. Suðvestanmegin deyja  
sprungurnar smáam saman út, en til norðausturs eru takmörkin  
mjög óljós og illaþekkt, eins og raunar allt gosbeltið  
austan Jökulsár á Fjöllum.

Norðurframhald gosbeltisins á Norðurlandi hliðrast vestur á  
móts við Skaga í hafinu norðan við Sléttu. Sennilega er um  
að ræða breitt víxlgengisbelti, sem hefur áhrif a.m.k. suður  
fyrir Tjörnes, enda koma NV-brotlinur viða fram í nyrzta  
hluta gosbeltisins vestan Jökulsár.

Námafjalls-Kröflusveimurinn er um loo km á lengd og breiddin  
um 10-15 km. Langmest og fjölbreytilegust gosvirkni er á  
20 km löngu belti austur og norðaustur frá Mývatni, í Kröflu-  
Námafjalls-centraleldfjallinu. Centraleldfjall þetta virðist  
samsett af hringlaga aðalcentralsvæði allt að 10 km í þver-  
mál á Kröflusvæðinu, og auka- eða hliðarsvæði í Námafjalli  
og suður þaðan, og minnir þannig nokkuð á tertíera Álfat-  
fjarðar-Mælifells-eldfjallið (Blake 1970). Þróun central-  
eldfjallsins í Kröflu og Námafjalli verður rakin aftur á  
síðasta hlýskeið, e.t.v. um 100.000 ár aftur í tímann, þá  
að vísu orðin mjög þokkennd. Þverskurðir eru grunnir og  
stór flæmi þakin póstglasíölum hraunum. Engu að síður býður  
þetta svæði upp á margs konar jarðfræðileg viðfangsefni,  
sem gefa vísbendingu um jarðsögulega, bergfræðilega og  
tektónískra þróun þess.

## 2. HVERAGAS

### 2.1 Inngangur

Samsetning hveragass á yfirborði getur gefið vitneskju um (1) hvar suða djúpvatns í bergi er mest, (2) hvar uppstreymissvæði eru innan jarðhitasvæða, (3) hvort blöndun andrúmslofts við hveragasið eigi sér stað nálægt yfirborði og loks (4) gefur vetrismagn í hveragasi vitneskju um hita í bergi. Eins og aðrar jarðefnafræðilegar aðferðir, sem beitt er til að áætla hita undir yfirborði, felur vetrисаðferðin ekki í sér á hvaða dýpi áætlaður hiti fyrirfinnst.

Gildi hveragass fyrir rannsóknir á jarðhita byggist á því, að samsetning gassins gefi vitneskju um ástand og eiginleika djúpt í jarðhitasvæðum, en ekki um ástand nálægt yfirborði og í hverunum sjálfum. Tiltölulega reglubundnar breytingar á samsetningu hveragass innan Námafjalls-Kröflusvæðisins benda til, að þessi forsenda eigi við um jarðhitasvæðin þar. Nýjar og gamlar efnagreiningar sýna ekki stórvægilegar breytingar á efnasamsetningu hveragassins á þessum jarðhitasvæðum í 80 ár (töflur 2.1 og 2.2).

Fyrir þá túlkun á samsetningu hveragassins, sem hér er gerð, er gert ráð fyrir, að lofttegundirnar í hveragasinu séu í efnajafnvægi við vatnið og steintegundir í umlykjandi bergi djúpt í jarðhitasvæðunum og að við suðu dreifist þessar lofttegundir milli vatns og gufu á þann hátt, að efnajafnvægi nálgist, en það er ekki skilyrði að efnajafnvægi náiist. Ríki efnajafnvægi fyrir hinar ýmsu lofttegundir hveragassins djúpt í jarðhitasvæðunum, ákveðst magn og samsetning hveragassins af þessu jafnvægi, en ekki því, hvaðan gasið er upprunnið.

Tafla 2.1

Samsetning hveragass á Kröfliusvæði. Staðsetning söfnunarstaða er sýnd á mynd 2.2. Magn % rúmmáls.

Staður	Sýni nr.	Útlit	söfnunarstaðar	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	Heimild
Krafla, 1500 m suðvestan	08700122	brennisteinsþúfa	92.0	5.5	1.3	0.0	0.7	0.2		
Krafla, 1 gili suðvestan	08700123	gasstreymi í súrum laek	65.5	8.4	23.4	0.0	3.2	0.2		
Krafla nálaegt Víti	08700124	súr vatnspollur	63.9	3.2	26.9	0.0	6.2	0.1		
Leirhnúkur	08700125	gufuauga	66.4	6.6	8.7	1.6	14.9	0.8		
Sprengigígur norðan Vítis	08700126	gufuauga	76.9	10.0	11.5	0.0	1.4	0.3		
-										
Leirhnúkur		gufuauga	77.7	8.5	8.1				o.1	B. Lindal 1950
Krafla nálaegt Víti		heitur vatnspollur	66.9	15.8	15.2					B. Lindal 1950
Krafla, 1 gili suðvestan			54.3	17.5	25.4				o.3	B. Lindal 1950
Krafla, suðurhlíðar			68.8	5.9	15.6					Christensen 1890
Krafla, suðurhlíðar			72.0	14.6	9.3					Christensen 1890
Krafla, suðurhlíðar			63.5	13.9	11.7					Christensen 1890
Krafla austan Vítis			73.5	13.9	9.3				3.3	Thorkelsson 1906

Tafla 2.2

Samsetning hveragass á Námafjallssveði. Staðsetning  
söfnunarstaða er sýnd á mynd 2.3. Magn % rúmmáls.

Staður	Sýni nr.	Útlit söfnunarstaðar	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	Heimild
Austan á Námafjalli	08700119	vatnspollur	34.7	18.3	45.4	0.0	1.7	0.2	
Hverarönd	08700120	vatnspollur	43.8	6.0	43.7	1.2	5.4	0.2	
Bjarnarflag, gíggur ofan H 4	08700127	gufuauga	49.4	8.2	15.0	0.8	21.5	5.5	
Námafjall, syðsti jarðhiti	10700150	gufuauga	3.3	0.0	0.4	19.9			
Námafjall	10700151	brennisteinsþúfa	53.3	13.8	31.2	0.0	1.7	0.3	
Í gili vestan f Námafjalli	10700152	brennisteinsþ.	36.1	18.0	28.3	3.0		0.4	
Námafjall, nyrzti jarðhiti	10700153	gufuauga	42.3	29.8	13.4	2.0		0.5	
Dalfjall í skarði ofan H 9	10700155	gufuauga	14.4	2.5	3.8	14.4			
Bjarnarflag í Mývatnseldähr.	10700156	sprunga í hrauni	3.5	0.0	1.1	3.8			
Hverarönd	10700157	gufuauga	57.5	9.3	7.9	0.9	22.7	0.4	
Hverarönd	10700158	gufuauga	38.7	11.5	12.9	6.0	0.1		
N 1	gufuauga	31.0	16.4	49.7		0.8	B. Lindal	'50	
N 2	gufuauga	35.3	18.3	44.2		0.9	B. Lindal	'50	
N 3	brennisteinsþúfa	37.2	17.2	42.7		0.8	B. Lindal	'50	
N 4	brennisteinsþúfa	34.2	17.2	46.2		0.8	B. Lindal	'50	
N 5	brennisteinsþúfa	47.7	19.8	30.2		0.4	B. Lindal	'50	
N 6	brennisteinsþúfa	63.0	18.3	14.9		0.3	B. Lindal	'50	
N 7	leirhver	52.6	11.3	26.9		0.4	B. Lindal	'50	

Tafla 2.2 - frh.

Staður	Sýni nr.	Útlit söfnunarstaðar	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> S	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	Heimild	
Námafjall	N 8	brennisteinsþúfa	63.2	21.0	9.3	0.2	B. Líndal	'50		
Námafjall	N 9	brennisteinsþúfa	63.9	18.5	14.8	0.4	B. Líndal	'50		
Námafjall	N 10	gufuauga	29.2	21.8	46.2	B. Líndal	'50			
Námafjall	N 11	gufuauga	50.8	19.1	27.5	0.0	B. Líndal	'50		
Námafjall	N 12	brennisteinsþúfa	32.4	29.4	33.2	0.0	B. Líndal	'50		
Námafjall	N 20	brennisteinsþúfa	44.0	42.8	11.4	0.3	0.0	B. Líndal	'50	
Námafjall	B 1	borhola	50.7	17.5	30.0	0.1	B. Líndal	'51		
Námafjall	B 2	borhola	53.3	18.5	26.0	0.1	B. Líndal	'51		
Námafjall H 2		borhola	19.8	22.5	49.0	0.0	6.4	2.1	jarðhitadeild	
Námafjall H 3		borhola	31.4	24.1	32.8	0.0	8.7	2.5	jarðhitadeild	
Námafjall H 4	04700052	borhola	33.7	20.2	36.5	0.0	6.8	2.2		
Námafjall H 5	04700053	borhola	44.5	22.2	24.3	0.0	7.4	2.5		
Námafjall H 6	04700057	borhola	26.4	20.2	44.6	0.0	7.2	1.3		
Námafjall H 7	10700154	borhola	26.6	24.6	46.9	0.0	2.4	0.3		

Erfitt er að færa gild rök fyrir því, að hveragas sé í efnajafnvægi í djúpvatninu. Hins vegar er vitað, að sá hluti tveggja lofttegunda, sem er uppleystur í vatninu, þ.e. kolsýru og brennisteinsvetnis, stjórnast af útfelliðingu steintegundanna kalkspats og phyrrotíts. Jafnvægi fyrir lofttegundir milli vatns og gufu næst jafnan á mjög skömmum tíma.

Hiti, sem er reiknaður út frá vetrismagni í borholum við Námafjall og borholu G 8, Hveragerði, gerandi ráð fyrir jafnvægi við súlfíð og súlfat, er  $40-170^{\circ}\text{C}$  hærri en mældur hiti og trúlega of hárr. Getur þetta stafað af því, að jafnvægi hafi raskazt eða af skekkju í mældu gildi efnajafnvægisstuðla þeirra, sem notaðir voru. Sé borin saman útreiknuð breyting á vetrni með hita við mælda vetrismreytingu með mældum hita og kvarzhita í borholum við Námafjall, kemur í ljós, að útreiknaða vetrismreytingin með hita er minni en sú empíríkska (myndir 2.6 og 2.9).

## 2.2 Söfnunaraðferðir

Tvær aðferðir voru notaðar við söfnun hveragassins eftir því hvort gasið bólaði upp í heitum vatnspollum eða streymdi úr gufuaugum og brennisteinsþúfum með vatnsgufu. Þegar hveragasi er safnað úr vatnspollum, er talið, að engin hætta sé á blöndun andrúmslofts í sýnið við söfnunina. Hins vegar er talsverð hætta á blöndun andrúmslofts í sýni, þegar hveragasi er safnað úr gufuaugum og brennisteinsþúfum. Þar sem vatnspollar fundust, voru þeir teknir fram yfir gufuaugun, en víðast hagar svo til á Námafjalls-Kröflusvæðinu, að eingöngu gufuaugu og brennisteinsþúfur finnast á yfirborði. Þegar hveragasi var safnað úr gufuaugum og brennisteinsþúfum, er nokkur hætta á, að kolsýra og brennisteinsvetni leysist eitthvað upp í vatninu, sem sýnitúban var fyllt af fyrir söfnunina. Að vísu mætti minnka uppleysingu mikið með því að setja salt og súrt vatn í túbuna, en það var ekki gert við söfnun sýna á þessum jarðhitasvæðum, heldur var notað kalt vatn, sem var hendi næst. Þegar hveragas streymir upp í gegnum súra vatnspolla, er ekki ástæða til að reikna með að gasið leysist upp í pollinum, þar eð vatnið í honum verður fljótlega mettað og frekara hveragas streymir gegnum þetta mettaða vatn, án þess að leystast upp.

## 2.3 Uppruni hveragassins

Vitneskja um uppruna hveragass í djúpvatni á jarðhitasvæðum veitir mikilvægar upplýsingar um eðli jarðhitans. Lofttegundirnar í hveragasinu geta annaðhvort verið upprunnar úr bergkvíkuþró eða komnar í vatnið úr umlykjandi bergi við útskolun samfara ummyndun. Eðlilega er hugsanlegt, að lofttegundir hveragassins séu að nokkru frá bergkvíkuþró og að nokkru útskolaðar. Köfnunarefni og súrefni hveragassins munu ættuð úr andrúmsloftinu.

Eins og minnzt var á hér að framan er ástæða til að ætla, að samsetning hveragassins stjórnist af efnajafnvægum djúpt í jarðhitasvæðunum, og gefur samsetning þess því ekki til kynna, hvaðan hveragasið er upprunnið. Hveragas á yfirborði er þangað komið vegna suðu á djúpvatni í bergenningu.

Könnun á dreifingu þeirra frumefna, sem finnast í hveragasi í fersku og ummynduðu bergi á jarðhitasvæðum, þó fyrst og fremst kolefni og brennisteinn, er talin vænlegust til að dæma um eftir líkum, hvort lofttegundir hveragassins séu að einhverju leyti upprunnar úr bergkvíkuþró eða hvort þær hafi myndast við útskolun.

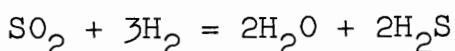
Hin mikla aukning brennisteinssambanda á yfirborði og að því er virðist í ummynduðu bergi á jarðhitasvæðum stafar án efa af flutningi brennisteinsvetnis í hveragasi úr dýpri jarðlöögum. Í fersku basalti og súru bergi er talsvert magn af brennisteini (100-400 ppm) og mætti e.t.v. skýra aukningu brennisteinssambanda í efri jarðlöögum með útskolun af meira dýpi. Í basalti er brennisteinn bundinn sem súlfíð með málnum og sem súlfat, einkum í feldspati. Hitnandi jarðvatn, sem streymir um basalt, skolar út brennisteini sem súlfíði og sulfati og brennisteinsvetni myndast. Vitneskja liggur ekki fyrir um magn brennisteins-sambanda í ummynduðu bergi á háhitasvæðum. Væri æskilegt

að afla sliðrar vitneskju til þess að dæma um líklegan uppruna brennisteinsvetnis í hveragasinu.

Útfellingar af kalki í ummynduðu bergi úr borholum eru oft tölverður hluti hins ummyndaða bergs. Bendir það til mikillar aukningar kolefnis í þessu bergi. Engin ástæða er til að ætla annað en þetta kolefni hafi borizt sem kolsýra í hveragasi úr dýpri jarðlöögum. Aukning kolefnis í ummynduðu bergi í efstu looo metrum háhitasvæða virðist vera allt að tífföld. Þessi aukning hefur verið talin merki um uppruna kolsýru úr bergkviku. Allar sliðrar hugmyndir eru þó fremlundar lausu lofti gripnar, meðan magn kolefnis sem C og CO<sub>2</sub> hefur ekki verið mælt í fersku og ummynduðu íslenzku bergi.

## 2.4 Efnabreytingar, sem hafa áhrif á samsetningu hveragass.

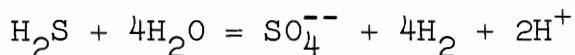
I gasi frá bergkviku eru vatnsgufa, brennisteinstvísýrlingur og vetni þau efnasambönd, sem innihalda frumefnin vetni og brennistein. Rannsóknir benda til þess, að milli þessara efnasambanda ríki jafnvægi, sem gæti verið samkvæmt jöfnunni:



Innbyrðishlutfall hinna einstöku lofttegunda samkvæmt ofanritaðri jöfnu, er háð hita, þrýstingi og innbyrðishlutfalli vetrnis-, súrefnis- og brennisteinsatóma. Með lækkandi hita minnkar vetni og verður það vart mælanlegt, ef hiti fer niður fyrir  $300^{\circ}\text{C}$  við einnar loftþyngdar þrýsting. Með auknum þrýstingi lækkar vetni einnig. Streymi gas frá bergkviku undir háhitavæðum í átt til yfirborðs, fer það gegnum heitt jarðvatn og leysist upp í vatninu að nokkru leyti, en binzt einnig að hluta í steintegundum. Sé brennisteinstvísýrlingur í þessu gasi, myndar hann súlfat í vatninu. Við kólnun hverfur brennisteinstvísýrlingur, en brennisteinninn binzt í brennisteinsvetni í staðinn. Berist gas frá bergkviku í heitt jarðvatn, gæti það komið fram í auknu magni steintegunda í bergen.

Haldist efnajafnvægi í djúpvatninu, eins og athuganir benda til, er þess ekki að vænta, að samsetning hveragass á yfirborði gefi til kynna, hvort gas frá kviku hafi borizt að neðan í djúpvatnið. Hveragasið berst til yfirborðs fyrst og fremst vegna suðu í berggrunni.

Basalt sem annað storkuberg inniheldur talsvert magn af brennisteini bundnum sem súlfíð og súlfat (í feldspati). Heitt vatn, sem streymir um storkuberg, skolar úr því brennisteini í þessum tvennskonar samböndum, og samfara slíkri útskolu getur vetni myndatz samkvæmt jöfnunni:



Við lágan hita er myndun vetrnis samkvæmt þessari jöfnu hverfandi, en búast má við, að það verði mælanlegt í hveragasi, þegar hitinn nær um það bil  $150^{\circ}\text{C}$ . Er þá gert ráð fyrir útbýnningu af völdum kolsýru í því magni, sem hún hefur mælzt í, í svo heitu vatni. Með auknum hita hækkar vetrnismagn. Stafi vetrnismyndun í heitu vatni af útskolu súlfíðs og súlfats, mun vera jákvætt samband milli vetrnis og brennisteinsvetnis í djúpvatninu og þar með hveragasinu. Með auknum berghita er búizt við, að vetrni aukist hraðar en brennisteinsvetni.

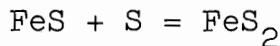
Magn brennisteinsvetnis og súlfats í heitu vatni stjórnast ekki eingöngu af útskolu þessara efnasambanda. Sýrustig og uppleysanleiki phyrrotíts ( $\text{FeS}$ ) hefur áhrif á magn brennisteinsvetnis í vatninu og uppleysanleiki anhydrits ( $\text{CaSO}_4$ ) hefur áhrif á magn súlfats. Útfelling brennisteinsvetnis leiðir því til minnkunar á vetrni, en útfelling súlfats aftur á móti til aukningar á því. Sennilega hagar svo til á flestum háhitasvæðum, að útfelling súlfats er lítil eða hverfandi. Er það vegna þess, að kalsíum er lágt í vatninu vegna útfellingar þess með karbónati.

Athuganir hafa sýnt, þótt þær séu enn takmarkaðar, að ekki er við því að búast, að innan einstakra háhitasvæða breytist magn súlfats, súlfíðs og sýrustig mikið. Vetrni í djúpvatni og hveragasi ætti því fyrst og fremst að vera háð hita. Eins og fjallað er um hér á eftir, getur uppstreymi djúpvatns, suða í bergi og íblöndun andrúmslofts ennfremur haft sekúnder áhrif á vetrnismagn í hveragasi.

Í borholum, sem aðeins ná niður í djúpvatn, nærri suðumarki, má búast við því, að vetrnismagn í því vatni sé hærra en efnajafnvægi við súlfíð og súlfat segir til um. Vetrni ásamt öðrum lofttegundum getur safnæzt fyrir í djúpvatni, sem er nálægt suðu, vegna uppstreymis úr dýpri jarðlöögum.

Ekki er talið, að vetrni myndist við útfellingu brenni-

steinskíss eins og haldið hefur verið fram. Brennisteinskís virðist myndast við umkristöllun phyrrótíts (FeS):



Phyrrótít myndast við útfellingu járns og súlfíðs úr heita vatninu.

Kolsýra er ríkjandi efnasamband í hveragasi af þeim efnum, sem innihalda kolefni. Í gasi frá bergkviku er kolefni einnig bundið að talsverðu leyti sem kolsýrlingur. Örlítið af kolefni er bundið sem methan, og eykst magn þess nokkuð með lækkandi hita og auknu vetrismagni í hveragasinu.

Talsvert magn af kolefni er í storkubergi (ca. 1000-5000 ppm). Er það að nokkru bundið sem kolsýra og að nokkru sem óbundið frumefni. Alkalíbasalt inniheldur jafnan meira kolefni en þóleít.

Heitt vatn, sem streymir um storkuberg, leysir auðveldlega úr því kolsýruna og samfara ummyndun er einnig búizt við því, að óbundið kolefni bindist súrefni og myndist þannig kolsýra, sem fer í upplausn.

Kolsýra er oftast sú lofttegund í hveragasi, sem kemur fyrir í mestu magni. Hiti hefur ekki bein áhrif á magn kolsýru í gasinu. Þar sem íblöndun andrúmslofts í hveragas hefur áhrif á vetrni og brennisteinsvetni hveragassins ásamt suðu og hita, er búizt við því, að hlutfall beggja þessara gastegunda við kolsýru endurspegli betur áhrif suðu og hita í bergi, en magn gastegundanna sjálfrar í hveragasinu.

## 2.5 Áhrif uppstreymis djúpvatns, suðu og íblöndunar súrefnis á samsetningu hveragass.

A mynd 2.1 er sýnt samband hlutfallanna  $\text{CO}_2/\text{H}_2$  og  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  í hveragasi á Krísvíkursvæði og Námafjalls-Kröflusvæði. Samkvæmt því, sem fram hefur komið, má búast við, að hlutfallið  $\text{CO}_2/\text{H}_2$  lækki með auknum berghita. Suða í bergi veldur lækkun á hlutfallinu  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$ . Líklegar efnabreytingar, sem hafa áhrif á magn vetrnis og brennisteinsvetnis í hveragasi, benda til þess, að aukning á vetrni hafi í för með sér aukningu á brennisteinsvetni og öfugt. Þó mun aukning vetrnis með hita meiri en brennisteinsvetnis.

Vetnismagn og hlutfallið  $\text{CO}_2/\text{H}_2$  í hveragasi bendir til þess, að berghiti sé hæstur á Kröflusvæði í sprengigígunum sunnan Vítis og í gilinu suðvestan í Kröflu (mynd 2.2), en á Námafjallssvæði virðist berghiti hæstur á austanverðu Námafjalli og í Hverarönd (mynd 2.3), þótt hitinn virðist falla fljótt, þegar kemur í hraunið austan við Hverarönd. Suða í bergi á Námafjallssvæði samkvæmt  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  hlutfalli virðist mest á fjallinu sjálfu. Gæti það eingöngu stafað af meira dýpi á heita jarðvatnsflötinn undir fjallinu en austan og vestan þess. Á Kröflusvæði er engin reglubundin breyting á  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  hlutfalli hveragassins.

Ef línuritið á mynd 2.1 er skoðað, sést, að gott jákvætt samband er á milli hlutfallanna  $\text{CO}_2/\text{H}_2$  og  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  fyrir nálagt helming sýna og þar með milli vetrnis og brennisteinsvetnis. Sum sýni, sem eru í útjaðri jarðhitasvæðanna innihalda lágt vetrni miðað við brennisteinsvetni. Hátt vetrni í sýnum miðað við brennisteinsvetni gæti stafað af íblöndun súrefnis, lítilli suðu í bergi og uppstreymi heits vatns.

Þegar súrefni úr andrúmsloftinu eða jarðvatni við yfirborð blandast hveragasi, gengur súrefnið að einhverju leyti í samband við brennisteinsvetni og myndast brennisteinn og súlfat. Aftur á móti eru efnabreytingar við vetrni hægari

og eiga sér varla stað í sýnum. Blöndun andrúmslofts við hveragas ætti því að leiða til þess, að brennisteinsvetni hveragassins lækki tiltölulega meira en vetni þess.

Það er vel bekkt, að ummyndun á yfirborði háhitasvæða stafar fyrst og fremst af oxun á brennisteinsvetni í brennisteinssýru af völdum súrefnis úr andrúmslofti og jarðvatni við yfirborð.

Ásamt súrefni mun köfnunarefni í hveragasi upprunnið úr andrúmsloftinu. Eigi sér stað blöndun andrúmslofts við hveragas, eykst magn köfnunarefnis a.m.k. hlutfallslega, en súrefnið, sem upphaflega bætist við, getur allt hafa eyðzt vegna efnabreytinga. Neikvætt samband milli köfnunarefnis og brennisteinsvetnis í hveragasinu fyrir hvert ákveðið magn af vetni gæti bent til þess, að hluti brennisteinsvetnisins hafi eyðzt vegna íblöndunar andrúmslofts í hveragasið (mynd 2.4).

Neikvætt samband köfnunarefnis við brennisteinsvetni fyrir ákveðið magn af vetni gæti líka stafað af suðu í bergi. Við gufumyndun rjúka lofttegundirnar úr djúpvatninu, einkum þó þær, sem eru minnst leysanlegar í vatninu, en það eru köfnunarefni, vetni, og sé vatnið ekki með hátt sýrustig, kolsýra. Hins vegar er brennisteinsvetni talsvert leysanlegra en nefndar lofttegundir. Við aukið gufutap úr vatni í berggrunni er við því að búast, að hveragasið, sem losnar úr vatninu við suðuna, breytist þannig, að hlutfallslegt magn köfnunarefnis og vetrnis minnki og kolsýra langoftast líka, en magn brennisteinsvetnis aukist.

Vetni og köfnunarefni í hveragasi getur verið hærra yfir uppstreymissvæðum, án þess að áhrif hita komi til, þó aldrei hærra en í djúpvatninu, sem upp streymir, komi íblöndun andrúmslofts ekki til. Við suðu fer magn þessara lofttegunda í hveragasinu minnkandi. Hveragas, sem stígar frá djúpvatni, er hefur tapað mikilli gufu, getur því verið snautt af vetni og köfnunarefni. Þar sem uppstreymi

heits vatns á sér stað, er sífellið endurnýjun á þessum lofttegundum, sem síðan berast til yfirborðs í hveragasinu.

Hlutfallið  $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$  og köfnunarefni er lægst í útjaðri Kröflusvæðis, en hæst í sprengigígunum sunnan Vítis og í gilinu suðvestan í Kröflu. Þótt hlutfallið  $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$  sé lágt í einu sýni frá Leirhnúk, er magn köfnunarefnis hátt. Þetta má skýra með blöndun andrúmslofts í hveragasið, sem hefur ekki átt sér stað, fyrr en mikið af súrefni andrúmsloftsins hafi tapað vegna efnabreytinga við umlykjandi berg. Hækjun á hlutfallinu  $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$  innan Kröflusvæðis stafar fyrst og fremst af aukningu vetrnis í hveragasinu.

Hlutfallið  $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$  og köfnunarefni í hveragasi lækka með aukinni suðu í bergi, en hækka við íblöndun andrúmslofts. Yfir uppstreymisstöðum djúpvatns er köfnunarefni og hlutfallið  $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$  tiltölulega hæst. Talið er, að breytingar á  $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$  hlutfalli hveragassins á Kröflusvæði stafi ekki af suðu. Það er næsta ólíklegt, að suða sé mest í útjaðri jarðhitasvæðisins. Iblöndun andrúmslofts til þess að auka köfnunarefnisinnihald hveragass inni á jarðhitasvæðinu virðist ekki hugsanleg, þar sem vetrnisinnihald þess eykst svo reglubundið með auknu köfnunarefnisinnihaldi. Sú skýring er talin sennilegust, að uppstreymi heits djúpvatns ráði mestu um magn köfnunarefnis og  $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$  hlutfall hveragassins. Samkvæmt því er mest uppstreymi á svæðinu sunnan Vítis og í gilinu suðvestan í Kröflu. Jafnframt er berghiti þar hæstur. Mjög lágt  $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$  hlutfall og köfnunarefni í útjaðri svæðisins gæti stafað af niðurstreymandi soðnu heitu vatni frá uppstreymissvæðinu, en líka af mikið soðnu vatni vegna dræms uppstreymis. Köfnunarefnisinnihald í hveragasi úr borholu gæti skorið úr um, hvort niðurstreymi sé líklegt á útjöðrum.

Köfnunarefni var aðeins mælt í 5 af 11 sýnum frá Námafjallssvæði. Samband köfnunarefnis og hlutfallsins  $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$  er aðeins sambærilegt við Kröflu- og Krísuvíkursvæði fyrir 3 sýni af 5 (mynd 2.3). Eins og í Leirhnúk er hugsanlegt,

að hið mikla köfnunarefni í 2 sýnum, þrátt fyrir lágt  $\text{H}_2/\text{H}_2\text{S}$  hlutfall, stafi af íblöndun andrúmslofts, sem áður hafi tapað súrefni sínu.

Þar sem magn annarra lofttegunda en köfnunarefnis, þ.e. vetrnis, brennisteinsvettis og kolsýru, í hveragasinu er jafnan hverfandi, má fá hugmynd um hlutfallslegt köfnunarefnisinnihald hveragassins með því að draga magn hinna þriggja lofttegundanna frá 100%. Þannig virðist algengast að köfnunarefni í sýnum frá Námafjalli sé í hæsta lagi 1,5-5%. Svo virðist sem köfnunarefni sé lægst uppi á Námafjalli og austan í því, en þar bendir vetrni til hæsts berghita. Þess vegna er talið, að hið lága köfnunarefni hveragassins stafi af suðu í bergi, en samkvæmt því er hún mest á austanverðu Námafjalli. Er það í samræmi við  $\text{CO}_2/\text{H}_2\text{S}$  hlutfall hveragassins.

Köfnunarefni er nokkru hærra í hveragasi úr borholum við Námafjall en uppsprettum að undantekinni borholu 7. Er það talið stafa af því, að vatnið í þessum tiltölulega djúpu borholum er minna soðið en það vatn, sem hveragasið í uppsprettum stígur frá.

## 2.6 Samanburður við segulmælingar.

Uppstreymissvæði heits vatns við Kröflu samkvæmt samsetningu hveragass er, þar sem segulsþið í Kröflu er lægst. Allt háhitasvæðið við Námafjall eins og það er á yfirborði, er í segullægð, svo ekki er unnt að gera samanburð á segulsviði við samsetningu hveragassins.

## 2.7 Vetrnishiti.

Hiti í dýpri borholum í Bjarnarflagi samkvæmt jafnvægi við kvarz er  $253-283^{\circ}\text{C}$ , en botnhiti skv. hitamælingum er  $250-289^{\circ}\text{C}$ . Vetrnismagn hveragassins eykst hlutfallslega með hita eins og sést á mynd 2.5. Að vísu er sambandið ekki mjög greinilegt. Sé hins vegar athugað vetrnismagn í djúpvatni, er samband við hita gott (mynd 2.6).

Vetni í djúpvatni í borholum í Bjarnarflagi er nálægt 13 sinnum meira í heitstu holunni (H 7) en í þeirri köldustu (H 5). Aukning brennisteinsvetnis með hita, en það hefur aukizt rúmlega 7 sinnum í hveragasinu í þessum borholum, veldur að nokkru aukningu vetrnis, sé gert ráð fyrir, að vetrnismagn í djúpvatninu sé eingöngu háð jafnvægi við súlfíð og súlfat. Þó getur brennisteinsvetni ekki valdið nema litlu broti af þeirri aukningu á vetrni, sem hefur mælzt.

Samkvæmt mynd 2.6 hefur átt sér stað um það bil tíföld aukning á vetrni í borholum í Bjarnarflagi við  $30^{\circ}\text{C}$  hækjun á kvarzhita. Fyrir óbreytt súlfat og súlfíð í djúpvatni og jafnvægi vetrnis við þessi efni reiknast, að vetrnið aukist aðeins tvöfalt á þessu hitabili. Ekki hefur fengizt viðhlítandi skýring á þessu ósamræmi, þótt ýmsar breytingar virðist líklegar ofarlega í djúpvatni háhitasvæða, er valda aukningu eða minnkun á vetrni, án þess að jafnvægi náist. Hlutfallslegt magn vetrnis í hveragasi úr borholum í Bjarnarflagi hefur aukizt um 3,7 sinnum.

Sé miðað við hæstu og lægstu mörk á myndum 2.7 og 2.8, er áætlað, að hiti í bergi undir austanverðu Námafjalli, þar sem vetrni bendir til, að hann sé hæstur (mynd 2.3), sé  $280-305^{\circ}\text{C}$  (mynd 2.7) og  $275-305^{\circ}\text{C}$  (mynd 2.8). Á Kröflusvæði er samsvarandi hæstur hiti (mynd 2.2) um  $245-270^{\circ}\text{C}$  (mynd 2.7) og  $255-285^{\circ}\text{C}$  (mynd 2.8). Eðlilegt virðist að bera þennan hita saman við hita á því dýpi, sem borholurnar í Bjarnarflagi ná til, eða um 600-1200 m.

### 3. JARÐEÐLISFRÆÐILEGAR MÆLINGAR

#### 3.1 Inngangur.

Jarðeðlisfræðilegar mælingar, sem gerðar eru á rannsóknar-svæðinu, byggjast á því, að jarðhitinn breytir eiginleikum jarðlaganna á takmörkuðu svæði. Þessi frávik frá normal-ástandinu, sem er kalt óumbreytt berg á stórum landsvæðum umhverfis, er unnt að mæla og kortleggja með hinum ýmsu aðferðum.

Gildi jarðeðlisfræðilegu mælinganna er mjög mikið, þar sem þær veita upplýsingar um ástand djúpt niðri í jarðhita-svæðinu. Þetta á þó ekki við um mælingar á innrauðri varma-geislun, sem er einungis yfirborðsfyrirbæri.

Þyngdarmælingar voru gerðar á syðri hluta svæðisins sumarið 1965 (mynd 3.9). Ekki komu fram neinar sveiflur í þyngdar-sviðinu nema flotjafnvægishreyfingin.

Flokkur frá Bundesanstalt für Bodenforschung í Hannover vann að smáskjálftamælingum á þessum slóðum sumarið 1970. Veitti jarðhitadeild þeim lítilsháttar aðstoð, en hætti við sjálfstæðar rannsóknir á svæðinu. Þjóðverjarnir munu láta okkur í té nákvæma skýrslu um rannsóknir sínar, en hún er ókomin enn.

### 3.2 Segulmælingar.

Sumarið 1964 kom í ljós mikil segullægð, þegar mælt var eftir veginum yfir Námaskarð. Árið eftir var segullægðin kortlögð vandlega með mælingum á jörðu. Niðurstöður eru sýndar á mynd 3.1. Úrvinnsla fór að mestu fram eftir mynd 3.2, þar sem kröppustu ójöfnur á segulsviðinu voru jafnaðar út.

Könnun á segulmögnun 25 bergsýnishorna staðfestir þá ályktun að segullægðin stafi af eyðingu magnetíts við ummyndun. Samkvæmt útreikningum nær berg með lægri segulmögnun en umhverfið frá yfirborði niður á 300-1600 m dýpi og segulmögnun bergsins er um 400-800 lægri en segulmögnun í berginu í kring. Ummyndun sem eyðir magnetíti nær niður í öll berglög, sem borað hefur verið í á svæðinu. Afsegulmögnunin er meiri um miðbik svæðisins, þykkari, samfelldari eða hvort tveggja, en við jaðrana. Nánar er sagt frá þessari rannsókn í skýrslunni Námafjall - jarðfræði og segulmælingar eftir Guðmund Guðmundsson og Stefán Arnórsson, september 1965.

Segulsviðskort af Íslandi (Serson et al. 1968) sýnir pósítíva segulanómaliú yfir gosbeltinu á Norðurlandi og þar með Námafjalls-Kröflu-sprungusveimnum. Tveir langir segulprófílar mældir á jörðu af Schönharting (1969) sýna mjög vel þessa sömu pósítívu anómaliú yfir Námafjalls-Kröflusveimnum, og er hún þar 20-30 km á breidd. Eflaust á hún sér sömu skýringu og miðanómálía Reykjanesskagans (sbr. kort P. Sig. 1970), þ.e. upphleðslu normalt segulmagnaðs bergs á Brunhes-skeiði í gliðnandi gosbelti. Segulsviðskortið (mynd 3.3) sýnir merki þessarar pósítívu anómaliú, þar sem segulsviðið er yfir 52.000 γ í óummynduðu bergi utan aðalsegullægðanna, þar sem régiónala sviðið er í kringum 51.500 γ (P.Sig. 1970).

Eðlisfræðistofa Raunvísindastofnunar Háskólags gerði flug-segulkort af 180 km<sup>2</sup> svæði sumarið 1970. Niðurstöðurnar

eru á mynd 3.3. Auk segullægðarinnar við Námafjall, sem vitað var um, kom í ljós miklu stærra svæði norðar með óeðlilega lágt segulsvið. Það nær frá vestri til austurs yfir allt svæðið sem mælt var, um 11 km. Útbreiðslan í NS er talsvert mismunandi. Það nær langt til suðurs eftir sprungustefnunni í átt að segullægðinni við Námafjall, en lægðirnar ná þó ekki saman. Stærð og lögur nyrðri segullægðarinnar bendir til að afbrigðileg segulmögnun nái ekki styttra niður en á syðra svæðinu, en víða sé talsvert meira eftir af segulmögnuðu bergi.

Við jarðhitasvæðið í gilinu SV af Kröflu er svæði tæpir  $2 \text{ km}^2$  undir 51.000 ɣ. Leirhnúkur er á stóru svæði með <51.500 ɣ, en sker sig ekki úr.

Yfirleitt ber viðnámsmælingum allvel saman við segulkortið og er nánar greint frá því í kaflanum um viðnámsmælingarnar. Athyglisvert frávik er í viðnámsmælingum 21 og 22 í nánd við Víti á norðurjaðri segullægðarinnar. Þar er lægsta viðnám, sem mælzt hefur á háhitasvæði og ekki verður jafnframt rakið til jarðsjóss.

### 3.3 Rafleiðnimælingar.

#### Dýptarmælingar.

Hiti og ummyndun auka rafleiðni bergs. Mælingar á rafleiðni (eða viðnámi) eru miklu ódýrari en boranir og eru nú ein bezta aðferð sem við höfum til að kanna viðáttu jarðhitasvæða. Slikar mælingar geta einnig veitt góðar upplýsingar um jarðlagaskil. Það fer nokkuð eftir viðnámi jarðlaganna, einkum hinna efstu, hvað þær upplýsingar eru nákvæmar. Með núverandi tækjakosti eru góðir möguleikar á að finna, hvort viðnám breytist að ráði á 500 m dýpi. Vegna áhrifa hita og ummyndunar er auðveldara að rekja jarðlög með viðnámsmælingum utan virkustu jarðhitasvæðanna. Byrjum við á að ræða samband viðnáms við jarðfræði Námafjallssvæðisins. Nokkrum mælingum, þar sem jarðhita ætti sízt að gæta, og snúum síðan að útbreiðslu jarðhitans. Staðsetning viðnámsmælinga er sýnd á mynd 3.4 og viðnámskíl í einstökum mælingum á mynd 3.5 og 3.6.

Mynd 3.5 sýnir viðnámskíl í mælingum 1, 2, 4, 6, 7 og 8. Að þunnum jarðvegi frátöldum er efsta lagið undir öllum mælingunum hraun runnin eftir ísöld. Viðnám í ferskum hraunum ofan jarðvatnsborðs er 10.000-50.000 m<sup>3</sup>, þar sem jarðhita gætir ekki. Ef hraunin eru gegnsósa af vatni, lækkar viðnámið mikið og verður af stærðargráðunni 1000 m<sup>3</sup>. Móbergsmýndun virðist taka við fyrir neðan hraunin og er viðnám í henni um 200-300 m<sup>3</sup> utan jarðhitasvæðisins. Á mælingum 1, 7 og 8 kemur fram lag með lægra viðnám á u.p.b. 500 m dýpi. Þetta eru væntanlega basaltlög.

Viðnámsbreytingin í hraununum neðan við jarðvatnsborð gerir mat á þykkt hrauna eftir viðnámsmælingum ónákvæmt. Hraun eru misþykk og heterógen. Vegna hins háa viðnáms í ferskum hraunum verða því mælingarnar óreglulegar framan af meðan straumlinurnar fara að mestu um hraunin. Á óreglugulu línuriti er erfitt að greina, hvort komið er beint í 400 m þykkt lag með 200 m fyrir neðan 15.000 m lagið,

eða hvort fáeinir tugir metra með looo  $\Omega$ m liggjapar á milli. Í mælingu 4 er aðeins um 2 m þykkt lag af þurrum hraunum á yfirborði. Koma skilin milli 1600  $\Omega$ m og 240  $\Omega$ m lagsins þar allvel fram á 70 m dýpi. Við mælingu 2 er ólíklegt að hraun séu meira en 30 m þykk og við mælingu 1 ekki meira en 50 m þykk.

Mælingar 14, 18, 11, 13 og lo eru á norðvesturhluta þess svæðis er rannsóknin nær til. Í mælingum 14, 18 og 11 koma fram viðnámsskil á 65-140 m dýpi. Er viðnámið neðan skilanna um 1/5 af viðnáminu ofan þeirra. Viðnámið í efra luginu er 150-480  $\Omega$ m og 35-80  $\Omega$ m í því neðra. Efra lagið er sennilega ung (kvarter) basaltmyndun og neðra lagið móbergsmyndun. Þessar þrjár mælingar eru á svæði, þar sem ummyndun sést á yfirborði og segulmælingar benda til að ummyndunin nái niður á mikið dýpi. Ummyndunin hefur áhrif á viðnám í báðum lögnum og ætti því að vera yngri en basaltmyndunin. Viðnám virðist hækka neðan 400 m í mælingu 18. Gæti þar verið basalt er ummyndunin hefði minni áhrif á, en einnig er hugsanlegt að það stafi af fráviki frá lárétttri lagskiptingu á minna dýpi.

Mæling 13 er fyrir utan ummyndun og segullægð. Erfitt er að átta sig á viðnáminu ofan til, vegna þess að annar straumarmurinn er á melum og hinn á hrauni. Viðnám í móbergsmynduninni er 170  $\Omega$ m, enda er komið út fyrir svæði þar sem kemur fram meiriháttar ummyndun eða segullægð.

Í mælingu lo kom fram 180 m þykkt lag efst með viðnám 740  $\Omega$ m. Eru þetta sennilega laus jarðög (sandur frá Hólkotsstigi og nýleg dyngjuhraun neðar). Þar fyrir neðan er viðnámið miklu lægra. Það er komið í 65  $\Omega$ m við lengsta skautabil og er á niðurleið. Í næstu mælingum að norðan, austan og sunnan kemur alls staðar fram kalt móbergsmyndunarviðnám, 170-300  $\Omega$ m. Þetta lága viðnám verður varla rakið til neins, sem kemur fram á yfirborði eða segulmælingu. Það verður ekki skýrt með neinni vissu frá einni viðnámsmælingu, en útlit línurits er jarðhitalegt.

Staðirnir á Námafjallssvæðinu þar sem verulegt magn af gufu eða vatni streymir upp eru allvel afmarkaðir af jarðhita við yfirborð, segullægð og lágu viðnámi í efstu jarðlöögum. Ef eðlisvarmi og varmaleiðni bergsins í kring eru ekki gjörólik því sem er undir sjálfa uppstreymissvæðinu leiðir af varmaleiðnijöfnunni, að þegar neðar dregur, hlýtur óeðlilega hár hiti að ná talsvert út fyrir uppstreymissvæðið.

Aðstæður eru örðugar til að greina þessa hitaaukningu með viðnámsmælingum nema hennar gæti á tiltölulega litlu dýpi. Stafar það bæði af óreglu í þykkt efsta lagsins og því, að neðan við móbergsmyndunina virðist taka við lag með lægra viðnám.

Mælingar 19, 27 og 17 (mynd 3.5 og 3.4) eru að meðstu rétt fyrir utan jarðhitasvæðið við Námafjall. Í mælingu 19 kemur skýrt fram lag með 300 ðm á 20-300 m dýpi. Þegar neðar dregur lækkar viðnámið ört og er komið í 65 ðm við lengsta skautabil.

Í mælingu 27 er ferskt hraun efst, 14.000 ðm. Neðan við 9 m lækkar viðnámið nokkuð og er 5-6000 ðm niður í 80 m þar sem móbergslagið virðist byrja. Viðnám þess virðist vera tæpir 300 ðm. Neðan við 400 m lækkar viðnámið ört og er komið í 94 ðm með 900 m straumarmi.

Viðnámið er 2-3000 ðm efstu 30 m í mælingu 17. Síðan fer það í 1500 ðm niður á 180 m. Sennilega eru þetta allt laus jarðög, misþétt og vatnsósa. Eftir að þeim sleppir lækkar viðnámið ört og er komið í 65 ðm með 900 m skautabili. Engin lagskipti verða greind neðan 180 m.

Mælingar 3, 28 og 5 eru inni á jarðhitasvæðinu við Námafjall. Í mælingu 3 er viðnám í efstu metrum 2400 ðm, en síðan 530 ðm niður á 45 m. Þetta eru sjálf sagt allt hraunlöög, misheit og ummynduð. Þarna fyrir neðan er viðnámið lo ðm og koma engin lagskipti fram eftir það.

Mæling 28 er við norðurjaðar jarðhitasvæðisins. Er sennilegt að viðnámið sé talsvert ólíkt við nyrðri og syðri enda mælilínunnar og túlkun samkvæmt líkani með láréttum lögum ónákvæm. Efst eru laus lög með viðnám llo o m um 50 m þykk. Þar fyrir neðan virðist taka við lag með 2-300 m niður á ~ 180 m. Viðnámið lækkar síðan ört og er komið niður í 20 m við 900 m straumarm.

Mæling 5 er í austurjaðri jarðhitasvæðisins. Viðnám er 800-2000 m í efstu 25 m og eru það heit hraun. Eftir það lækkar viðnám í lo m unz það rís aftur í enda mælingarinnar og stafar það sennilega af auknu viðnámi í efstu lögnum.

Við Kröflu kemur virkur jarðhiti fram á yfirborði og gætir hans greinilega í mælingum 21 og 22. Engin mæling er til sem líklegt er að sýni viðnám í þeim lögum sem þar eru á ferðinni án verulegra áhrifa hita og ummyndunar. Mæling 21 sýnir 200-600 m niður á 40 m dýpi, sennilega heit, laus jarðög. Eftir það er viðnám <4 m en hækkar aftur undir lokin, sjálfsagt vegna þess að mælilínan nær út fyrir mesta hitann.

Í mælingu 22 er viðnám 20-60 m efst, 5-6 m frá 3-20 m og síðan 2.5 m unz viðnámið fer að hækka, þegar straumarmurinn er orðinn 250 m. Þeidi mæling 21 og 22 eru í norðurjaðri hitans og benda niðurstöðurnar til þess, að við nyrðri enda línanna sé hiti mikið farinn að minnka. Þessar mælingar eru einnig í norðurjaðri stórrar segullægðar, sem nær þvert yfir svæðið sem mælt var frá austri til vesturs, um 11 km. Segullægðin fellur allvel saman við lágt viðnám og styður það þá ályktun, að segullægðin stafi af ummyndun eins og við Námafjall.

Samkvæmt segulkortinu virðist mæling 23 vera utan við ummyndunina. Viðnám er 3500 m efstu 50 metrana, og eru þar hraun eða laus þurr jarðög. Síðan fer viðnám í 83 m sem er sennilega heitt eða ummyndað móberg.

Mæling 20 er í suðurjaðri svæðis með segulsvið ~ 500 m<sup>2</sup> (mynd 3.6). Þarna eru laus lög ~ 1000 m niður á 20 m og síðan 150 m, líklega móberg, niður á 340 m. Eftir það fer viðnám lækkandi og er komið í 37 m niður á 900 m straumarmi.

I mælingu 24 er farið yfir mórenu, ansi misþykka framan af. Síðan snarlækkar viðnámið og fer niður í 36 m.

Sennilega gætir jarðhita og ummyndunar eitthvað í öllum mælingunum 12, 15, 9, 16, 26 og 25.

Mæling 12 er við syðsta enda nyrðra ummyndunar- og segul-lægðarbeltisins. Hraun eða laus lög með 5000-8000 m niður á 70 m. Eftir það fer viðnám niður í 26 m.

Mæling 9 er nokkru austar en mæling 12 og er einnig inni á segullægðinni. Viðnám er 1700 m niður á 13 m, sjálfsagt laus jarðlög, og síðan ~ 40 m. Mælingin er við kalda um-myndun og volgru 40°C.

Mælingar 15, 16 og 26 eru utan við segullægð, en lítils háttar ummyndunar verður vart á yfirborði austan við miðju mælinga 15 og 26. I mælingu 15 er þurr hraun efst. Síðan tekur við blautt hraun eða laus jarðlög með 2000 m niður á 110 m. Þar fyrir neðan lækkar viðnám ört og fer niður í 80 m. Mæling 16 er hin eina á austurhluta svæðisins þar sem lag með viðnámi móbergsmynndunarinnar frá syðstu mæling-unum kemur skýrt fram. Efst eru 520 m, síðan 75 m niður á 42 m, gæti verið köld ummyndun. Eftir það tekur við lag með 170 m. I mælingu 26 eru 650 m niður á 30 m. Þar fyrir neðan eru ~ 100 m niður á 300 m, sennilega heitt eða um-myndað móberg. Neðan 300 m lækkar viðnámið og fer í ~ 40 m.

Mæling 25 er skammt frá austurjaðri segulkortssins og ekki alveg ljóst, hvort segullægðin er að enda þar eða heldur áfram til austurs. Efst eru 3000-6000 m niður á 25 m. Síðan 800 m, sennilega laus lög niður á 200 m. Þar fyrir neðan lækkar viðnámið og virðist stefna niður fyrir 100 m.

### Lengdarmælingar

Til frekari könnunar á jarðhitasvæðinu við Námafjall var gerð lengdarmæling með 300 m skautabili og u.p.b. N-S stefnu á línunni. Niðurstöðurnar gefa allgóða hugmynd um útbreiðslu hita og ummyndunar í efstu loo-200 metrunum (sjá mynd 3.7). Tvennt dregur þó verulega úr gildi lengdarmælinga. Annað er að mælilínan er 900 m löng og því hætt við að viðnám við miðju línunnar sé víða talsvert ólíkt endunum. Hinn annmarkinn er að víða er viðnám í efsta laginu miklu hærra en þegar neðar dregur. Ef þetta lag er ekki mjög þunnt miðað við skautabilið, veldur breyting á þykkt þess miklum breytingum á niðurstöðu lengdarmælinga, þótt viðnám sé óbreytt fyrir neðan. Sennilega hafa þessir skekkjuvaldar þau áhrif að viðnámskortið sýni of litla útbreiðslu í NS.

### 3.4 Jarðsveiflumælingar.

Jarðsveiflumælingar eða sprengiskjálftamælingar gefa upplýsingar um lagskiptingu bergmyndana með tilliti til útbreiðsluhraða skjálftabylgja. Bylgjuhraðinn hefur verið mældur í ýmsum bergmyndunum hér á landi og má því draga nokkrar ályktanir, þar sem mælingar liggja fyrir, um hvers konar bergmyndanir geti verið til staðar og á hvaða dýpi.

Ein mælilína er til, sem væntanlega gefur upplýsingar um lagskiptingu berggrunnsins með tilliti til bylgjuhraða á jarðhitasvæðinu við Námafjall. Þessi lína liggur frá Mývatni til austurs yfir Námafjall og allt austur að Jökulsá. Yfirborðsberg undir vesturhluta línumnar hefur fremur lágan bylgjuhraða, 2,2-3,1 km/sek, en slíkur hraði er algengur í kvarteru bergi hér á landi. Á um 700 m dýpi vex hraðinn í yfir 4 km/sek, en slíkur hraði er einkennandi fyrir tertieru basaltmyndunina. Telja má því líklegt, að basaltmyndun taki við neðan þessa dýpis. Á um 3,9 km dýpi vex svo hraðinn enn í um 6,5 km/sek (lag 3).

Önnur mælilína liggur frá Sandvatni norður yfir Hólssand. Lagskipting undir henni er í stórum dráttum svipuð og undir Mývatns-Jökulsárlínunni. Bendir þetta til þess, að ekki sé um verulegar óreglur í lagskiptingu að ræða á Mývatnssvæðinu.

### 3.5 Innrauðar mælingar.

Í ágúst 1966 voru flognar fjórar fluglínur yfir Mývatns-svæðið til mælinga á innrauðri varmageislun. Voru þær liður í rannsóknarverki, sem unnið var í samvinnu við 1) U.S. Geological Survey, 2) Infrared Physics Laboratory of the University of Michigan og 3) Air Force Cambridge Research Laboratories, Cambridge, Mass. Kostnaðinn við mælingarnar báru þessir bandarísku aðilar. Mynd 3.8 sýnir fluglínurnar.

Línurnar voru flognar í myrkri nál. kl. 04 um morgun í 6 km hæð. Innrauði skannarinn mælir varmageislun frá um lo km breiðu svæði undir flugvélinni. Styrkleika geislunarinnar má síðan framkalla á ljósmyndafilmu sem mismunandi grátóna, og eru notaðar kópiur af slíkum filmum við túlkun mælinganna. Í samræmi við þessa úrvinnslutækni eru til 4 myndræmur, sem sýna varmageislunina á þeim svæðum, sem flogið var yfir. Myndræmurnar eru skýrastar í miðju, en út við jaðrana eru þær mjög dökkar og kontrastlausar, þó kemur geislun frá jarðhita einnig skýrt fram þar.

Innrauðu myndræmurnar ná yfir háhitavæðin á Þeistareykjum við Kröflu og Námafjall. Þeistareykjasvæðið er á miðri myndræmu og má þar allvel greina dreifingu jarðhitans. Kröflusvæðið er í vesturjaðri myndræmu og kemur dreifing jarðhitans þar mjög vel fram. Námafjallssvæðið er á austur-jaðri myndræmu og hefur sú ræma verið túnkuð sérstaklega (sbr. skýrslu eftir L. Chaturvedi og Guðm. Pálsson 1967).

Varðandi varmageislun frá jarðhita, sem fram kemur á þessari síðustu ræmu er rétt að vekja athygli á þremur atriðum sem ekki er vikið að í ofangreindri skýrslu.

1. Jarðhiti í Leirhnúkshrauni norðaustur frá Hlíðarfjalli kemur fram á filmunni, sem tveir ljósgráir deplar, nokkuð þokkenndir til jaðranna. Priðji smádepillinn er um 500 m norðar. Ef þetta er einnig jarðhiti, er um að ræða áberandi línulega röðun í sprungustefnu

og þá væntanlega sprungu kaffærða í Leirhnúkshrauni.  
Astæða er til að kanna þetta nánar.

2. Jarðhitinn sunnan við Jarðbaðshóla og í Rauðuborg er einna mest áberandi á Námafjallssvæðinu á filmunni, þótt þar sé einungis um að ræða uppgufun frá heitu grunnvatnsborði í hrauninu. Hitastig hefur mælzt þar í gufum um og yfir  $50^{\circ}\text{C}$ . Hugsanlega veldur hér nokkru holótt gjallið, sem þessir gígar eru gerðir úr.
3. Grjótagjármisgengið kemur glöggjt fram sem dauf grá rák (slitrótt) á um 3 km kafla. Þar er einnig um að ræða volgt grunnvatn  $>40^{\circ}\text{C}$  í hraunsprungu.

Innrauðu mælingarnar gefa allgóða mynd af dreifingu jarðhita á háhitasvæðunum á þeim tíma, þegar þær voru teknar og geta því haft þýðingu í sambandi við breytingar, sem kunna að koma fram á dreifingu jarðhitans. Hins vegar er mjög erfitt að staðsetja jarðhitastaðina nákvæmlega eftir innrauðu strimlunum og stærð þeirra og lögun verður varla fundin nákvæmlega eftir þeim. Hins vegar er mögulegt að fá frá Bandaríkjamönnunum, sem mælingarnar gerðu, s.k. amplitude level slices, sem sýna breytingu hitablettanna, þegar varmageislun frá kaldari stöðum er filteruð frá í t.d.  $20^{\circ}\text{C}$  þepum. Kann að reynast unnt að gera eitthvert kvantitatíft mat á jarðhitum með kerfisbundinni athugun á slíkum efnivið, en hann var ekki fyrirliggjandi, þegar áðurnefnd skýrsla var tekin saman.

#### 4. BORHOLUR Á NÁMAFJALLSSVÆÐINU

##### 4.1 Inngangur.

I þessum kafla er gefið stutt yfirlit yfir það helzta, sem fram hefur komið við boranir Norðurbors í Bjarnarflagi. Eldri borana er að engu getið. Alls hafa frá árinu 1963 verið boraðar þar 9 holur, tvær þær fyrstu sem rannsóknarholur, en hinar sem vinnsluholur fyrir Kísiliðjuna og gufurafstöð Laxárvirkjunar. Af vinnsluholunum eru tvær nú óvirkar, þar af önnur endanlega, en vonir standa til að hægt verði að gera við hina (holu 6) nú í sumar (1971), en hún hrundi saman í desember á síðasta ári eftir eins árs notkun. Mælingum á holunum er að ýmsu leyti ábótavant og tími til þeirra naumur, vegna þess hve þær hafa verið í stöðugri notkun allt frá því að lokið var við að bora þær.

##### 4.2 Staðsetning borhola.

Á kortinu (mynd 4.1) er sýnd lega borholanna í Bjarnarflagi. Á kortið eru dregnar lo Óm jafnviðnámslína sbr. kort gert eftir lengdarmælingum (mynd 3.7) og 48.000 Y jafnsegulsviðslína, sbr. kort gert eftir segulsviðsmælingum á jörðu birt í skýrslu Guðmundar Guðmundssonar og Stefáns Arnórssonar, Námafjallssvæðið (1965) (sjá mynd 3.2).

Þessar línur gefa til kynna heitustu blettina á Námafjalls- svæðinu vestan Námafjalls. Afstaða borholanna til misgengja er einnig sýnd á mynd 4.1. Virkir gufuhverir eru við öll þessi misgengi eins og sjá má af samanburði við jarðhitakort Stefáns Arnórssonar, sem birt er með skýrslu þessari (mynd 2.3). Allar borholurnar nema hola 8 eru bor-

aðar við misgengi og flestar á "hærri vængnum". Holurnar eru staðsettar þeim megin, með það fyrir augum að fá sem heillegast berg niður á það dýpi, sem fóðra skal, og losna þannig við tafir vegna leka í sprungum. Erfiðleikar af þeim orsökum urðu í holu 7, en þar lenti borinn í sprungu, sem ekki tókst að þéttu, í 120 m. Þurfti því að setja öryggisfóðringu í þá holu. Misgengi liggur rétt við holu 7, og er talið að erfíðleikarnir hafi stafað af nálægð við þetta misgengi. Hola 8 er eina holan, sem boruð er fjarri sjáanlegu misgengi á yfirborði. Hún er jafnframt á vestur-jaðri segullægðarinnar, sem farið var eftir við val á borsvæði, þegar fyrstu holurnar voru boraðar. Hola 8 hefur ekki verið hitamæld ennþá nema í 950 m, en þar mældist  $274^{\circ}\text{C}$  hiti, sem er svipað og mælzt hefur á sama dýpi í þeim holum, sem austar eru. Vatnsæð, sem flæðir inn í holuna á 554 m dýpi, er sennilega mun kaldari og veldur því, að meðalhiti á vatni sem streymir inn í holuna er lægri en í öðrum holum.

Fjarlægð á milli borholanna er frá 85-190 m. Þess hefur ekki orðið vart, að þær dragi hver frá annarri, enda líttítt tími gefist til slíkra athugana. Hola 3 er nú alveg óvirk, en þannig hefur verið gengið frá henni, að hana má nota sem mælingaholu.

#### 4.3 Jarðlög, hiti og vatnsæðar.

Á mynd 4.2 eru sýnd þversnið af borholunum í Bjarnarflagi. Holuvídd er gefin til kynna, einnig lengd fóðringa og vídd fóðurröra.

Jarðlagasnið hefur verið teiknað af holum 6 og 9, byggt á alls 55 þunnsneiðum. Úr holu 2 eru til þrjár þunnsneiðar. Á mynd 4.2 eru þeir staðir merktir með punkti, þar sem þunnsneiðar voru teknar af svarfi. Þar sem jarðlög eru sýnd í öðrum holum byggist ákvörðun þeirra á skoðun upplímds svarfs og kornapreparata, en sú aðferð hefur höfundi reynzt mjög ótrygg.

Yfirleitt virðast sömu lögin koma fyrir á líku dýpi í öllum holunum. Móberg og bólstraberg er ríkjandi niður í ca. 475 m dýpi. (Svarfið hefur verið greint sem bólstraberg þegar korn úr tachylítísku basalti hafa verið ríkjandi). Í ca. 475-650 m dýpi er vel afmörkuð basaltsyrpa, en vinnslufóðring hefur verið látin ná vel niður í hana (tæpa 600 m). Á kaflanum frá ca. 650-900 m dýpi er móberg og bólstraberg aftur ráðandi, sennilega tvær móbergsseriur aðskildar af þunnri hraunlagasyrpu. Borhraði í þessu bergi hefur verið láttinn ráða því, hvort leiðari hefur verið settur í holuna á móts við þennan kafla, en til þessa hefur það einungis verið gert í holu 9. Í desember 1970 hrundi hola 6 saman, sennilega vegna þess, að að hefur brotizt inn í hana í ca. 800 m. Í holum 7 og 8, sem eru næstar henni, fundust meiri háttar aðrar einmitt um þetta bil, en í borun kom engin slík að fram í holu 6. Frá ca. 900 m til a.m.k. 1175 m er basalt aftur ríkjandi.

Ummýndun bergs hefur verið athuguð með smásjárskoðun á þunnsneiðum fyrst og fremst af svarfi úr holu 6. Á myndum 4.2 og 4.3 er sýnt línurit yfir ummýndunarsteintegundir og það dýpi, sem þær finnast á. Ummýndunin fer stigvaxandi með dýpi, þannig að fram koma zónur, sem einkennast af ákveðnum ummýndunarsteintegundum. Í efstu zónunni eru ópall, kalsedón og lághitazeólítar (svo sem kabasít) einkennandi niður í

ca. 200 m. Frá 200-500 m dýpi einkennist ummyndun bergsins af brúnum leir, sennilega montmorillóníti. Með berum augum er auðvelt að greina breytingu yfir í grænan lit (klórít?) á svarfi, sem er ríkjandi neðar. Á þessum kafla eru zeólítarnir analkím og sennilega skólesít einkennandi og ópal og kalsedón horfið, en kvarz komið í staðinn. Í holum 4, 8 og 9 nær græna ummyndunin upp í 200-225 m. Frá ca. 500 í 900 m er grænn leir eða klórít ríkjandi ásamt háhitazeólítum, svo sem heulandíti og laumontíti. Frá 900 m til botns koma til viðbótar prehnít og epidót og er þar með náð hæsta stigi ummyndunar. Í holu 9 fannst allmikið epidót í 828 m dýpi. Akvörðun zeólita og leirs og klóríts er mjög óviss, þegar eingöngu er stuðzt við smásjá. Verður reynt að rannsaka ummyndunina betur, þegar stofnunin fær umráð yfir röntgentæki nú með haustinu. Tæpast leikur nokkur vafi á því, að ummyndunin er virkur prósess, sem enn fer fram og stjórnast af hita, þrýstingi og efnainnihaldi vatnsins niðri í jarðhitasvæðinu, svo og samsetningu og gerð bergsins.

A mynd 4.3 eru sýndar hitamælingar í þeim borholum, sem mældar hafa verið hæfilega löngu eftir borun, og er ummynduninni stillt upp við hliðina. Breytingin frá ópal + kalsedón yfir í kvarz verður við ca.  $160^{\circ}\text{C}$ . Epidót og prehnít kemur fyrst fram við um  $260^{\circ}\text{C}$  í kringum 900 m, en þar breytir einnig um berglög og basaltlög verða ríkjandi. Hæst mælt hitastig í borholum á svæðinu er  $289^{\circ}\text{C}$  í botni á holu 7.

A jarðlagasniðinu (mynd 4.2) eru sýndar vatnsæðar, sem fundiðt hafa í borun eða með hitamælingum. Steypt var í alla leka niður á móts við enda festilfðöringar (200-250 m) og vinnslufðöringar (537-596 m). Þeir vatnsleiðarar, sem fundust neðar, eru hins vegar opnir inn í holurnar. Í öllum holunum nema holu 6 fundust æðar á bilinu 550-860 m og síðan aftur neðan við looo m. Í holum 7 og 8 varð algjört skoltap á efri æðunum og kom ekki upp meir. Er því ekki til úr þeim svarf neðan 787 m (hola 7) og 860 m (hola 8). Í holu 9 tapaðist skolvatn alveg nokkrum sinnum neðan við lloo m, en kom ávallt upp aftur eftir nokkra stund. Hola 9 er eina holan, þar sem ekki hefur orðið algjört skoltap, og jafnframt sú aflminnsta.

#### 4.4 Efni í vatni.

Heita vatnið í borholunum við Námafjall inniheldur lítið magn af uppleystum efnum miðað við djúpvatn af öðrum háhitasvæðum, sem borað hefur verið í (tafla 4.1). Af öllum uppleystum efnum er magn kísilsýru mest, en það stjórnast af uppleysanleika kvarz (mynd 4.4). Kísilsýran er að mestu óklofin í jónir í djúvatninu. Ríkjandi jónir eru  $\text{Na}^+$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{HS}^-$  og  $\text{SO}_4^{--}$ . Segja má, að vatnið í borholunum sé natrium-bísúlfíðvatn. Vegna hins mikla magns súlfíðs í vatninu er oxunarstig þess lágt og vatnið þess vegna mjög lítið eða ekki tærandi. Þéttivatnið er nokkuð surt vegna uppleystrar kolsýru og brennisteinsvetnis. Samt er talið, að gufan sé ekki tærandi, blandist hún ekki andrúmslofti, af því að brennisteinsvetnið myndar svarta hlífðarhúð innan í pípum með járninu í þeim.

Magn flestra aðalefna í vatninu stjórnast af uppleysanleika ýmissa steintegunda.  $\text{Na}^+$  og  $\text{K}^+$  magnið í vatninu stjórnast af uppleysanleika alkalífeldspata eða glimmers,  $\text{Ca}^{++}$  af uppleysanleika kalkspats og  $\text{Mg}^{++}$  af jónaskiptum við klórít og/eða montmorillónít. Sennilega hefur útskoluunahraði mest áhrif á súlfíð, kolsýru og klórinnihald vatnsins og jafnvægi milli súlfíðs og brennisteins á oxunarstig þess.

Magn hveragass í borholum eykst reglubundið með hita (mynd 4.5) og um leið eykst hlutfallslegt magn vetnis í hveragasinu. Fengnar niðurstöður sýna, að við nálægt  $250^\circ\text{C}$  innstrey mishita eru um 0,5 l af hveragasi með 1 kg af gufu við lo  $\text{kp/cm}^2$  þrýsting. Rúmmál gassins er mælt við 1 loftþyngd og  $20^\circ\text{C}$  hita. Við  $30^\circ\text{C}$  hitaukningu eykst gasmagnið nálægt fimmfalt.

Heildarsamsetning vatnsins mun fyrst og fremst vera háð ríkjandi hitaástandi í berggrunni og bergtegundum þeim, sem vatnið streymir um. Að sjálfsögðu mun bergið vera að

Tafla 4.1

Samsetning ájúpatns úr borholum í Bjarnarflagi og  
nokkrum öðrum háhitasvæðum. Magn í ppm.

	Kvars-hiti $\delta_{\text{C}}$	pH/ $^{\circ}\text{C}$	$\text{SiO}_2$	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Ca}^{++}$	$\text{Mg}^{++}$	$\text{CO}_3^{2-}$ alts	$\text{SO}_4^{2-}$ alts	$\text{S}^{2-}$ alts	$\text{Cl}^-$	$\text{F}^-$	Uppl. efni
Námafjall H 3	268	7.2	591	133	28.2	1.1	0.03	188	62.5	118.9	19.7	1.5	996
Námafjall H 4	255		500	163	29.2	1.0		165	77.5		13.1	1.0	949
Námafjall H 5(vatnshl.)	257	9.9/20	520	134	26.5	1.7	0.02		41.6		(45.5)	1.1	951
Námafjall H 6(vatnshl.)	267	9.9/20	575	141	22.1	0.4	0.01		39.0		18.1	1.9	995
Námafjall H 7(vatnshl.)	283	9.8/20	670	116	24.2	0.4	0.03		26.2		14.4	2.1	1084
Hveragerði G 8	217	8.4	416	162	19.7	1.4	0.02	125	49.8	48.2	176.5	0.2	874
Nesjavellir H 4	222		452	118	15.5	1.4	0.09	453	80.3	244	20.8	1.4	848
Krísvík 14 (vatnshl.)	(220)	9.3/100	400	341	41.8	7.5	0.07		75.8		524	0.6	1400
Reykjanes H 2	221	4.8	353	10440	1382	1812	15	940	72.0	34.4	20745		34550
Reykjanes H 8	280	4.8	650	9720	1349	1607	21	1450	54.0	24.5	19230		33050

mestu basalt. Þess vegna er ekki búigt við því, að efna-innihald heits vatns í borholum innan Námafjallssvæðis sé breytilegt sem neinu nemur og gert er ráð fyrir, að sam-setning djúpvatns sé einnig svipuð á Kröflusvæðinu, nema heita djúpvatnið þar renni að teljandi marki um granófýr, en hnyðlingar frá sprengigígum sýna, að granófýr er undir jarðhitasvæðinu. Rennsli heits vatns um granófýr leiðir til þess, að vatnið verður klórríkara en vatn, sem eingöngu rennur um basalt og að sama skapi verður súlfíðinnihald granófýrvatnsins lægra og oxunarstig sennilega eitthvað hærra.

Magn kísils í djúpvatni á háhitasvæðum stjórnast af uppleysanleika kvarz. Nákvæmar niðurstöður mælinga á uppleysanleika kvarz við mismunandi hita liggja nú fyrir. Þær sýna, að uppleysanleiki kvarz eykst með hita, einkum á hitabilinu  $200\text{--}300^{\circ}\text{C}$ . Upplustur kísill í vatni kemur fyrir sem veik sýra, kísilsýra ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ). Ef sýrustig vatnsins er hátt, er kísilsýran að nokkru klofin í  $\text{H}^+$  og  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ . Kleyfnistuðinn (K) við  $20^{\circ}\text{C}$  er

$$\text{lo}^{-10} \quad (K = \frac{(\text{H}_3\text{SiO}_4^-)(\text{H}^+)}{(\text{H}_4\text{SiO}_4)})$$

Sýrustig hefur ekki áhrif á uppleysanleika kvarz. Við ákveðinn hita fer ákveðið magn af kvarzi í upplausn sem  $\text{H}_4\text{SiO}_4$ . Hátt sýrustig eykur því heildarmagn uppleystrar kísilsýru á þann hátt, að hluti  $\text{H}_4\text{SiO}_4$  klofnar í  $\text{H}^+$  og  $\text{H}_3\text{SiO}_4^-$ . Þegar kísilsýra fellur út úr yfirmettaðri vatnsupplausn eins og í borholum, fellur hún ekki út sem kvarz heldur sem ópall.

Þegar vatn í borholu sýður hækkar sýrustig þess, vegna þess að kolsýra og brennisteinsvetni rjúka úr vatninu í gufuna. Djúpvatnið, sem streymir inn í borholur við Námafjall, en það hefur ekki soðið, er basískt, þó ekki svo mikið, að kísilsýran ( $\text{H}_4\text{SiO}_4$ ) sé klofin sem neinu nemur. Aftur á móti er sýrustig vatnsins svo hátt ( $\text{pH} = 9,5\text{--}9,9$  við  $20^{\circ}\text{C}$ ), þegar það hefur soðið og þrýstingur er fallinn í

<lo kp/cm<sup>2</sup>, að 25-45% kísilsýrunnar er klofin. Hækkun á sýrustigi vegna suðu veldur þess vegna því, að magn óklof- innar kísilsýru ( $H_4SiO_4$ ) í vatninu minnkar og þarf þess vegna meiri kólnun en ella til þess að vatnið mettist af ópal og útfelling eigi sér stað í holunni. Væri sýrustig soðna vatnsins svo lágt, að kísilsýran væri sama sem ekkert klofin, er við því að búast, að útfelling kísils eigi sér stað í borholum sé innstrey mishiti um 275°C. Er þá gert ráð fyrir lo ata þrýstingi (mynd 4.4). Vegna hins háa sýrustigs á soðna vatninu í borholum við Námafjall er á hinn bóginn ekki gert ráð fyrir útfellingum kísils í borholum við lo ata þrýsting á því svæði, fyrr en inn- streymishiti er 300-320°C (mynd 4.4).

#### 4.5 Afl borhola.

I júlí 1968 var hola 3 afstmæld með útblástursaðferð, þ.e. holan er látin blása út um pípu af ákveðinni vídd og þrýstingur á útstreymisopi mældur. Niðurstöður þessarar mælingar voru, að holan gaf 6-8 tn/klst af gufu við móþrýsting lo-5 atg. Holan hefur ekki verið í notkun síðan snemma á árinu 1969, og eftir að hafa staðið lokuð í eitt ár var hún látin blása í ársbyrjun 1971, en þá var afl hennar nánast ekkert. Minnkun á afli holunnar gæti stafað af því, að dýpri holur staðsettar nálægt holu 3 dragi vatn úr sömu vatnsæðum. Afl holu 5, sem er jafndjúp holu 3, hefur þó ekki minnkað. I júlí 1969 var hola 4 afstmæld á sama hátt, og eru niðurstöður þeirrar mælingar, að holan gaf 25 til 30 tn/klst af gufu við ofangreindan móþrýsting.

Mælitækjum, sem mæla gufuflæði í pípum, hefur nú verið komið fyrir, þannig að nú er stöðugt mælt gufurennslí bæði til gufuaflstöðvar Laxárvirkjunar og Kísiliðjunnar. I febrúar 1971 voru gerðar mælingar á holum 4, 5 og 9 og gufumagn mælt við mismunandi móþrýsting á þeim stað, sem gufan er afhent til nýtingar. Fylgja kennilínur þessara borhola á mynd 4.6 en búast má við einhverri skekkju í kennilínunum, vegna þess að ef breyting verður á móþrýstingi borholu, getur það tekið holuna mjög langan tíma að komast í jafnvægi. Við langtíma mælingar gefa holur 4, 5 og 9 51 tn/klst við 6,8 atg móþrýsting á afhendingarstað. Holur 7 og 8 gefa á sama hátt 35 tn/klst við 9,5 atg móþrýsting. Samkvæmt kennilínum borhola 4, 5 og 9 minnkar afl þeirra um helming við að auka móþrýsting úr 6,8 atg upp í 9,5 atg. I maí 1971 voru holur 4, 7, 8 og 9 allar leiddar til Kísiliðjunnar og mældist þá magnið 35 tn/klst við lo atg móþrýsting, en af því má sjá, að afl holanna fer ört minnkandi með auknum móþrýstingi.

Aflgjöf borhola á svæðinu virðist rýrna um 20-30% á fyrsta mánuði, sem holan er í notkun, en eftir þann tíma hefur ekki borið á minnkandi aflgjöf. Sé holu lokað í nokkurn tíma, reynist afl hennar aukast nokkuð eftir að hún er opnuð, en aukningin fellur aftur til fyrra jafnvægis.

HEIMILDARRIT.

- Barth, T.F.W., 1942: Craters and Fissure Eruptions at Mývatn in Iceland.  
Norsk Geografisk Tidskr. 10, 2, bls. 58-81.
- " 1950: Volcanic Geology, Hot Springs and Geysers of Iceland.  
Carnegie Inst. Publ. 587, 174 bls.
- van Bemmelen, T.W., and Rutten, M.G., 1955:  
Tablemountains of Northern Iceland, 210 bls.
- Charmichael, I.S.E., 1964: The Petrology of Thingmúli, a Tertiary Volcano in Eastern Iceland.  
J. Petrol. 5, 3, bls. 435-460.
- Guðmundur Guðmundsson og Stefán Arnórsson, 1965:  
Námafjall, jarðfræði og segulmælingar.  
FjölrITUÐ skýrsla gefin út af Raforkumála-skrifstofunni, sept.
- Guðmundur Kjartansson, 1970: Úr sögu berggrunns og landslags á Miðsuðurlandi.  
Suðri, 2. hefti, bls. 12-100.
- Guðmundur Pálason og L. Chaturvedi: Interpretation of Infrared Imagery of Mývatn Area.  
FjölrITUÐ skýrsla Orkustofnunar, des. 1967.
- Guðmundur E. Sigvaldason, 1969: Chemistry of Basalts from the Icelandic Rift Zone.  
Contr. Mineral. Petrol. 20, bls. 357-370.
- Johnstrup, F., 1886: Om de vulkanske Udbrud og Solfatarerne i den nordøstlige Del af Island.  
Den Naturhistoriske Forenings Festskrift,  
bls. 1-52.
- Kristján Sæmundsson, 1967: Vulkanismus und Tektonik des Hengill-Gebietes in Südwest-Island.  
Acta Nat. Isl. II, 7, 105 bls.

Noll, H., 1967: Maare und maar-ähnliche Explosionskrater  
in Island.

Sonderveröff. d. Geol. Inst. d. Universität  
Köln, 11, bls. 3-117.

Ólafur Jónsson, 1946: Ódáðahraun - 1. og 2. bindi.

" 1946: Frá Kröflu.

Náttúrufræðingurinn, 16, bls. 152-157.

Rittman, A., 1938: Die Vulkane am Mývatn in Nord-Island.  
Bull. Volcanol., bls. 1-38.

" 1939: Threngslaborgir. Eine isländische  
Eruptionsspalte am Mývatn.

Natur und Volk, 69, bls. 275-289.

Schönharting, G., 1969: Vermessung des erdmagnetischen  
Feldes längs einiger Profile in Nord-Island, deren  
Auswertung und Interpretation.

Diss. Math. Naturw. Fak. Universität München.

Serson, P.H., Hannaford, W., Haines, G.V., 1968: Magnetic  
anomalies over Iceland.

Science, 162, 3851, p. 355-357.

Sigurður Þórarinsson, 1951: Laxárgljúfur and Laxárhraun.  
Geogr. Ann., 1-2. hefti, bls. 1-88.

" 1952: Hverfjall.

Náttúrufræðingurinn, 22, bls. 113-129 og 145-172.

" 1960: The Postglacial History of  
the Mývatn Area and the Area between Mývatn and Jökulsá  
á Fjöllum.

Guide to Intern. Geol. Congr. Excursion no. A2,  
On the Geol. and Geogr. of Iceland, bls. 60-69.

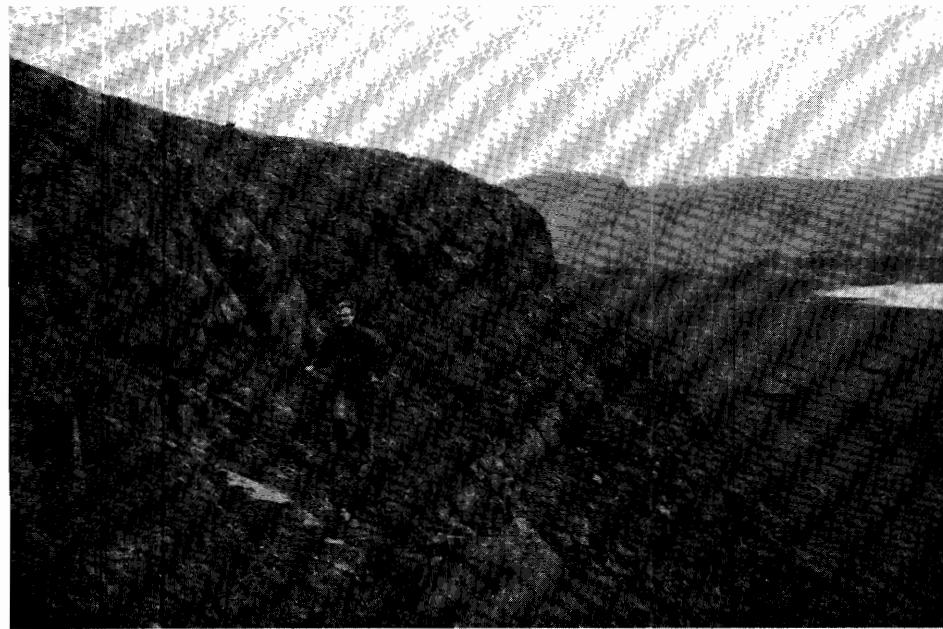
" 1962: Myndir úr jarðfræði Íslands -  
VII. Malarásar.

Náttúrufræðingurinn, 32, bls. 72-83.

Sveinbjörn Björnsson, 1969: Áætlun um rannsókn háhitasvæða.  
Fjölrituð skýrsla Orkustofnunar, ágúst  
+ fylgiskjal um útreikninga.

- Trausti Einarsson, 1948: Hverfjall og Hrossaborg.  
Náttúrufræðingurinn, 18, bls. 113-121.
- " 1953: Athugasemdir við rannsókn Sigurðar Þórarinssonar á myndun Hverfjalls.  
Náttúrufræðingurinn, 23, bls. 151-169.
- " 1965: The ring-mountains Hverfjall, Lúdent, and Hrossaborg in Northern Iceland.  
Vísindafélag Íslendinga, greinar IV.1, bls. 1-28.
- Walker, G.P.L., 1965: Some aspects of Quaternary Volcanism in Iceland.  
Trans. Leicester Lit. and Phil. Soc., 59, bls. 25-40.
- " , Blake, D.H., Ellwell, R.W.D., Gibson, I.L., Skelhorn, R.R., 1965: Some relationships resulting from the intimate association of acid and basic magmas.  
Q. Journ. Geol. Soc., London, 121, bls. 31-49.
- Wright, F.E., 1915: Obsidian from Hrafntinnuhryggur, Iceland, its lithophysae and surface markings.  
Bull. Geol. Soc. Am., 26, bls. 255-286.
- Porbjörn Sigurgeirsson, 1970: Aeromagnetic survey of SW-Iceland.  
Science in Iceland, 2, p. 13-20.
- Þorvaldur Thoroddsen, ed. 1907-1915: Skýrslur um Mývatnselta. Safn til sögu Íslands, 4, bls. 385-411.
- " 1925: Die Geschichte der Isländischen Vulkane.  
D.Kgl. Danske Vidensk. Selsk. Skr. Naturvidensk. og Matem. Afd., 8, IX, bls. 371-377.





I a  
Ignimbrit (efsta klettabríkin) ofan á dyngjubasalti í misgengisbrún vestan við Krókóttuvötn (í baksýn til hægri).



I b  
Veldarð ingimbrit með blossatextúr og framandsteinum (vestan við Krókóttuvötn).



I c  
Punnur basaltgangur í dyngjubasalti (frá Hrafnabjörnum) og ignimbriti (klettasnösin bak við manninn). Gangurinn er aðfærsluæð móbergshryggs, er fylgir misgenginu, sem sýnt er á mynd I a.



II a

Elzta hraun i Hrossadal klippt sundur af Grjótagjármisgenginu. Hraunið sýnir vel textúr-einkenni þóleithrauna, straumflögum og þykkan kraga.



II b

Hverfjallstuff í stöbbunum sunnan við Rauðuborg. Skálög-un bendir til flutnings eftir jörðinni frá hægri með „base surges“.



II c

Sprengigigur suðaustan við Viti og vestan undir Kröflu (í baksýn). Gufumökkurinn frá stóra hvernnum í gilinu, sem gengur upp með Kröflu að vestan, sést yzt til hægri á myndinni.



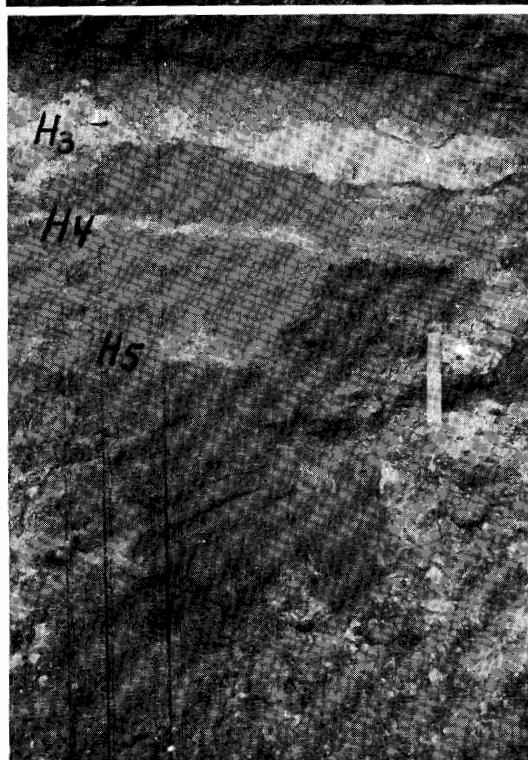
III a

Stuðlaðir biksteinseitlar í gráum, smáblöðröttum glersalla. Eitlar þessir eru n.k. bólstrar og einkenna ásamt glersallanum flestar súblglasialar rhýólit-myndanir hérlandis. Suðaustan í Jörundi. Maður stendur á móts við miðjan eitilinn.



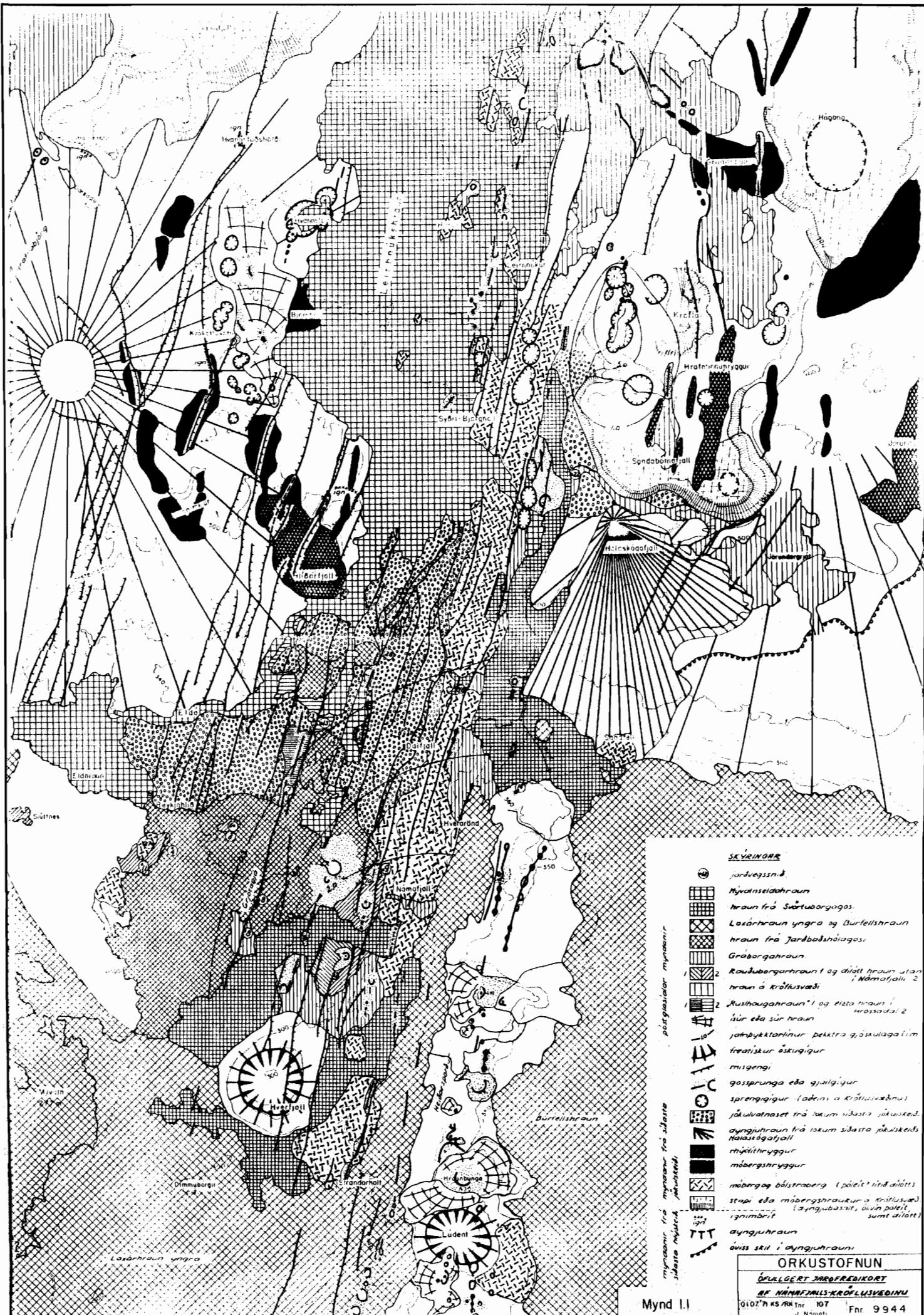
III b

Áfokin Hverfjallsaska ofan á gjalli austan við Jarðbaðshóla.



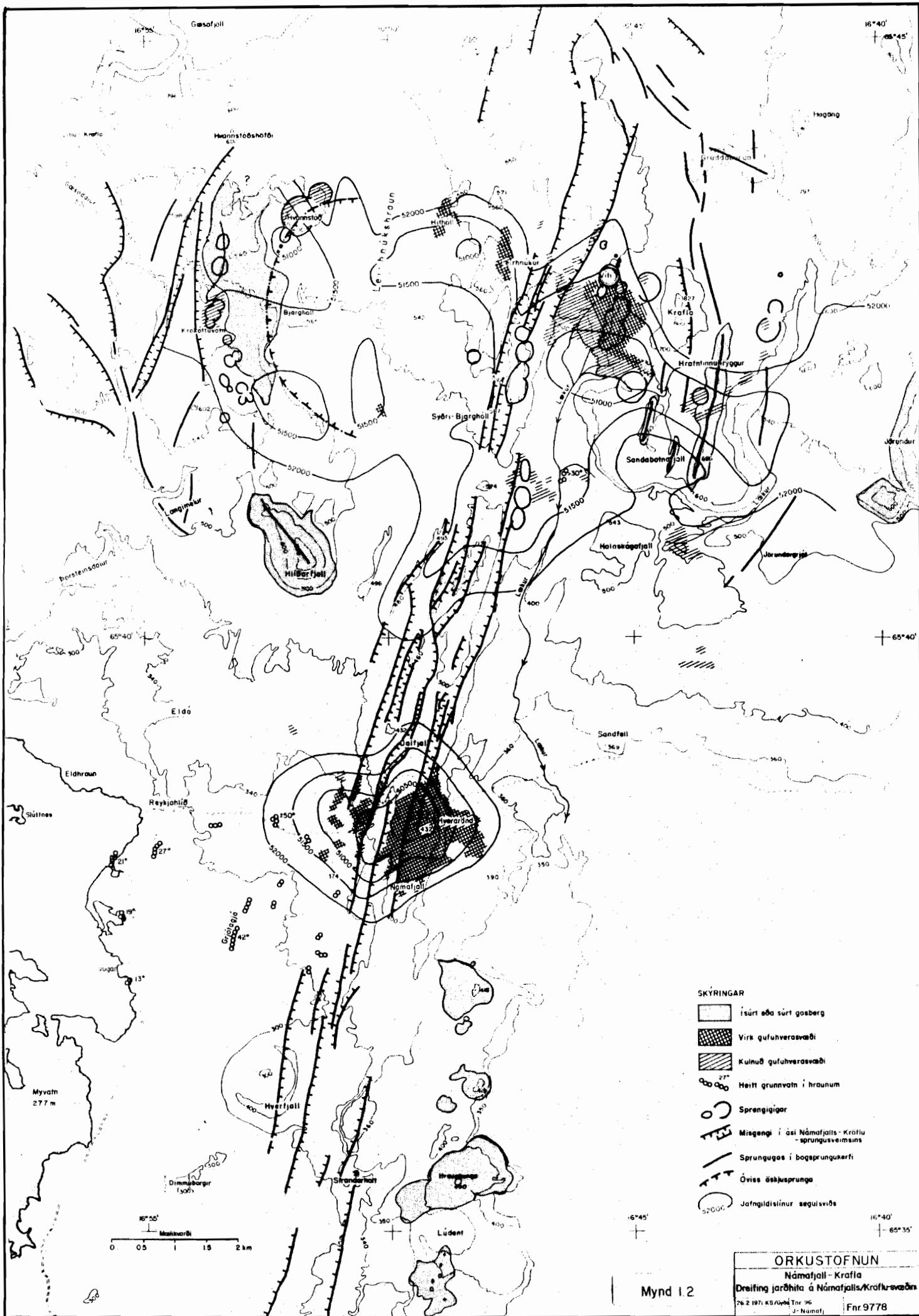
III c

Jarðvegssnið 8 milli Jarðbaðlahrauns og efsta Grjótagjárhraunsins. Efst á myndinni sést Hverfjallstuffið, en undir því þrjú ljós Heklulög.



### Mynd 1.1

ÓFUGLERT JAROFREDIKORT  
AF NÁMFJALLS-KRÖFLUSVÉDINU  
10771 KS/IRK Fnr. 107  
J. Námfjall Fnr. 9944



## Mynd 1.2

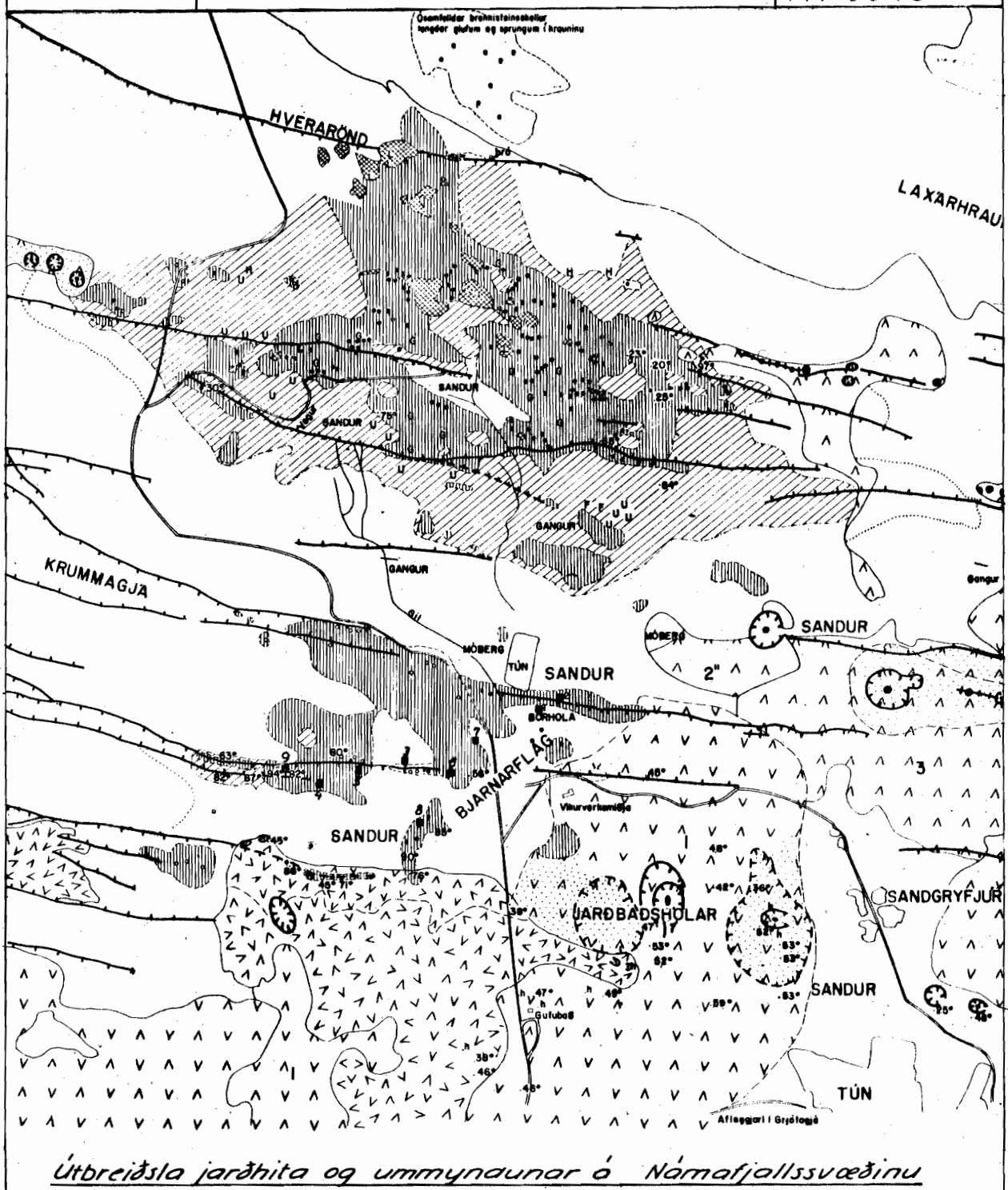
# ORKUSTOFNUN

Námafjall - Krafla

Dreifing jarðhita a Námafjalls/Krófur svæðum  
26.2.1971 KS/Uyða Tnr. 96 J-Námatj Fnr. 9778

**ORKUSTOF NUN** Jarðhitadeild  
**Útbreiðsla jarðhita og ummyndunar**  
**ó Námafjallssvæðinu**

OIOT'71 KS / RS  
 Tnr. 108  
 J - Námafj.  
 Fnr. 9945



Útbreiðsla jarðhita og ummyndunar ó Námafjallssvæðinu

**Skyrningar**

[Leirskellur] Leirskellur (leitor og koldar)

[U Berg ummyndas af jafnhátt] U Berg ummyndas af jafnhátt

[Berg lítt ummyndas eða ferskt, holtfyllt] Berg lítt ummyndas eða ferskt, holtfyllt

F Ferskt berg

Misengi sigð til hægri

Misengi sigð til vinstri

Sprunga á misengi

Gjallpígar

Gígar

Gígaröð

Leirhver

Virk brennisteinskella

Könnandi brennisteinskella

Köld brennisteinskella

Jordhiti, gufa eða voln (tölur sýna heftsig)

Heitir leir

Gíphraukar

Óviss mörk ó einhverfi myndun eða hráunbrún í hráuni úr sama göglum

Vegur

Hús

Borholu

ORKUSTOFNUN  
Jorðhitaðeld

0107'71 KS / RK

Tnr. 109

J-Námafj.

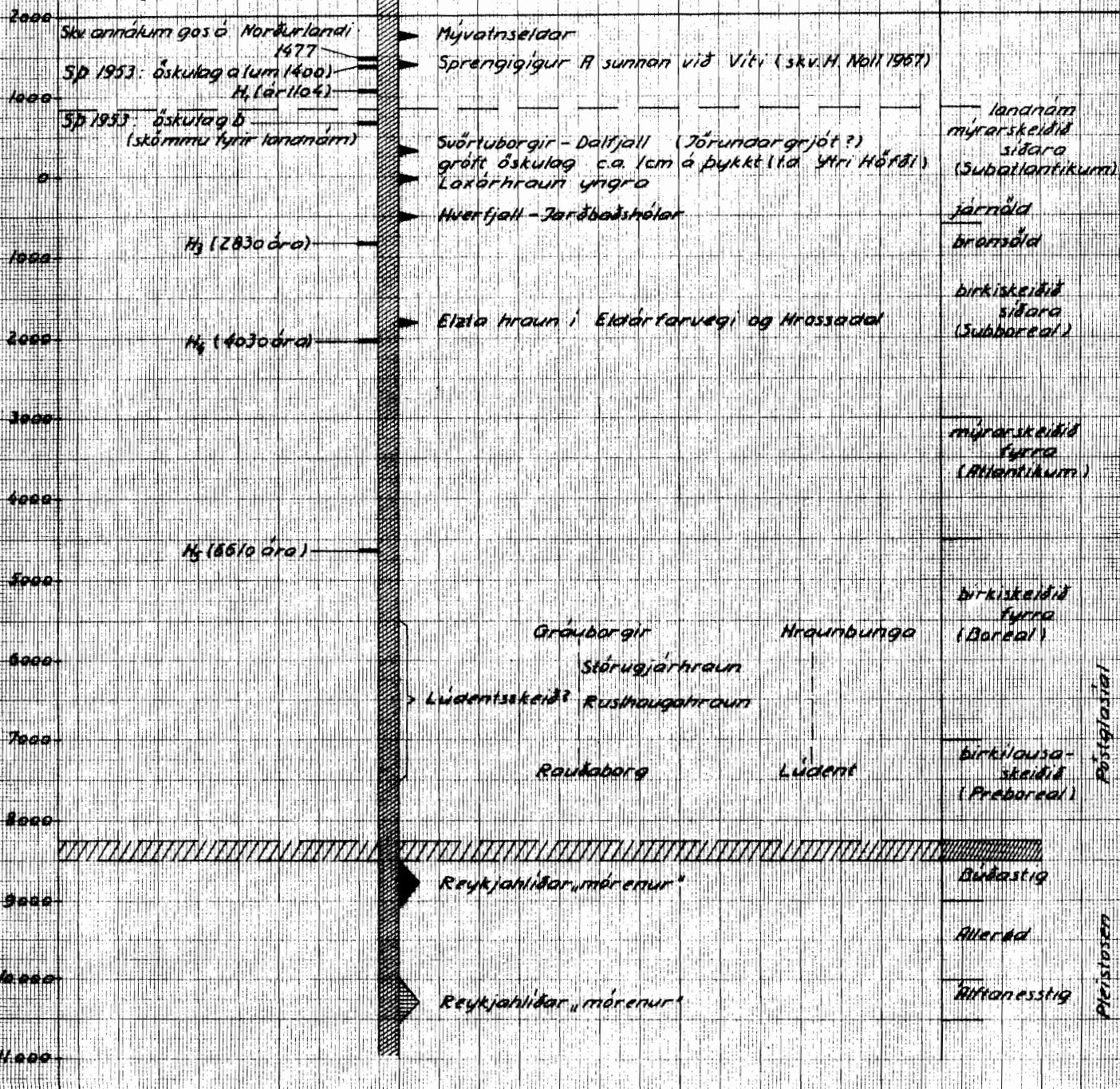
Fnr. 9946

Timatal yfir síðjökultíma og postglaciálíma á Námafjalls-Króflusvæði

ar  
▲ Timatal yfir síðjökultíma og postglaciálíma á Námafjalls - Króflusvæði

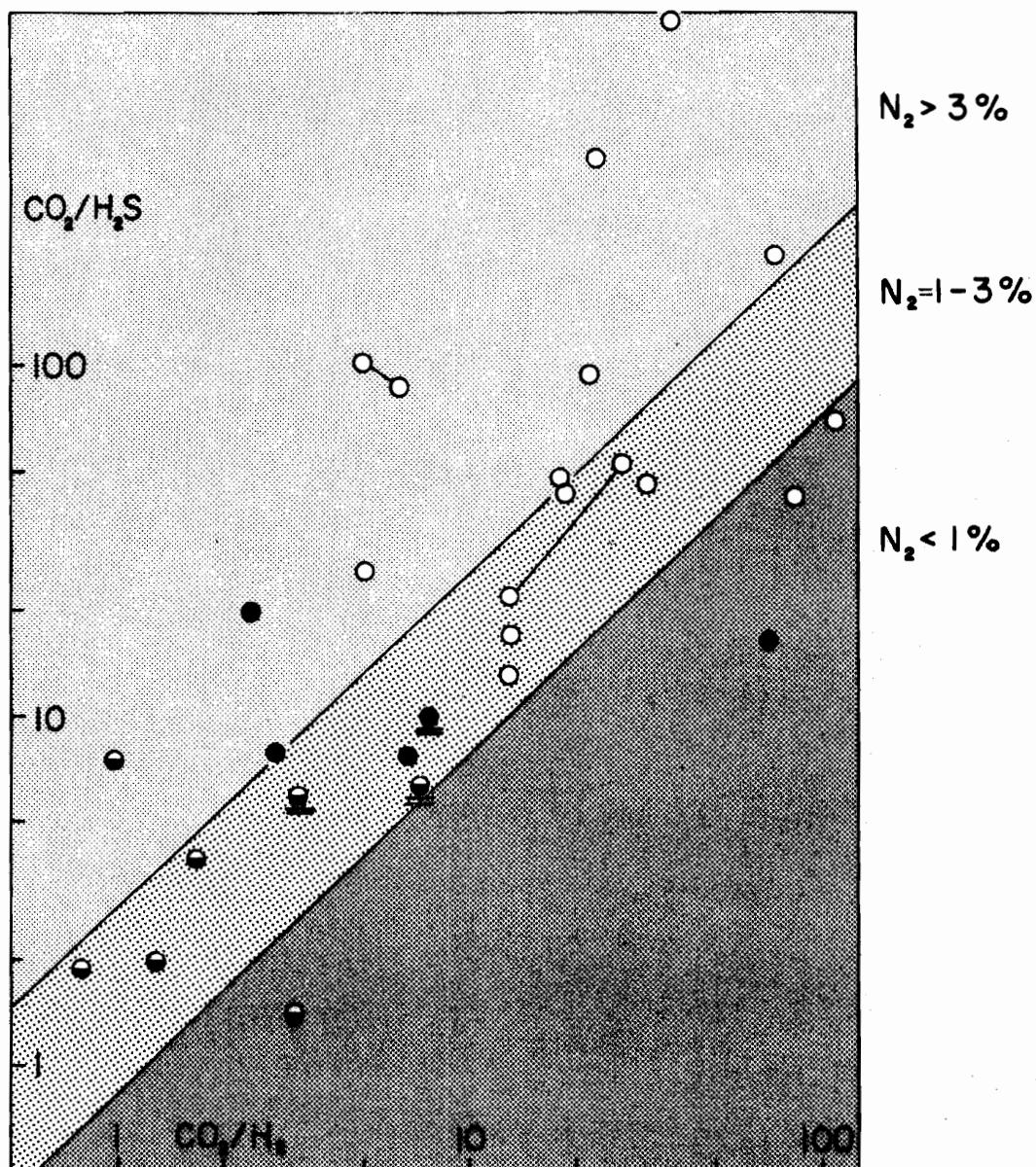
Öskulög í jörðvegi á  
Námafjalls - Króflusvæði

Gos á Námafjalls - Króflusvæði



### Mynd 1.5

### Mynd 1.5



○ Krísvíkursvæði

● Krafla-Leirhnjúkur

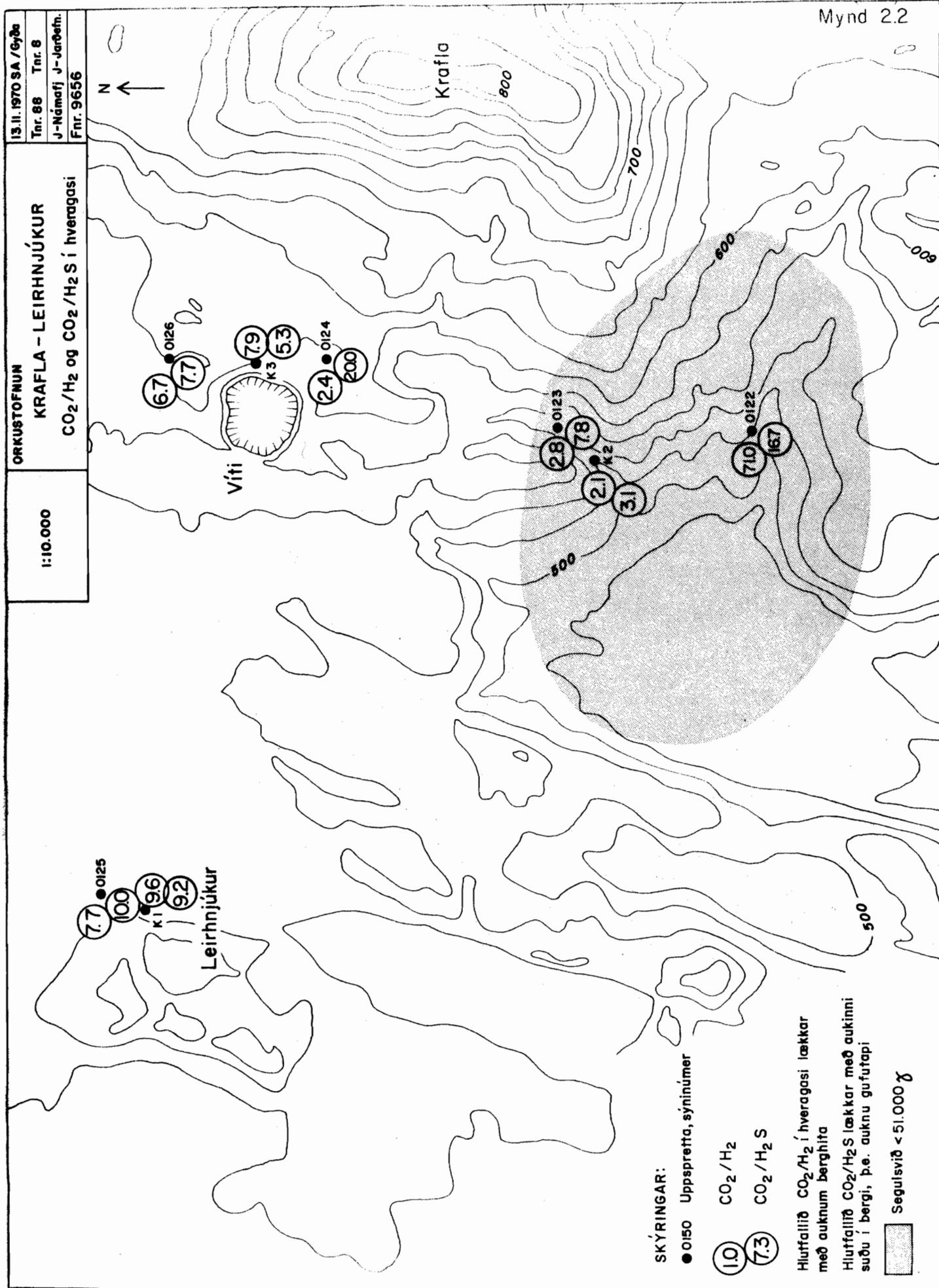
● Námafjall

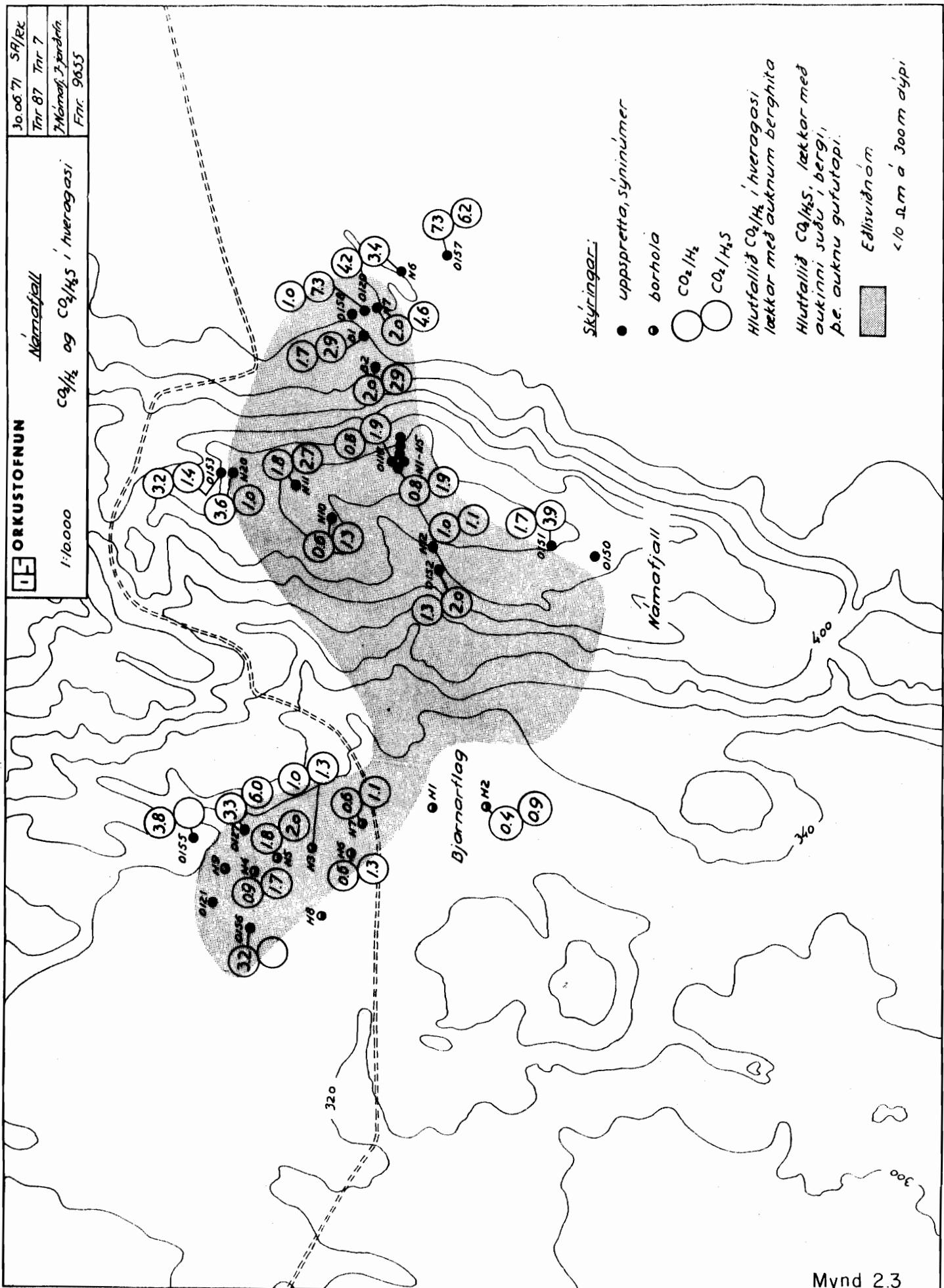
?

○  $\text{N}_2$  innihald ekki samkvæmt skyggingu

○ Sýni safnað á sama stað á mismunandi tíma

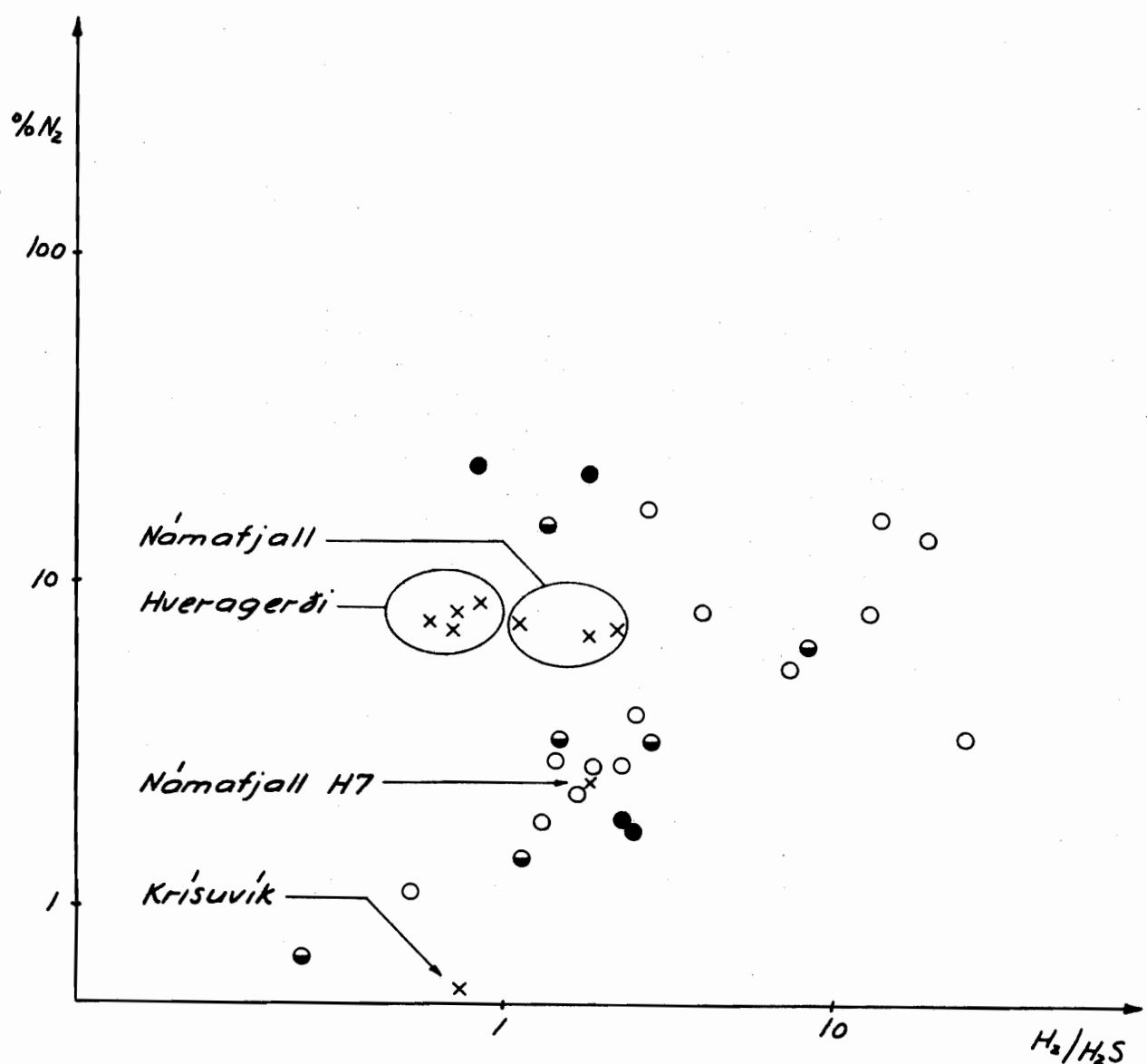
Mynd 2.2





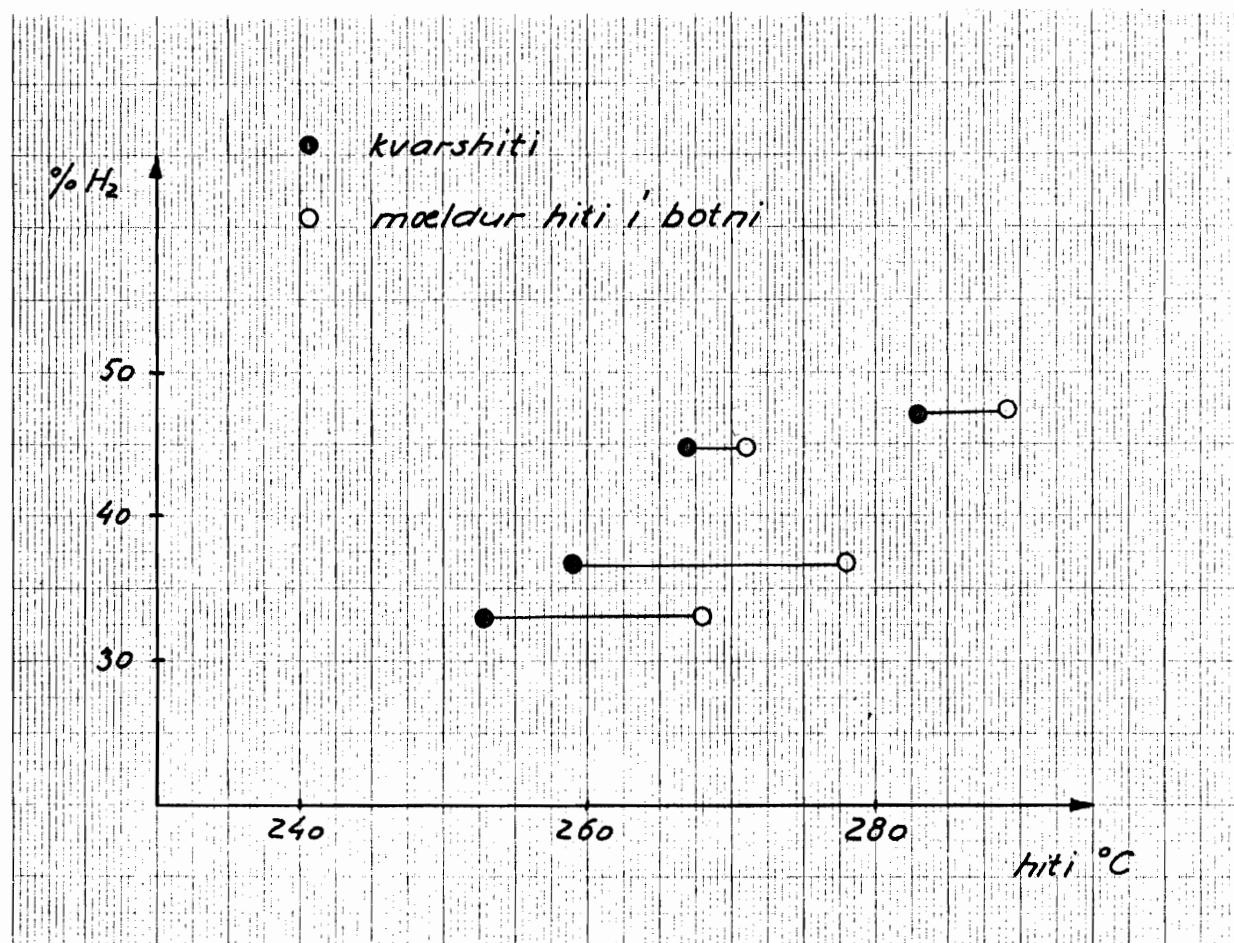


- Krisuvíkurkvæði
- Námafjallssvæði
- ◐ Kröflusvæði



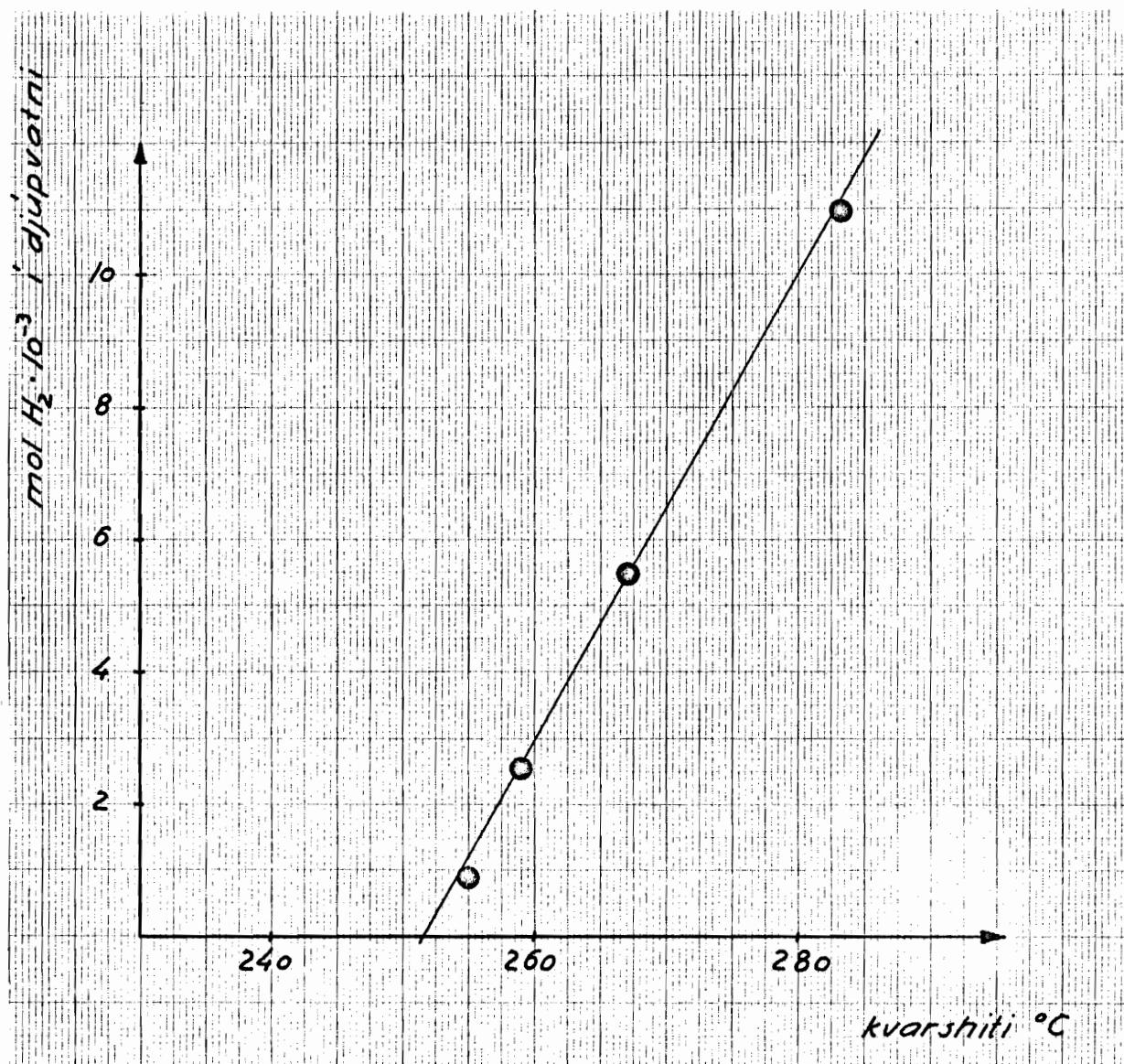


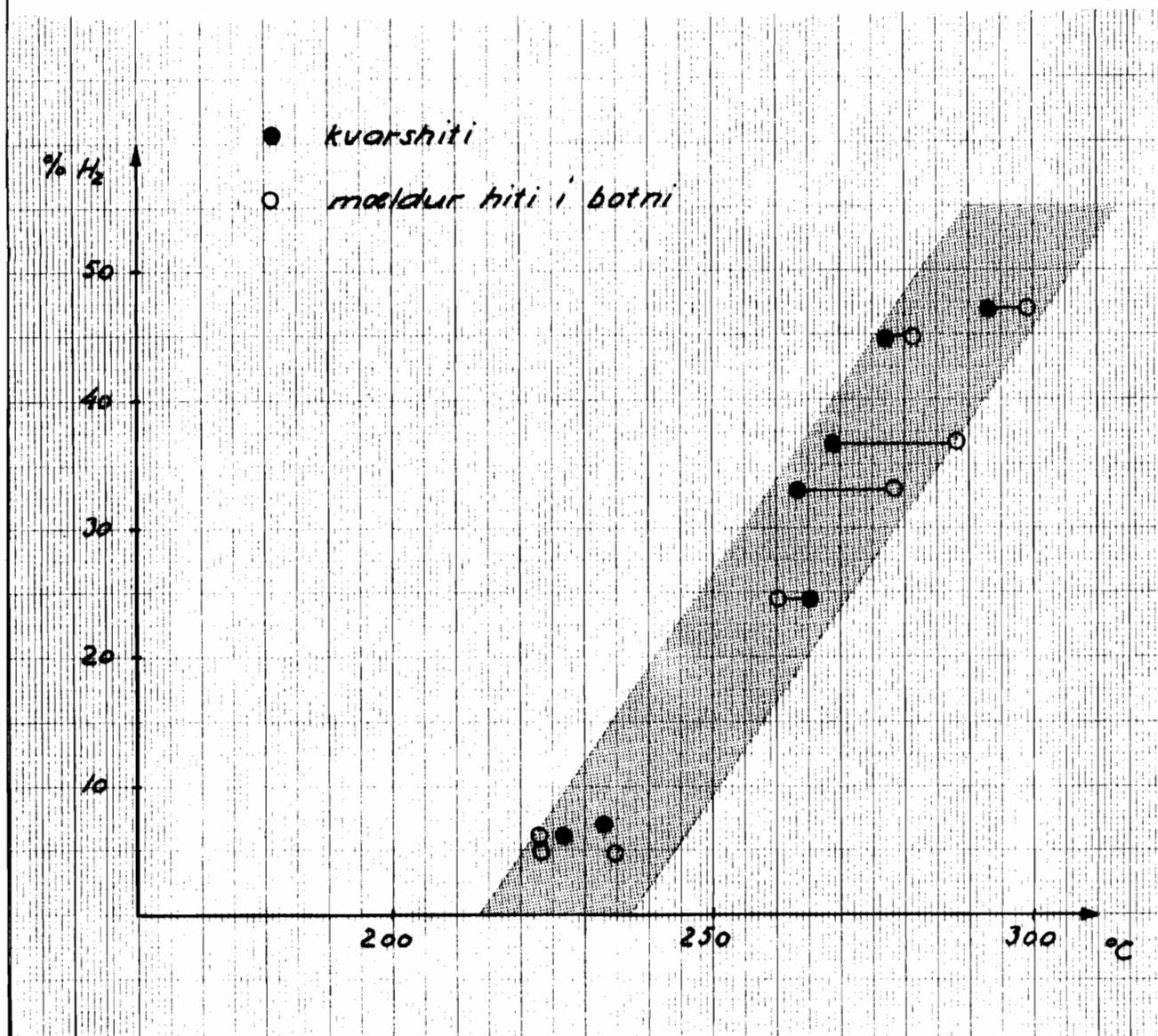
Samband vetrnis í hveragasi og hita  
í borholum við Námfjall





Samband vetrnis í djúpvatni í borholum  
við Námafjall og innstreymishita







ORKUSTOFNUN  
Jarðhitadeild

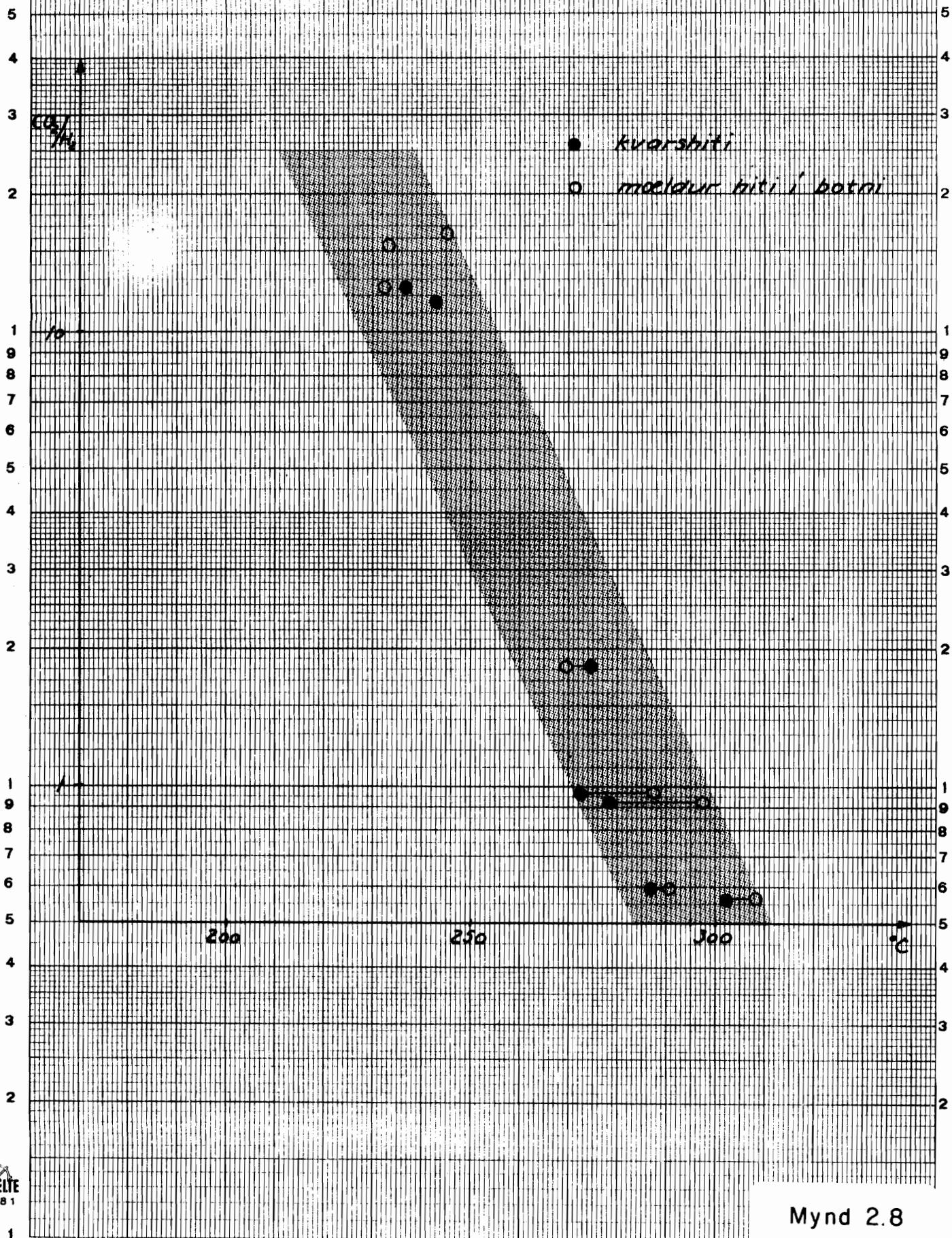
Sambanda  $\text{CO}_2/\text{H}_2$  í hveragasi ó yfirborði  
og hita í borholum (allt að 1200m djúpum).

14. 1971 SA/RK

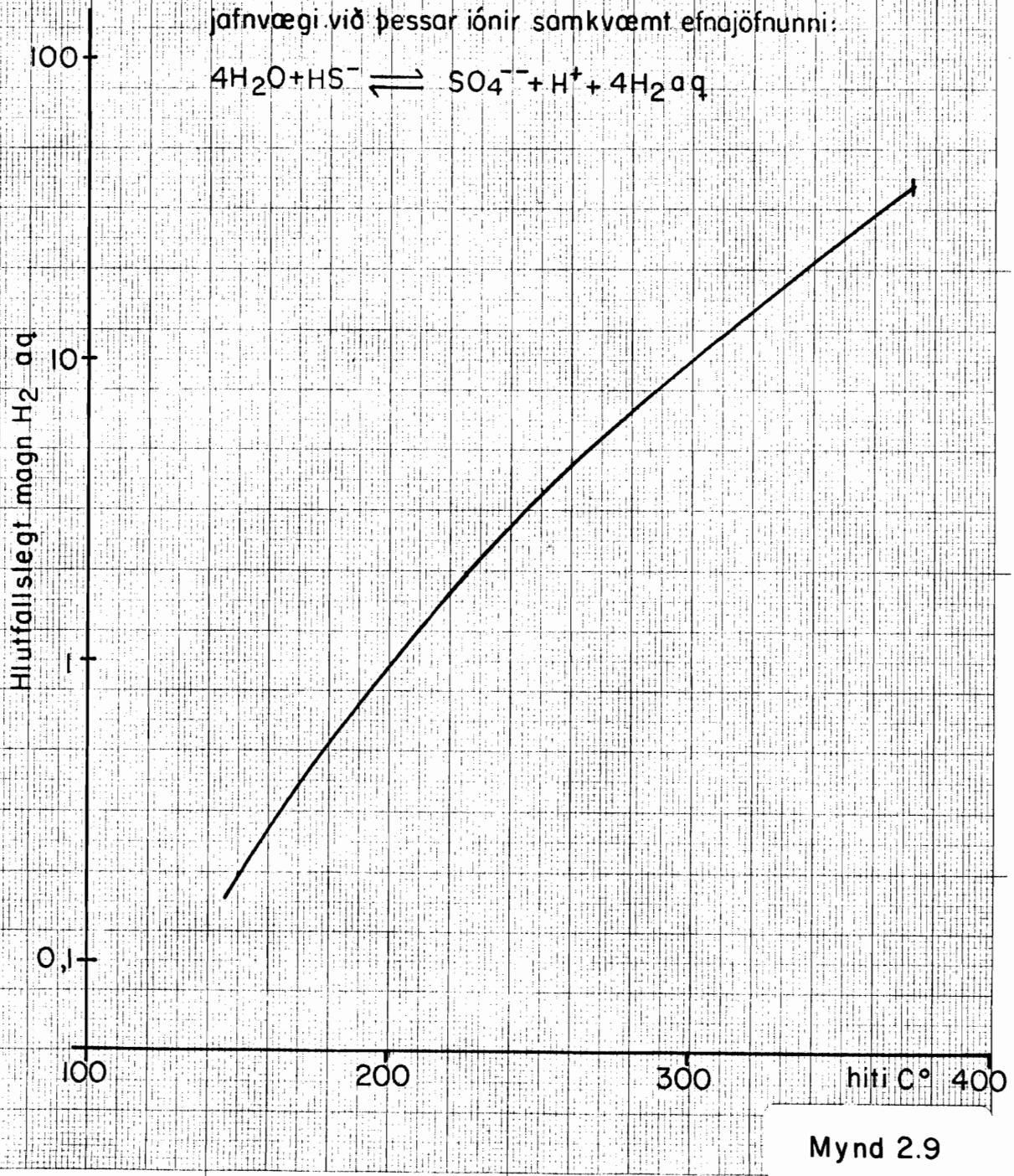
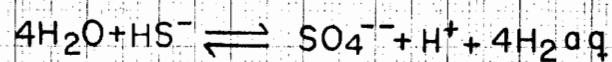
T17 Tr. 100

J-lardæfn. J. Námaf.

Fnr. 9802



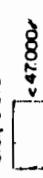
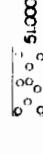
Gert ráð fyrir konstant magni af  
 $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HS}^-$  og  $\text{H}^+$ . Ennfremur að vetni sé í  
jafnvægi við þessar íónir samkvæmt efnajöfnunni:

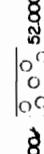


Mynd 2.9

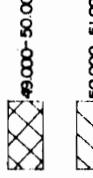
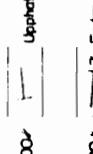
## SKÝRINGAR

Mælt með protónumali (Flaskon hoff í ca. 5m hæð) i  
juli 1965 af G.G., H.B., S.P.S.  
Taknodi (endpunktar meðlinna óskarðar frá loftmynd  
í sunna skála), skurðar 1000 m segulinni vð meðlinnar  
fundnar, jafnsegulinnar dreagnar þar sem reka máth  
punktar milli heggja eða flær línu : 3gust. 965 at  
G.G., S.P.S.

 47000m  
 50000-52000m

 47000-48000m  
 48000-49000m

 49000-50000m  
 50000-51000m

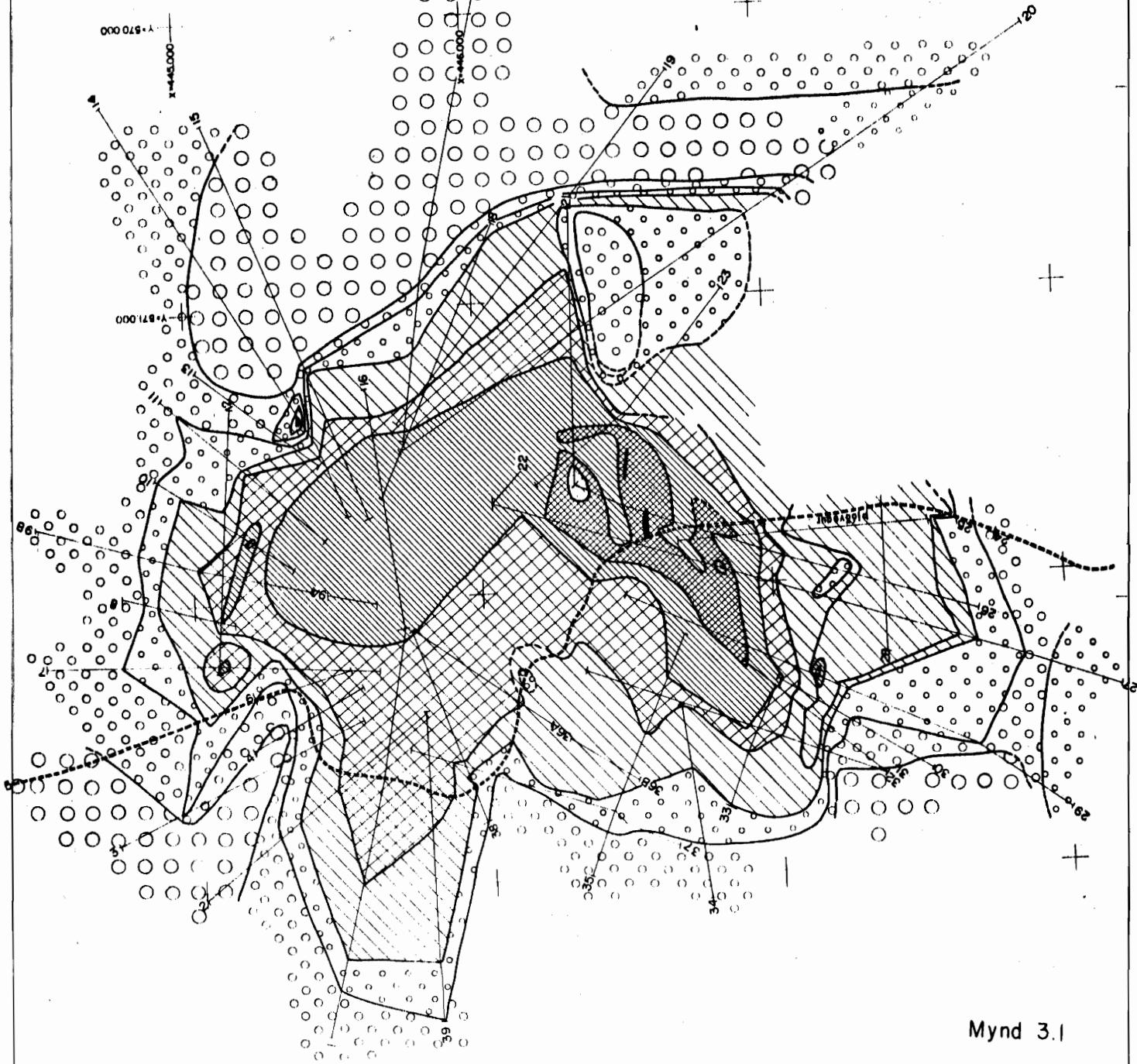
 52000-53000m  
 >53000m

 Upplifsp. meðlinu  
 Endap. og numr. meðlinu

omf. lína 6, 24 og síðan hinum  
línu 5 eru ó vegi.

1/7

S  
N

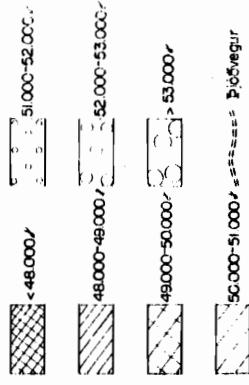


Mynd 3.1

ORKUSTOFNUN	
1-10 000	10 000-50 000
Lofthund	Lofthund
1-50	50-100
1-100	100-200
Fnr. 7202	Fnr. 7202

## SKÝRINGAR

Teiknað í dagstíl 1965 með hildsjón af segulkorti Fnr. 7202 af sama svæði (tekin af skarpir hykkir á jafnsegulnum, innanriðar nokkuð sundur þar sem breyning vorðust, slept nokkrum skörum hármarksgrjúðum sem grænilega strata af basalti ó yfirborð (gjögum eða klettum)). Einungir voru tekinar greina segulmælingar frá sept. 1964.



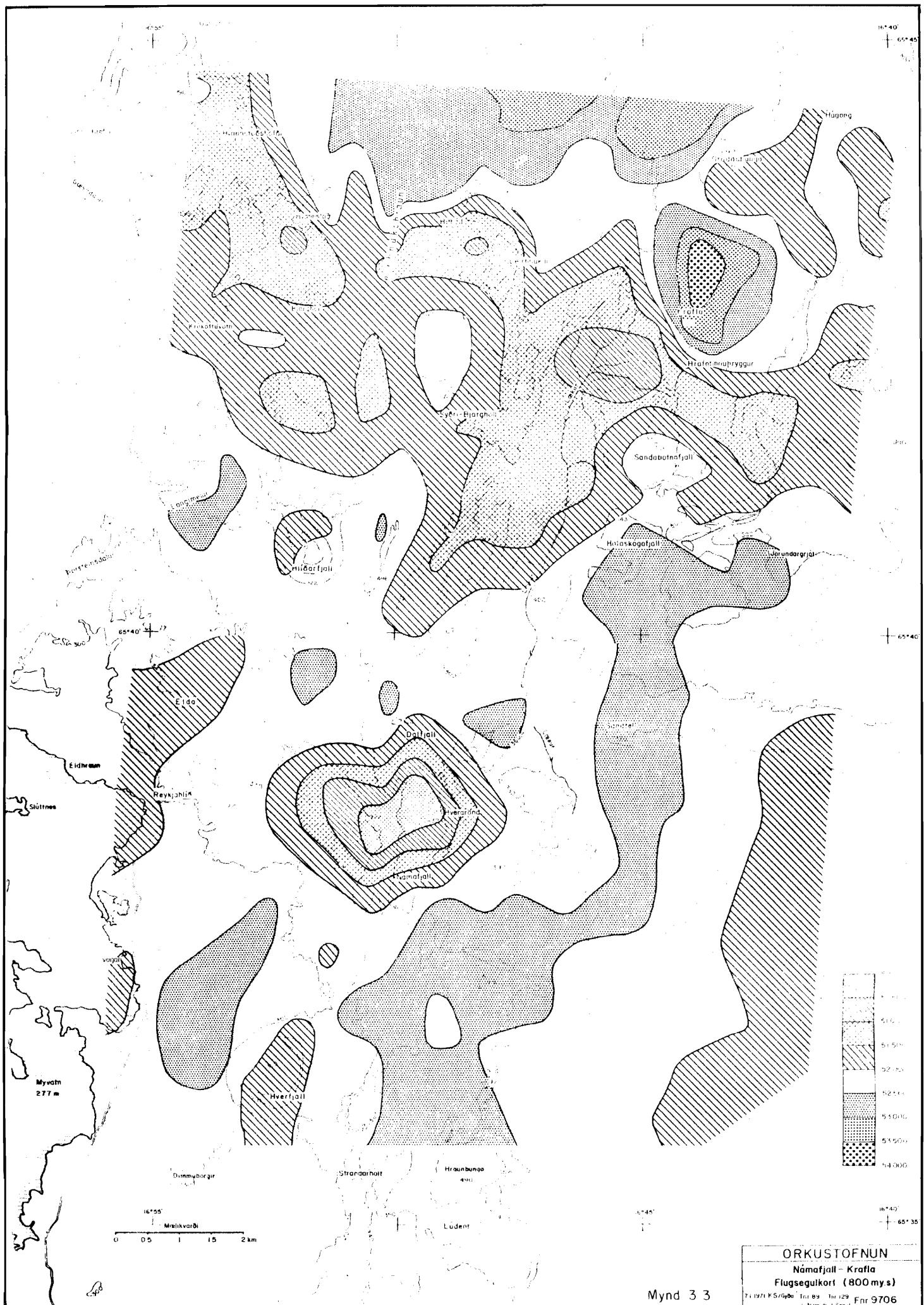
N  
S

## ORKUSTOFNUN

SEGULKORT AF NÁMA-FJALLI OG UMVERFI	1:10.000	B.I.I. BG.GG
	Læft mynd	Já
	The do	The do

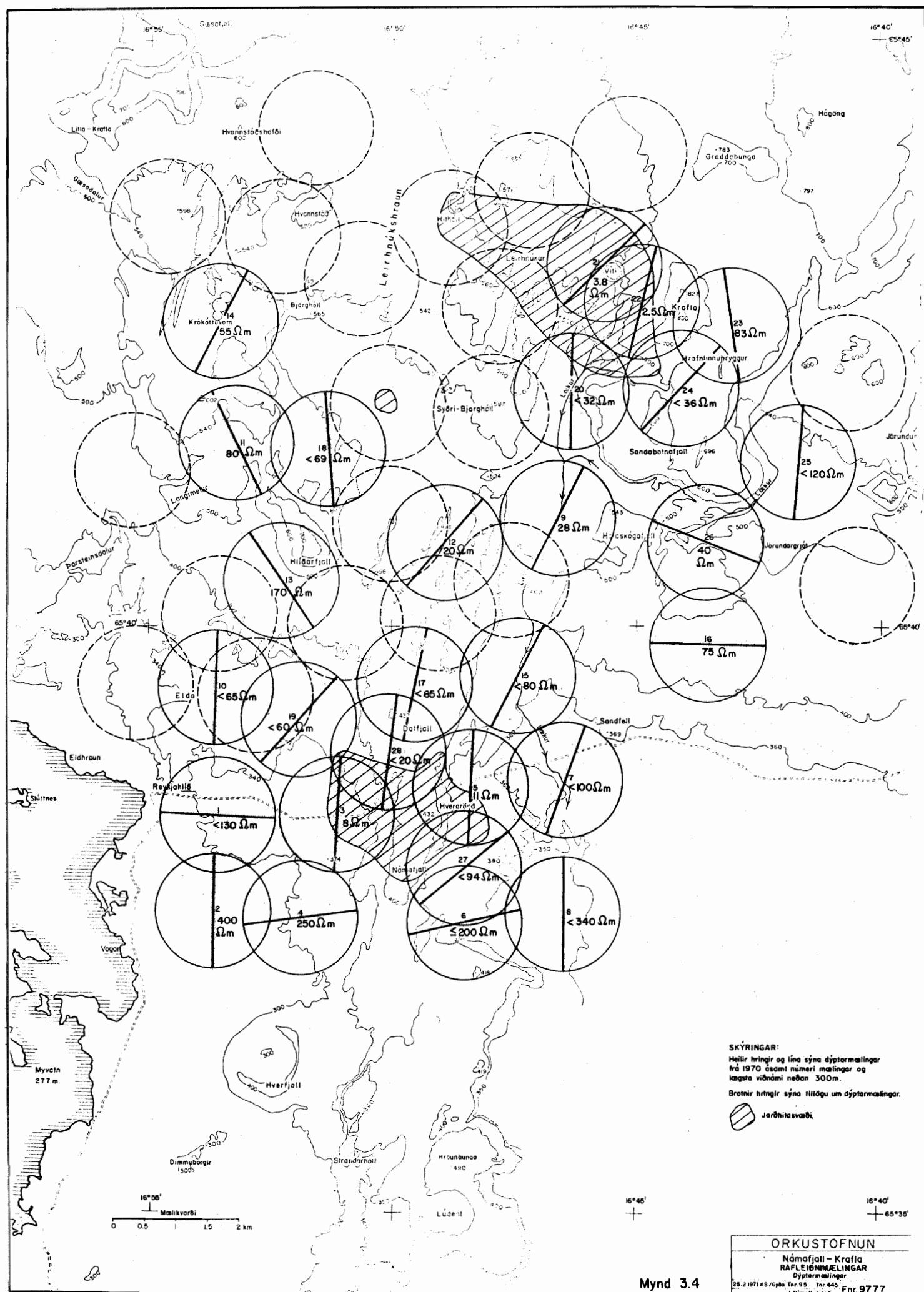
Fnr. 7201

Mynd 3.2



Mynd 33

**ORKUSTOFNUN**  
Námafjall - Krafla  
Flugsegulkort (800 my.s)  
Gyða Tlf 89 Th 129 For 9706



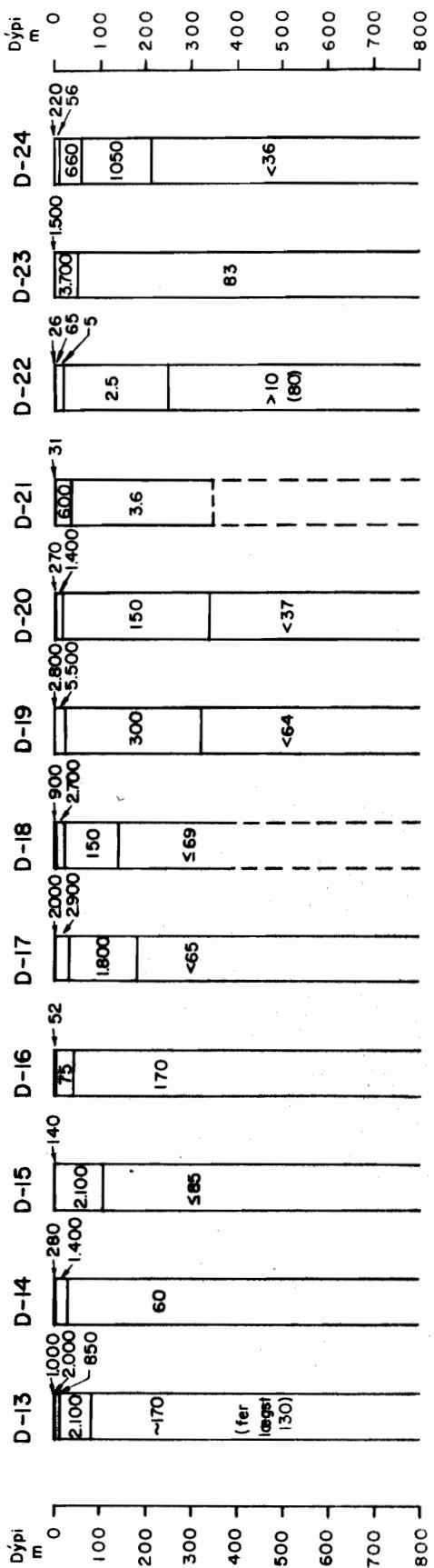
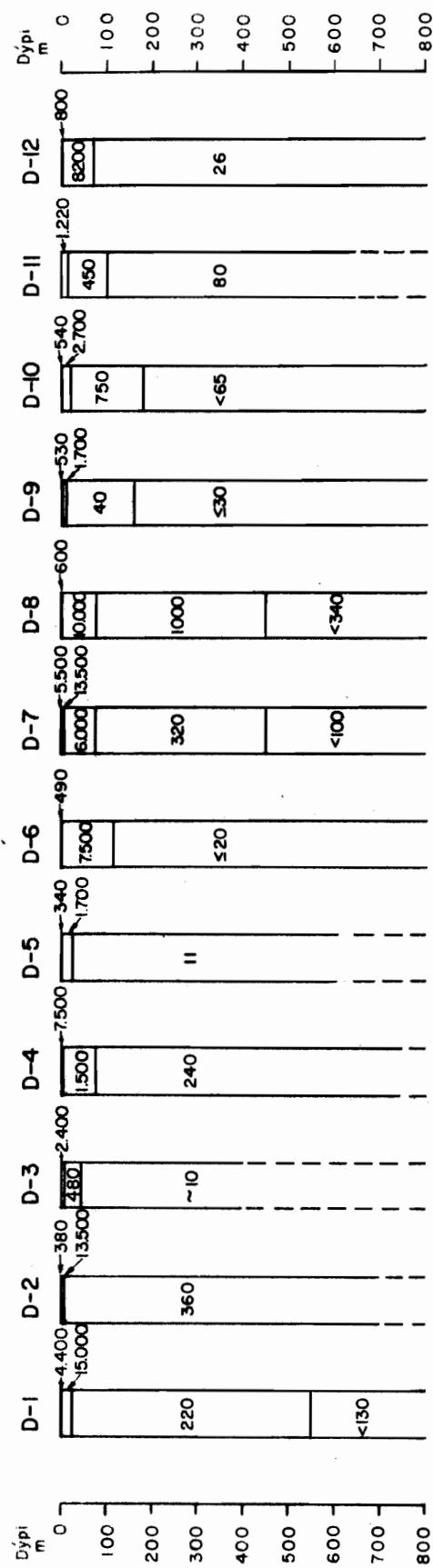
**ORKUSTOFNUN**

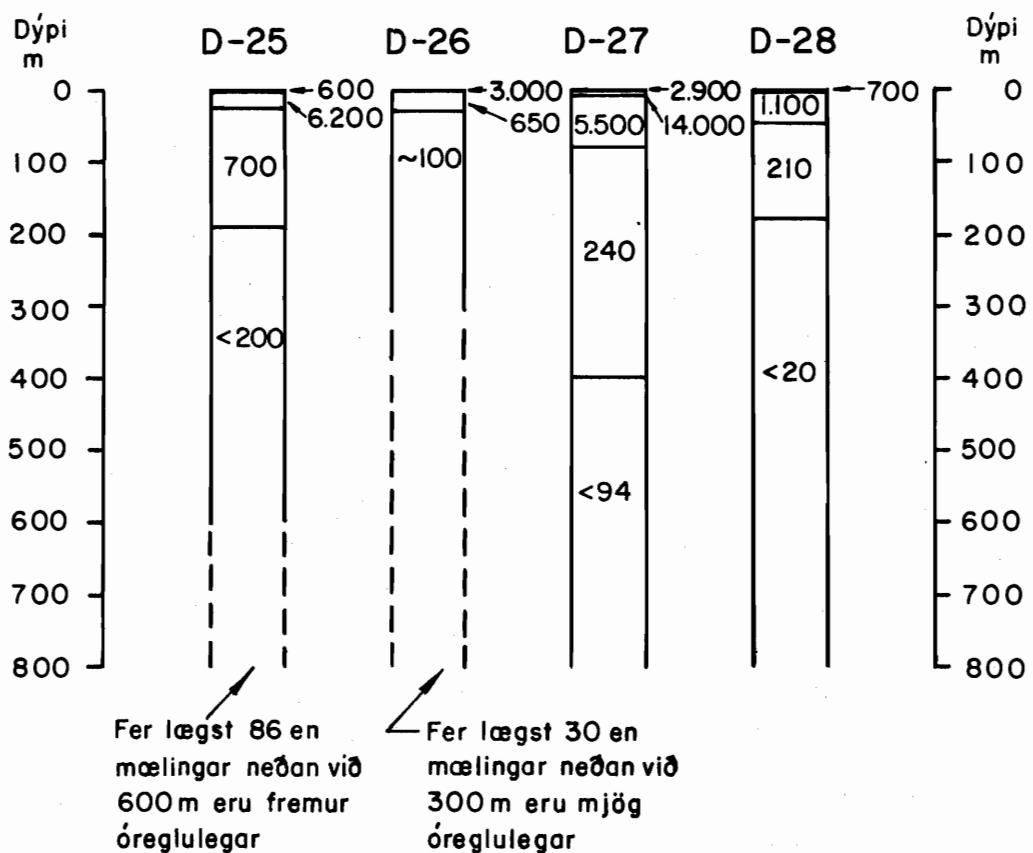
Jorðvirkun

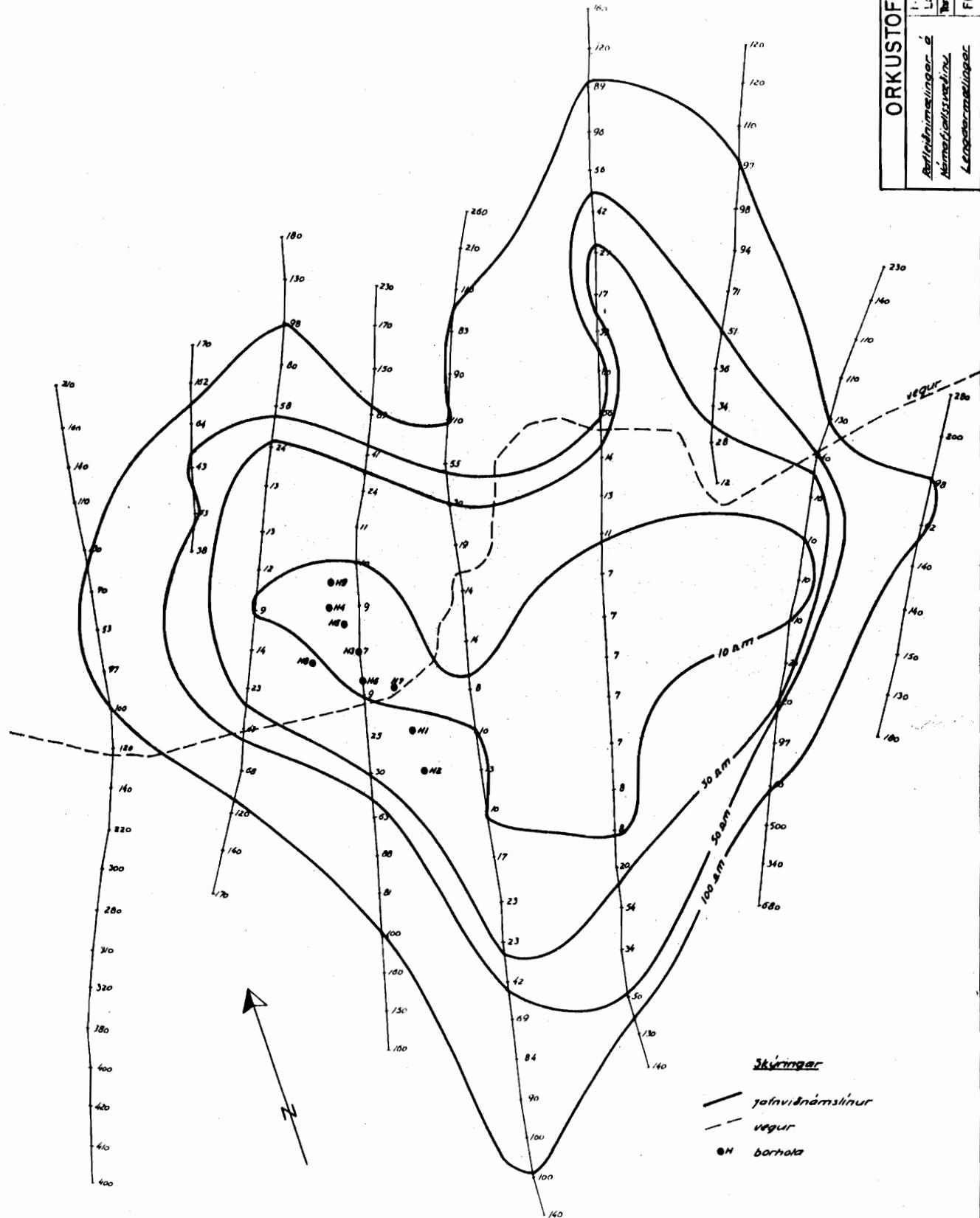
Námafjall - Krafla

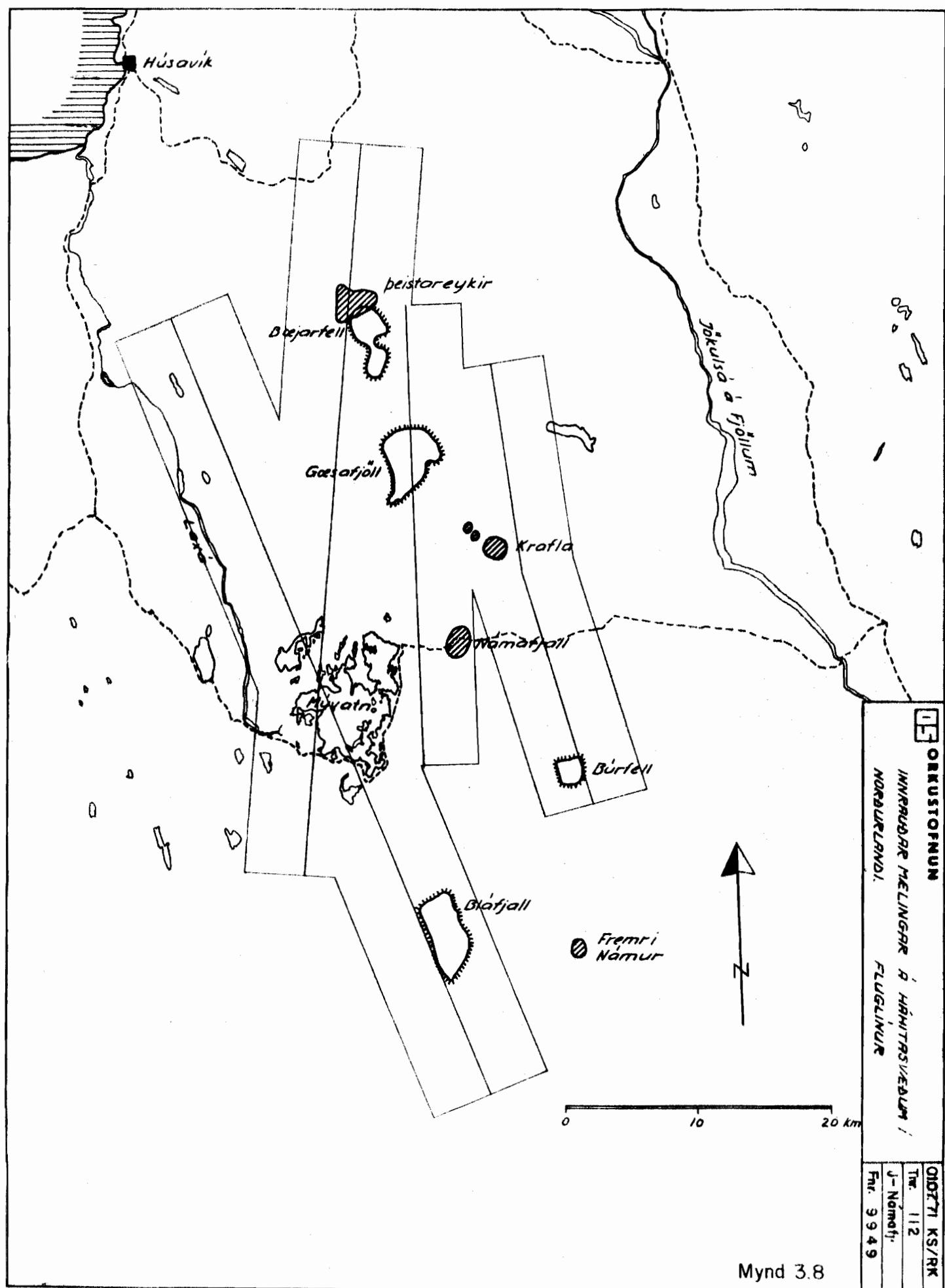
Rafleiðnimælingar, lagkskipting og lisviðnáms

5.7.1971 GG/Gyða  
Tnr. 116 Thr. 756  
J-Námafj. J-Viðnám  
Fnr. 9953

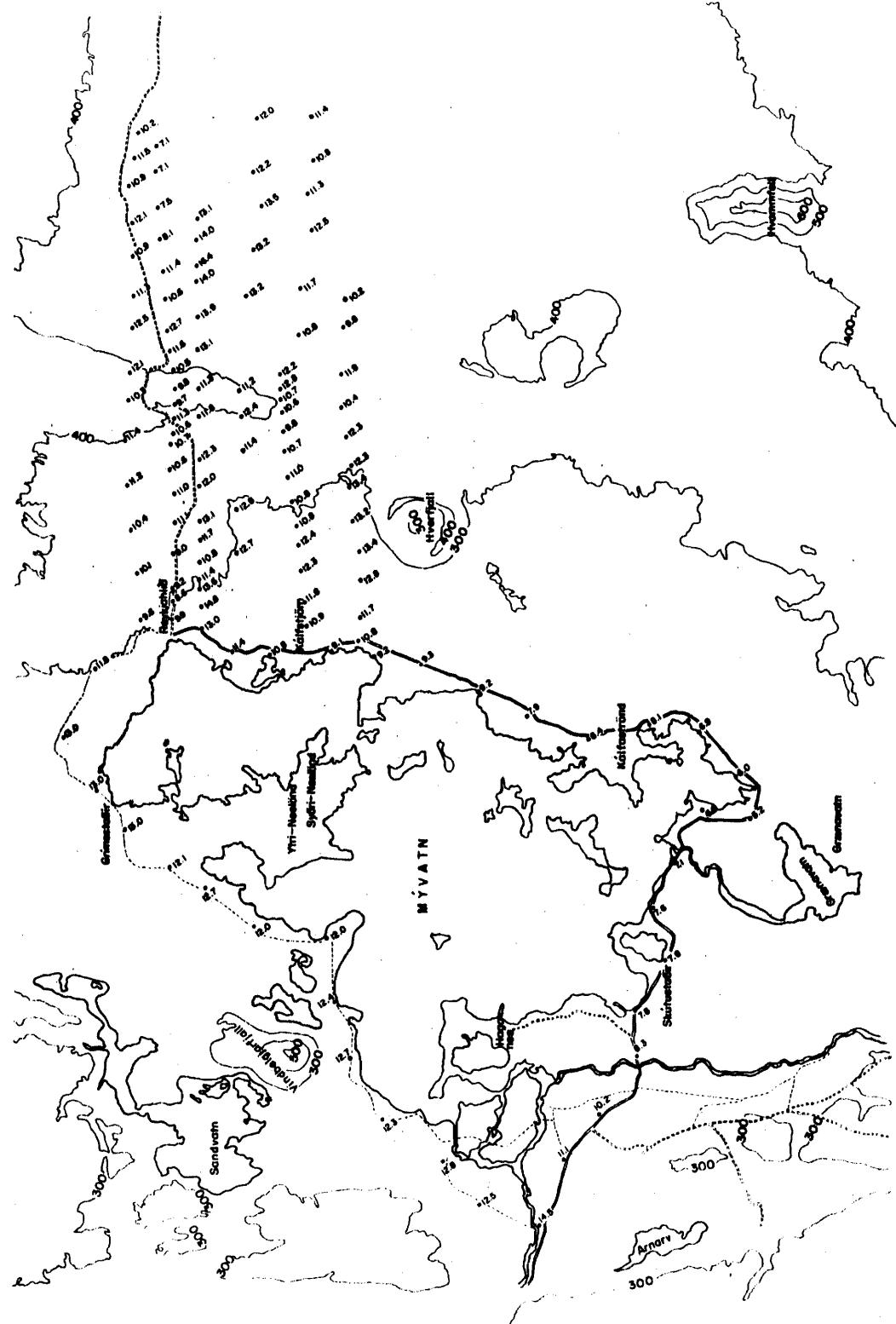








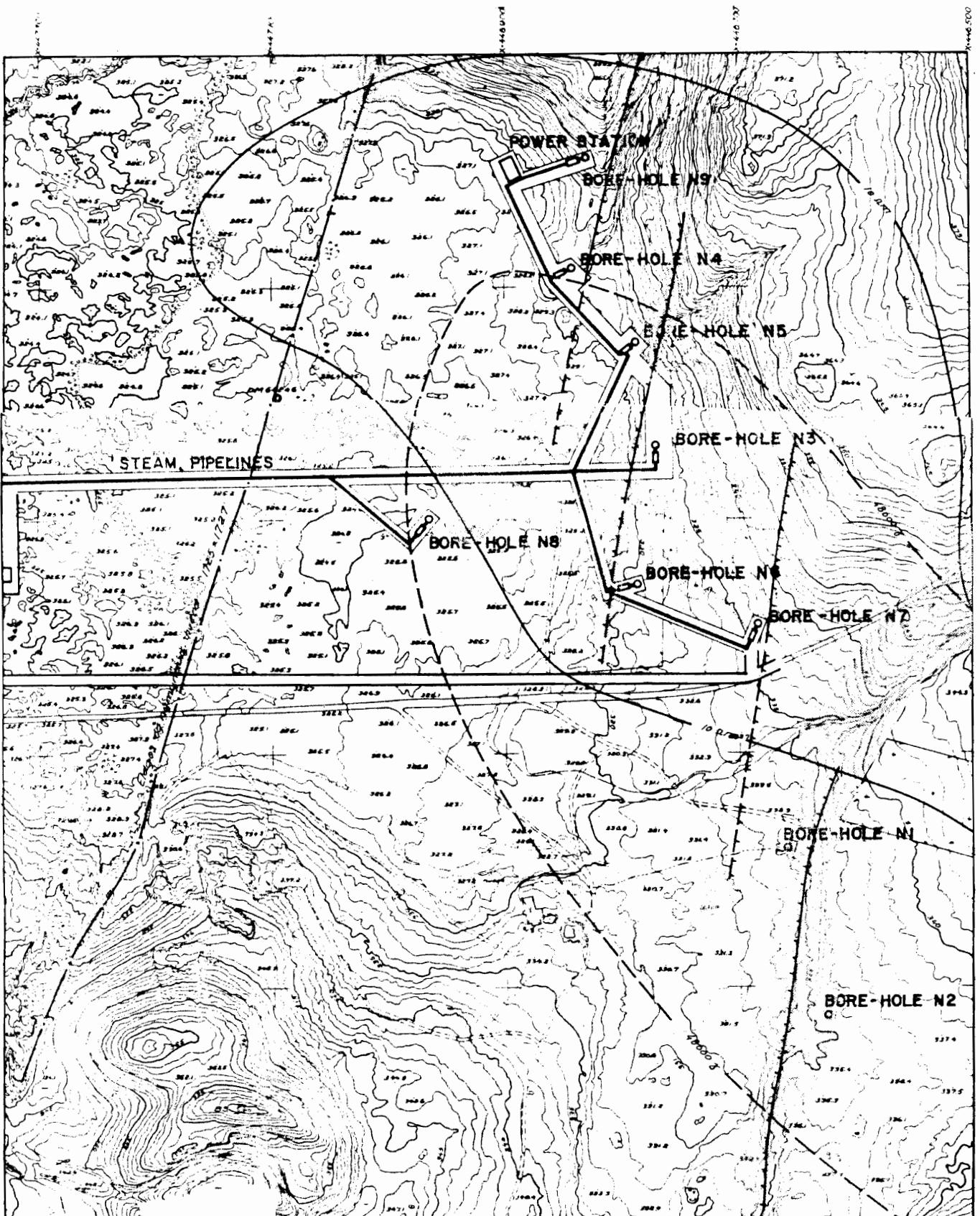
### Mynd 3.8



• 109 Bouger anomalia i mgai  
Meldt í júlí 1965  
Eitt gerð landslagsleitförtning

**RRAFORKU**  
**Jahoritoidd**  
**Bungdamaelingar**  
**vif**  
**Mývatn**

**RAFOR KUMA ASIJORI**  
**Jen Shindeid**  
**Byngdarmelingar**  
**vi6**  
**Nyvan**  
**I-50.000**  
**12. 8. 2017 - Dura**  
**Fri. 17. Dec.**  
**Fnr. 757**



Skýringar

- 10 cm jafnveldhnómslína sér viðnómsmælingar 1970
- 48000 g jafnsegullina sér segumælingar ó jörðu 1905
- ↗ misgengi
- █ jordhliti

Mynd 4.1

ORKUSTOFNUN

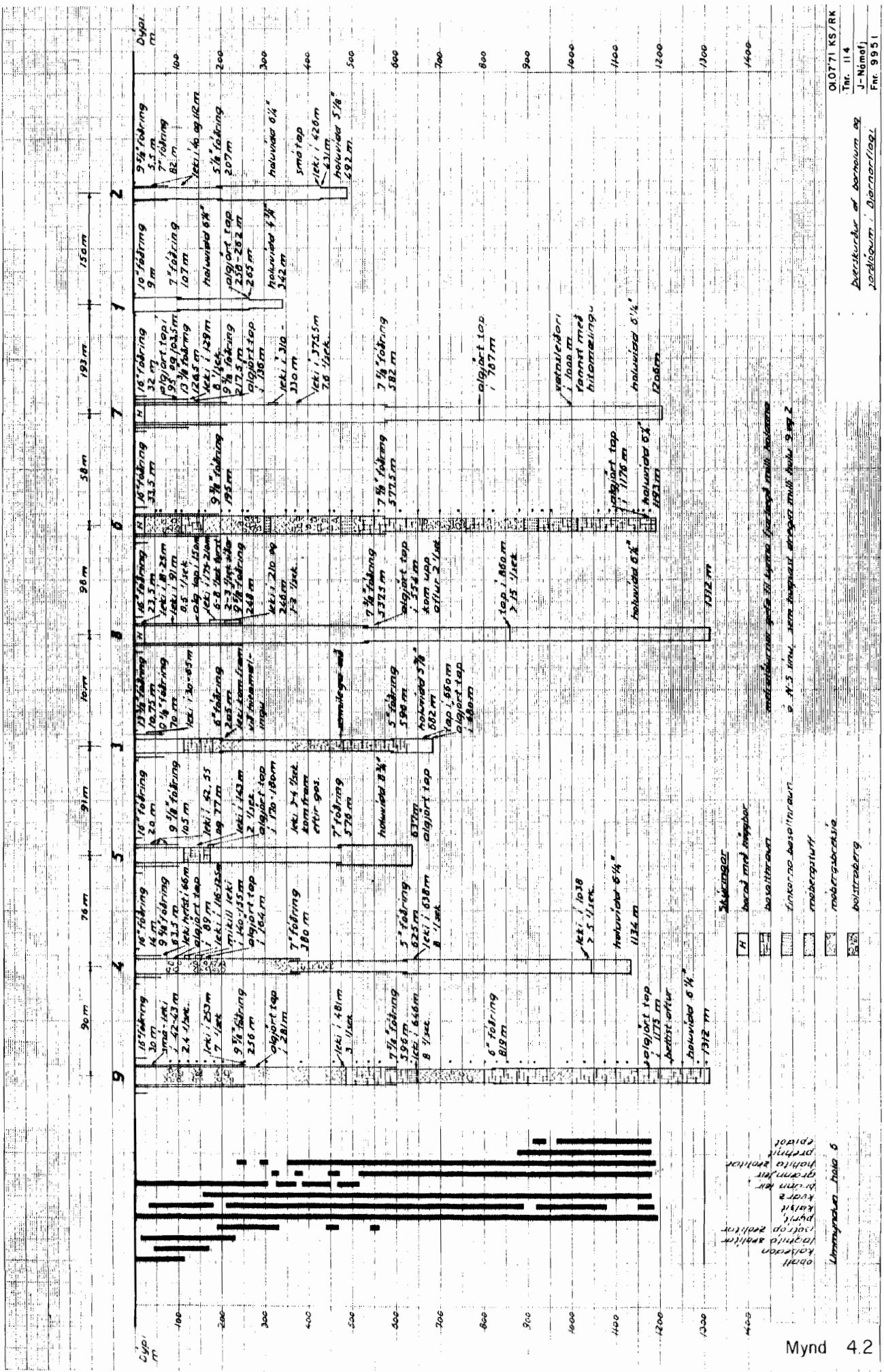
Aftöldurnynda af Óor-  
ðum í Bjarnarhlíðav.

OLOTTIKS/FK

Tlf. H 9

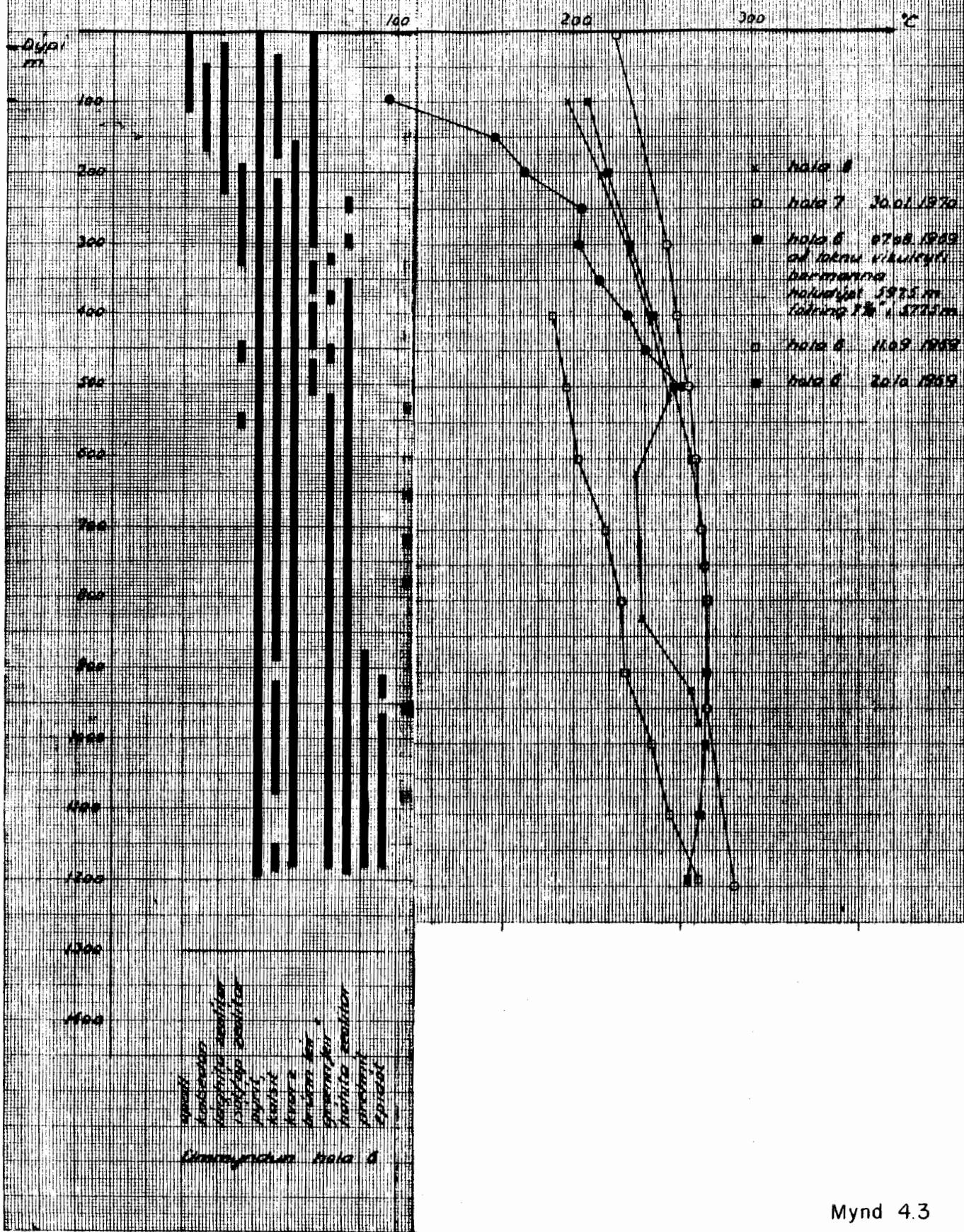
J - Hönnun

FNR. 98503



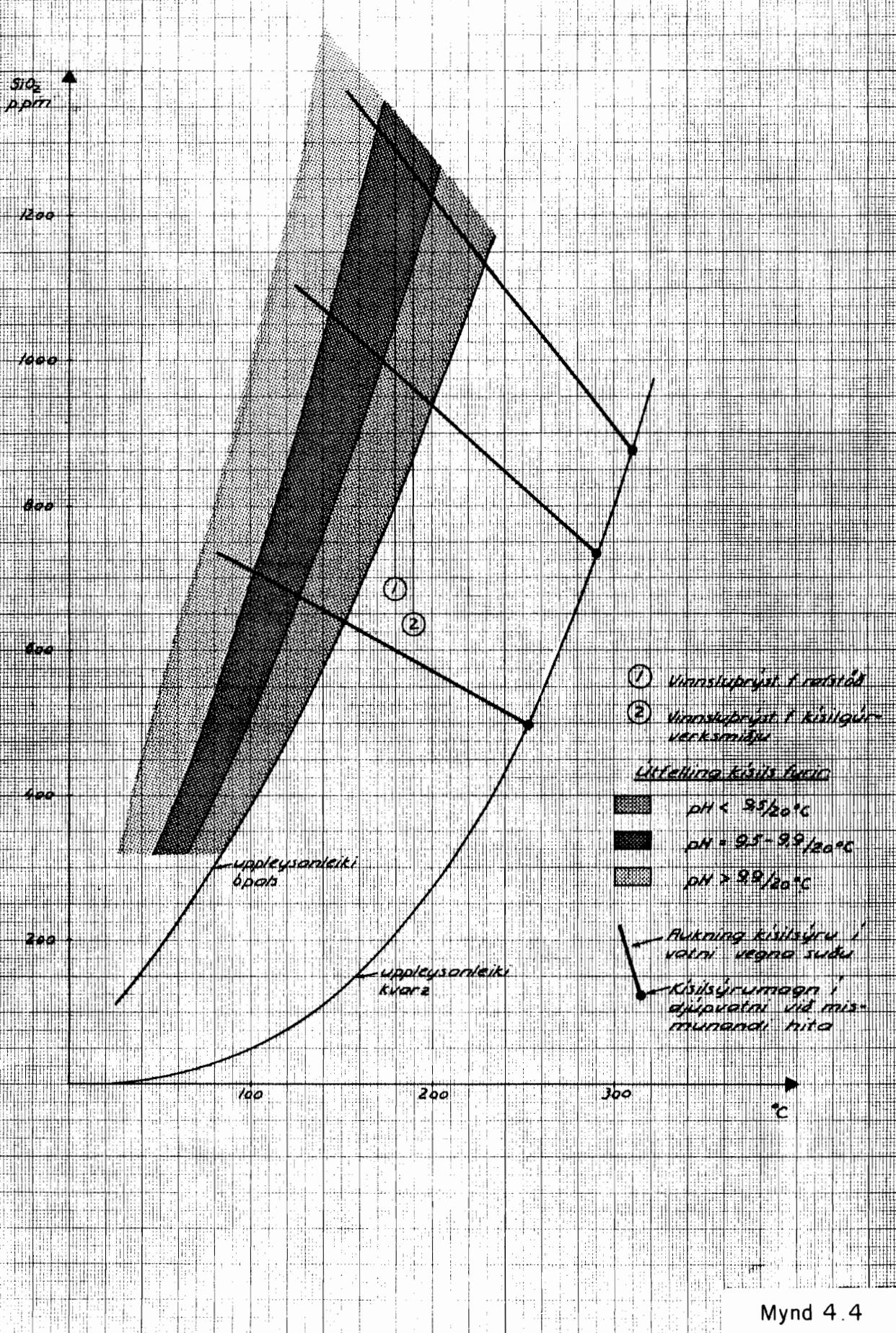
I. 7'71 KS / RK  
Tnr. II5 Tnr. 724  
J-Námafj-J-Hítom.  
Fnr. 9952

NÁMAFJALL  
HITAMÆLINGAR



Uttelling kisils i borholum  
vid Närnfjäll

25.06.71 SA/RK  
Tnr 20 Tnr 105  
Tjärdefn. J-Nämfors  
Fnr 9937



Gas i borholum

við Námafjöll

29.06.'71 SA/RK

Tnr 21 Tnr 106

I.jordfrn. I.Námafj.

Fnr. 9938

Möt gass -  $\text{m}^3/\text{kg} \cdot \text{stund}$



2

1

0

240

260

280

kuorzhiti °C

