

Hafsbotsnefnd Iðnaðarráðuneytisins

Rannsóknir á mangangrýti á Reykjaneshrygg

Hafrannsóknastofnunin
Náttúrufræðistofnun Íslands
Raunvísindastofnun Háskólans
Orkustofnun

Hafsbotsnefnd Iðnaðarráðuneytisins

Rannsóknir á mangangrýti á Reykjaneshrygg

Hafrannsóknastofnunin

Kjartan Thors
Guðrún Helgadóttir

Náttúrufræðistofnun Íslands

Sveinn Jakobsson
Kristján Jónasson

Raunvísindastofnun Háskólags

Sigurður Steinþórsson
Steinunn Hauksdóttir
Þorsteinn I. Sigfússon
Jón Viðar Sigurðsson

Orkustofnun

Guðmundur Pálason
Guðrún Sverrisdóttir
Hrefna Kristmannsdóttir
Halldór Ármannsson
Hjalti Franzson

Útgefandi: Hafsbotsnefnd Iðnaðarráðuneytisins

Umsjón útgáfu: Orkustofnun

OS-92025/JHD-02

ISBN 9979-827-11-4

EFNISYFIRLIT

ÚTDRÁTTUR	5
1. INNGANGUR	6
2. JARDFRÆÐI REYKJANESHRYGGJARINS	7
3. RANNSÓKNARLEIÐANGRAR	9
3.1 Leiðangur í nóvember 1990	9
3.2 Leiðangur í apríl 1991	9
4. NIÐURSTÖÐUR LEIÐANGRANNA	14
4.1 Botnlögun og botngerð	14
4.2 Jarðfræði	15
4.3 Bergfræði	15
5. MÁLMGRÝTIÐ	21
5.1 Útbreiðsla	21
5.2 Steindir	21
5.3 Efnasamsetning	27
6. UM UPPRUNA MANGANÚTFELLINGA	32
6.1 Saga og flokkun	32
6.2 Manganhnyðlingar	32
6.3 Járn- manganútfellingar í jarðhitakerfum	33
7. VINNSLA OG NOTKUN MANGANS	36
8. BRÆÐSLUTILRAUNIR	39
9. NIÐURSTÖÐUR	42
9.1 Staðsetning og jarðfræði	42
9.2 Um manganmálminn	43
9.3 Um möguleika á málvinnslu	44
10. HEIMILDIR	45
VIÐAUKI I: Lýsing botnsýna frá Reykjaneshrygg	49
VIÐAUKI II: Steindagreining	63
VIÐAUKI III: Efnagreiningar	75

MYNDASKRÁ

1. Goshryggir nyrst á Reykjaneshrygg	8
2. Mælilínur r. s. Árna Friðrikssonar á rannsóknarsvæðinu dagana 3. - 12. apríl 1991	11
3. Dýptarkort af rannsóknarsvæðinu	12
4. Sýnatökustöðvar í apríl 1991	13
5. Dýptarkort af Prsbörum og Manganhól	17
6. Ljósmyndir eftir myndbandsupptöku Djúpmyndar h.f.	18
7. Einfalt jarðfræðikort af rannsóknarsvæðinu	19
8. Útbreiðsla sets og setbergs á rannsóknarsvæðinu	20
9. Mangangrýti. a) Ljósmynd af setbergsmola með óreglulegar æðar í setbergi, b) Nærmynd	22
10. Útbreiðsla manganmálms á rannsóknarsvæðinu	23
11. Aðal fundarstaðir manganmálms við Manganhól og Prsbura	24
12. Útbreiðsla "límoníts"	25
13. Útlit sets í sýni 14012	26
14. Manganoxföðræð í setsýni	26
15. Mynd tekin í SEM-rafeindasmásjá og sýnir yfirborð todorokíts	26
16. Niðurstöður spanglóðarefnagreininga	27
17. Línurit er sýnir dreifingu MnO og Fe ₂ O ₃ í setbergs- og basaltsýnum	28
18. Samband baríumstyrks og mangan/járn hlutfalls	29
19. Aðskilnaður mangans og járns á hafssbotni	34
20. Þversnið og sennileg myndunarleið San Francisco útfellingarinnar	35
21. Manganvinnslusvæði jarðarinnar	37
22. Ofn notaður til framleiðslu jármangans	38
23. Tilraunadeigla eftir bræðslu	40
24. Efnagreining á málm- og sorahluta eftir bræðslu	41

TÖFLUSKRÁ

1. Saltsýruleysinn hluti nokkurra helstu efna í gosbergi og setbergi	30
2. Mn/Fe og (Cu + Ni + Co) hlutföll í sýnum af gos- og setbergi frá Reykjaneshrygg	31
3. Fylgnistuðlar fyrir nokkur efni í málmgrýti frá Reykjaneshrygg	31
4. Efnasamsetning málmkúlu eftir bræðslu	40

ÚTDRÁTTUR

Manganútfellingar hafa fundist á 250 - 350 m dýpi á hafbotni við jarðhitasvæði á Reykjanes-hrygg, um 100 km undan Reykjanesi. Þetta jarðhitasvæði er eitt af fáum, sem fundist hafa hingað til á landgrunni Íslands. Svæðið og nágrenni þess var rannsakað af leiðangri Hafrannsóknastofnunnar árið 1990, og samvinnuhópur íslenskra vísindamanna stóð að umfangsmeiri rannsóknnum með leiðangri Árna Friðrikssonar í apríl 1991. Að tillögu Hafbotnsnefndar Iðnaðarráðuneytisins voru þessar rannsóknir studdar með 4 milljón króna fjárframlagi úr rskissjóði. Tilgangur rannsóknanna var að ganga úr skugga um hvernig manganútfellingarnar myndast, hversu þéttur málmurinn er í botnlögum, og hversu útbreiddur hann er. Helstu áfangar og niðurstöður rannsóknarinnar eru eftirfarandi:

- Málmurinn kemur fyrir sem manganútfellingar, og myndar hann æðar og holufyllingar í móbergsseti á fremur takmörkuðu svæði við goshryggi. Berg- og efnafræðirannsóknir sýna að málmurinn er bundinn í steindunum todorokít og birnessít. Hann er aðfluttur með jarðhitavökva, einum sér eða blönduðum í sjó. Aðeins lístil hluti þeirra sýna sem náðust innihélt málma í miklu magni. Málmrskt set virðist því vera nokkuð dreift og skapar það örðugleika við nám og vinnslu.
- Við rannsóknirnar var kortlagt dýpi á um 1500 km² stóru svæði. Þar fengust nákvæmari upplýsingar um botnlag og botngerð en áður gerðist.
- Tekin voru 44 hól með botnskröpu, og úr þeim voru valin 208 berg- og setlagasýni til frekari rannsókna. Sjá má nánar um niðurstöður þeirra í 9. kafla.
- Mangan er málmur sem er einkum notaður til sblöndunar í járn. Þessi málmur er ekki ýkja dýr og þarf þéttileiki hans að vera nokkuð mikill til að vinnsla borgi sig. Hingað til hefur mangan eingöngu verið unnið úr málmrsku bergi, úr nánum á þurru landi.
- Bræðslutilraunir leiddu í ljós að vinna má málma úr setsýnum frá Reykjaneshrygg. Við tilraunirnar myndaðist mjög járnrikt ferrómangan sem einnig tók til sín króm, kóbalt og fosför, en nikkel og kopar fundust í mjög litlu magni. Þéttileiki verðmætra málma, svo sem kóbalts, nikkels og kopars, er minni í mangansetinu frá Reykjaneshrygg heldur en í mangankúlum og manganseti á botni Kyrrahafs, og dregur það mjög úr verðmæti mangansetsins. Á móti kemur að það er á mun minna dýpi, sem er kostur þegar vinnsla er höfð í huga. Einnig virðist sem mangangrýtið innihaldi meira króm en Kyrrahafskúlur og set.
- Innlend þekking og reynsla við rannsókn botnsins og botnsýna jókst, og nýjar aðferðir, svo sem neðansjávarmyndataka, voru reyndar í fyrsta sinn við rannsóknir af þessu tagi. Viðtækt og náið samstarf tókst á milli innlendra rannsóknastofnana um könnun hafbotnsins, og með samstilltu átaki má vænta frekari árangurs í framtíðinni á þessu sviði.

Rannsóknirnar hafa gefið nýjar og mikilvægar upplýsingar um jarðefni og jarðhita á hafbotni á Reykjaneshrygg. Niðurstöðurnar eru nægjanlega ákveðnar til þess að leggja raunhæft mat á möguleika á námuvinnum. Af þeim má draga þá ályktun að vinnsla mangansets á Reykjanes-hrygg sé ekki hagkvæm eins og staðan er í dag. Talið er að hagkvæmar mangannámur á landi muni endast a.m.k. eina öld til viðbótar. Með aukinni notkun hinna ýmsu málma í framtíðinni, og eftir því sem gengur á birgðir í vinnanlegum nánum á landi má búast við að horft verði af meiri alvöru til málma á hafbotni og verður Reykjaneshryggur þá engin undantekning.

1. INNGANGUR

Í byrjun nóvember 1990 var gerður út leiðangur á rannsóknaskipinu Bjarna Sæmundssyni til að kanna aðstæður á stuttum kafla á Reykjaneshrygg, nálægt 63°N , en þar stóð þá yfir jarðskjálfta-hrina. Fyrstu niðurstöðum þessa leiðangurs hefur verið lýst á prenti (Jón Ólafsson o.fl. 1991). Meðal verkefna leiðangursins var að taka sýni af hrygnum, ef vera kynni að þau gæfu upplýsingar um nýlega eldvirkni. Svo reyndist ekki vera, en við nánari skoðun sýnanna í landi kom í ljós að eitt þeirra innihélt umtalsvert magn af manganoxíðútfellingum. Áður hafði fundist mangangrýti 75 km sunnar á Reykjaneshrygg, á $62^{\circ}27'\text{N}$, sjá Commeau o.fl. (1989), en það voru setbergsmolar sem komu í vörpu togara árið 1987.

Þar sem mangangrýti getur haft hagnýta þýðingu, þótti áhugavert að kanna nánar útbreiðslu þess og gerð á þessum hluta Reykjaneshryggjar. Nokkrir jarðvísindamenn ræddu þessi mál á óformlegum fundum síðari hluta nóvembermánaðar 1990. Hafsbotsnesfnd Iðnaðarráðuneytisins ákvað í byrjun desember 1990 að sækja um sérstaka fjárveitingu til slískrar könnunar á árinu 1991, og voru jafnframt lögð drög að skipulagi og umfangi verksins.

Alþingi samþykkti að leggja 4 milljónir króna í þetta verkefni og var því í upphafi árs hafist handa um nánari skipulagningu starfsins. Aðilar sem lýst höfðu áhuga á verkefninu voru kallaðir saman í þessu skyni og völdu þeir verkefnistjórn og skiptu með sér verkum. Verkefnistjórnina skipuðu þeir Guðmundur Pálason, Sveinn Jakobsson og Kjartan Thors. Pátttakendur voru frá Hafrannsóknastofnun, Náttúrufræðistofnun, Raunvísindastofnun háskólans og Orkustofnun, og lögðu allar þessar stofnanir nokkuð af mörkum af eigin fé til verksins.

Til að fá neðansjávarmyndir af rannsóknasvæðinu var samið við Stefán Hjartarson hjá Djúpmynd h.f. um að annast þann þátt.

Fyrir lá að Hafrannsóknastofnun var reiðubúin að senda skip til sýnatöku ef fjárframlag fengist fyrir hluta kostnaðar. Var ákveðið að r.s. Árni Friðriksson yrði við þessar rannsóknir fyrri hluta aprílmánaðar 1991. Skýrsla þessi fjallar um þennan leiðangur og niðurstöður rannsókna, sem fylgdu í kjölfarið, en jafnframt er stutt lýsing á niðurstöðum leiðangursins í nóvember 1990.

2. JARÐFRÆÐI REYKJANESHRYGGJARINS

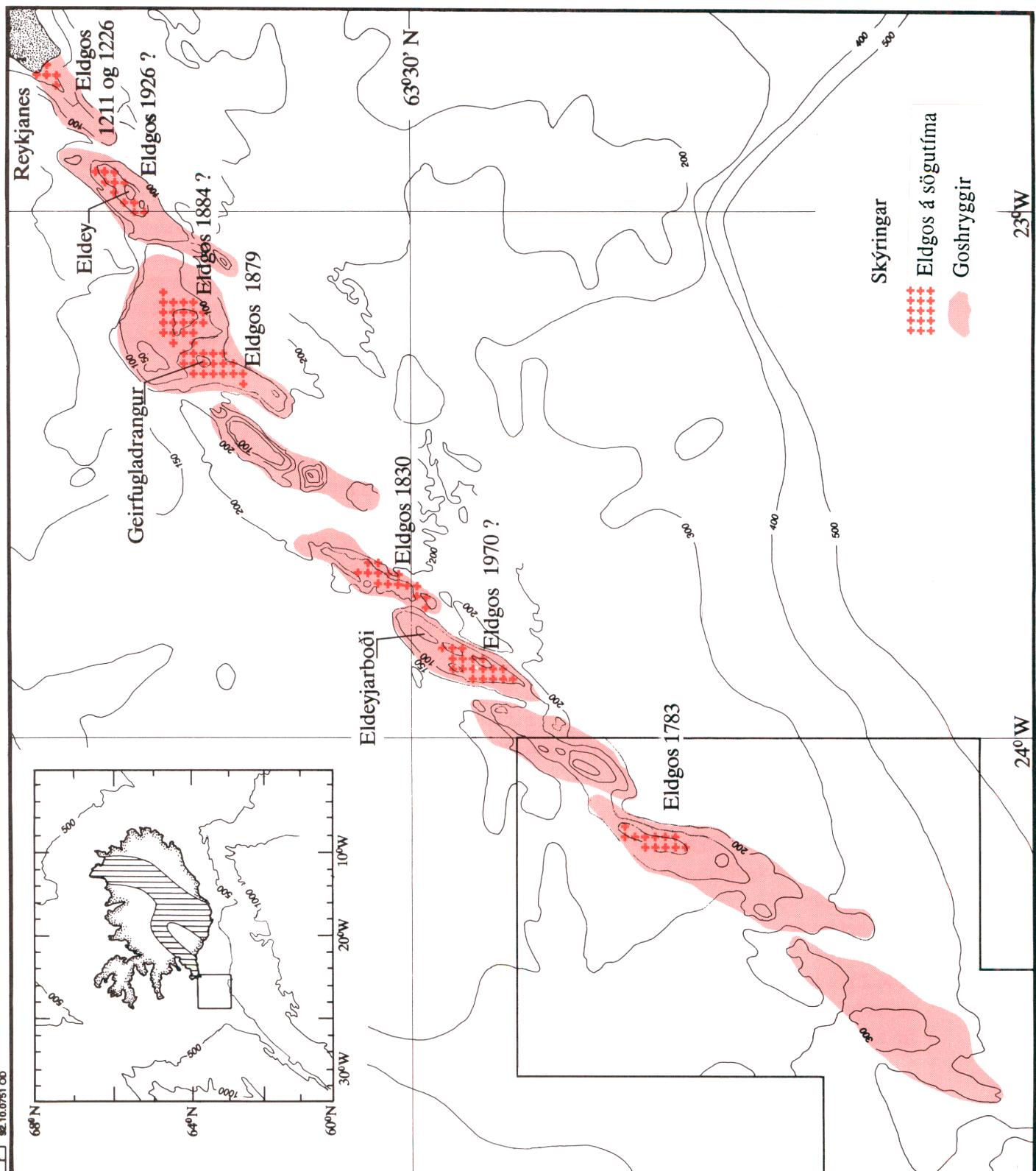
Reykjaneshryggur kallast sá hluti Miðatlantshafshryggjarins sem nær sunnan frá frá 56°N að Reykjanesi. Háhryggurinn er mjög mishæðóttur sunnan til og er um 40 - 50 km á breidd. Það grynnkar ört á hrygnum þegar norðar dregur og við $63^{\circ}00'\text{N}$ - $63^{\circ}07'\text{N}$, þar sem landgrunnsbrúnin er, tekur við afhlandi halli landgrunnsins. Stuttir hryggir er standa í skástæðri röð mynda þar miðhluta hryggjarins, en botninn beggja vegna er tiltölulega sléttur, sjá 1. mynd.

Reykjaneshryggurinn er rekhryggur og þar eru mótt Norðuramerískoplötunnar og Evrasíuplötunnar. Rekhraði hvorar plötu um sig hefur að jafnaði verið 10 mm á ári til VNV annarsvegar og ASA hinsvegar, síðustu 720 þúsund árin. Sjálft gliðnunarbeltið, þar sem ný skorpa myndast við innskot, er talið vera 4 - 9 km á breidd (Sempere o.fl. 1990). Jarðskjálfavirkni er töluverð á Reykjaneshrygg og síðan 1989 hefur orðið vart óvenju margra jarðskjálfahrina, m.a. á rannsóknarsvæðinu.

Rannsóknir benda til þess að hinir skástæðu hryggir landgrunnsins, er fyrr var sagt frá, séu allir úr gosbergi, og jökulruðningur hefur ekki fundist þar (Johnson & Jakobsson 1985). Þeir hafa hlaðist upp við gos í sjó og líklegt er að þeir hafi að mestu eða öllu leyti myndast á nútíma. Bólstraberg hefur myndast þar sem dýpra er, en túffbreksí og lagskipt túff á grunnsævi. Goshryggirnir eru 12 - 25 km langir, breidd er um 2 - 4 km og meðalhæð yfir jafnsléttu er um 115 m. Hugsanlegt er að hér sé um eldstöðvakerfi að ræða, þ.e. gosþyrpingar sömu gerðar og sjá má á Reykjanesskaga (Jakobsson o.fl. 1978). Í þessu sambandi er vert að benda á, að sé gert ráð fyrir að neðansjávarhryggirnir séu myndaðir á nútíma, þá leiða útreikningar á rúmmáli þeirra í ljós að framleiðni gosbergs er mjög svipuð og í eldstöðvakerfunum á vesturhluta Reykjanesskagans, eða $0,1 \text{ km}^3/\text{km}^2$ síðustu 10 þúsund árin.

Talsverð eldvirkni hefur verið á þessum hluta Reykjaneshryggjarins á sögulegum tíma. Kunnugt er um 12 eldgos sem með sæmilegri vissu má rekja til hryggjarins (Sigurður Þórarinsson 1965; Sveinn Jakobsson 1975; Magnús Sigurgeirsson 1992). A.m.k. þrisvar hafa myndast eyjar, sem síðan hafa brotnað niður, eða 1211, 1422 og 1783. Á 1. mynd er sýnd líkleg staðsetning þeirra eldgosa sem skást eru þekkt.

Fjöldi botnsýna hefur áður verið tekinn á Reykjaneshrygg vegna rannsókna á gosbergi hryggjarins. Frá 62°N að Reykjanesi voru á vegum University of Rhode Island tekin sýni á a.m.k. 25 stöðum á árunum 1971 - 1974 (sjá Schilling o.fl. 1983). Á vegum Office of Naval Research, Náttúrufræðistofnunar og Hafrannsóknastofnunar voru tekin botnsýni á 17 stöðum norðan við $63^{\circ}18'\text{N}$ á árunum 1971 - 1977 (Brooks o.fl. 1974; Johnson & Jakobsson 1985). Flest þessara sýna eru tekin ofan á goshryggjunum, enda kom setberg sjaldan í ljós og ekki varð vart manganoxfötfellinga í neinu þeirra. Sýni af lausu seti hafa einnig verið tekin á Reykjaneshrygg (Horowitz 1974). Sýni frá háhrygnum sýndu aukið magn af Mn, Fe, Cu, Cr og Zn miðað við svæðið sitt hvoru megin.



1. mynd. Goshryggir nyrst á Reykjaneshrygg. Sýnd er staðsetning eldgosa sem einhver vitneskja er um á sögutíma. Rannsóknarsvæðið er afmarkað neðst til vinstri.

3. RANNSÓKNARLEIÐANGRAR

3.1 Leiðangur í nóvember 1990

Leiðangur B16-90 stóð yfir dagana 2. til 6. nóvember 1990. Þáttakendur voru Jón Ólafsson, leiðangursstjóri, Kjartan Thors, jarðfræðingur, Stefán Kristmannsson, haffræðingur, Jón Benjaminsson, jarðfræðingur, allir frá Hafrannsóknastofnun, Joe Cann og David Francis, jarðfræðingar frá University of Leeds, og Cherry Walker, jarðfræðingur frá University of New York í Stonybrook. Þegar hefur verið sagt frá fyrstu niðurstöðum þessa leiðangurs í "Ridge Events" (Jón Ólafsson o.fl. 1991). Í einu af mörgum botnsýnum, sem tekin voru í þessum leiðangri, fannst mangangrýti, eins og rakið var hér að framan. Þetta sýni var rannsakað ásamt sýnum úr síðari leiðangrinum og verður gerð grein fyrir niðurstöðum hér á eftir. Sjóefnarannsóknir í nóvemberleiðangrinum leiddu í ljós aukið magn mangans í sjó við jarðhitauppsteymi á svonefndum Steinahól. Hafa ber í huga, að í leiðangrinum var sight eftir Loran-tækjum, og í því kerfi er ónákvæmni, breytileg eftir svæðum. Staðsetningarnar eru því ekki fullkomlega sambærilegar við GPS-staðsetningar í leiðangrinum 1991.

3.2 Leiðangur í apríl 1991

Leiðangur A4-91 stóð yfir dagana 3. til 13. apríl. Þáttakendur voru Kjartan Thors, leiðangursstjóri, Guðrún Helgadóttir, jarðfræðingur og Konráð Konráðsson, tölvufræðingur, öll frá Hafrannsóknastofnun, Kristján Jónasson, jarðfræðingur frá Náttúrufræðistofnun, og Stefán Hjartarson frá Djúpmynd h.f. Að auki var Guðmundur Guðmundsson, líffræðingur frá Líffræðistofnun HÍ, með í ferð til að halda til haga þeim líffræðilegu upplýsingum sem til félru.

R.s. Árni Friðriksson lagði af stað frá Reykjavík að kvöldi 3. apríl og var kominn á rannsóknasvæðið um hádegi næsta dag. Næstu daga var svo unnið að neðansjávarmyndatöku, sýnatöku og dýptarmælingum. Verkinu var hagað þannig, að dýpi var mælt á nótunni, en önnur gagnasöfnun fór fram á daginn. Verkið sóttist vel, enda viðraði vel til rannsókna á svæðinu allt til 12. apríl, en þá gerði vonskuveður. Var þá ákveðið að halda til hafnar og var komið til Reykjavíkur 13. apríl.

Dýptarmælingar

Tölva (SUN SPARC-station 1) um borð var látin lesa og skrá dýptartölur (frá SIMRAD EK400 dýptarmæli) og staðarákvarðanir (GPS). Gögnin voru síðan notuð til að teikna jafn ósum dýptarkort til bráðabirgða, með kortagerðarforritinu Unimap (Uniras). Þessi dýptarkort voru notuð til að skipuleggja sýnatöku, sem varð þannig miklu hnitið að en hægt hefði verið með þeim ófullkomnu kortum sem til voru ádur. Í lok leiðangursins voru síðan öll dýptargögn notuð til að teikna heildarkort af svæðinu. Á 2. mynd sjást mælingalínur skipsins, en 3. mynd sýnir dýptarkortið. R.s. Bjarni Sæmundsson var við rannsóknir í Skerjadjúpi við upphaf leiðangursins og mældi þar hljóðhraða í sjó. Á grundvelli þeirrar mælingar var notast við hljóðhraðann 1484 m/sek við kvörðun dýptarmælinganna.

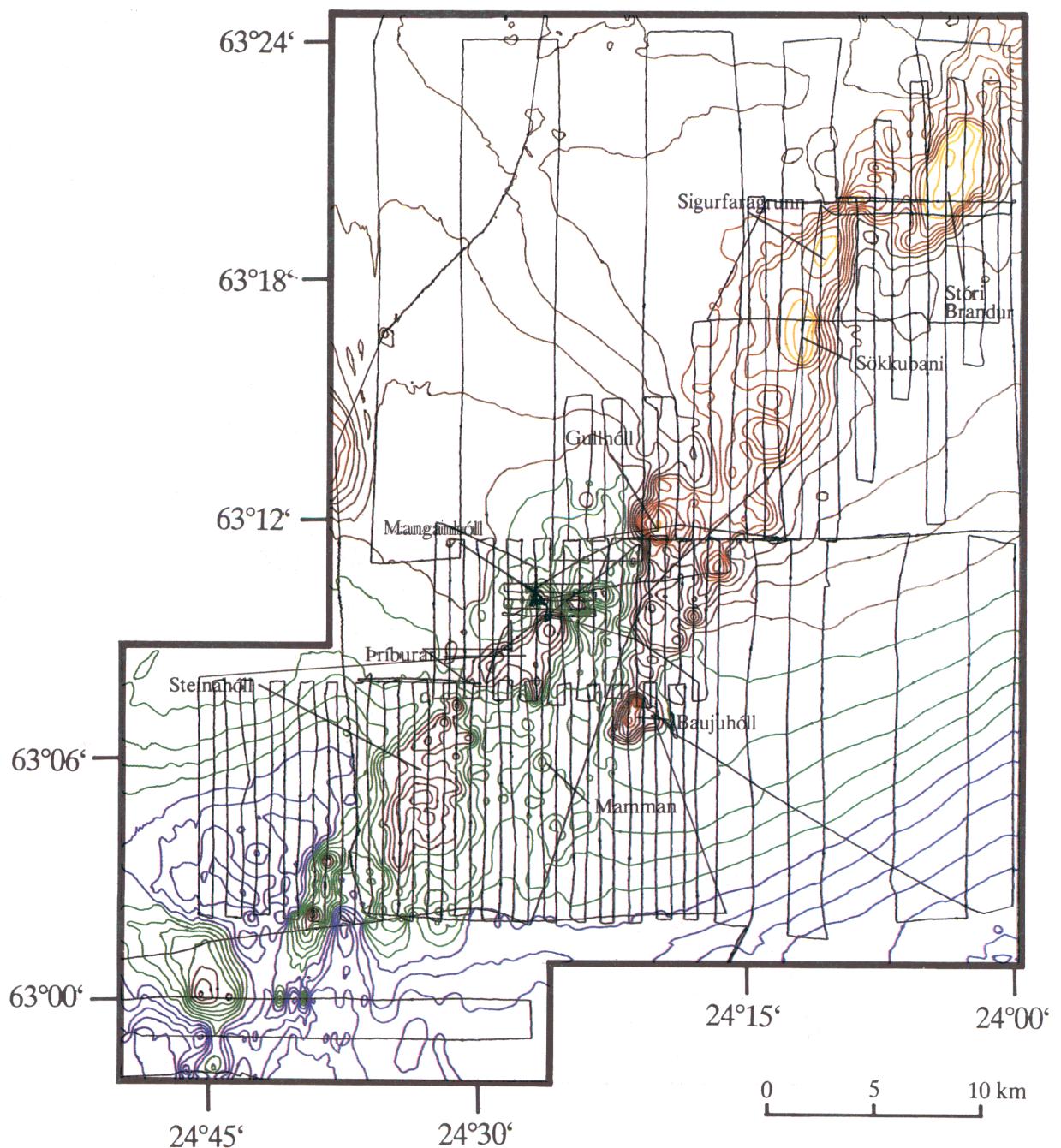
Botnsýni

Botnskrapa Hafrannsóknastofnunar var notuð til að ná sýnum af hafssbotni. Á hverjum stað var hún dregin í 10 til 20 mínútur, þ.e. nokkur hundruð metra. Staðsetning skipsins var skráð þegar skrópunni var slakað til botns og síðan aftur er híft var. Viralengd var að jafnaði höfð prisvar sinnum meiri en sjávardýpi. Alls voru tekin 44 höl. Þar af voru 5 tóm. Á 4. mynd sjást sýnatöku-

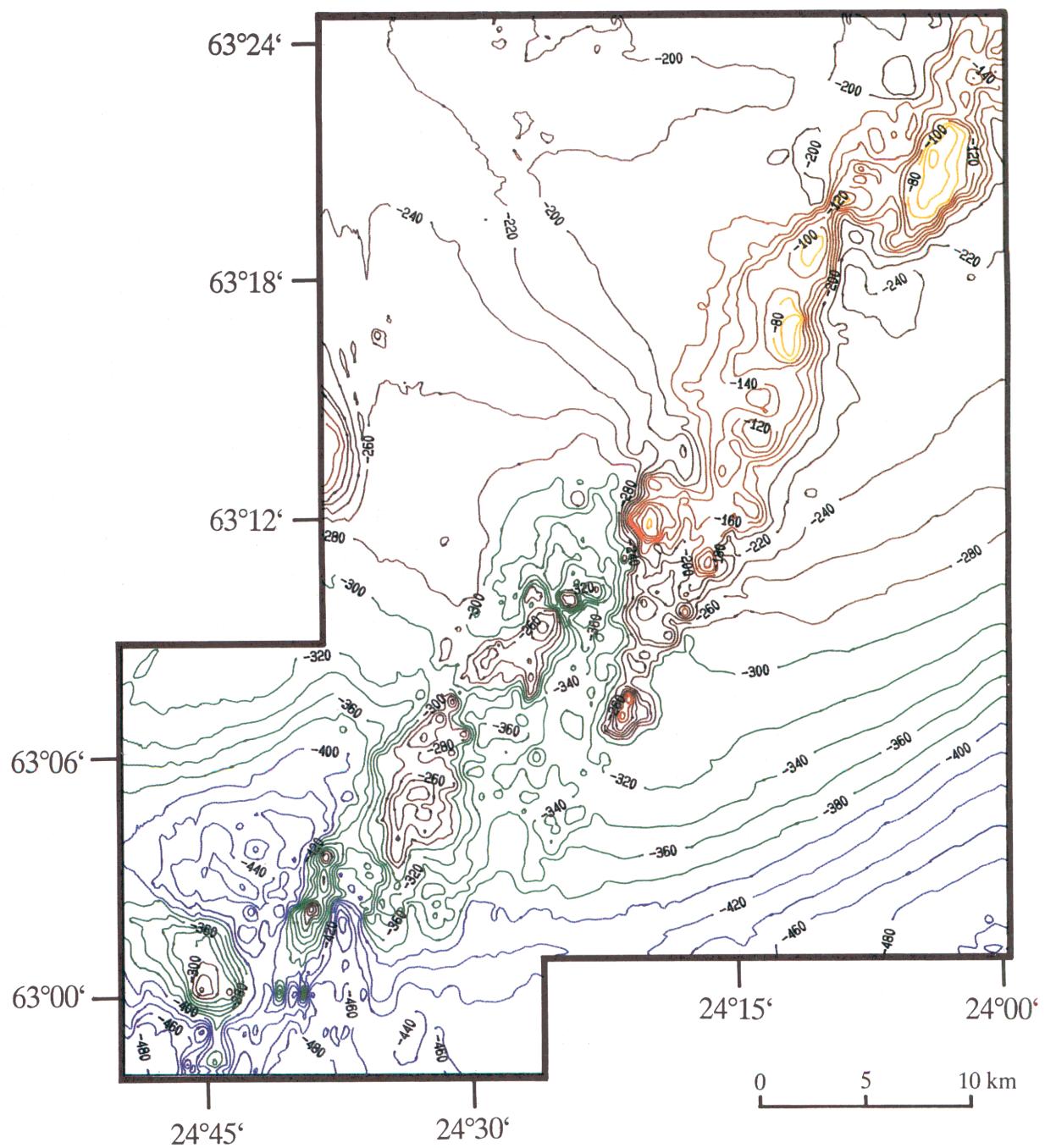
stöðvarnar. Megináhersla var í fyrstu lögð á sýnatöku á svæðinu þar sem mangangrýti hafði fundist í nóvember 1990, en síðan var reynt víða á um 45 km kafla á Reykjaneshrygnum. Í Viðauka I er gerð grein fyrir frágangi sýna um borð og flokkun þeirra. Einnig er þar lýsing á sýnum.

Myndband

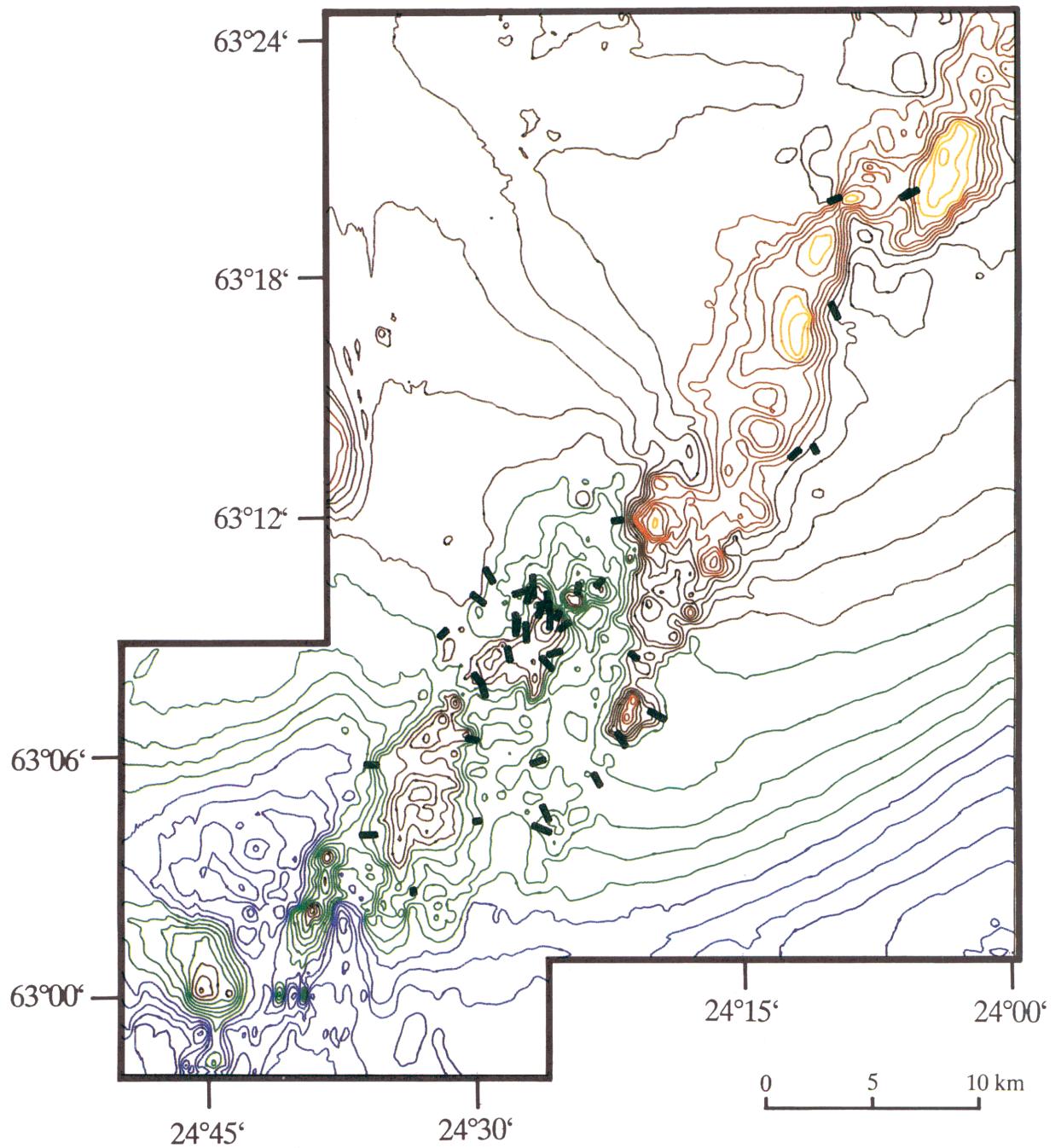
Að degi til var lagst við akkeri ef veður leyfði og fjarstýrð myndavél send niður á botn til myndbandsupptöku. Þessi vinna fór að mestu fram á framangreindu "mangansvæði", en auk þess var tölувert myndað á svonefndum Steinahól, sérstaklega við jarðhitasvæði efst á hólnum. Alls var safnað nokkurra klukkustunda myndefni í leiðangrinum. Það olli nokkrum vonbrigðum, að ekki reyndist auðvelt að skoða fast berg með þessari tekni. Stór hluti af "mangansvæðinu" reyndist hulinn seti, sem að vísu virtist þunnt og í öðru lagi voru bergopnur þéttsetnar lífverum af ýmsu tagi. Á Steinahól voru aðstæður miklu betri og auðveldara að átta sig á bergen.



2. mynd. Mælingalínur r.s. Árna Friðrikssonar á rannsóknarsvæðinu dagana 3. - 12. apríl 1991.
Dýptartölur eru sýndar á 3. mynd.



3. mynd. Dýptarkort af rannsóknarsvæðinu, dýptartölur eru í metrum. Helstu örnefni eru sýnd.



4. mynd. Sýnatökustöðvar í apríl 1991 (svartar línur). Dýptartölur eru sýndar á 3. mynd.

4. NIÐURSTÖÐUR LEIÐANGRANNA

4.1 Botnlögun og botngerð

Dýptarmælingarnar í leiðangri A4-91 gáfu nýja mynd af rannsóknarsvæðinu. Í ljós kom, að landslagi er þar háttáð mjög svipað og norðar á Reykjaneshryggnum, þar sem nákvæmari mælingar lágu fyrir, þ.e. að hryggurinn er markaður af einstökum skástæðum hryggjum, sem rísa bratt frá tiltölulega sléttum botni. Á mælingasvæðinu má greina þrjá slíka aðalhryggi, eins og 7. mynd sýnir.

Dýptarmælingarnar leiddu í ljós, að mangangrýtið, sem upp kom í nóvemberleiðangrinum 1990 hefur verið tekið úr tiltölulega litlum hól norðan við svonefnda Prsbura, sjá 5. mynd. Þessi hóll var nefndur Manganhóll í daglegu tali í leiðangrinum 1991 og verður því nafni haldið hér. Áhersla var í upphafi lögð á að taka sýni á þessu svæði, þ.e. úr Manganhól og norðurhlíð Prsbura, en að því loknu var reynt á öðrum svæðum.

Sýnatakan beindist að því að finna og afmarka svæði þar sem set- og móbergslög koma fyrir. Ástæðan var sú að mangangrýtið, sem fannst í nóvember 1990, kom fyrir í hörðu seti. Í þeim leiðangri var svo að sjá að set og móberg fyndust helst í hlíðum háhryggjarins, en gosberg væri ráðandi efst á hryggnum. Með þessar vísbindingar að vegarnesti var sýnatökunni beint að hlíðunum. Í stuttu máli kom í ljós, að setberg kom fyrir í sýnum frá Manganhól og nágrenni, þ.e. norðurhlíð Prsbura og í lágum kanti vestur af hólnum. Í flestum sýnum af þessu svæði fundust útfellingar, sem taldar voru mangangrýti. Í austur- og vesturhlíðum Steinahóls fannst einnig setberg með dökkum útfellingum og sömuleiðis í litlum hól austan Steinahóls. Annars staðar fannst eingöngu storkuberg. Sýnunum er lýst nánar í kaflanum hér á eftir.

Myndbandsupptakan var bundin við Manganhól og næsta nágrenni, svo og Steinahól. Við Manganhól fékkst allgott yfirlit yfir botngerð allt frá toppi Prsbura, niður norðurhlíð þeirra og yfir Manganhól. Snið yfir þetta svæði lítur þannig út, að efst í Príburum er bólstraberg allsráðandi að því er séð verður, en þunnt lag af lausu seti liggar yfir þessu svæði og hylur lægðir milli bólstra. Sömuleiðis er norðurhlíð Prsbura hulin þunnu seti, en þar standa setbergshnallungar upp úr setinu. Manganhóll er hulin setkápu og verður því ekkert ráðið um berggrunninn efst á hólnum. Í norðurhlíð hólsins eru hins vegar nokkurra metra háir setbergsklettar á breiðu belti og er það besta opna, sem fannst með setbergi á svæðinu. Á öllu svæðinu er mjög fjölskrúðugt safn lífvera, bæði á og í lausu seti, svo og ásætur á föstu bergi (mynd 6a). Þetta torveldar skoðun á bergen og því er erfitt að gera sér grein fyrir eðli setbergsins, t.d. kornastærð og samsetningu.

Myndbandsupptökur á Steinahól voru gerðar efst á hólnum, sérstaklega við jarðhitasvæði sem þar eru. Jarðhiti var staðsettur þarna í nóvember 1990, en reyndar hefur sjómönnun verið kunnugt um jarðhita þarna um alllangt skeið. Í ljós kom að útstreymi jarðhitavatns er á nokkrum stöðum á Steinahól, og komu nokkrir jarðhitastrókar fram á dýptarmælum. Svæði þetta einkennist af bólstrabergi og eru einstakir bólstrar víða stórir, geta skipt mörgum tugum sentimetra í þvermál (sb. mynd 6c). Lífrski þarna er miklu fábreyttara en við Manganhól og sethula engin. Þar sem jarðhitaútstreymis gætir hafa myndast breiður af hvítum, þráðлага bakteríum, svipað og fannst t.d. við Kolbeinsey (sjá t.d. Jón Ólafsson o.fl. 1988), þannig að tiltölulega auðvelt er að finna jarðhitastaðina. Mynd 6b er af jarðhitaútstreymi á Steinahól.

4.2 Jarðfræði

Einfalt jarðfræðikort af rannsóknasvæðinu er sýnt á 7. mynd. Eins og áður var getið um virðast vera þarna þrír aðskildir goshryggir eða gosþyrpingar sem liggja í skástæðri röð. Þessar þyrpingar eru til glöggvunar nefndar Steinahóls-, Gullhóls- og Stóra-Brandsþyrpingar. Lengd gosþyrpinganna er 25-30 km og þær eru svipaðar að umfangi og eldstöðvakerfi Reykjanesskagans. Ferskleiki gosbergssýna og lítið set bendir til að á nokkrum stöðum séu gosmyndanir mjög ungar. Fjórir hólar eru sérstaklega merktir þannig á 7. mynd, Steinahóll, Baujuhóll, Gullhóll og Sökkubani. Einnig er líklegt að Stóri Brandur sé ung gosmyndun. Áður hafa verið leiddar líkur að því að Nýey, er myndaðist við neðansjávargos 1783, hafi verið norðantil á Gullhólsþyrpingunni (Sveinn Jakobsson 1975). Þar sem nú er Sökkubani er minnsta dýpi um 60 m, en með samanburði við neðansjávarrof Syrtlings og Jólins við Surtsey er vel líklegt að þarna hafi í einhvern tíma verið eyja.

Vísbendingar eru um þrjú jarðhitasvæði í Steinahólsþyrpingunni, en ekki hefur orðið vart jarðhita í hinum tveimur þyrpingunum. Fram kom í leiðangrinum í apríl 1991 að heitt vatn streymir víða upp á norðaustlægu belti er gengur yfir hæsta hluta Steinahóls. Þess má geta að skipverjar á b/v Ottó N. Þorlákssyni urðu hinn 3. júlí 1991 vitni að því náttúruundri á $63^{\circ}03,87'N$ og $24^{\circ}33,36'V$, eða sunnantil á Steinahól, að þar flaut upp dauður karfi og keila, loftbólur komu upp og megna brennisteinsfýlu lagði yfir skipið. Hugsanlegt er að þarna hafi orðið til nýtt háhitasvæði á hafsbottini; það er jafnvel ekki hægt að útloka lítið eldgos, en dýpi þarna er um 280 m. Í febrúar 1991 fengu skipverjar á Ottó N. Þorlákssyni anhydrít-útfellingar í trolli efst á Steinahól, en gat bráðnaði á trollið. Athugun á sambærilegu trolli, sem hafði bráðnað á hafsbottni við Grímsey, gefur til kynna að þessi troll bráðni við um $150^{\circ}C$ (Niels Óskarsson, pers. upplýs. 1992).

Við athugun á bergsýnum úr hali 55 norðaustast í Steinahólsþyrpingunni komu í ljós fersklegar súlfíðsteindir og í hali 58 sunnantil í Þrásburum fannst gifs. Þessar útfellingar benda til háhitavirkni. Líklega er hún útkulnuð, en þó er vel hugsanlegt að á báðum þessum stöðum sé enn einhver jarðhiti. Dreifing uppleysts mangans í sjó á þessu svæði var mæld í leiðangrinum í nóvember 1990 (Jón Ólafsson o.fl. 1991), og styður sú mynd er þar fékkst að mjög virkt jarðhitasvæði sé í Steinahól, en önnur lítið virk svæði gætu verið austan í Þrásburum og þar austur af.

Dýptarkortið sýnir greinileg merki um sig á milli Steinahóls- og Gullhólsþyrpinganna og einnig vestan og sunnan við Þrásбу. Þarna eru djúpar hvilfir þótt gosvirkni hafi greinilega verið mikil í grennd, t.d. suðvestan í Gullhólsþyrpingunni. Líklegt er að sigdalur sé á milli þyrpinganna, sjá 7. mynd. Það er athyglisvert að á þessu sigsvæði hefur verið jarðhitavirkni, en auk þess má benda á að skjálftavirknin er byrjaði 30. október 1990 var einmitt norðaustan til í Steinahólsþyrpingunni.

4.3 Bergfræði

Smásjárathuganir og efnagreiningar sýna að gosbergið á rannsóknarsvæðinu er þóleist og nokkuð einsleitt, og svipað því sem áður hefur fundist á þessum hluta Reykjaneshryggjarins (sbr. Schilling o.fl. 1983 og Johnson & Jakobsson 1985). Það er oftast díslalístið með plagiðklas-, ágít- og ólivíndslum. Það er blöðrótt, oft má sjá glerrima á því og mörg sýnin eru greinilega bólstrabrot. Bólstraskurnir og hillur eru einnig algengar. Það eru plötulaga steinar með glerkápu á báðum hliðum. Þeir myndast við tæmingu bólstra eftir að skurnin hefur storknað. Gjallmolar og dökkur vikur hafa einnig fundist. Sýnin eru mismikið veðruð, sum eru mjög fersk, en flest þeirra eru með brúnleitum útfellingum og stöku sýni eru verulega ummynduð.

Bergmyndun neðan til í Steinahól að austan (höl 76, 77 & 78) sker sig úr. Parna er mjög plagióklasdsflött þóleist sem er mjög sjaldgæft á Reykjaneshrygg og á Reykjanesskaga. Það er blöðrótt bólstraberg með glerkápu, og plagióklasdsflarnir eru 5 - 15 % rúmmáls af bergeninu. Auk þess fannst í litlum hóli milli Þrúðura og Gullhóls, veðrað, grátt, blöðrótt basalt, með miklu af stórum plagióklasdflum (hal 55).

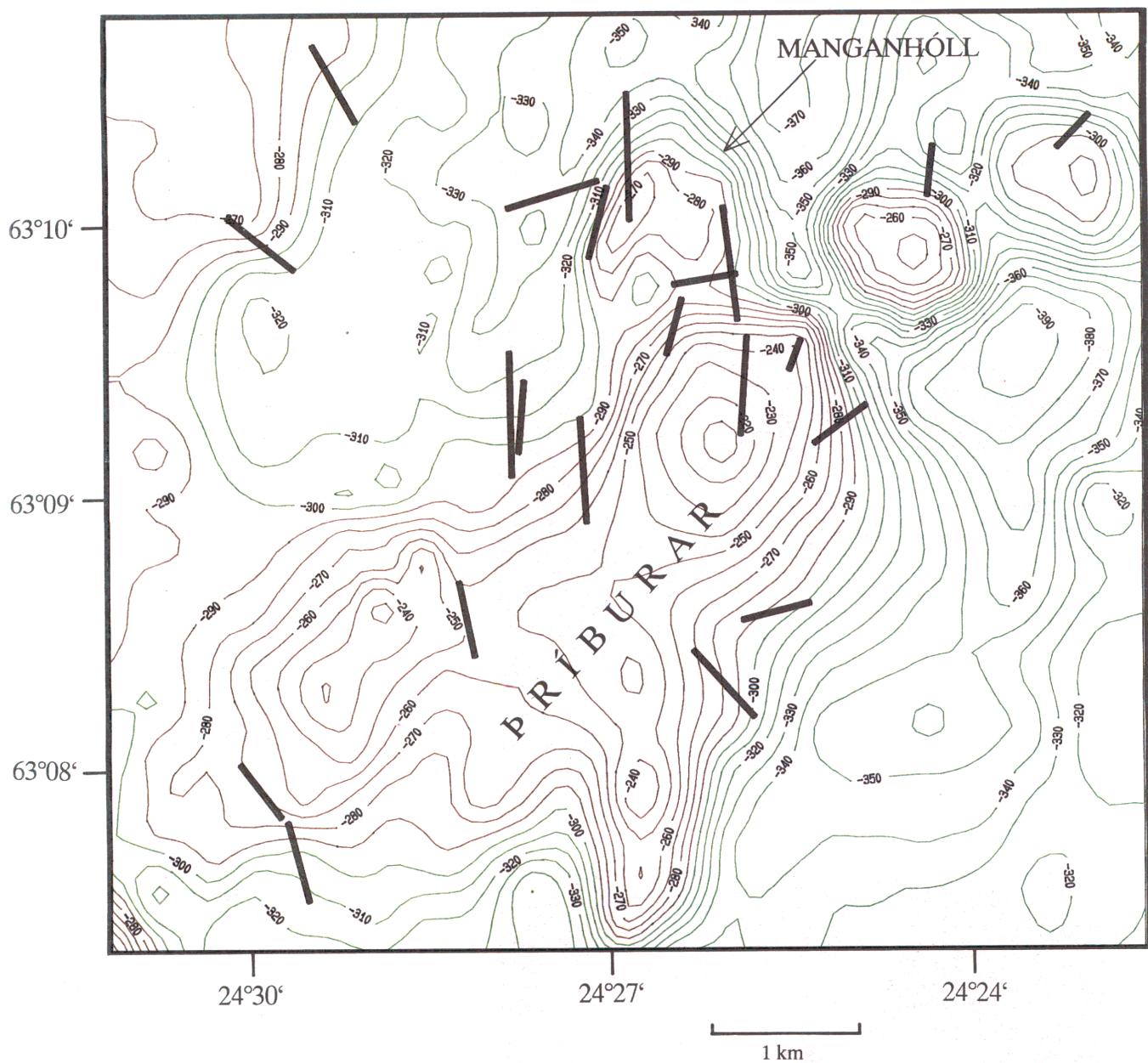
Grá siltleðja, blönduð skeljabrotum og að mestu óhörðnuð, þekur mest allt svæðið eins og víða á landgrunninu. Þessi leðja er líklega aðallega úr aðkomuefnum og í henni hafa engir málmar fundist. Nær ekkert er af leðju þessari á bergsýnum á eða við Steinahól, Baujuhól, Gullhól og Sökkubana, og bendir það til að þessir hólar séu mjög ungar eins og áður var minnst á.

Setberg fannst víða en þó einkum á tveimur svæðum, við Þrúðura og Manganhól, og austur af Steinahól, sjá 8. mynd. Vel er hugsanlegt að þessi tvö svæði tengist um dalverpið milli Steinahóls- og Gullhólsþyrpinganna. Aðaluppistaðan í þessu setbergi eru síðeromelanglerkorn sem myndast hafa við freatómagmatísk sprengigos líkt og í Surtsey. Mismikið er af bergbrotum, skeljabrotum og framandsteinum. Setbergið er einkum tvenns konar. Annars vegar er porótt, kornastærðaraðgreint set, oft lagksipt, þar sem lítið er yfirleitt af bergbrotum, skeljum og framandsteinum, litur er gráleitur eða ljósgránn (setbergsgerð A). Hinsvegar er frekar þétt, lítt aðgreint set, aldrei lagksipt (að því er séð verður í handsýnum), oft með mikið af bergbrotum, skeljabrotum (einkum CaCO_3) og aðkomusteinum; litur er brúnleitur (setbergsgerð B).

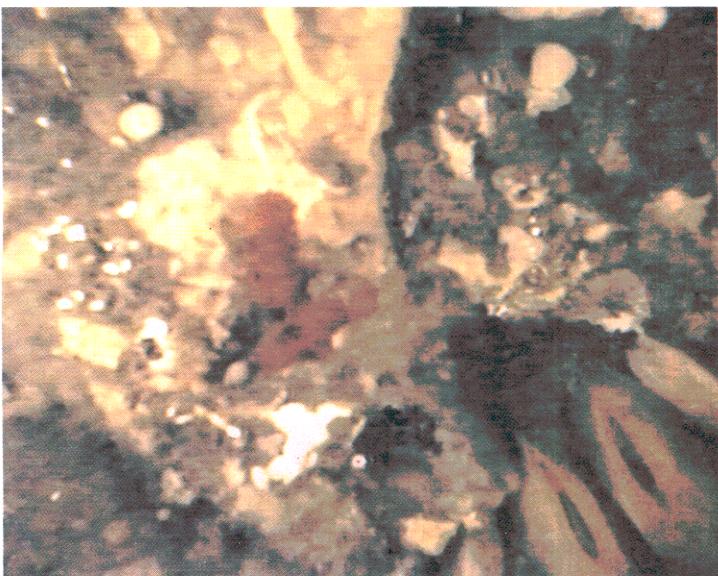
Meðalstærð glerkorna setbergssýnanna er oftast á bilinu grófur sandur - silt, og efnagreiningar sem gerðar hafa verið á glerkornum og handsýnum sýna að basaltglerið er náskylt gosberginu á svæðinu, samanber Töflu II-1 í Viðauka II. Það er því ekki um annað að ræða en að basaltglerið sé upprunnið á nálægum svæðum á hryggnum. Athuganir á íslensku móbergsmynduninni benda til að basísk sprengigos geti orðið niður á u.p.b. 150 - 200 m vatnisdýpi. Í Gullhólsþyrpingunni eru 11 hólar þar sem minnsta dýpi er innan við 200 m og er hugsanlegt að sprengigos hafi orðið í þeim öllum. Gjóskan frá þessum sprengigosum hefur sýðan borist til með hafstraumum og orðið uppiptaða setbergsins. Sum setbergssýnin innan Steinahólsþyrpingarinnar eru hinsvegar það grófkorna að það er hægt að fullyrða með hliðsjón af Surtseyjargosum, að basaltglerið í þeim hlýtur að vera upprunnið í gosum innan sömu þyrpingar. Minnsta dýpi í Steinahólsþyrpingunni er um 210 m á tveimur hólum, en á premur hólum er minnsta dýpi um 230 m. Þetta ósamræmi má skýra með sigi, en þá er sprengigosavirknin í Steinahólsþyrpingunni mjög gömul, hugsanlega þúsunda ára.

Framandi bergtegundir fundust í setberginu á nokkrum sýnatökustöðum. Stórir steinar af amfibóliti, kvarsíti og súru gosbergi fundust í hali 64 og súrt túff í hali 40. Þar að auki fundust korn af kvarsi, kvarsíti, amfiból og lífrænu setbergi á sjö öðrum stöðum, einkum í sýnum af setbergsgerð B. Þetta efni er nær örugglega komið með hafís frá heimskautslöndum. Lítill korn af ísúru og súru gleri eru í nokkrum setbergssýnum og gæti þetta gler verið ættað úr íslensku gosbeltunum.

Það er setbergsgerð A sem einkum hýsir manganoxfðin enda er upprunalegt holrými þar mikið, oft 20 - 30 % rúmmáls. Í setbergsgerð B er yfirleitt lítið um málma, þó getur þar í sumum tilvikum verið töluvert af límonfti.



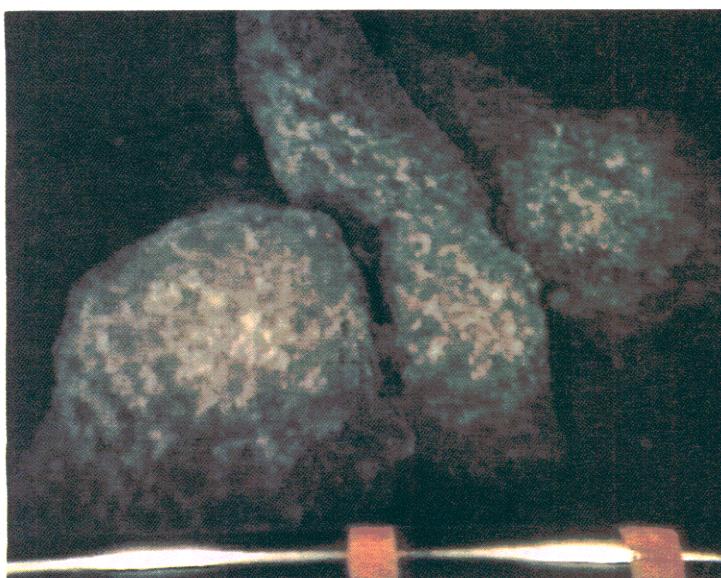
5. mynd. Dýptarkort af Þrðburum og Manganhól, dýptartölur í metrum. Sýnatökustöðvar frá í apríl 1991 eru merktar sem svartar línr.



a.

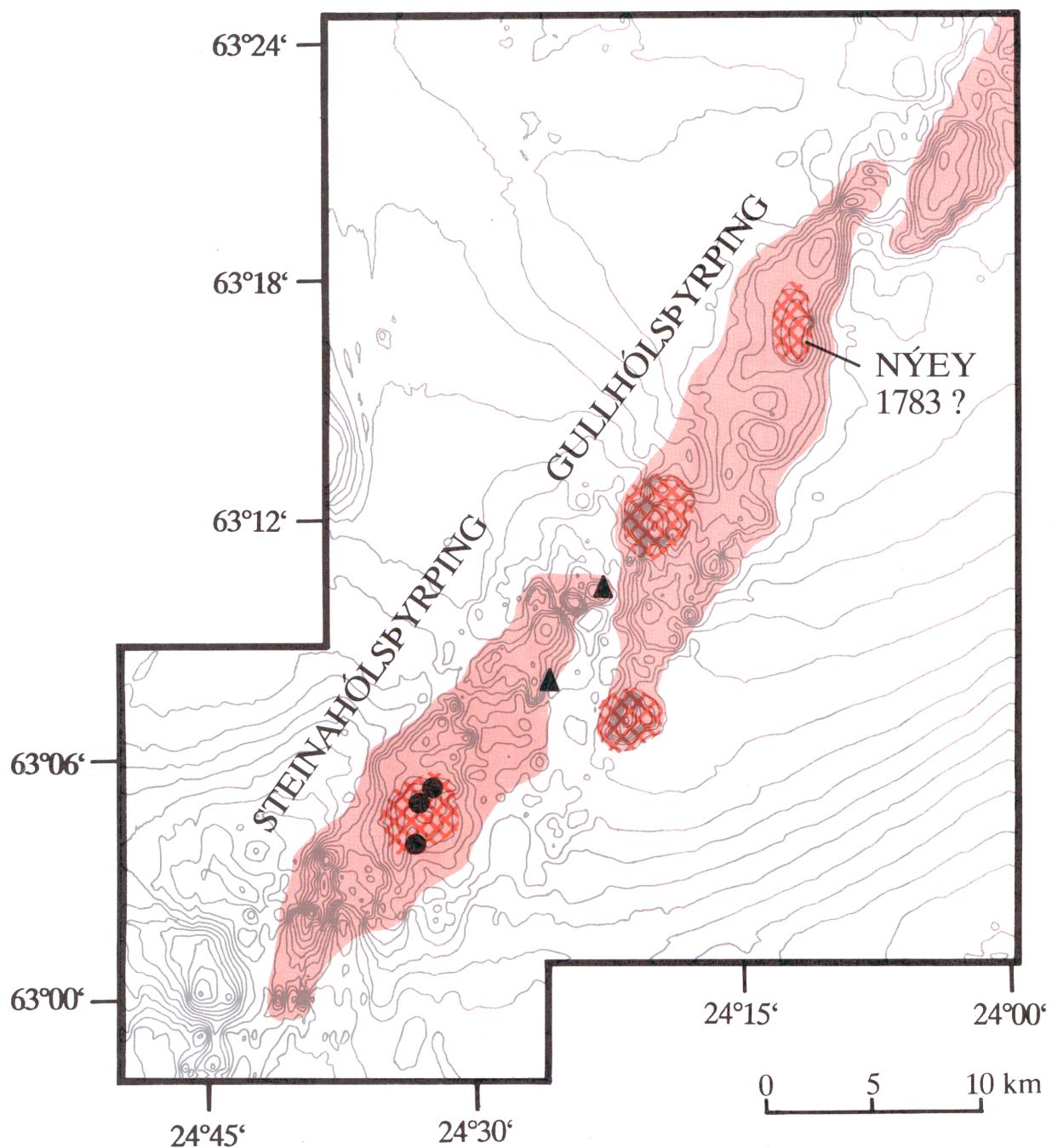


b.



c.

6. mynd. Ljósmyndir eftir myndbandsupptöku Djúpmyndar h.f. a) Opna í setberg í norðurhlíð Manganhóls á u.p.b. 290 m dýpi. Bergið er þéttsetið lífverum, t.d. Ægisdrekku (neðst t.h.). b) Jarðhitaustreymi á Steinahól, dýpi 250 m. Heitt vatn streymir út um sprungu hægra megin á myndinni. Hvítur bakterifugróður. c) Storkubergsbólstrar á Steinahól.



SKÝRINGAR

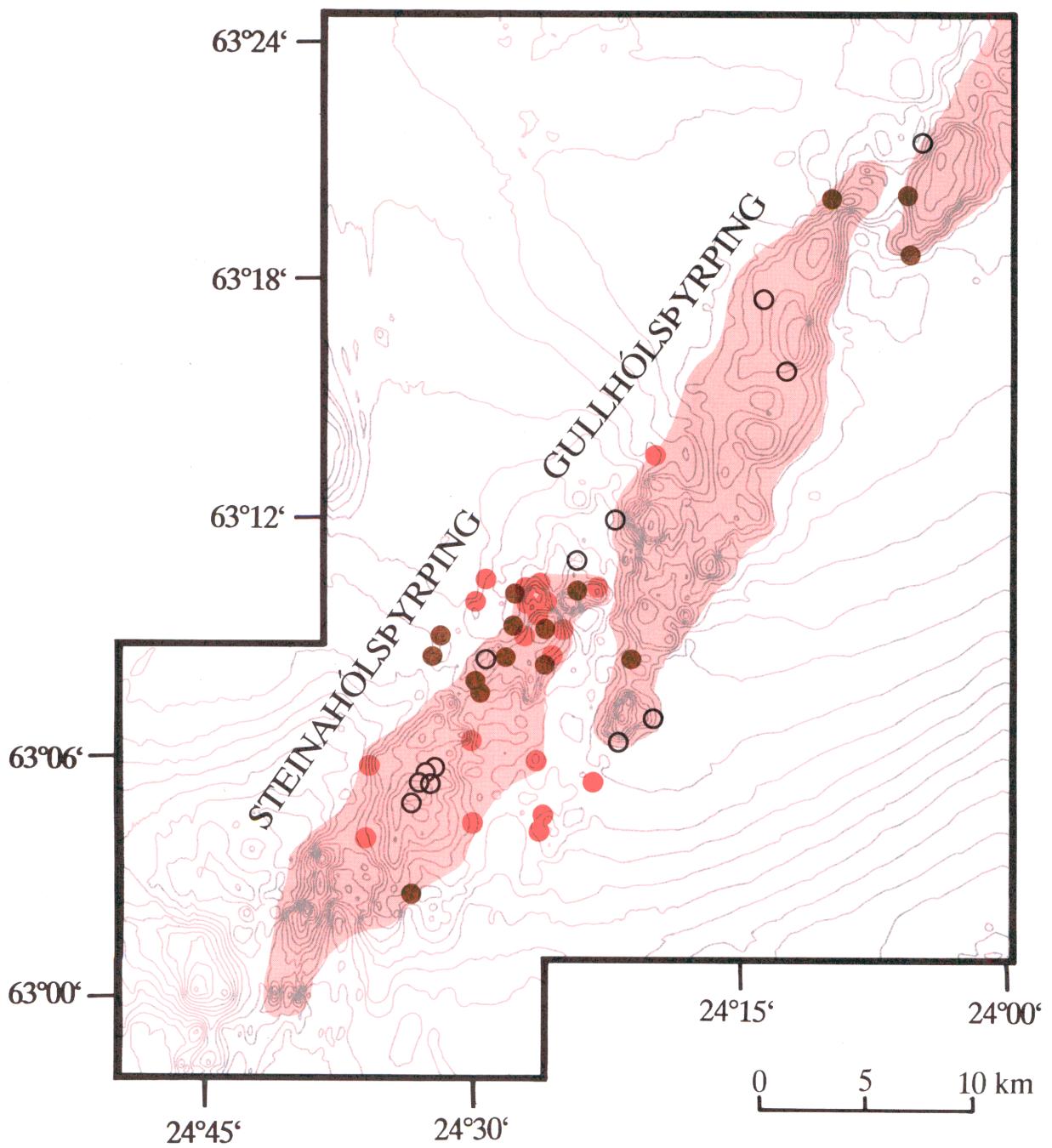
Gosþyrping

Ung eldvirkni

● Virk háhitasvæði

▲ Ummerki um háhita

7. mynd. Einfalt jarðfræðikort af rannsóknarsvæðinu. Greina má þrjár gosþyrpingar, kenndar við Steinahól, Gullhól og Stóra-Brand (sem er nyrst).



SKÝRINGAR

- | | | | |
|--|------------|--|---------------------------|
| | Gosþyrping | | Siltleðja |
| | Setberg | | Ekkert eða mjög lítið set |

8. mynd. Útbreiðsla sets og setbergs á rannsóknarsvæðinu samkvæmt botnsýnum. Tvö helstu setbergssvæðin eru afmörkuð.

5. MÁLMGRÝTIÐ

5.1 Útbreiðsla

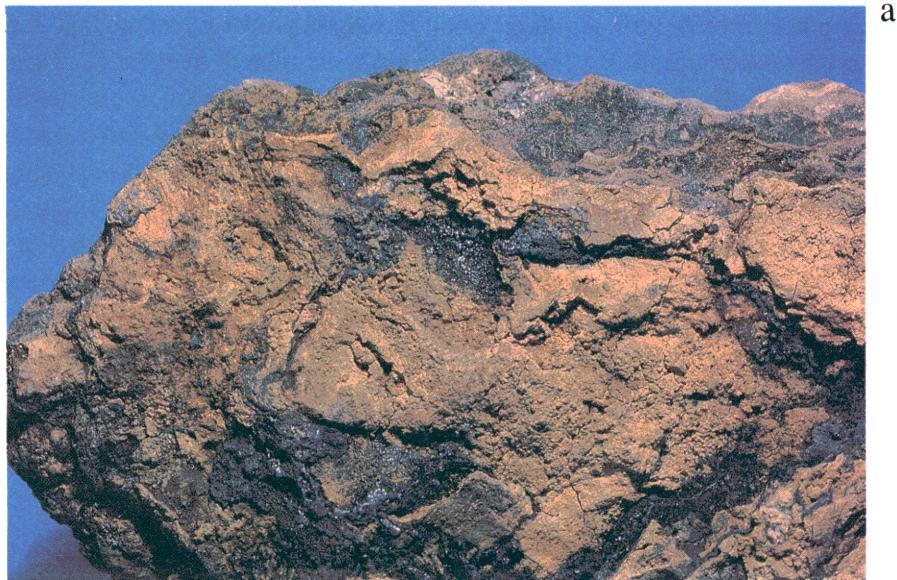
Manganmálmurinn kemur bæði fyrir sem dreif í holrými setbergsins og í æðum, sjá 9. mynd. Þar sem málmdreifin þéttist koma fram lög í berginu, þykkasta málmlagið mældist 6 - 8 mm. Æðarnar liggja óreglulega um setbergið og oft þvert á lagskiptingu, þykkt æðanna er oftast á bilinu 2 - 5 mm. Vottur af manganmálmútfellingum er einnig á basaltsýnum frá sex sýnatökustöðum. Dreifing manganmálms á rannsóknarsvæðinu er sýnd á 10. mynd. Þar er stuðst við upplýsingar frá 12 sýnatökustöðum frá í nóvember 1990 og 40 stöðum frá í apríl 1991, auk upplýsinga frá 2 sýnatökustöðum úr eldri leiðöngrum. Alls voru 153 bergsýni grannskoðuð í vísjá, þar af 122 með hjálp þunnsneiða. Á 10. mynd er magn manganmálmsins metið sem hlutfall af því setbergi sem kom upp á hverjum stað, en myndin segir raunar lítið um hve mikil er af málmgryti á staðnum. Þó er hægt að fullyrða að töluvert magn er á stað 2 norðantil í Manganhól. Af þeim 41 kg sem þaðan kom í nóv. 1990 má áætla að um 1 kg sé hreint mangan. Þá er líklegt að nokkuð sé af mangangrýti á stað 64 sem kallaður hefur verið "Mamman". Mynd 11 sýnir nánar fundarstaði mangangrýtis við Manganhól og Prísbura. Málmgrytið finnst í setbergi sem sest hefur til í hlíðum hólanna.

Límonít, þ.e. lítt eða ókristallað FeO(OH), finnst í öllum bergsýnum sem innihalda manganmálm, en mismikið. Það finnst yfirleitt á dreif í setberginu, en einnig sem allt að 2 mm skorpa á yfirborði. Auk þess finnst límonít í flestum öðrum setbergssýnum og mörgum basaltsýnum í Steinhólsþyrpingunni og suðvestantil í Gullhólsþyrpingunni. Dreifing límoníts á rannsóknarsvæðinu er sýnd á 12. mynd. Samanburður við 10. mynd leiðir í ljós að límonít dreifist á aðeins stærra svæði en manganmálmurinn.

5.2 Steindir

Málmsteindir og aðrar tegundir útfellinga í setberginu voru kannaðar í starlega með röntgenbrotgreiningu og rafeindasmásjárgreiningu, sjá Viðauka II. Mangansteindirnar todorokít ($(\text{Ca},\text{K},\text{Na})(\text{Mg},\text{Mn},\text{Zn})\text{Mn}_5\text{O}_{12} \cdot \text{H}_2\text{O}$), og birnessít ($(\text{Na},\text{Ca},\text{K})(\text{Mg},\text{Mn})\text{Mn}_6\text{O}_{14} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$), reyndust vera uppistaða manganmálmsins, en þessar tegundir eru einmitt algengustu mangansteindirnar í manganískum skorpum og hnyðlingum á sjávarbotni (Cronan 1980; Rona 1988). Ryðrauðu útfellingarnar sem hér að framan hafa verið nefndar "límonít" reyndust torgreindar, en líklega er meginuppistaðan lítt- eða ókristallað FeO(OH). Aðrar tegundir útfellinga sem greindar hafa verið í setberginu eru smektít og kalsít. Í nokkrum bergsýnum má greina í hvaða röð útfellingar koma. Fyrst fellur út smektít, síðan límonít og kemur það stundum meira og minna samtíma smektítinu, þá fellur út todorokít/birnessít og loks í örfáum tilvikum kalsít. Hugsanlegt er að todorokít/birnessít komi stundum að einhverju leyti í stað smektíts og/eða límoníts.

Athuganir í bergsmásjá sýna að manganmálmurinn og límonítið hefur fallið út í holrými setbergsins án þess að umtalsverð ummyndun hafi orðið á síðerómelan glerkornum. Basaltgler er mjög óstöðugt og ummyndast auðveldlega í palagónít við vægan jarðhita. Sé boríð saman við niðurstöður frá Surtsey þar sem aðstæður eru sambærilegar (Jakobsson & Moore 1986), má áætla að manganmálmurinn og límonítið hafi myndast við lægri hita en 40-50°C. Málmurinn kemur næringöngu sem hrein viðbót við bergið, líklega fyrst sem dreif á milli korna (13. mynd), en síðan bætast við málmaðar í sprungum (14. mynd). Yfirborð todorokítsútfellinga sést á 15. mynd.

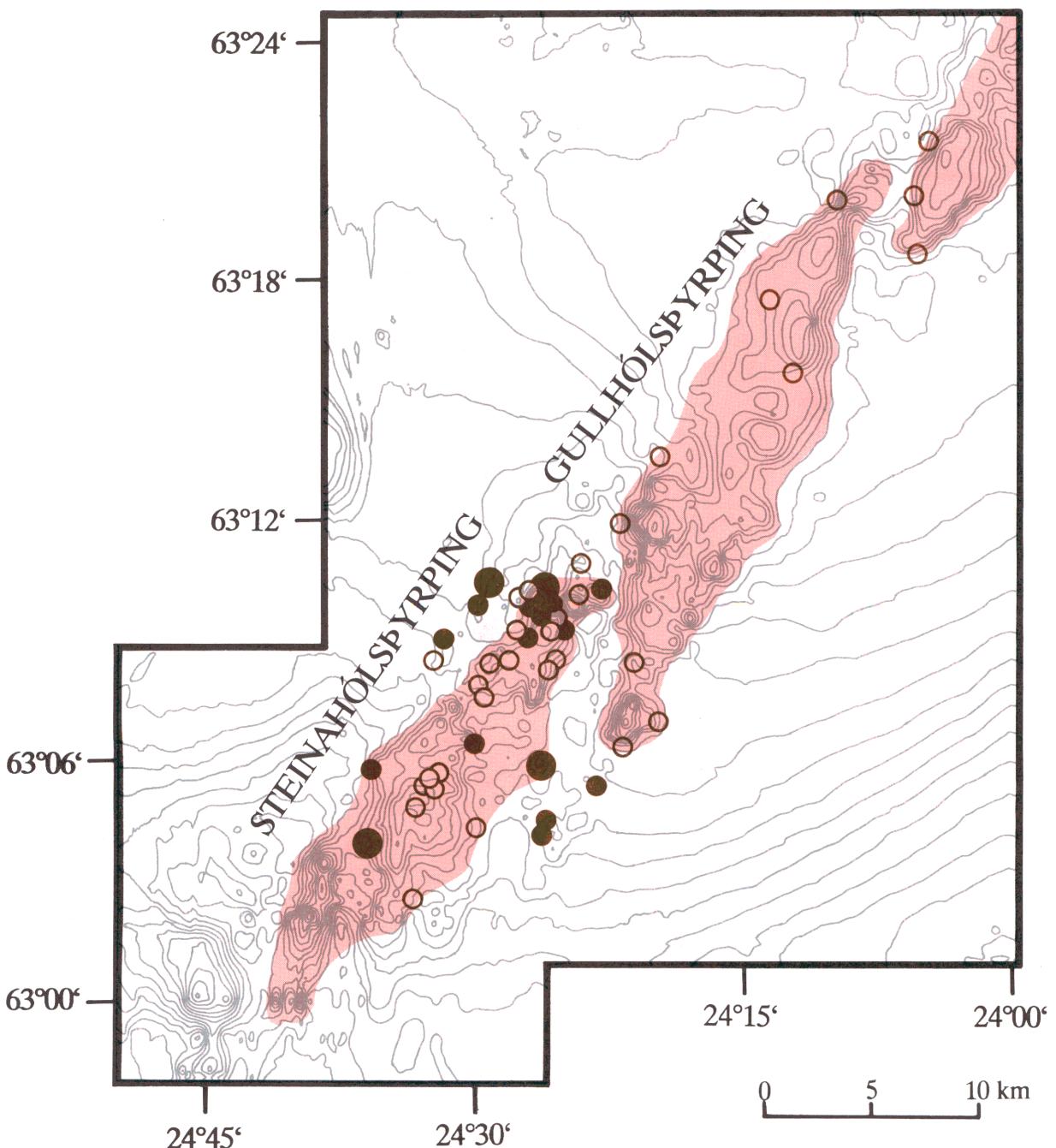


a.



b.

9. mynd. Mangangrýti. a) Ljósmynd af setbergsmola með óreglulegar æðar í setbergi. Breidd sýnis er 17 cm, hal 904-2,10. b) Nærmynd er sýnir kúlumyndað todorokít/birnessít, breidd myndflatar er 2,5 cm.

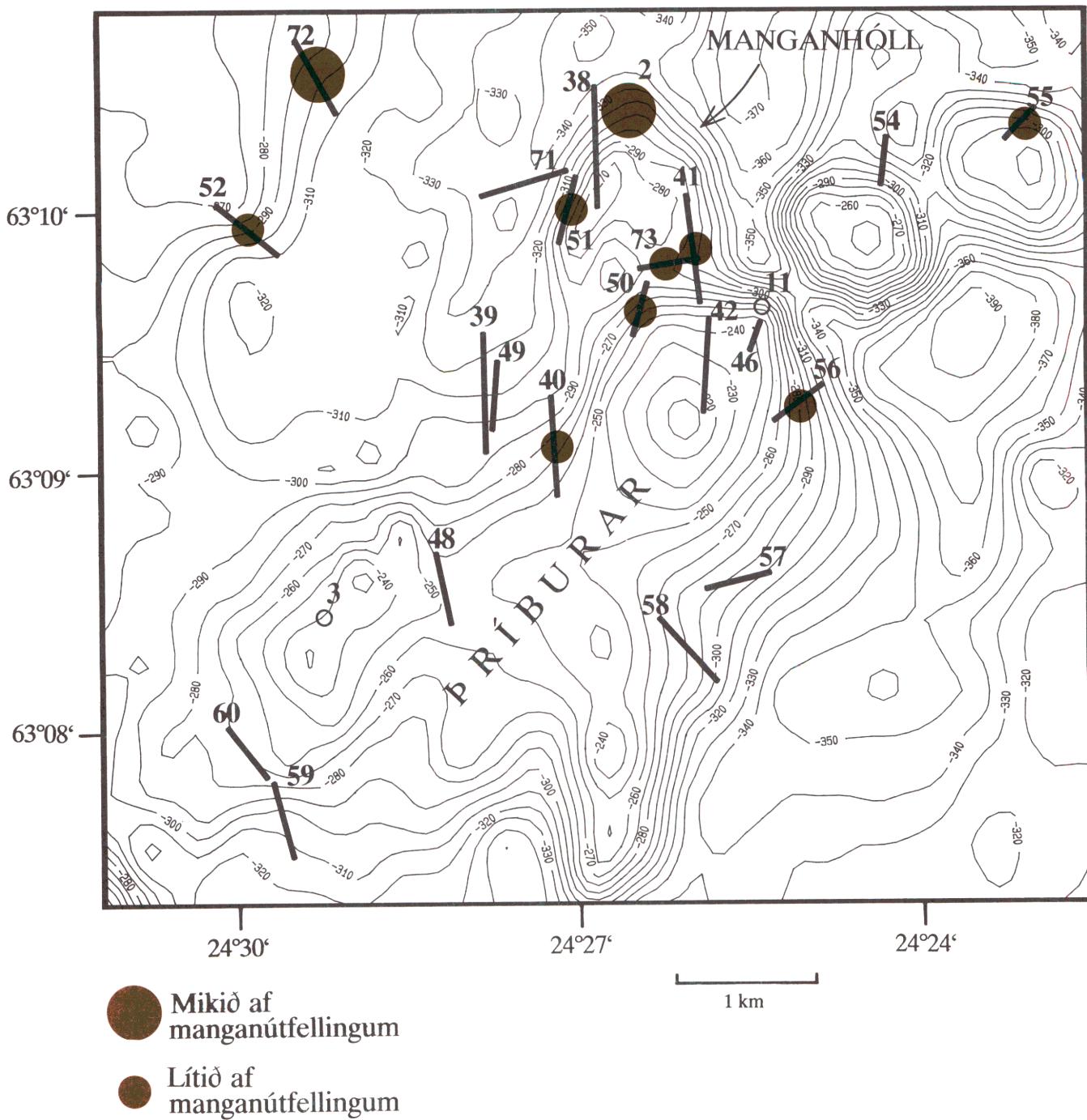


SKÝRINGAR

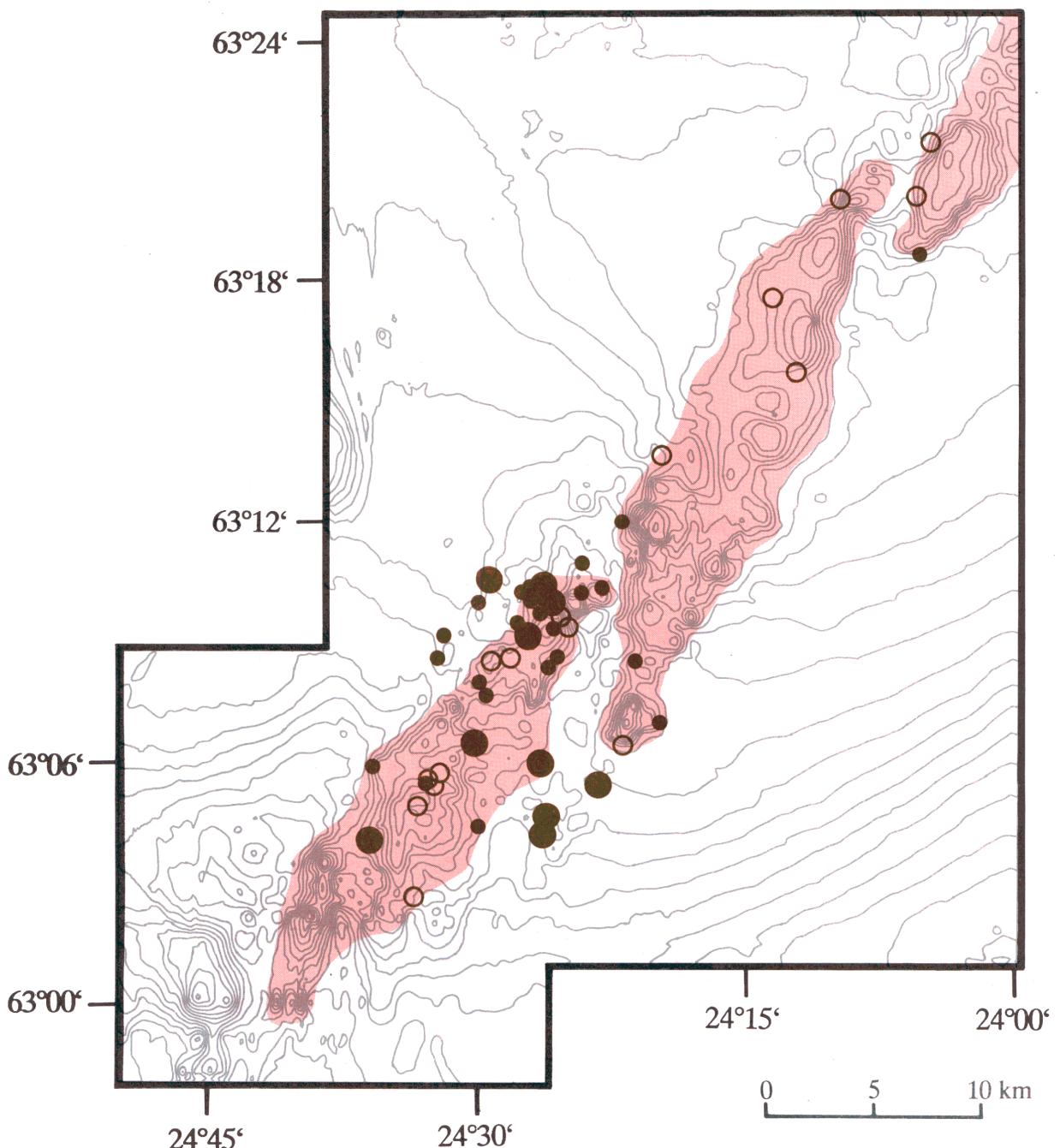
Gosþyrping

- Mikið af manganútfellingum
- Lítið af manganútfellingum
- Engar manganútfellingar

10. mynd. Útbreiðsla manganmálms á rannsóknarsvæðinu, metið samkvæmt hlutfalli málmsins í botnsýnum. Manganútfellingar finnast nær eingöngu í setberginu. Auk þess hafa súlfíð fundist í jarðhitasvæðinu í Steinahól og við Þrífusá.



11. mynd. Aðal fundarstaðir manganmálms við Manganhól og Þrífura. Manganmálmurinn finnst einkum utan í hæðunum þar sem set er þykkað. Útbreiðsla málmsins virðist ekki tengjast virkum jarðhita.

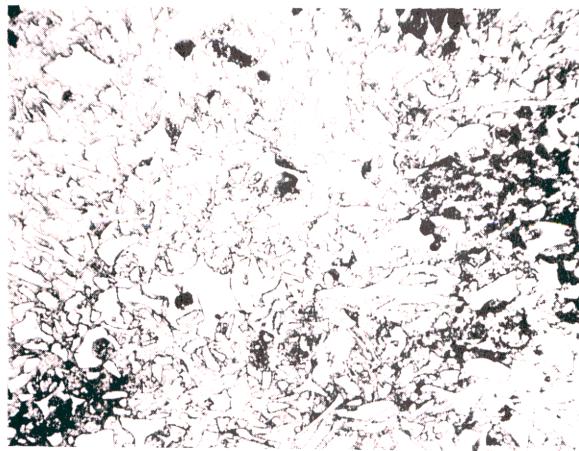


SKÝRINGAR

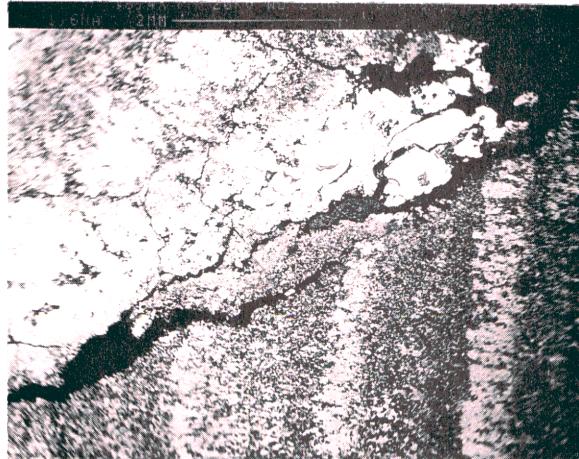
Gosþyrping

- Mikið af límonítútfellingum
- Lítið af límonítútfellingum
- Engar límonítútfellingar

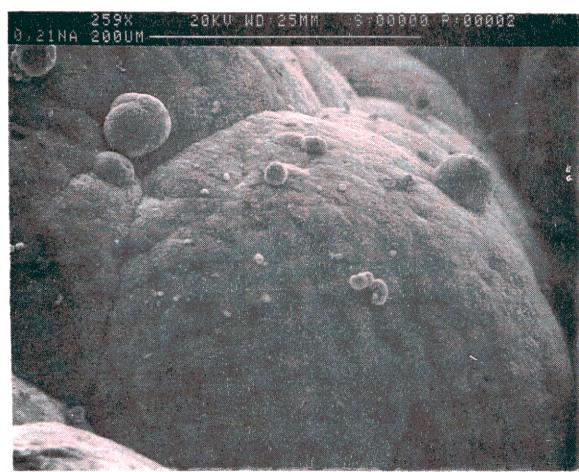
12. mynd. Útbreiðsla "límoníts" (ókristallað FeO(OH)). Það finnst fyrst og fremst í setberginu, en einnig sem útfellingar á basalti.



13. mynd. Útlit setsins í sýni 14012, hal nr. 904-3,1, stækkun 17,5x.



14. mynd. Manganoxföæð í setsýni, stækkun 11,6x.



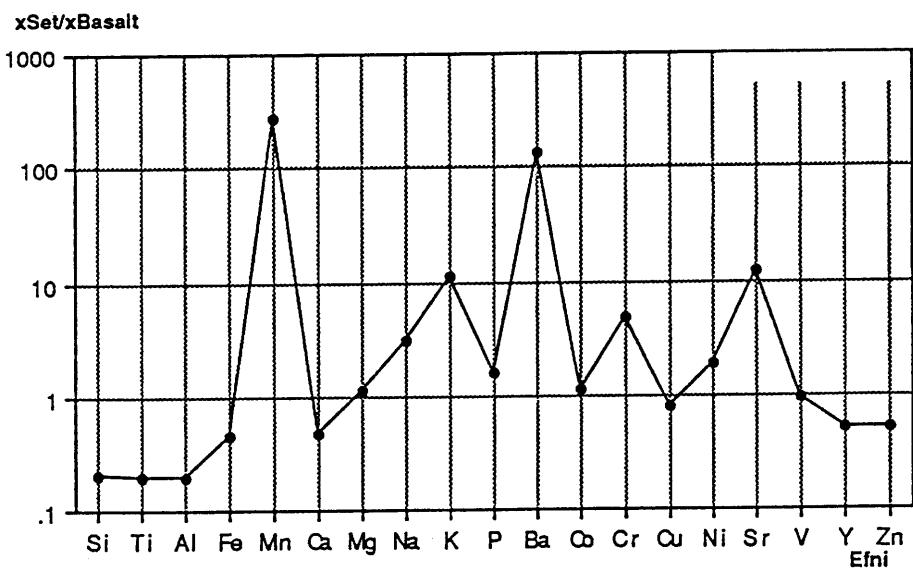
15. mynd. Mynd tekin í SEM-rafeindasmásjá og sýnir yfirborð to dorókíts.

Á jarðhitasvæðunum þremur (7. mynd) hefur jarðhiti verið mun hærri. Áður er getið um áætlað-an hita á Steinahól þar sem anhydrit fannst. Á basaltsteinum úr hali 915 á Steinahól er töluvert af ópal og smektfítufellingum, ennfremur greinist þar nokkuð af brennisteinskís og vottur af þungspati. Þessar útfellingar finnast t.d. einnig á jarðhitasvæðinu suður af Kolbeinsey þar sem sjór sýður (185°C) við útstreymisop. Á sýnatökustað 58 suðaustan í Þrásburum greindist ferskt gifs, hematít og ópall, og á sýnatökustað 55 norðaustan við Þrásbura fannst fersk súlfíosteind, smektfít og gifs, og er líklegt, eins og áður hefur verið greint frá, að þar sé um vægan jarðhita að ræða.

5.3 Efnasamsetning

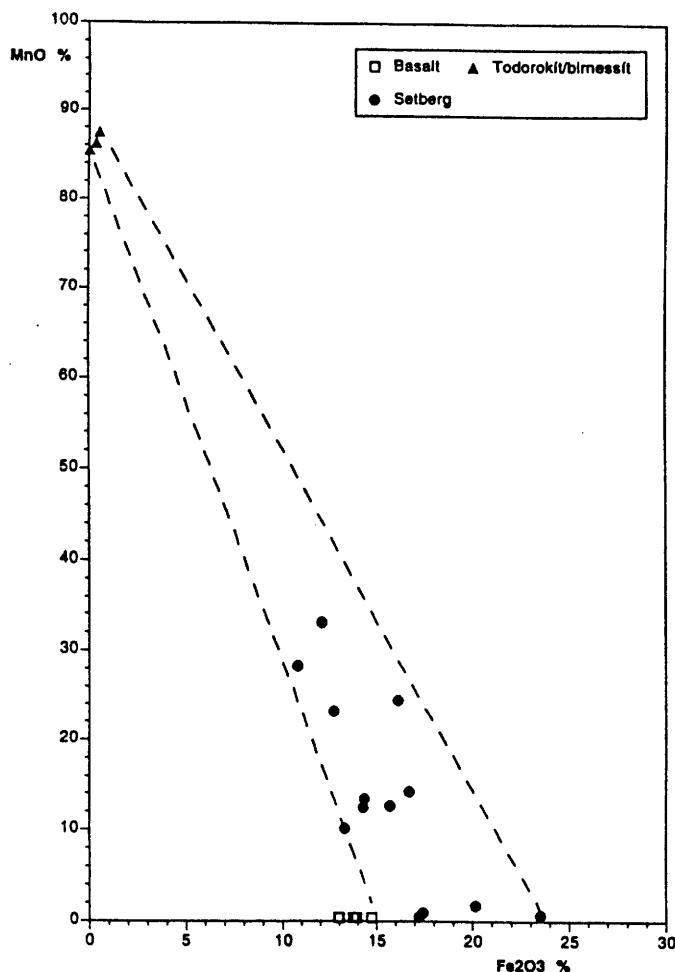
Í Viðauka III er listi yfir þá aðila, sem gert hafa efnagreiningar á sýnum, hvað greint hefur verið og hvaða aðferðum beitt. Þar eru einnig töflur með niðurstöðum efnagreininganna.

Gerður var samanburður á styrk einstakra frumefna í setbergi og gosbergi. Á 16. mynd sést hvaða frumefni hafa vaxið að styrk í setsýni 13984_2 . Gert var ráð fyrir að glerið í setinu væri af sama uppruna og samsetningu og basalt það, sem undir því finnst og er efnasamsetning basaltsýnis 13979_4 (Viðauki III) notuð sem grunnniðmiðun um auðgun. Manganaudgun er mest, meira en hundraðföld í sýninu. Þá má einnig sjá að K, Ba, Cr og Sr eru í meira magni í málmríku setinu en í basalti. Svipaðar myndir má draga fyrir öll setsýnin en auðgun er mismikil.



16. mynd. Niðurstöður spanglóðarefnagreininga setbergsýnis 13984_2 og gosbergsýnis 13979_4 bornar saman.

Af 16. mynd má ráða að styrkur aðalefna, nema Mn og K, er hinn sami í setinu og í viðmiðunarbasaltinu, þannig að styrkur þeirra hefur ekki breyst verulega við það að manganoxið settust til í setinu. Af því er ljóst að þar sem um veruleg frávik frá samsetningu basalts er að ræða eru þau efni "aðflutt", og koma annaðhvort fyrir í æðum eða dreifð um setið. Glerið í setinu sjálfu hefur því ekki lagt neitt til málmaðanna. Sama niðurstaða fæst þegar boríð er saman hlutfall MnO og Fe_2O_3 í setbergssýnum og basaltsýnum, sjá 17. mynd. Línuritið má túlka þannig að fyrst falli út mismikið af smektfít og límoníti í setberginu, en síðan falla út manganoxið án þess að uppruna-legt setberg ummyndist að ráði.



17. mynd. Línurit er sýnir dreifingu MnO og Fe₂O₃ í tólf setbergssýnum og sex basaltsýnum. Til viðmiðunar er samsetning todorokíts/birnessíts (Commeau o.fl. 1989).

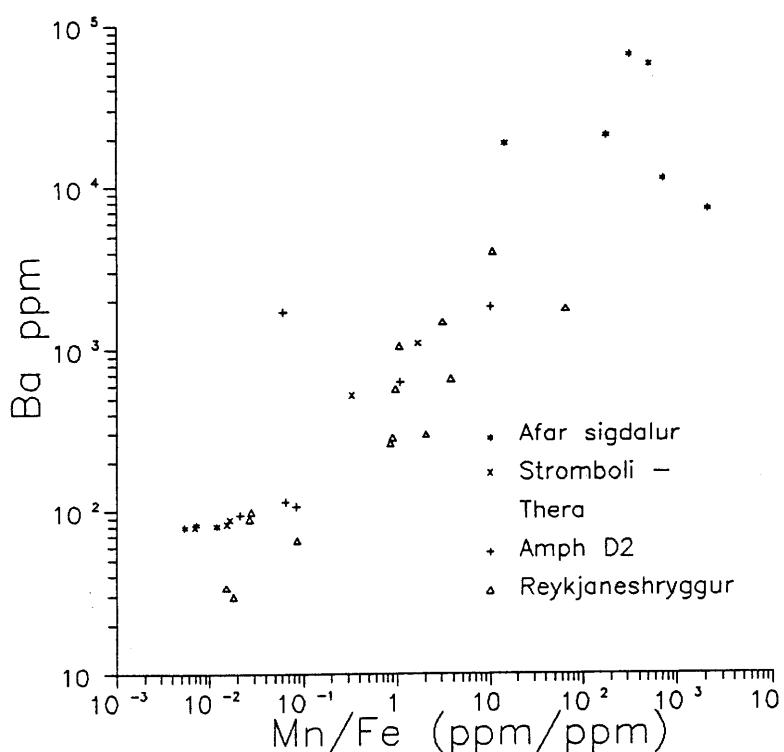
Vitað er, að flest þau frumefni, sem fundist hafa í auknum styrk, geta komið fyrir sem hluti af kristalbyggingu steindanna todorokíts og birnessíts, eða að jónir þeirra gengið í staðinn fyrir aðrar af svipuðum stærðum og eðliseiginleikum. Þeim efnum, sem telja má að hafi aukist í setinu, er unnt að skipta í two flokka:

- A. Mangan, baríum, strontíum og kalíum koma fyrir sem hluti af kristalgrind steindanna todorokíts og birnessíts.
- B. Strontíum getur einnig komið fyrir sem súlfat.

Í efnagreiningu mangansteindanna með rafeindasmásjá komu fram ýmis frumefni auk mangans, meðal annarra kalíum, natríum, kalsíum og magníum og kemur það heim við uppgefnar formúlur fyrir todorokít og birnessít. Í formúlunni fyrir todorokít er auk þess gefið upp barfum en það er líka algengt í setlögum tengdum jarðhita á rekhyggjum og þá oftast á formi súlfats. Þó geta að-stæður orðið þannig að barfum gangi tiltölulega auðveldlega inn í todorokítkristalgrindina. Ef framboð af súlfati er ekki nægilegt virðist baríum fremur falla út með mangani en járni. Í samræmi við þá túlkun hafa Bonatti o.fl. (1972) sýnt fram á fylgni milli baríumstyrks og Mn/Fe hlut-

falls í sýnum frá ýmsum svæðum og falla niðurstöður þeirrar rannsóknar, sem hér er lýst, allvel að þeiri mynd (18. mynd).

Það kemur fram í þeim greiningum sem gerðar voru með rafeindasmásjá að aðskilnaður á járn og mangani er talsverður. Glerið sjálfst er nokkuð járnrikt og samkvæmt auðgunarlínuritinu (sjá 16. mynd) er styrkur þess nokkurn veginn sá sami og í glerjuðu basalti frá sama stað. Ekkert járn finnst í manganaðunum en mangan má finna inn á milli glerkorna í setinu. Það bendir til þess að lítið járn hafi fylgt mangansíkum jarðhitavökvanum þegar hann var að renna í gegnum setlöggin, og hafi það yfirleitt fallið út neðar í kerfinu við minna oxandi aðstæður. Þó hefur talsvert af "límoníti", sem er járnrik steind, fallið út á yfirborði, eins og sýnt er á 12. mynd.



18. mynd. Samband baríumstyrks og mangan/járn hlutfalls (Byggt á Bonatti o.fl. 1972 og niðurstöðum þessarar rannsóknar).

Hitastig í neðansjávarjarðhitakerfum hefur mælst a.m.k. 320°C (Hekinian o.fl. 1983) og út frá efnasamsetningu vökva og útfellinga hafa verið leidd rök að því að það sé 400 - 500°C í sumum (sjá t.d. Bischoff 1980 og Berndt & Seyfried 1990). Hitastig í neðansjávarjarðhitakerfinu við Kolbeinseyr hefur ekki verið mælt beint, en suða er í kerfinu og botndýpi um 100 m, svo að hitastig er a.m.k 185°C. Blöndunarreikningar með tilliti til kísilstyrks benda hins vegar til 280°C hita þar (að sögn Jóns Ólafssonar). Um hitastig í jarðhitakerfinu á Reykjanesrygg er það vitað að það er sennilega yfir 150°C (kafla 4.2), og allar lískur benda til þess að kerfið sé í suðu. Par sem lískleg útstreymi eru á botndýpinu 260 - 350 m samsvarar það 227 - 244°C lágmarkshita. Örlítið frávik í kísilstyrk hefur fundist í sýni frá botnútstreymi í nóvember 1990, en þó ekki nægilega

mikið til að unnt væri að reikna frá því hitastig jarðhitakerfisins (að sögn Jóns Ólafssonar).

Sé gert ráð fyrir að jarðhitavökvinn hafi komið upp um setlögin, þar sem útfellingarnar finnast, virðist hann hafa verið orðinn tiltölulega kaldur, eins og lesa má úr þeim ummyndunarskorti, sem þar rískir. T.d. hefur anhýdrít, sem er stöðugra en gifs við $>42^{\circ}\text{C}$, ekki myndast í setberginu né heldur magníum-rískur leir, svo sem klórít og montmorillonít, sem fellur út við u.p.b. 60°C . Því væri jarðhitavökvinn sennilega kaldari en 50°C efst í setlögunum, sbr. kafla 5.2 (bls. 21). Ef jarðhitavökvinn fer hins vegar út í sjóinn um þróngar rásir, og útfelling mangansteinda á sér stað í sjónum, er að sjálfsögðu ekki hægt að segja til um hitastig vökvans á þessum forsendum.

Þó að sýnin hafi reynst nokkuð misleit þótti réttlætanlegt að reikna saltsýruleysinn hluta helstu efna, nema í sýni 12240 sem var of misleitt til skynsamlegrar túlkunar. Síðan var gerður samanburður á meðaltölum fyrir helstu efni í gosbergsýnum og setbergsýnum (tafla 1).

Tafla 1. Saltsýruleysinn hluti nokkurra helstu efna í gosbergi og setbergi (%).

Efni	MnO	FeO	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O
Gosberg	21	28	28	47	28	20
Setberg	100	76	66	79	62	89

Eftirtektarvert er hve stór hluti kalsíums er saltsýruleysinn í setberginu. Magníum reyndist leysast mjög mismunandi vel upp í saltsýru í þeim gosbergsýnum, sem greind voru og ekki er víst, að hin mikla saltsýruleysni, sem skráð er fyrir þau, sé marktæk. Hins vegar er tölувert meiri saltsýruleysni magníums en kalsíums í setbergi athyglisverð.

Við túlkun efnagreininga á mangan-járnútfellingum eru tvö hlutföll gjarnan skoðuð, þ.e. Mn/Fe og (Mn + Fe)/(Cu + Ni + Co). Hlutföllin eru sýnd í töflu 2. Í mangankúlum og útfellingum, sem myndast hægt, er Mn/Fe hlutfall oftast nálægt einum, en í jarðhitaútfellingum er gjarnan mikil dreifing á þessu hlutfalli eins og raunin er hér.

Almennt má búast við meira járni í grennd við uppstreymi, en meira mangani eftir því sem fjær dregur, en hætt er við, að sýni þessi séu það misleit, að um mismunandi blöndur járn- og manganútfellinga geti verið að ræða.

Snefilefni eru yfirleitt í litlu magni í mangan-járnútfellingum tengdum jarðhita og þær tölur, sem fengust eru sambærilegar við hliðstæðar tölur um aðrar slískar útfellingar (Bonatti 1975; Lynn & Bonatti 1965; Ármannsson 1978). Reyndar eru öll setbergsýnin fátækari að (Cu + Ni + Co) miðað við (Mn + Fe) en gosbergsýnin. Greinileg fylgni er milli saltsýruleysins kalsíums og saltsýruleysins magníums og þeirra beggja og króms. Ekki er fylgni milli heildarstyrks kalsíums og magníums né heildarstyrks kalsíums og króms, en marktæk tilhneiting sést milli heildarstyrks magníums og króms (tafla 3).

Sennilegasta skýringin á þessari fylgni er að hún stjórnist að einhverju leyti af magni þessara efna í áðurnefndum lífveruleifum (skeljabrotum o.p.h.), en vitað er að kalsíum og magníum eru þar á saltsýruleysnu formi. Svo virðist sem þær safni í sig krómi.

Tafla 2. Mn/Fe og (Mn + Fe)/(Cu + Ni + Co) hlutföll í sýnum af gos- og setbergi frá Reykjaneshrygg (ppm/ppm).

Sýni nr.	Mn/Fe	(Mn+ Fe)/(Cu + Ni +Co)
13979 ₄	0.018	432
14981 ₂	0.015	419
12240 ₁	1.04	759
13983 ₁	64.51	1453
13983 ₃	2.89	606
13984 ₁	10.55	1833
13984 ₂	3.02	2104
14008 ₁	3.74	1487
14008 ₂	0.89	1239
14012 ₁	2.02	1365
14839 ₂	0.028	613
14885 ₂	0.027	534
14972 ₂	0.96	774
14973 ₂	0.84	752
15006 ₂	0.085	721

Tafla 3. Fylgnistuðlar fyrir nokkur efni í málmgrýti frá Reykjaneshrygg.

Hluti	Efni	Ca - Mg	Ca - Cr	Mg - Cr
Saltsýru-leysinn	Fjöldisýna, n	9	9	9
	Fylgnistuðull, r ¹⁾	0.84	0.91	0.85
	Marktækni % (skv. tprófi) ²⁾	>99.5	>99.9	>99.5
Heild	Fjöldi sýna, n	12	12	12
	Fylgnistuðull, r ¹⁾	0.26	0	0.58
	Marktækni % (skv. t prófi) ²⁾	>97.5	<90	>99.9

1): $r = \{n * \sum xy - \sum x * \sum y\} / \{(n * \sum x^2 - (\sum x)^2) * (n * \sum y^2 - (\sum y)^2)\}^{1/2}$

2): $t = r * \{(n-2) / (1-r^2)\}^{1/2}$

6. UM UPPRUNA MANGANÚTFELLINGA

6.1 Saga og flokkun

Málmútfellingar á hafsbotni voru fyrst uppgötvaðar eftir Challenger leiðangurinn 1873-1876 (Murray & Renard 1891). Það sem mesta athygli vakti við þessa uppgötvun var fundur manganhnyðlinga, en jafnframt fundust útfellingar rískar af járn- og manganoxíðum á Austur-Kyrrahafs-hrygg. Þær félle þó í skugga hnyðlinganna og það var ekki fyrr en á 6. og 7. áratug þessarar aldar sem mikilvægi þeirra varð ljóst og var í fyrstu álið að setið væri gosrænt (Boström 1980). Bischoff (1969) taldi þó setið myndað fyrir tilverknað jarðhita og er það nú orðin nokkuð viðtekin skoðun.

Jarðhitahvörf milli bergs og vatns geta orðið við mjög mismunandi aðstæður. Í jarðhitakerfum á miklu dýpi má búast við því að skortur sé á súrefni en í kerfum á litlu dýpi er til staðar nægt súrefni sem getur átt þátt í myndun mjög súrra lausna er finnast á eldfjallaeyjum (Boström & Widen-falk 1983). Því er mikill munur á gosrænu efnaseti sem myndast við eldfjallaeyjar og seti sem myndast á miklu dýpi (Boström 1983). Ljóst varð að járn- og manganútfellingar fundust oft að-skildar og hefur verið reynt að útskýra það með tilliti til myndunaraðstæðna (Bonatti o.fl. 1972).

Manganútfellingum hefur verið skipt í fjóra flokka eftir myndunaraðstæðum (Bonatti o.fl. 1972).

1. Útfelling úr vatni - Hæg setmyndun í sjó við oxandi aðstæður.
2. Jarðhitaútfelling - Setmyndun úr jarðhitavökum á virkum svæðum.
3. Útfelling vegna efnaveðrunar.
4. Útfelling vegna tilfærslu mangans í setstafla.

Algengustu mangansteindirnar sem finnast í manganhnyðlingum, setlögum og skorpum á basalti eru todomokt og birnessít (Cronan 1980).

6.2 Manganhnyðlingar

Manganhnyðlingar finnast í flestum höfum heims og nánast á öllu dýpi. Þeir eru þó algengastir á djúpsjávarsetsvæðum sem einkennast af hægri setmyndun. Manganhnyðlingar eru myndaðir úr efni sem er bæði af gosrænum toga og veðrað úr meginlandsskorpu. Það berst á haf út og mangan það sem í þeim finnst hlýtur að vera annað hvort af gosrænum toga eða veðrunarafurð sem berst með roföflum út á haf (Arrhenius o.fl. 1964). Einnig er hluti þess lísklega til kominn vegna tilfærslu efna meðan á hörðnun sets stendur (Lynn & Bonatti 1965). Eftir því sem set á hafsbotni þykknar, rofna samskipti neðri laga þess við súrefni sjávar og til verða afoxandi aðstæður: Mn(IV) í setinu afoxast þá í Mn(II), fer í lausn og flytst með poruvökva setlaganna upp úr þeim og oxast þar að nýju. Þetta ferli leiðir til síendurtekinnar auðgunar á mangani í efstu hlutum set-laga á hafsbotni (Cronan 1980).

Í manganhnyðlingum er hlutfall snefilefna hátt vegna ásogs á yfirborð og staðgengis katjóna. Manganhnyðlingar eru oftast Fe-rískari en annars konar manganútfellingar á hafsbotni, því að við myndunaraðstæður þeirra hefur aðskilnaður jónanna ekki orðið verulegur (Crerar & Barnes 1974).

Hnyðlingarnir minna á lítið eitt flangar kúlur. Þeir eru gerðir úr örsmáum kristóllum, mjög mis-tórir og iðulega lagskiptir líkt og laukur. Í manganhnyðlingunum miðjum er alltaf að finna

kjarna eða kím sem þeir hafa byrjað að vaxa um (Crerar & Barnes 1974). Vaxtarhraði þeirra getur verið mjög breytilegur eftir staðsetningu og þar af leiðandi framboði efnis eða á bilinu 1mm/mill.árum (Ku & Broecker 1969) til 1mm/ári (Goldberg & Arrhenius 1958).

Manganhnyðlingar af djúpsævi, einkum úr Kyrrahafi norðan miðbaugs og Indlandshafi eru mjög auðgaðir af málnumun Ni, Cu, Co og Zn miðað við styrk þessara efna í sjó, hafsbotsbasalti og úthafsseti. Styrkur nikkels og kopars í todorokíti sem tengist rekhryggjum og brotabeltum er mun minni en í djúpsjávarhnyðlingum. Skýringin er talin vera sú, hve hratt todorokít fellur út í námunda við jarðhitasvæði eins og þau, sem koma fyrir á rekhryggjum (Burns & Burns 1979).

6.3 Járn- manganútfellingar í jarðhitakerfum

Þegar sjór hvarfast við berg í jarðhitakerfum á hafsbotni, leysast málmar eins og Fe, Mn, Cu og Zn út úr berGINU. Styrkur málmannar er háður hitastigi, þróustingi og sýrustigi og því skiptir hlutfallið milli sjávar og bergs sköpum og skolast málmarnir nær algerlega út í sjóinn þar sem það er hátt (Seyfried & Mottl 1982).

Tilraunir á útskolun basalts í sjóvatn (Mottl o.fl. 1979) við mismunandi hitastig og hlutfall bergs og vatns hafa sýnt að þær lausnir sem myndast eru mjög líkar jarðhitavökva á Reykjanesi. Þar leikur heitir jarðsjór um basalt og gabbró áður en hann kemur upp á yfirborð. Jarðhitavökvi á Reykjanesi er víða járn- og manganrískur (Kristmannsdóttir & Ólafsson 1989) og líkist að því leyti vöökva þeim er líklega kemur upp á hafsbotni Reykjanesshryggjar. Tilraunir sýndu enn fremur að við 200-300°C ræðst styrkur Fe og Mn í jarðhitavökva af upptöku málmannar í leirsteindirnar smektist og klórt, en við 400-500°C hefur styrkur þeirra aukist mjög aftur (Mottl o.fl. 1979).

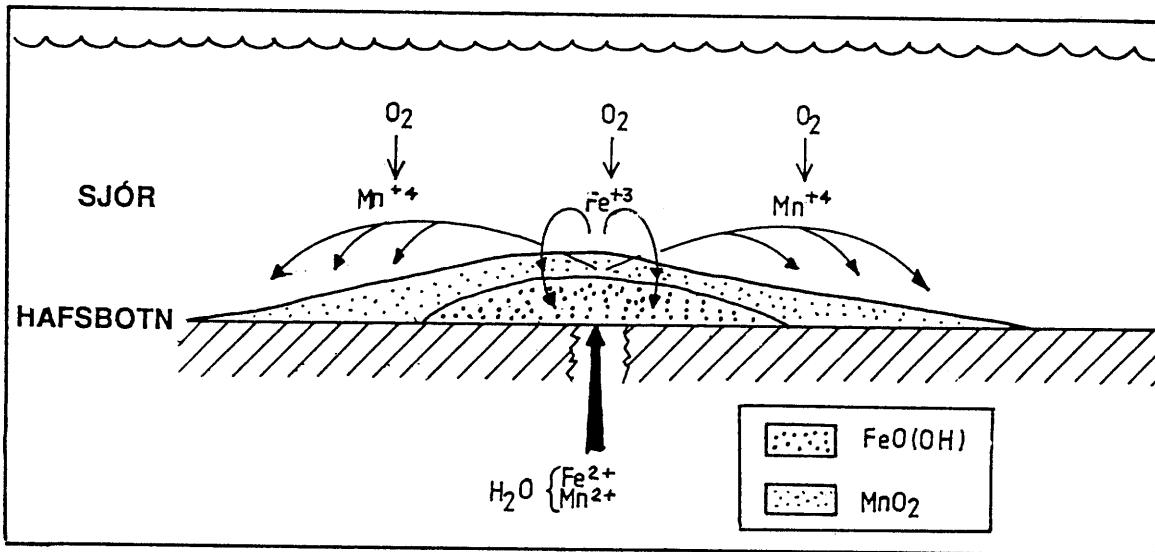
Tvö sennileg lískön hafa verið sett fram til að lýsa rennsli jarðhitavökvars um hafsbotskorpuna. Annað gerir ráð fyrir einföldu hringstreyimi vatns gegnum setlögin og basaltið fyrir neðan. Samkvæmt hinu er eitt hringstreymi í basaltinu og annað í setlögunum. Ef flæði um setlögin er tiltölulega óhindrað myndast hægt hringstreymi poruvatns vegna hita, sem myndast neðst í setlaginu, frá hringstreymi í basaltinu (Corliss o.fl. 1978).

Því er líklegt að jarðhitavökvinn beri með sér efni leyst úr basalti sem setjist til í setinu. Manganrískur jarðhitavökvi getur þá myndað útfellingar í setinu ofan við basaltið vegna efnaskipta milli poruvökva bergs og sets (Corliss o.fl. 1978).

Málmar í jarðhitavökva á hafsbotni eru því til komnir vegna útskolunar úr basalti og basalt sem myndast undir vatni er mun sprungnara en hraun sem rennur á landi, þannig að útskolun er auðveld vegna mikils yfirborðsflatarmáls (Bonatti o.fl. 1972).

Þegar jarðhitavökvi blandast sjó falla mangan- og járnoxíð út. Blöndunin getur orðið í sprungum í basaltinu og myndast þá æðar auk þess sem útfelling getur átt sér stað eftir að jarðhitavökvinn er kominn út í sjóinn. Uppleyst súrefni sjávar veldur stigvaxandi oxun og tiltölulega torleyst oxíð og hydroxíð falla út (Bonatti 1983). Því má búast við járn- og manganútfellingum í æðum í basalti og seti þar sem málmjónirnar hafa ekki skilist að. Eins má búast við útfellingum við útstreymisop og í nágrenni þeirra en þar hafa efnin yfirleitt skilist að vegna mismunandi leysni.

19. mynd sýnir hvernig aðskilnaður Fe og Mn fer fram. Fe hefur oxast fyrr og í mörgum tilfellum ekki náð upp á yfirborð heldur fallið út á leiðinni upp. Mangan fellur út lengra frá útstreymisopnu.



19. mynd. Aðskilnaður mangans og járns á hafsbotni (Bonatti o.fl. 1972).

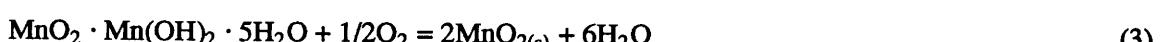
Útfellingu mangans á hafsbotni hefur verið lýst með eftirfarandi jöfnum (Burns & Brown 1972) í þremur stigum. Fyrst oxast Mn-oxyhydratjón í MnO_2 samkvæmt jöfnu (1)



Manganoxfðið sem myndast í (1) hvarfast áfram við Mn(II) í sjónum, meira uppsog verður á Mn(II) úr sjónum og 10 Å manganft myndast:



Að lokum oxast mestur hluti manganoxfðsins í Mn(IV) og út fellur birnessít (MnO_2):

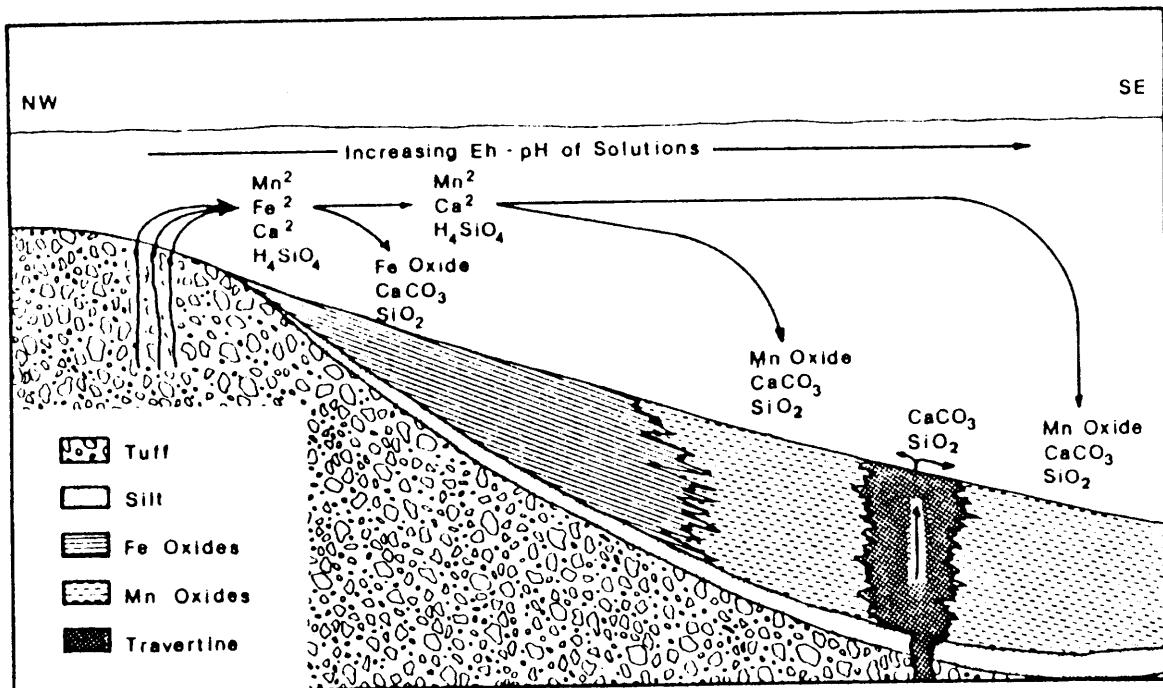


Manganútfellingar af þeiri gerð, sem fundist hafa á hafsbotni hafa ekki fundist á landi í neinum mæli þó að svipaðar aðstæður og þær myndast við kunni sums staðar að vera fyrir hendi. Vatn í jarðhitakerfunum á utanverðum Reykjanesskaga er mjög salt og í því er styrkur járns og mangans mikill. Útfellingar í kringum hvert á jarðhitasvæðinu á Reykjanesi hafa lítið verið rannsakaðar, en búast má við að í þeim sé verulegt magn bæði járns og mangans. Aðstæður eru að sjálfsögðu allt aðrar í sjóandi hverum en á hafsbotni og því ekki líklegt að sams konar útfellingar myndist. Styrkur járns og mangans er einnig mun minni í jarðhitavökvanum á Reykjanesi en hann er talinn vera í neðansjávarjarðhitakerfum. Sú ályktun er dregin af niðurstöðum tilrauna sem sýna mikla aukningu á styrk við hitastig neðansjávarkerfa miðað við hitastig jarðhitakerfisins á Reykjanesi. Á öðrum jarðhitasvæðum á skaganum kemur upp gufa en ekki vatn og flytur hún ekki með sér þungmálma að neinu marki.

Grunnvatn á Reykjanesskaga hefur sérstöðu að því leyti að það er sjór að uppruna og því fullsalt, nema hvað þunn ferskvatnslinsa flýtur ofan á jarðsjónum. Svipaðar aðstæður riskja í Öxarfirði þótt

þar séu grunnvatnskerfin reyndar mun flóknari en á Reykjanesi. Í salta grunnvatninu á báðum þessum stöðum er sums staðar mjög hár mangan- og járnstyrkur (Kristmannsdóttir & Ólafsson 1989). Styrkur járns fer upp í 30 mg/l og mangans í allt að 8 mg/l, en það er margfalt hærra en í salta jarðhitavatninu á Reykjanesi. Svo virðist sem þessi mikli styrkur málmannna fari saman við hækkað hitastig í grunnvatninu og er áltið að hvort tveggja stafi af afrennsli frá jarðhitasvæðum, sem hitar vatnið og sýrir svo að málmar skolast út úr berginu. Slíkt volgt málmríkt grunnvatn kemur hvergi fram í lindum svo vitað sé, en í þeim borholum sem það kemur úr myndast fljótlega ryðrauðar útfellingar eftir að vatnið kemst í snertingu við andrúmsloft, en hvorki gerð þeirra né efnasamsetning hefur verið rannsókuð.

Í stórum dráttum má segja, að tvennt þurfir til, að manganútfellingar myndist af völdum jarðhita, þ.e. skilyrði til leysingar Mn og Fe úr bergi í jarðhitakerfi (nægilegur hiti, rétt sýrustig, afoxandi aðstæður) og að málmríki vökvinn blandist síðan annars konar vökva (oxandi aðstæður, hærra sýrustig), en við það fellur fyrst út járn en síðar mangan. Slík skilyrði eru náttúrulega ekki fyrir hendi í jarðhitakerfum á landi að því marki, að um manganútfellingar í stórum stfl verði að ræða. Þó má geta þess, að mangan í styrk allt að 11% hefur fundist í útfellingum á íslenskum jarðhitasvæðum. Einnig má geta manganútfellinga á landi, sem orðið hafa, meðan núverandi land stóð undir vatni, t.d. hina miklu San Francisco manganútfellingu í Jalisco, Mexico, en rök hafa verið færð að því, að myndunarleið hennar sé keimlisk þeirri, er líkleg er talin fyrir hafbotnsútfellingarnar (Zantop 1978, 1981) (20. mynd).



20. mynd. Þversnið og sennileg myndunarleið San Francisco útfellingarinnar (Zantop 1981).

7. VINNSLA OG NOTKUN MANGANS

Mangan er tiltölulega mjúkur silfurgrár málmur. Hann tengist auðveldlega öðrum efnum og myndar efnasambönd. Einnig oxast hann auðveldlega í lofti. Bræðslumark er við 1245°C, en tiltölulega hreinn málmurinn er framleiddur með rafgreiningu. Mangan er mikilvægast af þeim málnum sem blandað er við járn til að bæta eiginleika þess. Mestur hluti málmsins er notaður við stálframleiðslu, þar sem hann er nauðsynlegur þáttur í framleiðslu manganstáls. Hann hreinsar burtu súrefni og brennistein og stuðlar að herslu stálsins. Um það bil 4-7 kg af mangani þarf til að framleiða eitt tonn af stáli. Um 95 % af málminum er notað til málmlöndunar, aðalega við járn en einnig við kopar, ál, magnesium og nikkel. Harðar og sterkar manganstáltegundir eru notaðar m.a. í brúarsmíði, mulningsvélar, felgur, flugskeyti og brynvarnir. Einnig er málmurinn notaður að vissu marki í efnasamböndum í rafhlöður, í gleriðnaði, málningar- og áburðarframleiðslu og almennum efnaiðnaði. Viss efnasambönd mangans eru notuð í ljósmyndaiðnaði og í skordýra-eitri.

Mangan er nú á dögum eingöngu unnið úr mangangrýti úr námum á þurru landi. Heimsframleiðslan er um 25 milljón tonn af mangangrýti á ári. Mest er framleiðslan í þeim löndum sem áður tilheyrðu Sovétrískjunum (9M tonn), Suður Afriku (6M tonn), Gabon (2M tonn) og Brasilíu (2M tonn). 21. mynd sýnir helstu manganvinnslusvæði jarðar. Mangangrýti sem numið er nú til dags inniheldur yfirleitt milli 40 og 50% mangan en hlutfall þess getur í einstökum námum farið yfir 50%. Talið er að námur sem eru þetta auðugar af mangani muni endast nokkuð fram yfir miðja 21. öldina. Japanir, Bandarískjumenn, Frakkar og Norðmenn eru mestir innflytjendur af mangangrýti. Mangangrýti er jafnan skipt í þrjá meginflokk:

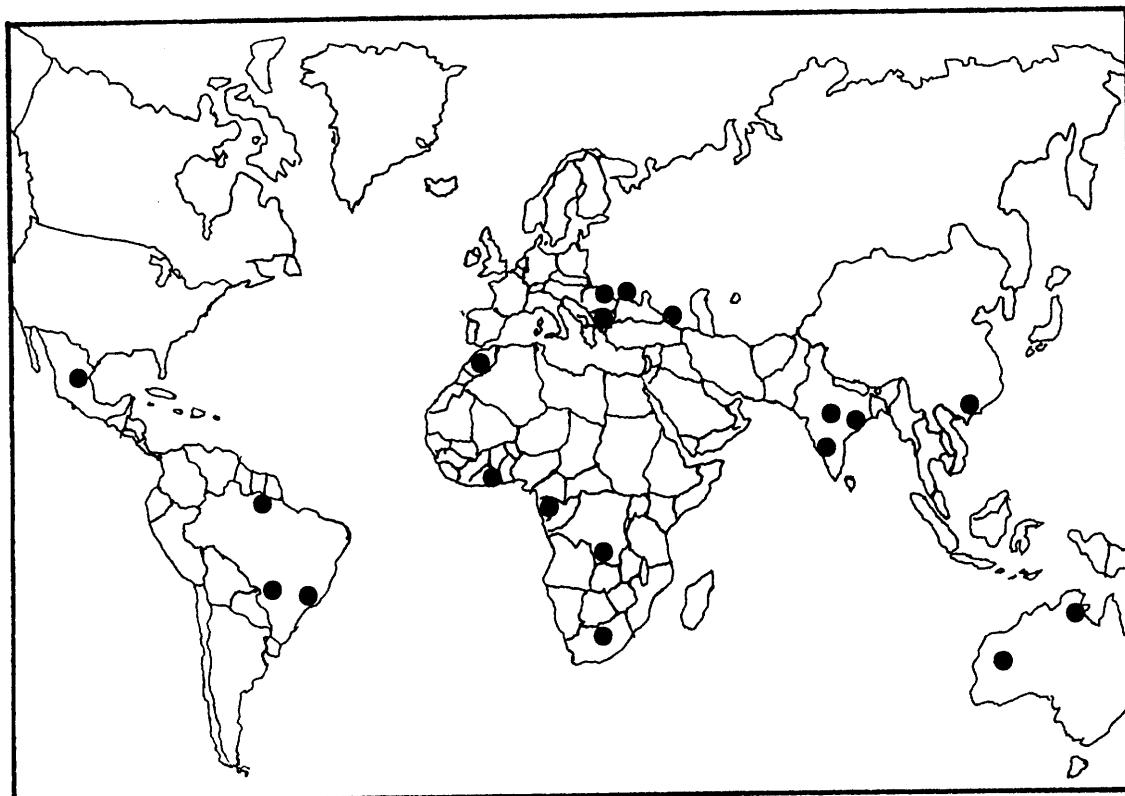
1. Málmgrýti (metallurgical ore) sem inniheldur meira en 35% mangan. Oft er talað um há-gæða mangangrýti ef það hefur mangan innihald meira en 48%.
2. Manganjárngrýti (ferruginous ore) sem inniheldur mangan frá u.p.b. 10-35% og mikið magn járns.
3. Jármangangrýti sem er járngrýti með háu manganhlutfalli.

Nær allt mangan er notað til að framleiða jármangan eða kísilmangan. Árið 1981 var heimsframleiðsla á jármangani um 5,5 milljón tonn og framleiðsla kísilmangans nam 1,6 milljón tonna. Manganmálmar eru helst framleiddir í löndum þar sem mikið finnst af mangangrýti svo sem í Suður Afriku og Indlandi en einnig í löndum þar sem raforka er ódýr t.d. í Noregi. Árið 1981 framleiddu Norðmenn um 550.000 tonn af járn- og kísilmangani eða 7,6% af heimsframleiðslunni.

Í mangangrýti er mikilvægt að fosfór innihald sé í lágmarki þar sem erfitt er að skilja hann frá við bræðslu. Þess vegna er mangangrýti með minna en um 0,1% P_2O_5 flokkað í hæsta flokk og verðmunur tölverður á því og lakara grýti.

Jármangan inniheldur á bilinu 74-82% mangan. Algengast er að mangan innihald sé á milli 76 og 78%. Kísilinnihald er um 0,8%, fosfór um 0,3% og járn milli 14 og 17%. Kolefnisinnihald er um 7% en þó er stundum framleitt jármangan sem er kolefnissnautt og nemur innihald þess þá um 0,1-1,0%

Jármangan er framleitt í bræðsluofnum og eru hráefnin mangangrýti og afoxunarefni. Mikið slagg (sori) myndast við þessa bræðslu, allt að 1 tonn fyrir hvert tonn af jármangani sem fram-



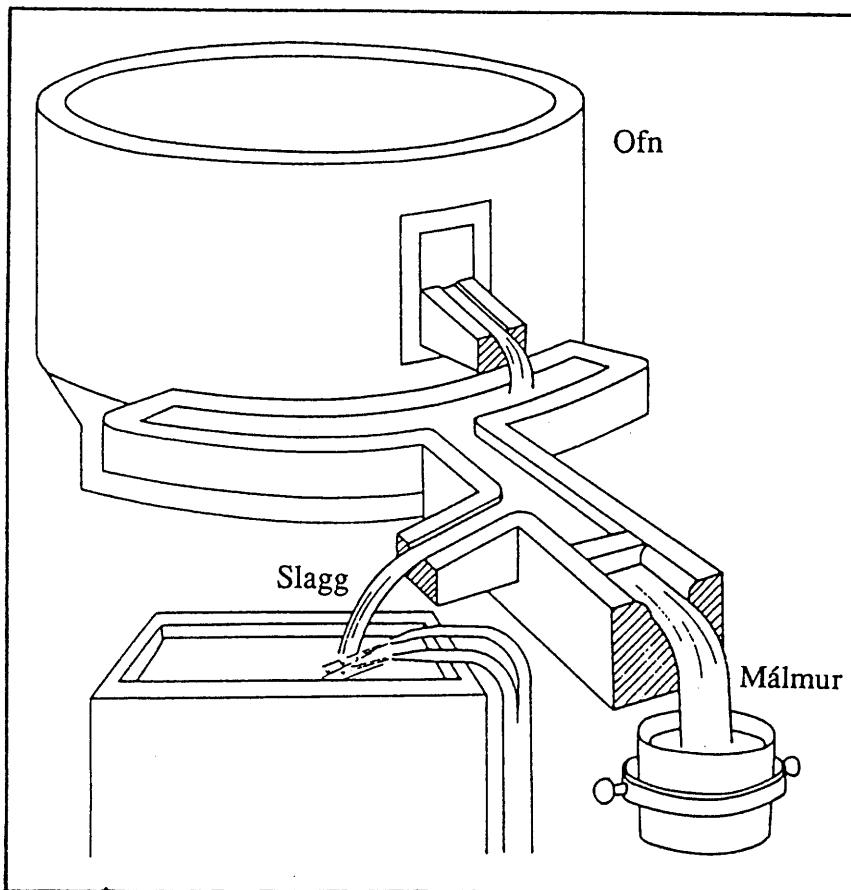
Mynd 21. Manganvinnslusvæði jarðarinnar. Punktarnir sýna helstu staði þar sem mangangrýti er unnið úr jörðu.

leitt er. Sorinn er mjög manganríkur (40-50% mangan) og hentar vel til kísilmanganframleiðslu. Úr hverju tonni af sora má vinna milli 400 og 450 kg af kísilmangani. Á 22. mynd má sjá teikningu af ofni sem notaður er til framleiðslu járn Mangans og hvernig málmurinn er skilinn frá slagghlutanum.

Kísilmangan er um 60-70% mangan, 5-15% járn og 15-35% kísill. Eins og járn mangan er kísilmangan framleitt í bræðslu ofnum og þarf nokkuð meiri orku við bræðsluna þar sem hún fer fram í flóknari ofnum. Hráefnin eru manganmálmur og slagg úr járn mangan framleiðslu, kvars, koks og dólomít. Fyrir hvert tonn af kísilmangani sem framleitt er myndast milli 700 og 1100 kg af slaggi sem ekki er endurunnið. Af þessum sökum er framleiðsla á kísilmangani mun minni en á járn mangani.

Verð á kísilmangani er nokkuð hærra en verð járn mangans. Verð þessara manganmálma er af svipaðri stærðargráðu og verð kísiljárs þannig að í grófum dráttum má bera saman verðlag á þessum melnum. Verð á kísiljární þegar þetta er ritað er á milli 550 og 650 bandarskjadala fyrir tonnið.

Mangan er nauðsynlegt til framleiðslu járns og stáls. Þessi notkun felur í sér um 95% heildar notkunar mangans í heiminum. Í stálgerð er mangan einkum notað til að afoxna, eyða áhrifum brennisteins og til framleiðslu melma. Notkun mangans gerir stálið betur hæft til heitvölsunar og þrýstingótunar. Manganið myndar Mn-Fe-S sambönd í stálinu í örsmáum ögnum sem safna má



Mynd 22. Ofn notaður til framleiðslu járnþangans (Christensen 1981).

saman í slaggið. Ef mangani væri ekki notað við stálgerð gæti myndast járnsúlfíð himna sem haft getur áhrif á sprungumyndun og galla í stálinu. Hlutfall mangans í stáli er tiltölulega lágt en getur orðið allt að um 15% í svokölluðu Hadfield stáli. Í þessum stáltegundum eykur manganið vinnuhörku stálsins. Í stálgerð er mangani blandað ýmist í formi járn- eða kísilmangans.

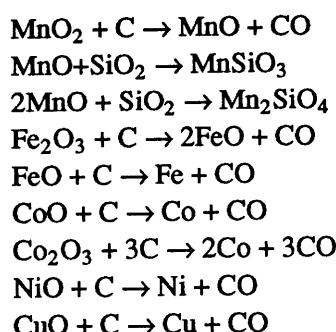
8. BRÆÐSLUTILRAUNIR

Tilraunir voru gerðar til að vinna málma úr setinu frá Reykjaneshrygg. Tilgangurinn var að finna hentuga aðferð til að losa málma úr setinu og komast að því hversu auðvelt væri að skilja þá frá setinu.

Manganmálblendi er nú á dögum unnið úr málmgrýti sem inniheldur 40 - 50 % mangan. Manganinnihald setsins frá Reykjaneshrygg er nokkuð lægra eins og sjá má í töflu III-3 og III-4 í viðauka III. Gerðar hafa verið nokkrar tilraunir með vinnslu málma úr grýti af botni Kyrrahafs og þrjár meginaðferðir til vinnslu skilgreindar. Þær eru kúpri-ammóníákskolun (Szabo, L.J. 1976), brennisteinssýruskolun (Duyvesteyn, W.P.C. o.fl. 1979) og pýrometallúrgísk bræðsla (Sridhar, R. o.fl. 1977; Wilder, T.C. o.fl. 1981). Niðurstöður rannsókna B. W. Haynes o.fl. (1987) bentu ótví-rætt til þess að bræðsluferlið væri hagstæðasta aðferðin til vinnslu málma úr mangangrýti.

Tilraunirnar gengu út á það að fá úr því skorið hvort hægt væri að einangra verðmætari málma svo sem kóbalt, nikkel, kopar og króm úr setinu eftir þess að vinna manganmálblendi. Þetta kallar á tvöfalta bræðslu þar sem í fyrri bræðslunni eru verðmætu málmarnir, ásamt járni og fosfór, losaðir úr setinu en í seinni bræðsluni er unnið manganmálblendi.

Fyrri bræðslan byggist á því að afoxna mangansetið og fá við það manganrkt kísil-slagg annars vegar og málblendi sem inniheldur hina verðmætu málma ásamt járni og fosfór hins vegar. Þetta er gert með því að bræða sýni með koksryki og SiO_2 ryki. Helstu efnahvörf eru þessi:

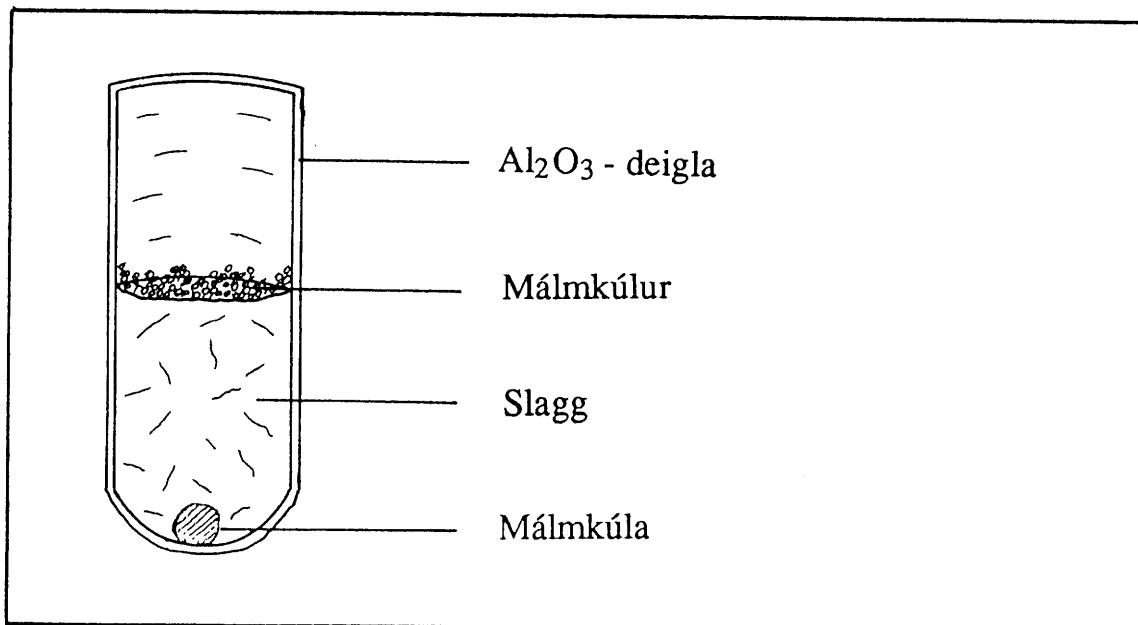


Valin voru nokkur sýni til bræðslutilrauna. Sýnin voru valin þannig að þau gæfu sem besta mynd af manganrsku seti. Einungis voru valin setsýni sem augljóslega voru nokkuð auðug af málmmum. Heildarsýni voru ekkert aðgreind frekar. Þannig voru málmríkustu hlutar hvers sýnis ekki aðgreindir sérstaklega til vinnslu. Flestar tilraunir voru gerðar með sýni 1497₂ (?). Efnasamsetningu þess sýnis má sjá í töflu III-4.

Sýnin voru möluð niður í fínt duft og þeim blandað við koksryk og SiO_2 ryk. Koksmagnið var reiknað nægjanlegt til að afoxna allt fjórgilt mangan yfir í tvígilt og afoxna járn-, nikkel-, kóbalt-, kopar- og krómoxfð. SiO_2 rykið hefur það hlutverk að binda tvígilt mangan sem MnSiO_3 og Mn_2SiO_4 .

Bræðslutilraunir voru framkvæmdar þannig að sýnin voru sett í áloxið deiglur og þeim komið fyrir í tölvustýrðum háhitaofni. Deiglunum var haldið við 160°C yfir nót en síðan hitaðar um 3 °/mín. upp í 1400 C. Deiglunum var haldið við 1400 C í 60 mín. en síðan látnar kólna um 5 °/mín. að stofuhita. Við þessar tilraunir myndaðist glerkennt slagg (sori) annars vegar og málmkúlur og/eða málmhimna hins vegar. Á 23. mynd má sjá þverskurðsteikningu af deiglu eftir bræðslu. Myndin sýnir hvernig sýnið skiptist í slagg og málum.

Ljóst er að afoxun málmannna hefur farið fram á yfirborði og þeir síðan aðskilist vegna þyngdar-krafts og sokkið niður til botns í gegnum slagghlutann. Sýni voru efnagreind til að skoða sam-setningu málmannna og slaggssins. Sýnin voru greind í rafeindasmásjá og í örgreini. Niðurstöður greininganna voru þær að svo til allt járn hefur bundist í málmkúlurnar. Mangan er einnig að finna í málmkúlunum en þó er mestur hluti þess (yfir 95%) bundinn sem $MnSiO_3$ og $2MnSiO_4$ í slagghlutum. Slaggið samanstendur að mestu úr kíslí, áli, kalsfum, magnesfum og mangan. Á 24 mynd er sýnd efnagreining á málm og slaggluta úr einni tilraunadeiglu eftir bræðslu. Efnasamsetningu á málmkúlu, sem sest hafði til á botni einnar deiglunnar, má sjá á töflu 4.

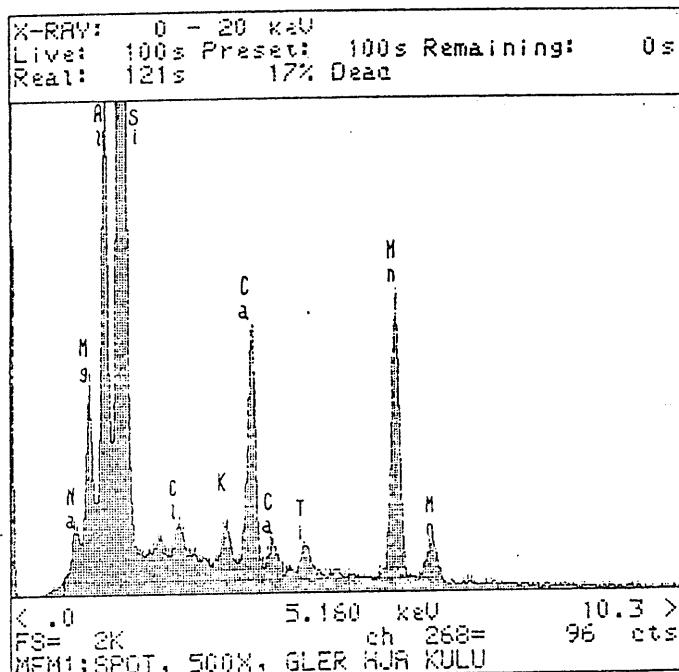


Mynd 23. Tilraunadeigla eftir bræðslu.

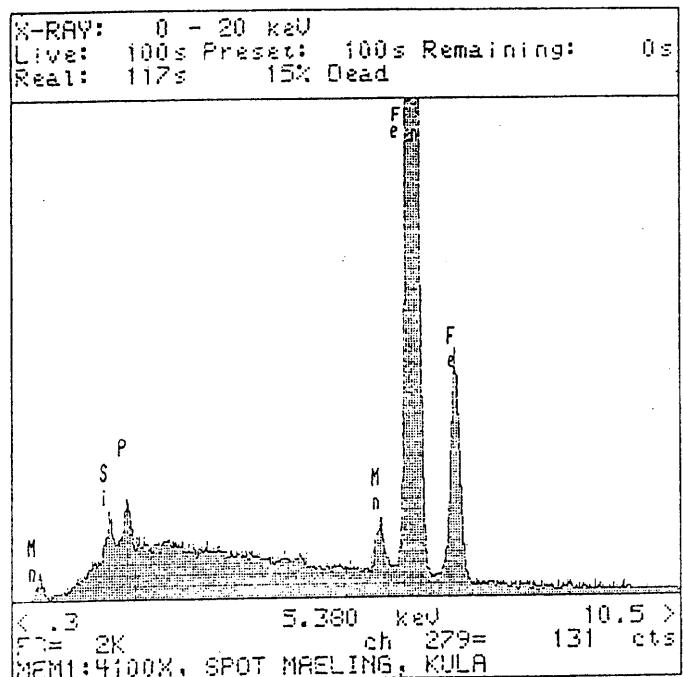
Tafla 4. Efnasamsetning málmkúlu eftir bræðslu.

Fe	93%
Mn	2.5%
Si	1.4%
Al	0.7%
P	2.2%
Co	0.15%
Cr	160ppm
Ni	<50ppm
Cu	<50ppm
Zn	<50ppm

Slagg



Málmur



Mynd 24. Efnagreining á málm- og sorahluta (slagghluta) eftir bræðslu
(Efnagreiningaróf úr SEM-smásjá).

Pessar bræðslutilraunir hafa leitt í ljós að aðferðin hentar vel til að losa járn, kóbalt og fosfór úr setinu. Króm, nikkel og kopar losnaði ekki í þeim mæli sem vonast var til. Hafa verður í huga að sýnin sem brædd voru eru lítil (um 30 g hvert) og einnig það hve lítið er af hinum verðmætu málnum í sýnum. Telja má fullvist að pessi aðferð sé hentug til að vinna kóbalt, nikkel, kopar og króm úr seti sem inniheldur þessa málma í einhverju magni, en því miður er því ekki þannig farið með setið af Reykjaneshrygg. Hinum verðmætu málum má sifðan ná úr járnriksa málblendinu með aðferðum sem ekki verður lýst hér.

Slaggið sem myndaðist við tilraunirnar hentar vel til framleiðslu jármangans þar sem það er ríkt af mangan jafnframt því sem það er fosfórsnautt. Þetta kallar á endurbræðslu slaggins með járni, kalsfum og koksi. Við þessa bræðslu ætti að geta fengist takmarkað magn af fyrsta flokks jármangani. Manganinnihald setsins er samt sem áður allt of lítið til að vinnsla geti orðið hagkvæm.

9. NIÐURSTÖÐUR

9.1 Staðsetning og jarðfræði

Rannsóknarsvæðið er á gosbelti Reykjaneshryggjar inni á landgrunni Ísland. Landslag botnsins einkennist af hryggjum sem standa í skástaðri röð og mynda þar miðhluta hryggjarins, en botninn beggja vegna er tiltölulega sléttur, á um 200 m dýpi. Jarðskorugliðnun á sér stað á 4 - 9 km breiðu belti, og þar myndast ný jarðskorpa við inniskot. Jarðskjálfavirkni er tölverð á Reykjaneshrygg og síðan 1989 hefur orðið vart óvenju margra jarðskjálftahrina, m.a. á rannsóknarsvæðinu. Í leiðangri í nóvember 1990 var leitað ummerkja um eldsumbrot í jarðskjálftahrinu, sem stóð yfir um þær mundir. Í einu af mörgum botnsýnum sem tekin voru fannst mangangrýti, og sjóefnarannsóknir sýndu aukið magn mangans sem tengist jarðhitauppsteymi á svonefndum Steinahól. Af þessu tilefni var farið í annan leiðangur í apríl 1991. Þá var unnið að neðansjávar-myndatöku, sýnatöku og dýptarmælingum.

Rannsóknir benda til þess að hinir skástaðu hryggir séu allir úr gosbergi. Það er líklegt að þeir hafi að mestu eða öllu leyti myndast á nútíma við gos í sjó, og eru ýmist úr bólstrabergi eða túff-breksíu það sem grynnra er. Goshryggir eru 12 - 25 km langir, breidd er um 2 - 4 km og meðalhæð yfir jafnsléttu er um 115 m. Hugsanlegt er að hér sé um eldstöðvakerfi að ræða, þ.e. gosþyrpingar sömu gerðar og sjá má á Reykjanesskaga. Talsverð eldvirkni hefur verið á þessum hluta Reykjaneshryggjarins á sögulegum tíma.

Á rannsóknasvæðinu eru þrír goshryggir, sem hér eru nefndir Steinahóls-, Gullhóls- og Stóra-Brandshryggir. Dýptarmælingarnar leiddu í ljós, að mangangrýtið, sem upp kom í nóvemberleiðangrinum 1990 hefur verið tekið úr tiltölulega litlum hól norðan við svonefndu Prísbura. Þessi hóll er nefndur Manganhóll.

Megináhersla var í fyrstu lögð á sýnatöku því svæði þar sem mangangrýti hafði fundist áður, en síðan var reynt víða á um 45 km kafla á Reykjaneshrygg. Sýnatakan beindist að því að finna og afmarka botnsvæði með hörðnuðum set- og móbergslögum, því í þeim virðist mangangrýti helst að finna. Í ljós kom að setberg með mangangrýti kom fyrir í sýnum frá Manganhól og nágrenni, þ.e. norðurhlíð Prísbura og í lágum kanti vestur af hólnum. Í austur- og vesturhlíðum Steinahóls fannst einnig setberg með dökum útfellingum og sömuleiðis í litlum hól austan Steinahóls. Annars staðar fannst einungis storkuberg. Lífverur á botninum torvelda skoðun bergsins með myndavél, en útstreymi jarðhitavatns sást á nokkrum stöðum á Steinahól. Svæði þetta einkennist af bólstrabergi og sethula er engin. Þar sem jarðhitaútstreymis gætir hafa myndast breiður af hvítum, þráðlagu bakteríum, þannig að tiltölulega auðvelt er að finna jarðhitastaðina. Þetta jarðhitasvæði var reyndar áður þekkt, og 3. júlí 1991 flaut upp dauður fiskur á þessum slóðum og brennisteinsfýla fannst. Hugsanlegt er að þarna hafi orðið til nýtt jarðhitasvæði á hafssbotni, það er jafnvel ekki hægt að útiloka lítið eldgos, en dýpi þarna er um 280 m.

Ferskleiki gosbergssýna og lítið set bendir til að á nokkrum stöðum a.m.k. séu gosmyndanir mjög ungar. Fjórir hólar eru sérstaklega merktir þannig á 7. mynd, Steinahóll, Baujuhóll, Gullhóll og Sökkubani. Einnig er líklegt að Stóri Brandur sé ung gosmyndun. Líkur eru fyrir því að Nýey, er myndaðist við neðansjávargos 1783, hafi verið norðantil á Gullhólsþyrpingunni þar sem nú er kallað Sökkubani.

Smásjárathuganir og efnagreiningar sýna að gosbergið á rannsóknarsvæðinu er þóleist og nokkuð einsleitt, og svipað því sem áður hefur fundist á þessum hluta Reykjaneshryggjarins. Bergmynd-

un neðan til í Steinahól að austan sker sig þó úr. Þarna er mjög plagfóklasdfsloftt þóleist sem er mjög sjaldgæft á Reykjaneshrygg og á Reykjanesskaga. Það er blöðrótt bólstraberg með glerkápu og plagfóklasflarnir eru 5 - 15 % rúmmáls af bergeninu.

Grá siltleðja, blönduð skeljabrotum og að mestu óhörðnuð, þekur mest allt svæðið eins og viða á landgrunninu. Þessi leðja er líklega aðallega úr aðkomuefnum og í henni hafa engir málmar fundist. Nær ekkert er af leðju þessari á bergsýnum á eða við Steinahól, Bauuhól, Gullhól og Sökku-bana, og bendir það til að þessir hólar séu mjög ungar eins og fyrr segir.

Setberg fannst viða en þó einkum á tveimur svæðum, við Þrbura og Manganhól, og austur af Steinahól, sjá 8. mynd. Vel er hugsanlegt að þessi tvö svæði tengist um dalverpið milli Steinahóls- og Gullhólsþyrrpinganna. Aðaluppistaðan í þessu setbergi eru sideromelanglerkorn sem myndast hafa við neðansjávarsprengigos. Rannsóknir á handsýnum sýna að basaltglerið, sem er efniviðurinn í setberginu, er náskylt gosberginu á svæðinu, og því að öllum líkindum upprunnið á nálægum svæðum á hryggnum. Í Gullhólsþyrrpingunni eru 11 hólar þar sem minnsta dýpi er innan við 200 m og er hugsanlegt að sprengigos hafi orðið í þeim öllum. Gjóskan frá þessum sprengigosum hefur síðan borist til með hafstraumum og orðið uppistaða setbergsins.

9.2 Um manganmálminn

Manganmálmurinn kemur bæði fyrir sem dreif í holrými setbergsins og í æðum. Þar sem málmdreifin þéttist koma fram lög í bergeninu, þykasta málmlagið mældist 6 - 8 mm. Æðarnar liggja óreglulega um setbergið og oft þvert á lagskiptingu, þykkt æðanna er oftast á bilinu 2 - 5 mm. Mangansteindirnar todorokít og birnessít reynast vera uppistaða manganmálmsins, en þessar tegundir eru einmitt algengustu mangansteindirnar í manganskum skorpum og hnyðlingum á sjávarbotni (sbr. t.d. Cronan 1980 og Rona 1988).

Á 10. mynd eru sýndir staðir þar sem vart varð við manganmálm á rannsóknarsvæðinu, en erfitt er að meta hversu mikil málmgrýti er á hverjum stað. Um það er helst hægt að fullyrða að töluvert magn er norðantil í Manganhól (á stað 2). Þá er líklegt að nokkuð sé af mangangrýti á stað 64 sem kallaður hefur verið "Mamman". Mynd 11 sýnir nánar fundarstaði mangangrýtis við Manganhól og Þrbura. Málmgrýtið finnst í setbergi sem sest hefur til í hlíðum hólanna.

Efnagreiningar leiða í ljós að yfirleitt er lístill munur á styrk frumefnanna í set- eða basaltsýnum af svæðinu, og gert er ráð fyrir að báðar bergtegundirnar séu af sama uppruna, þ.e. myndaðar við eldgos á svæðinu. Manganauðgun í setsýnum er þó meira en hundraðföld þegar best lætur, og einnig er meira magn af K, Ba, Cr og í málmrsku setinu en í basalti. Þar sem um frávik frá samsetningu basalts er að ræða eru viðbótarefni "aðflutt", og koma annaðhvort fyrir í æðum eða dreifum um setið. Glerið í setinu sjálfu hefur því ekki lagt neitt til málmaðanna. Líklega eru þau frumefni sem finnast í auknum mæli í sýnum bundin í kristalbyggingu steindanna todorokíts og birnessíts. Snefilefni finnast í litlu magni í útfellingunum, enda eru þau yfirleitt í litlu magni í mangan-járnútfellingum tengdum jarðhita.

Manganmálmurinn, og einnig límonít, hefur fallið út í holrými setbergsins án þess að umtalsverð ummyndun hafi orðið á síderomelanglerkornum, þ.e. basaltgleri, sem er mjög óstöðugt og ummyndast auðveldlega í palagónít við vægan jarðhita. Ætla má að manganmálmurinn og límonítið hafi myndast við lægri hita en 40 - 50°C. Málmurinn kemur nær eingöngu sem hrein viðbót við bergið, líklega fyrst sem dreif á milli korna en síðan bætast við málmaðar í sprungur. Efnagreiningarnar sýna að járn og mangan skiljast algjörlega að, og af því má einnig draga þá ályktun að

jarðhitavökvinn sé kaldari en 50°C, þegar hann kemur þar í setið sem manganútfellingar setjast til. Þetta á jafnt við hvort sem vökvinn kemur upp í gegn um setlögin á þeim stöðum þar sem mangangrýtið myndast, eða hvort vökvinn fer fyrst út í sjóinn um afmörkuð op, og mangansteindirnar falli svo niður á botninn. Almennt má búast við meira járni í grennd við uppstreymi, en meira mangani eftir því sem fjær dregur, eða e.t.v ofar í jarðlagastaflanum.

Greining steinda sýnir að á jarðhitasvæðunum þremur (7. mynd) hefur jarðhiti verið mun hærri, bæði á Steinahól (anhydrít, ópal- og smektitútfellingar, brennisteinskís), og suðaustan í Þrífurum (ferskt gifs, hematít og e.t.v. ópall). Einnig finnast ummerki um vægan jarðhita norðaustan við Þrífura (fersk súlfíðsteind, smektit og lísklega gifs).

9.3 Um möguleika á málmvinnslu

Ljóst er af niðurstöðum bræðslutilrauna að vinna má málma úr setbergi eins og því sem finnst í sýnum frá Reykjaneshrygg. Við tilraunirnar myndaðist mjög járnarskt ferrómangan sem einnig tók til sín króm, kóbalt og fosfór. Nikkel og kopar fannst einungis í mjög litlu magni. Slagg (gjall) sem myndaðist við tilraunirnar hentar vel til framleiðslu á fosfórsnauðu ferrómangani.

Mangan er ekki ýkja dýr málmur og þarf þéttleiki hans að vera nokkuð hár til að vinnsla borgi sig. Hingað til hefur mangan eingöngu verið unnið úr nánum á þurru landi og er þéttleiki mangans allt að 52% í því bergi sem unnið er. Vegna þessa hafa mangankúlur og manganset á hafsbottini einkum hlotið athygli vegna hinna verðmætu málma sem oft fylgja, sem eru t.d. kóbalt, nikkel og kopar. Þéttleiki þessarra málma er minni í mangansetinu frá Reykjaneshrygg en í mangankúlum og manganseti á botni Kyrrahafs. Aftur á móti væri nám á Reykjaneshrygg auðveldara vegna þess hve grynnra er þar, milli 100 og 400 m dýpi, en manganset og kúlur á úthafsbottini eru á 2000-4000 m dýpi. Fosfórmagn er tiltölulega lágt í sýnum frá Reykjaneshrygg og telst það kostur þegar vinnsla er höfð í huga. Einnig virðist sem mangangrýtið þar innihaldi meira króm en Kyrrahafskúlur og set. Hafa ber í huga að aðeins hluti þess efnis sem kom upp við sýnatöku á Reykjaneshrygg er manganskt set. Í leiðangri Árna Friðrikssonar í apríl 1991 voru alls tekin 44 höl. Þar af voru 5 tóm, 17 voru með hörðnuðu seti eða móbergi en 22 voru eingöngu með basalti. Aðeins lístill hluti þeirra 17 sýna sem samanstóðu af seti eða móbergi innihéldu málma í ríku magni. Málmríkt set virðist því vera nokkuð dreift og skapar það örðugleika við vinnslu.

Af öllum þessum þáttum má draga þá ályktun að vinnsla mangansets á Reykjaneshrygg geti ekki verið hagkvæm eins og staðan er í dag. Hvað mangan varðar er talið að góðar námur á landi muni endast a.m.k. eina öld til viðbótar. Með aukinni notkun hinna ýmsu málma í framtíðinni og eftir því sem gengur á birgðir í vinnanlegum nánum á landi má búast við að horft verði af meiri alvöru til málma á hafsbottini og verður Reykjaneshryggur þá engin undantekning. Til að hægt sé að meta vinnslumöguleika mangansetsins þarf að kortleggja þau svæði á hryggnum þar sem manganskt set er að finna. Kanna þarf umfang hvers svæðis og fá sem bestar upplýsingar um málmainnihald setsins. Manganskt set hefur einkum fundist í nágrenni við jarðhitasvæði á hryggnum en búast má við að það sé víðar að finna einkum við kulnuð jarðhitasvæði. Bandaríkjameðal hafa lagt mikla áherslu á rannsóknir á mangangrýti á Neckerhryggnum í Kyrrahafi með mál mavinnslu í huga. Höfundar mæla með því að fylgst verði náið með þess konar rannsóknun.

10. HEIMILDIR

- Ármannsson, H. 1978: Analytical geochemical studies on cadmium and some other trace metals in estuarine and coastal environments. Ph. D. thesis. The University, Southampton, 241 s.
- Arrhenius, G., Mero J.A., Korkisch J. 1964: Origin of Oceanic Manganese Minerals. *Science* 144, 170 -173.
- Berndt, M.E. & Seyfried, W.E. 1990: Boron, bromine and other trace elements as clues to the fate of chlorine in mid-ocean ridge vent fluids. *Geochim. Cosmochim. Acta* 54, 2235-2245.
- Bischoff, J.L. 1969: Red sea geothermal brine deposits: their mineralogy, chemistry and genesis. In: Degens E.T. & Ross D.A. (eds.). *Hot Brines and Recent Heavy Metal Deposits in the Red Sea*. Springer Verlag, 368 - 401.
- Bischoff, J.L. 1980. Geothermal system at 21°N, East Pacific Rise: Physical limits on geothermal fluid and role of adiabatic expansion. *Science* 207, 1465-1469.
- Bonatti, E. 1975: Metallogenesis at oceanic spreading centers. *Ann. Rev. Earth Plan. Sci. Lett* 3, 401-431.
- Bonatti E., Kraemer T. & Rydell H. 1972: Classification and genesis of submarine iron-manganese deposits. In: Horn D.R. (ed.). *Ferromanganese deposits on the ocean floor*, 149 - 166.
- Bonatti, E. 1983: Hydrothermal metal deposits from the oceanic rifts. A classification. In: Rona P.A. , Boström K., Laubies L. & Smith Jr. K.L. *Hydrothermal processes at seafloor spreading centers. Nato conference series IV:12*, Plenum Press, 491 - 502.
- Boström K. 1980: The origin of ferromanganese active ridge sediments. In: Rona P.A. & Lowell R.P.(eds.). *Seafloor spreading Centers: Hydrothermal systems*. Dowden, Hutchinson & Ross Inc., Stroudsburg, 288 - 332.
- Boström K. & Widenfalk L. 1983: The origin of ironrich muds at the Kameni Islands, Santorini. *Chemical Geology*, 42(1-4), 203 - 218.
- Brooks, C.K., S. Jakobsson & J. Campsie, 1974: Dredged basaltic rocks from the seaward extensions of the Reykjanes and Snaefellsnes volcanic zones, Iceland. *Earth Plan. Sci. Lett.* 22, 320-327.
- Burns R.G. & Brown B.A. 1972: Nucleation and mineralogical controls on the composition of manganese nodules. In: Horn D.R. (ed.). *Ferromanganese deposits on the ocean floor*, National Science Foundation Washington D.C., 51 - 70.
- Burns R.G. & Burns V.M. 1975: Mecanism for nucleation and growth of manganese nodules. *Nature* 255, 130 - 131.
- Christensen, K.W. 1981: Fremstilling av ferrolegeringer og kalsiumkarbid, elektrokjemisk industri fagkurs. 2. utgave.
- Corliss, J.B., Lyle M., Dymond J. & Crane K. 1978: The chemistry of hydrothermal mounds near the Galapagos rift. *Earth and Planetary Science Letters* 40, 12 - 24.
- Crerar, D.A. & Barnes H.L. 1974: Deposition of deep-sea manganese nodules. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 38 (2), 279 - 300.

- Cronan D.S. 1980: *Underwater minerals*. Academic Press, London, 362 s.
- Commeau, R.F., G. Thompson, F.T. Manheim, J. Ólafsson & S. Jakobsson, 1989: Mineralogy and chemistry of ocean floor hydrothermal precipitates from Kolbeinsey and Reykjanes Ridges near Iceland: Scanning electron microscope analysis. *U.S. Geol. Surv. Open-File Rep.* 89-480, 38 s.
- Douglas, G.R., 1987: Manganese-rich rock coatings from Iceland. *Earth Surf. Proc. Landforms* 12, 301-310.
- Duyvesteyn, W.P.C., G.W. Wicker & R.E. Doane 1979: An omnivorous process for laterite deposits. *Proc. Int. Laterite Symp.*, Soc. of Min. Eng. of AIME, New York, 553-570.
- Goldberg, E.D. & Arrhenius G. 1958: Chemistry of Pacific pelagic sediments. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 13, 153 - 212.
- Haynes, B.W., M.J. Magyar & Godoy 1987: Extractive Metallurgy of Ferromanganese Crusts from the Necker Ridge Area, Hawaiian Exclusive Economic Zone. *Marine Mining* vol. 6, 23-36.
- Hekinian, R., Francheteau, J., Renard, V., Ballard, R.D., Choukroune, P., Cheminee, J.L., Albarede, Minster, J.F., Charlou, J.L., Marty, J.C. & Boulegue 1983: Intense hydrothermal activity at the axis of the East Pacific Rise near 13°N: Submersible witnesses the growth of sulfide chimney. *Mar. Geophys. Res.* 6, 1-14.
- Horowitz , A., 1974: The geochemistry of sediments from the northern Reykjanes Ridge and the Iceland-Faeroes Ridge. *Mar. Geol.* 17, 103-122.
- Jakobsson, S., J. Jónsson & F. Shido, 1978: Petrology of the western Reykjanes Peninsula, Iceland. *J. Petrol.* 19, 669-705.
- Jakobsson, S.P. & J.G. Moore, 1986: Hydrothermal minerals and alteration rates at Surtsey volcano, Iceland. *Geol. Soc. Am. Bull.* 97, 648-659.
- Johnson, G.L. & S. Jakobsson, 1985: Structure and petrology of the Reykjanes Ridge between 62°55'N and 63°48'N. *J. Geophys. Res.* 90, 10073-10083.
- Ku T.L. & Broecker W.S. 1969: Radiochemical studies on manganese nodules of deep-sea origin. *Deep Sea Research* 16, 625 - 637.
- Kristmannsdóttir, H. & M. Ólafsson, 1989. Manganese and iron in saline groundwater and geothermal brines in Iceland. In: Miles, D.L. (editor). *Water-Rock Interaction, WRI-6*. Balkema, Rotterdam, 393-396.
- Lynn D.C. & Bonatti E. 1965: Mobility of manganese in diagenesis of deep sea sediments. *Marine Geology* 3, 457 - 474.
- Magnús Sigurgeirsson, 1992: Gjóskumyndanir á Reykjanesi. Háskóli Íslands, meistaraprófsverkfni, 114 s.
- Mottl M.J., Holland H.D. & Corr R.F. 1979: Chemical exchange during hydrothermal alteration of basalt by seawater-II. Experimental results for Fe,Mn and Sulfur species. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 43, 869 - 884.

- Murray J. & Renard A.F. 1891: *Report on Deep Sea Deposits. Challenger Expedition Reports 3.* Her Majesty's Stationery Office, London.
- Ólafsson, J., S. Honjo, K. Thors, U. Stefánsson, R.R. Jones & R. Ballard, 1988: Initial observations, bathymetry and photography of a geothermal site on the Kolbeinsey Ridge. Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad Universitaria (Abstracts). Mexico 04510, DF., 121-127.
- Ólafsson, J., K. Thors & J. Cann, 1991: A sudden cruise off Iceland. *Ridge Events 2*, (2), 35-39.
- Rona, P.A., 1988: Hydrothermal mineralization at oceanic ridges. *Can. Mineral.* 26, 431-465.
- Schilling, J.-G., M. Zajac, R. Evans, T. Johnston, W. White, J.D. Devine & R. Kingsley, 1983: Petrologic and geochemical variations along the Mid-Atlantic Ridge from 29°N to 73°N. *Am. J. Sci.* 283, 510-586.
- Sempere, J.-C., L. Kristjánsson, H. Schouten, J.R. Heirtzler & G.L. Johnson, 1990: A detailed magnetic study of the Reykjanes Ridge between 63°00'N and 63°40'N. *Mar. Geophys. Res.* 12, 215-234.
- Sigurdsson, F. & H. Þorðarson, 1989: Mineral deposits of Europe. Vol. 4/5: Southwest and Eastern Europe, with Iceland. *Inst. Mining & Metall.*, Mineral. Soc., 421-431.
- Seyfried W.E. Jr. & Mottl M.J. 1982: Hydrothermal alteration of basalt by seawater under seawater-dominated conditions. *Geochimica et Cosmochimica Acta* 46, 985 - 1002.
- Sigurður Þórarinsson, 1965: Neðansjávargos við Ísland. *Náttúrufraeðingurinn* 35, 49-74.
- Sridhar, R., J.S. Warner & M.C.E. Bell 1977: Non-ferrous metal recovery from deep sea nodules. U.S. patent 4,049,438, Sept. 20.
- Steinunn Hauksdóttir, 1991: Manganísk setlög á Reykjanesrygg. Háskóli Íslands, óbirt B.S. ritgerð, 42 bls.
- Sveinn Jakobsson, 1975: Eldgos við Eldeyjarboða. *Náttúrufraeðingurinn* 44, 22-40.
- Szabo, L.J. 1976: Recovery of metal values from manganese deep sea nodules using ammoniacal cuprous leach solutions. U.S. patent 3,983,017, Sept. 28.
- Wilder, T.C., J.J Andreola & W.E. Galin 1981: Reduction processes for manganese nodules using fuel oil. *J. Metals* 33, 64-69.
- Zantop, H. 1978. Geologic setting and genesis of iron oxides and manganese Oxides in the San Francisco manganese deposit, Jalisco, Mexico. *Econ. Geol.* 73, 1137 - 1149.
- Zantop, H. 1981. Trace elements in volcanogenic manganese oxides and iron oxides: The San Francisco manganese deposit, Jali Sco, Mexico. *Econ. Geol.* 76, 545 - 555.

VIÐAUKI I

Lýsing botnsýna frá Reykjaneshrygg

LÝSING BOTNSÝNA FRÁ REYKJANESHRYGG

I. Sýni frá 62°27'N, árið 1987

Sýnið kom ásamt öðru bergi í troll togara sem var þarna við veiðar og var afhent Náttúrufræðistofnun haustið 1987.

12240

62°27'N & 25°26'V; dýpi 615 m. Alls um 0,8 kg.
Lítt harðnað setberg með dvalarfórum lífvera.

Flokkar:

1: 0,8 kg (100%)

Grænleitt setberg með málmaðum. Nákvæm lýsing á steindafræði sýnisins er í Commeau et al., 1989. [1] (12240)

II: Sýni frá 63°05,3'N - 63°15,5'N, nóvember 1990

Sýnin voru tekin með botnskröpu með áfostum netpoka. Lengd hvers hals var nokkur hundruð metrar. Alls voru tekin 12 höl. Bergið var skolað með sjó á dekki, ef mikil kom af einsleitu bergi var valið úr á dekki. Alls hafa verið valin úr 26 sýni til nánari skoðunar. Þrjú höl eru með seti eða setbergi, annars er allt basalt. Númer sýnanna eru skráð í hornklofa á eftir lýsingu hvers flokks. Sýnisnúmer eru samsett þannig: "B16-90-XXX-Y,Z". "B16" þýðir sextanda ferð r/s Bjarna Sæmundssonar árið 1990. "XXX" er stöðvarnúmer, "Y" er bergflokkur og "Z" er númer handsýnis.

B16-90-890 (DR 1)

63°05,6'N & 24°32,3'V; dýpi 250 m.
Mikið af blöðróttu basalti, bólstrabrotum og kóröllum.

Flokkar:

1: Blöðrótt basalt með ryðbrúnum útfellingum. [1] (13958)

2: Blöðrótt basalt með glerskán. [2] (13959)

B16-90-904 (DR 2)

63°10,5'N & 24°26,5'V; dýpi 330 m. Alls um 41 kg.
Setberg með útfellingum.

Flokkar:

1: Gulgrænt setberg með blásvörtum málmutfellingum. [1,1] (13983)

2: Gulgrænt setberg með blásvörtum málmutfellingum. [2,1 - 2,28] (13984 - 14011)

3: Grátt lagskipt setberg með blásvörtum málmutfellingum. [3,1 - 3,4] (14012 - 14015)

4: Grátt lagskipt setberg með dökkum útfellingum. [4,1 - 4,4] (14016 - 14019)

5: Grágrænt setberg með grænum útfellingum. [5,1 - 5,5] (14020 - 14024)

B16-90-905 (DR 3)

63°08,3'N & 24°29,5'V; dýpi 235 m.
Blöðrótt basalt, bólstraberg.

Flokkar:

1: Mjög blöðrótt basalt. [1] (13960)

B16-90-909 (DR 4)

63°15,5'N & 24°12,8'V; dýpi 93 m.

Mikið af bólstrabrotum.

Flokkar:

- 1: Hálfnúið blöðrótt basalt. [1] (13961)
- 2: Hálfnúið blöðrótt basalt. [2] (13962)

B16-90-910 (DR 5)

63°13,6'N & 24°20'V; dýpi 215 m.

Nokkur bólstrabrot, skeljar og setberg.

Flokkar:

- 1: Blöðrótt basalt. [1] (13963)
- 2: Fínlagskiptur sandsteinn með vott af ryðbrúnum útfellingum á yfirborði. Dvalarför lífvera. [2] (13964)

B16-90-911 (DR 6)

63°11'N & 24°24'V; dýpi 320 m.

Mikið af fersku basalti.

Flokkar:

- 1: Blöðrótt basalt með ryðbrúnum útfellingum. [1] (13965)
- 2: Mjög blöðrótt basalt. [2] (13966)

B16-90-913 (DR 7)

63°05,3'N & 24°32,6'V; dýpi 160 m.

Mikið af basalti (bólstraberg?).

Flokkar:

- 1: Blöðrótt basalt með þykkri glerskán. [1] (13967)
- 2: Blöðrótt basalt. [2] (15097)

B16-90-914 (DR 8)

63°05,4'N & 24°32,6'V; dýpi 150 m.

Mikið af bólstrabergi.

Flokkar:

- 1: Blöðrótt basalt. [1] (13968)
- 2: Blöðrótt basalt með ryðbrúnum útfellingum. [2] (13969)

B16-90-915 (DR 9)

63°05,4'N & 24°32,5'V; dýpi 220 m.

Mikið af bólstrabergi og bólstrahillum. Sumt ummyndað af jarðhita. Grá siltleðja.

Flokkar:

- 1: Mjög blöðrótt basalt með þykkri glerskán. [1] (13970)
- 2: Blöðrótt basalt með ryðbrúnum og hvítum útfellingum. [2,1 - 2,2] (13971 - 13972)
- 3: Blöðrótt basalt með gráum og ryðbrúnum útfellingum. [3,1 - 3,2] (13973 - 13974)
- 4: Blöðrótt basalt með ryðbrúnum og gulum útfellingum. [4,1 - 4,2] (13975 - 13976)

B16-90-917 (DR 10)

63°05,5'N & 24°32'V; dýpi 220 m.

Ferskt, blöðrótt bólstraberg.

Flokkar:

- 1: Mjög blöðrótt basalt með þykkri glerskán. [1] (13977)
- 2: Blöðrótt basalt. [2] (13978)

B16-90-918 (DR 11)

63°09,7'N & 24°25,9'V; dýpi 245 m.

Bólstrabrot.

Flokkar:

1: Blöðrótt basalt. [1] (13979)

2: Blöðrótt basalt. [2] (13980)

B16-90-919 (DR 12)

63°08,5'N & 24°32,3'V; dýpi 290 m.

Leðja og skeljar. Bólstrabrot í leðju.

Flokkar:

1: Blöðrótt basalt með ryðbrúnum útfellingum. [1] (13981)

2: Grá siltleðja með skeljabrotum. [2] (13982)

III. Sýni frá 63°02'N - 63°21'N, apríl 1991

Sýni voru tekin með botnskröpu með áfostum netpoka. Möskvastærð netsins var um 5 cm. Lengd hvers hals var 200 - 1000 m, sjá kort. Alls voru tekin 44 höl. Þar af voru 5 tóm, 17 voru með setbergi og 22 voru eingöngu með basalti. Bergið var skolað með sjó á dekki. Ef upp kom mikið magn af einsleitu basalti þá voru sýnishorn valin úr á dekki, annars var allt tekið inn. Sýnin voru síðan rúmmálsmæld (uppgefinn kílóafjöldi er fenginn með því að margfalda með 2,5 í lítrafjölda) og skoluð í ferskvatni. Þau voru látin liggja í ferskvatni í a.m.k. 1 klukkutíma og voru síðan þurrkuð við ca. 40°C í a.m.k. 1 sólarhring. Þá voru þau skoðuð og flokkuð áður en sýni voru valin.

Alls hafa verið valin úr 208 sýni til nánari skoðunar. Af seti og setbergi eru 89 sýni, af basaltbergbrotum eru 115 sýni og 4 sýni eru af öðru bergi. Númer sýnanna eru skráð í hornklofa á eftir lýsingu hvers flokks. Sýnisnúmer er samsett þannig: "A4-91-XX-Y,Z". "A4-91" þýðir fjórða ferð r/s Árna Friðrikssonar árið 1991. "XX" er stöðvarnúmer, "Y" er bergflokkur og "Z" er númer handsýnis. Staðsetning er gefin fyrir upphaf hvers hals.

A4-91-38

63°10,5'N & 24°26,8'V; dýpi: 349 m. Alls um 17 kg.

Setberg með skeljabrotum, og bergmolar. Mikið af leðju, kóröllum og skeljabrotum.

Flokkar:

1: 1 kg (≈7%)

Hálfnúnir bergmolar úr setberginu. Blöðrótt basalt með plagióklasdílum. [1,1 - 1,2]

2: 13 kg (≈91%)

Gráleitt, fínkorna setberg. Innheldur skeljabrot, svört glerkorn, dökkan plagióklasdílóttan vikur, plagióklas og bergmola (samskonar og í flokki 1). Sumstaðar er setbergið dökkgrátt og harðara. [2,1 - 2,5]

3: 0,3 kg (≈2%)

Samskonar setberg og flokkur 2, en með ryðbrúnum lit. [3]

A4-91-39

63°09,5'N & 24°27,8'V; dýpi: 324 m. Alls um 33 kg.

Basalt, kórallar og skeljar. Örlítið af leir á sumum steinum.

Flokkar:

1: 33 kg (100%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með glerrimum og plagióklasdílum. Sumir steinarnir eru greinilega bólstrabrot. Ryðbrúnar útfellingar finnast á yfirborði og í sprungum.

Grátt/ljósbrúnt setberg finnst utan á steinunum. [1,1 - 1,4]

A4-91-40

63°09,3'N & 24°27,2'V; dýpi: 290 m. Alls um 83 kg.

Basalt og setberg með ummyndunarhúð.

Flokkar:

1: 5,5 kg (≈7%)

Setberg með útfellingum. Grunnmassi er fínkorna ryðbrúnt set. Inniheldur svört glerkorn, dökkan plagióklasdíltan vikur og plagióklas. Æðar, skorpur og blettir með dökkum útfellingum. [1,1 - 1,3: dæmigerð. 1,4 - 1,8: ýmis afbrigði].

2: < 1 kg (<1%)

Hálfnúið bergbrot, sennilega úr setberginu. Blöðrótt basalt með plagióklasdílum.

Setberg og dökkar útfellingar á yfirborði (sjá flokk 1). [2]

3: 12 kg (≈14%)

Hálfnúnir bergmolar. Blöðrótt basalt með plagióklasdílum. Nokkuð veðrað. [3,1]

4: 10 kg (≈12%)

Hálfnúinn hnúllungur. Sambrætt súrt túff. Dökk skán á yfirborði. Grunnmassinn er ljósbrúnn. Straumflögótt. Inniheldur plagióklas og köntuð bergbrot (brún fínkorna, svört dulkorna og svart gler). Einnig æðar/linsur með grófara efni. Sennilega aðflutt berg. [4]

5: 10 kg (≈12%)

Kantaðir gjallmolar með plagióklasdílum. Brúnar útfellingar á yfirborði. [5,1 - 5,2]

6: 3,3 kg (≈4%)

Hálfkantaðir bergmolar. Blöðrótt basalt með plagióklasdílum. Plötulaga steinar, um 4 cm á þykkt. Brún húð á báðum flötum, sennilega ummyndað gler. Einnig eru ryðbrúnar útfellingar í sprungum. [6,1]

7: 41 kg (≈50%)

Kantaðir bergmolar. Blöðrótt ferskt basalt með plagióklasdílum. Glerhúð sést á flestum steinum. Sumir steinar eru augljóslega bólstrabrot. Brúnar útfellingar í sprungum. [7,1 - 7,2]

A4-91-41

63°10,1'N & 24°26,0'V; dýpi: 294 m. Alls um 10 kg.

Basalt og setberg.

Flokkar:

1: 9 kg (≈90%)

Hálfnúin bergbrot. Blöðrótt basalt með plagióklasdílum. Nokkuð veðrað. Setberg og brúnar útfellingar á yfirborði. [1,1 - 1,4]

2: 1 kg (≈10%)

Setberg með útfellingum. Grunnmassi er fínkorna ryðbrúnt set. Inniheldur svört glerkorn, dökkan plagióklasdíltan vikur og plagióklas. Skorpur og blettir með dökkum útfellingum. [2,1 - 2,2]

A4-91-42

63°09,6'N & 24°25,8'V; dýpi: 245 m. Alls 80 g.

Poki rifnaði. 3 litlir basaltmolar.

Flokkar:

1: 60 g (≈75%)

Kantaðir gjallmolar úr fersku gleri. Ljósgrátt set og brúnar útfellingar á yfirborði. [1]

2: 20 g (≈25%)

Hálfkantaður bergmoli úr blöðróttu basalti með plagióklasdílum. Töluvert ummyndað. Brúnar og svartar útfellingar á yfirborði og í sprungum. [2]

A4-91-46

63°09,6'N & 24°25,4'V; dýpi: 320 m. Alls um 150 kg.

Basalt, leðja, kórallar og skeljar.

Flokkar:

1: 150 kg (\approx 100%)

Kantaðir bergmolar. Blöðrótt ferskt basalt með stöku plagióklasdílum. Gler á rimum.

Sumir steinar eru plötulaga og með glerrima báðu megin. Einnig eru sumir steinar líklega bólstrabrot. Gulbrúnar útfellingar finnast á yfirborði og í sprungum. [1,1 - 1,3]

A4-91-48

63°08,7'N & 24°28,3'V; dýpi: 263 m. Alls um 93 kg.

Basalt og eilítið af leðju, kóröllum og skeljum.

Flokkar:

1: 93 kg (\approx 100%)

Hálfköntuð bergbrot. Blöðrótt, nokkuð veðrað basalt. Einnig brúnleitt gjall og svart gler. Sumir steinar virðast vera bólstrabrot. Þó nokkuð af gul- rauðbrúnum útfellingum í sprungum og á yfirborði. [1,1 - 1,3]

A4-91-49

63°09,4'N & 24°27,7'V; dýpi: 322 m. Alls um 22 kg.

Basalt, ferskt. Tölувvert af stórum kóröllum, en lítið af skeljum og leðju.

Flokkar:

1: 22 kg (\approx 100%)

Köntuð bergbrot. Mjög ferskt, svart, blöðrótt basalt með stöku plagióklasdílum.

Margir steinar eru greinilega bólstrabrot. Töluvvert af fersku gleri á yfirborði. Eitthvað af brúnleitum útfellingum í sprungum. [1,1 - 1,3]

A4-91-50

63°09,7'N & 24°26,4'V; dýpi: 279 m. Alls um 220 kg.

Setberg með útfellingum og basalt. Lítið af leðju. Flestir steinar frekar smáir.

Flokkar:

1: 38 kg (\approx 17%)

Setberg með útfellingum. Grunnmassinn er finkorna ljósgrár-ryðbrúnn. Inniheldur mikið af skeljabrotum, einnig svört glerkorn, dökkan plagióklasdílóttan vikur og bergbrot (sjá flokk 2). Vottur af lagskiptingu og víxllögun. Æðar, skorpur og blettir með dökkum útfellingum. [1,1 - 1,7]

2: 9 kg (\approx 4%)

Hálfnúnir bergmolar úr setberginu. Blöðrótt basalt með plagióklasdílum. [2,1 - 2,2]

3: 172 kg (\approx 78%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt, nokkuð ferskt basalt með glerrima. Stöku plagióklasdílar finnast. Brúnleitar útfellingar í sprungum. [3,1 - 3,4]

A4-91-51

63°10,1'N & 24°27,0'V; dýpi: 297 m. Alls um 18 kg.

Setberg með Mn-útfellingum og núnum basaltmolum.

Flokkar:

1: 15 kg (\approx 83%)

Setberg með útfellingum. Grunnmassi er finkorna ljósgrátt-ryðbrúnt set. Inniheldur skeljabrot, svört glerkorn, dökkan plagióklasdílóttan vikur og bergbrot (sjá flokk 2). Skorpur, æðar og blettir með dökkum útfellingum. [1,1 - 1,4: dæmigerð, 1,5 - 1,6: dæmigerð fyrir um 1/5 flokksins, 1,7: afbrigði]

2: 3 kg (\approx 17%)

Hálfnúnir bergmolar úr setberginu. Blöðrótt basalt með plagióklasdílum. [2,1 - 2,3]

A4-91-52

63°09,8'N & 24°29,6'V; dýpi: 312 m. Alls um 18 kg.

Setberg og mikið af kóral.

Flokkar:

1: 15 kg (≈83%)

Gráleitur misgrófur sandsteinn. Lagskiptur og vottur af víxllögun. Inniheldur svört glerkorn, dökkan vikur og bergmola. Gulbrúnar/dökkbrúnar útfellingar sumstaðar á yfirborði. [1,1 - 1,4]

2: 2 kg (≈11%)

Gulbrúnleitt setberg. Inniheldur skeljabrot, svört glerkorn, dökkan vikur og bergmola. [2,1 - 2,3]

3: 1 kg (≈6%)

Hálfnúinn bergmoli. Blöðrótt basalt með plagióklas- og ólivíndílum. [3]

A4-91-53

63°09,1'N & 24°31,7'V; dýpi: 280 m. Alls um 16 kg.

Basalt, leðja, kórallar og skeljar.

Flokkar:

1: 16 kg (≈100%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með plagióklasdílum. Glerrimi á sumum steinum. Einnig eru sumir steinar sennilega bólstrabrot. Gular, brúnar og svartar útfellingar algengar í sprungum og á yfirborði. [1,1 - 1,3]

A4-91-54

63°10,3'N & 24°24,3'V; dýpi: 342 m. Alls um 13 kg.

Basalt, vottur af leðju og lífverum.

Flokkar:

1: 13 kg (≈100%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með glerrimum. Margir steinanna eru plötulaga með glerrima báðu megin. Brúnleitar útfellingar eru algengar. [1,1 - 1,4]

A4-91-55

63°10,4'N & 24°23,0'V; dýpi: 302 m. Alls um 15 kg.

Basalt og setberg.

Flokkar:

1: 8 kg (≈53%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með plagióklasdílum og glerrimum. Nokkuð um brúnleitar útfellingar í sprungum og á yfirborði. [1,1 - 1,3]

2: 5 kg (≈33%)

Hálfkantaðir bergmolar. Nokkuð veðrað, grátt, blöðrótt basalt. Mikið af stórum plagióklasdílum. Mikið af gulgrænum/dökkbrúnnum útfellingum á yfirborði. [2,1 - 2,2]

3: 2 kg (≈13%)

Misharðnaður og misgrófur sandsteinn. Ljósgrár-dökkgrár-gulbrúnn. Eitthvað af útfellingum. Einnig finnst sandsteinn með svörtum glerkornum, plagióklasi og bergmolum [3,1]. Einn moli [3,6] er mjög ummyndaður með svörtum og grænum útfellingum. [3,1 - 3,6; 3,3 er dæmigert]

A4-91-56

63°09,3'N & 24°24,9'V; dýpi: 347 m. Alls um 10 kg.

Basalt.

Flokkar:

1: 10 kg (≈100%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með glerrima og plagióklasdílum. Plötulaga steinar og bólstrabrot. Brúnleitar útfellingar á sumum flótum. [1,1 - 1,3]

A4-91-57

63°08,6'N & 24°25,3'V; dýpi: 297 m. Alls um 3 kg.

Basalt, mest gler, engin leðja og lítið af lífverum. Einnig grágrænn leirmoli.

Flokkar:

1: 2,85 kg (≈95%)

Kantaðir bergmolar. Blöðrótt basalt með glerrimum og stöku plagióklasdílum. Flestir steinarnir eru plötulaga. Brúnleitar útfellingar finnast sumstaðar á yfirborði. [1,1 - 1,2]

2: 150 g (≈5%)

Kantaður bergmoli, grænn og grágrænn leir. [2]

A4-91-58

63°08,2'N & 24°25,8'V; dýpi: 300 m. Alls um 58 kg.

Basalt og mikil leðja.

Flokkar:

1: 58 kg (≈100%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með stöku plagióklasdílum. Flestir steinanna virðast vera bólstrabrot. Brúnar og svartar útfellingar finnast á yfirborði og í sprungum. [1,1 - 1,2]

A4-91-59

63°07,5'N & 24°29,5'V; dýpi: 312 m. Alls um 18 kg.

Basalt, leðja og skeljar.

Flokkar:

1: 18 kg (≈100%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með glerrimum. Mikið um brúnleitar útfellingar á yfirborði og í sprungum. [1,1 - 1,2]

A4-91-60

63°07,8'N & 24°29,8'V; dýpi: 293 m. Alls um 83 kg.

Basalt, bólstraberg. Mikið af leðju, köröllum og skeljum.

Flokkar:

1: 83 kg (≈100%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með glerrima og plagióklasdílum. Töluvert um brúnleitar útfellingar á yfirborði og í sprungum. Margir steinanna eru greinilega bólstrabrot. Plötulaga steinar með glerrimum finnast einnig. [1,1 - 1,3]

A4-91-61

63°06,9'N & 24°19,5'V; dýpi: 289 m. Alls yfir 52 kg.

Basalt. Svo til engin leðja og lítið af lífverum. Valið úr á dekki.

Flokkar:

1: 52 kg (≈100%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með glerrima og stöku plagióklasdílum. Bæði bólstrabrot og plötulaga steinar með glerrimum. Brúnleitar útfellingar á yfirborði og í sprungum. [1,1 - 1,3]

A4-91-62

63°06,3'N & 24°21,7'V; dýpi: 303 m. Alls yfir 32 kg.

Basalt og kórallar. Valið úr á dekki.

Flokkar:

1: 32 kg (≈100%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með stöku plagióklasdílum. Glerrimi á sumum steinum. Sumir steinar eru greinilega bólstrabrot. Brúnleitar útfellingar á yfirborði og í sprungum. [1,1 - 1,3]

A4-91-63

63°08,6'N & 24°21,3'V; dýpi: 270 m. Alls yfir 30 kg.
Basalt, kórallar og skeljar. Lítið af leðju. Valið úr á dekki.

Flokkar:

1: 30 kg (≈100%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með glerrimum og plagióklasdílum. Bólstrabrot og plötulaga steinar með reipóttu yfirborði. Brúnleitar útfellingar á yfirborði og í sprungum. [1,1 - 1,4]

A4-91-64

63°05,9'N & 24°26,3'V; dýpi: 290 m. Alls um 22 kg.
Möl. Núnir steinar af ýmsu tagi.

Flokkar:

1: 4 kg (≈18%)

Setberg. Grunnmassi er ljósgrátt/gulbrúnt set með svörtum glerkornum, skeljabrotum og bergmolum. Skorpur, æðar og blettir með dökkum útfellingum. Einn moli [1,5] er með miklu af blásvörtum málmaðum. [1,1 - 1,4: dæmigerð, 1,5: einstakt]

2: 17 kg (≈77%)

Hálfnúnir bergmolar af ýmsu tagi, sumir með setbergi og útfellingum. Blöðrótt dílalaust basalt, blöðrótt basalt með plagióklasdílum og blöðrótt gráfara basalt með plagióklas- og ólivíndílum. [2,1 - 2,7]

3: 1 kg (≈5%)

Núnir aðfluttir steinar. Súrt straumflögótt berg með feldspati [3,1], amfibólít [3,2] og kvarsít [3,3].

A4-91-65

63°04,2'N & 24°26,7'V; dýpi: 357 m. Alls minna en 1 kg.
Örlítið af basaltgleri og einn moli af setbergi.

Flokkar:

1: <1 kg (≈100%)

Setberg. Grunnmassi er ljósgrátt/gulbrúnt set með svörtum glerkornum og skeljabrotum. Skorpur með svörtum og brúnum útfellingum sumstaðar á yfirborði. [1]

A4-91-66

63°04,7'N & 24°26,3'V; dýpi: 363 m. Alls um 2,5 kg.

Basalt.

Flokkar:

1: 2,5 kg (≈100%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með glerrimum og stöku plagióklasdílum. Plötulaga steinar að mestu úr gleri. Setberg með dökkum útfellingum á sumum steinum. [1,1 - 1,3]

A4-91-67

63°05,5'N & 24°23,4'V; dýpi: 330 m. Alls um 21 kg.
Basalt og eitthvað af setbergi.

Flokkar:

1: 100 g (<1%)

Setberg. Grátt, laust í sér. Inniheldur svört glerkorn og plagióklas. Skorpur með svörtum og brúnum útfellingum. [1]

2: 2,5 kg (≈12%)

Hálfköntuð bergbrot.. Blöðrótt basalt með glerrimum. Plötulaga steinar. Gulbrúnleitt setberg með dökkum útfellingum á yfirborði steina. [2,1 - 2,3]

3: 18 kg (≈87%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með glerrima. Svartar útfellingar á yfirborði. [3,1 - 3,2]

A4-91-71

63°10,1'N & 24°27,0'V; dýpi: 340 m. Alls yfir 28 kg.

Basalt, eitthvað af köröllum og leðju. Valið úr á dekki.

Flokkar:

1: 28 kg (≈100%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með glerrima. Sumir steinar eru sennilega bólstrabrot. Brúnleitar útfellingar í sprungum og á yfirborði. Einnig gulbrúnleitt setberg sumsstaðar á yfirborði. [1,1 - 1,3]

A4-91-72

63°10,4'N & 24°29,2'V; dýpi: 308 m. Alls um 11 kg.

Setberg og basalt.

Flokkar:

1: 7 kg (≈64%)

Setberg með miklu af útfellingum. Grunnmassinn er ljósgrár eða dökkgrár með svörtu gleri, dökkum vikri og skeljabrotum. Svartar og brúnar æðar og skorpur algengar.

Einnig sjást blásvartar "botryoidal" skorpur og grænar ummyndanir. [1,1 - 1,9]

2: 4 kg (≈36%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með glerrima. Sennilega bólstrabrot. Brúnleitar og svartar útfellingar í sprungum og á yfirborði. [2,1 - 2,2]

A4-91-72B

63°10,4'N & 24°29,1'V; dýpi: 311 m. Alls um 1,3 kg.

Setberg.

Flokkar:

1: 1,3 kg (≈100%)

Setberg með útfellingum. Grunnmassinn er ljósgrár og lagskiptur, með svörtu gleri og skeljabrotum. Svartar og brúnar æðar og skorpur finnast. Einnig sjást blásvartar "botryoidal" skorpur. [1,1 - 1,2]

A4-91-72C

63°10,6'N & 24°29,2'V; dýpi: 295 m. Alls 0 kg.

Tómt.

A4-91-73

63°09,8'N & 24°26,4'V; dýpi: 290 m. Alls um 38 kg.

Ferskt basalt, setberg og leðja.

Flokkar:

1: 8 kg (≈21%)

Setberg með útfellingum. Grunnmassinn er gulbrúnn/ljósgrár, með svörtu gleri, plagióklas, dökkum vikri og bergmolum (samskonar og flokkur 2), einnig skeljabrotum. Brúnar og svartar skorpur finnast á yfirborði. [1,1 - 1,8]

2: 9 kg (≈24%)

Hálfnúrir bergmolar, úr setberginu. Blöðrótt basalt með plagióklasdílum. [2,1 - 2,3]

3: 21 kg (≈55%)

Köntuð bergbrot. Frekar ferskt blöðrótt basalt með glerrima. Greinilega bólstrar og bólstrabrot. Brúnleitar útfellingar í sprungum og vottur af palagóniti í glerinu. [3,1 - 3,3]

A4-91-74

63°05,8'N & 24°36,1'V; dýpi: 380 m. Alls um 48 kg.

Setberg og leðja.

Flokkar:

1: 48 kg (≈100%)

Setberg með útfellingum. Grunnmassinn er grábrúnn og laus í sér. Sumstaðar mótar fyrir lagskiptingu. Innheldur svört glerkorn og plagióklas. Svartar og brúnar skorpur og æðar finnast. [1,1 - 1,7]

A4-91-75

63°04,0'N & 24°36,4'V; dýpi: 345 m. Alls um 25 kg.

Setberg, svo til engin leðja.

Flokkar:

1: 25 kg (\approx 100%)

Setberg með útfellingum. Grunnmassinn er ljósgrár/gulbrúnn, með svörtum glerkornum, dökkum vikri, hálfnúnum bergmolum (blöðrótt basalt með plagíóklasdílum), plagíóklas og skeljabrotum. Hluti (\approx 1/10) er ljósara og minna harðnað [1,9]. Mikið um brúnar og svartar æðar og skorpur, einnig blásvartar "botryoidal" útfellingar. [1,1 - 1,9]

A4-91-76

63°04,4'N & 24°29,9'V; dýpi: 347 m. Alls um 15 kg.

Stór hnnullungur af plagíóklasdílóttu basalti og eitthvað af setbergi.

Flokkar:

1: 1 kg (\approx 7%)

Setberg. Grunnmassinn er ljósgrár, með svörtum glerkornum, vikri [1,2], plagíóklas og skeljabrotum. Brúnar skorpur finnast á yfirborði. [1,1 - 1,2]

2: 14 kg (\approx 93%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt plagíóklasdílótt basalt með glerrima. Sennilega bólstrabrot. Plagíóklasdílar eru 15 - 20 vol% og allt að 1 cm í þvermál. Brúnleitar útfellingar eru algengar í sprungum og á yfirborði. [2,1 - 2,2]

A4-91-77

63°02,5'N & 24°33,5'V; dýpi: 331 m. Alls um 3,3 kg.

Plagíóklasdílótt basalt, leðja og kórrallar.

Flokkar:

1: 3,3 kg (\approx 100%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt plagíóklasdílótt basalt með glerrima. Hálfur bólstri.

Plagíóklasdílar eru 5 - 10 vol% og allt að 1 cm í þvermál. Brúnleitar útfellingar í sprungum og glerið er nokkuð palagónítiserað. [1]

A4-91-78

63°06,4'N & 24°30,0'V; dýpi: 350 m. Alls um 20 kg.

Stór hnnullungur af plagíóklasdílóttu basalti og eitthvað af setbergi.

Flokkar:

1: 1 kg (\approx 5%)

Setberg með útfellingum. Grunnmassinn er ljósgrár/gulbrúnn. Inniheldur svört glerkorn og skeljabrot. Svartar og brúnar skorpur finnast á yfirborði. [1,1 - 1,2]

2: 19 kg (\approx 95%)

Kantað bergbrot. Blöðrótt plagíóklasdílótt basalt með glerrima. Sennilega bólstrabrot. Plagíóklasdílar eru 15 - 20 vol% og allt að 1 cm í þvermál. Brúnleitar útfellingar eru algengar í sprungum og á yfirborði. [2,1 - 2,2]

A4-91-79

63°11,9'N & 24°22,2'V; dýpi: 300 m. Alls yfir 25 kg.

Basalt. Valið úr á dekki.

Flokkar:

1: 25 kg (\approx 100%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með glerrima. Bólstrabrot og plötulaga steinar (Bólstraskurnir og -hillur). Brúnleitar útfellingar á yfirborði og í sprungum. [1,1 - 1,4]

A4-91-80

63°19,9'N & 24°10,1'V; dýpi: 196 m. Alls um 10 kg.

Basalt. Mikið af kúfskel, mest dauðri.

Flokkar:

1: 9 kg (≈90%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með glerrima. Sennilega bólstrabrot. Brúnleitar útfellingar í sprungum og á yfirborði. [1,1 - 1,2]

2: 1 kg (≈10%)

Hálfköntuð bergbrot. Dökkur vikur. [2,1 - 2,2]

A4-91-81

63°20,0'N & 24°06,1'V; dýpi: 142 m. Alls 0 kg.

Skeljar og ígulker.

A4-91-82

63°20,1'N & 24°05,0'V; dýpi: 132 m. Alls um 300 g.

Einn bergmoli (vikur) og skeljar.

Flokkar:

1: 300 g (≈100%)

Hálfkantaður bergmoli. Dökkur vikur. Ljósbrúnleit ummyndun við yfirborð. [1]

A4-91-83

63°18,6'N & 24°05,7'V; dýpi: 196 m. Alls um 30 kg.

Basalt, kórallar og lítið af leðju.

Flokkar:

1: 30 kg (≈100%)

Köntuð bergbrot. Blöðrótt basalt með glerrima og stöku plagióklasdílum. Sennilega bólstrabrot. Brúnleitar ummyndanir í sprungum og á yfirborði. [1,1 - 1,2]

A4-91-84

63°17,0'N & 24°09,8'V; dýpi: 227 m. Alls 0 kg.

Eingöngu skeljar.

A4-91-85

63°13,7'N & 24°10,9'V; dýpi: 214 m. Alls 0 kg.

Tómt.

A4-91-86

63°13,7'N & 24°11,9'V; dýpi: 185 m. Alls 0 kg.

Tómt.

VIÐAUKI II

Steindareikningar

Inngangur

Hlutar voru valdir úr sýnum af málmgrýtinu til þess að kanna steindasamsetningu þeirra. Ýmist voru valdar málmríkar æðar eða sýnishorn af seti eða bergi. Sýnin voru skoðuð í viðsjá (binocular), gerðar þunnsneiðar af nokkrum sýnum sem voru svo skoðuð í bergfraðismásjá, og einnig var gler í bergi og seti efnagreint með örgreini í nokkrum þunnsneiðum. Tafla II-1 sýnir efnasamsetningu glers í bergi og seti; greiningarnar gerði Karl Grönvold með örgreini Norrænu Eldfjalla-stöðvarinnar. Kristalbyggingin var könnuð með röntgenbrotgreiningu (XRD), og nokkur sýni voru skoðuð í rafeindasmásjá (SEM). Síðastnefnda aðferðin var bæði notuð til að kanna fínstrúktúr og greina efnahlutföll í stórum dráttum. Hér á eftir fer lýsing á hverju sýni, og kemur þar fram hvað aðferðum var beitt hverju sinni.

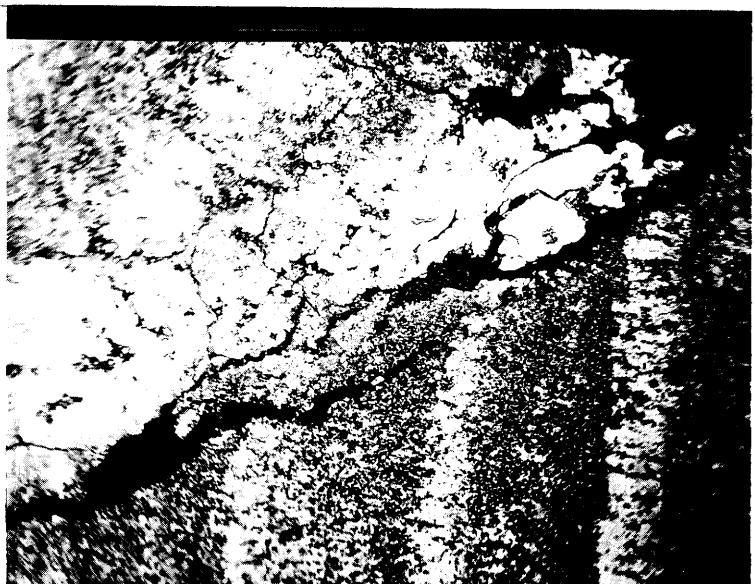
Lýsing sýna

Sýni 12240: Málsteindirnar

Manganoxföskorpa á ummynduðu bergi. Í viðsjá sést að skorpan er gerð af samþjöppuðum kúlum með málmgljáa í brotsári. Við röntgenathugun kom í ljós að þetta eru manganoxfölin birnessít, $(\text{Na,Ca,K})(\text{Mg,Mn})\text{Mn}_6\text{O}_{14} \times 5\text{H}_2\text{O}$, og í minna mæli todorokít, $(\text{Ca,K,Na})(\text{Mg,Mn,Zn})\text{Mn}_5\text{O}_{12} \times \text{H}_2\text{O}$. Einnig sást vottur af lagsiliskötum, sem verður rætt nánar um hér á eftir. Birnessít er talið oxaðra og vatnaðra form manganoxföla en todorokít, og ákveðið var að sannreyna þetta með tilraun við nokkur sýni. Sýni sem innihéldu mikið todorokít voru þurrkuð við 110°C yfir nótt, en þau sem innihéldu mikið birnessít voru sett í vatnsbað við pH 10, og látið standa í 12 klst. Við þessa meðhöndlun breyttist allt todorokítið í birnessít, sem staðfesti að birnessítið er oxaðra. Sérkennileg korn sem mynda hringi og línr reyndust vera kvarskorn. Tvö SEM-róf voru tekin af millimassa utan við og á milli kvarsílnanna sem áberandi eru í sneiðinni. Á milli línnanna greinist mun meira Ca en utan við þær, en súlfíð greinist ekki, svo líklega er kalsíum bundið í kalsíti (CaCO_3). Sennilega eru þetta fór eftir lífverur.

Sýni 13979: Berg með límonísti

Þetta er bergsýni, dökkgrátt eða svart á lit og blöðrótt. Yst er þunnt lag (1mm) af ryðkenndu efni, þá tekur við gler, en kristöllun eykst inn á við. Í þunnsneið sést að að bergið er 95 % gler og 5 % kristallar: plagióklas, olivín og ágít. Meginmassinn er gulbrúnt, tært gler, en ryðlita ysta brúnin er ógagnsæ vegna límonítmundunar.



Mynd II-1. Manganæð í seti. Ljósmynd tekin í SEM-rafeindasmásjá. Stækkun 16,4x.



Mynd II-2. Uppbygging manganæðar. Ljósmynd tekin í SEM-rafeindasmásjá.

Sýni 13983: Setið og afstaða málmútfellinganna

Þetta er set, ljós siltsteinn með málmi. Sýnið er ljósleitt yst en dekkra hið innra. Málmurinn er annars vegar í æðum, hins vegar dreifður um setið þar sem hann myndar þó sýnileg lög eða bönd. Í smásjá sést að setið er lagskipt og byggt upp af köntuðum og óreglulega lögum, ferskum glerkornum, og er það til marks um líttinn flutning. Í setinu eru misþykk bönd með málmi sem fyllir út í holrúm milli glerkorna. Sýninu var skipt í tvennt; A) Málmhruður utan á sýninu, sem við XRD greiningu reyndist aðeins innihalda to dorokft. B) Í dökku seti úr miðju handsýni fannst meira to dorokft en vottur af birnessíti. Myndir II-1 og II-2 sýna hvernig málmæðarnar liggja í lagskiptu setinu, og hvernig málmæðin er uppbyggð. Vatnsbaðað sýni innihélt einungis birnessít, sem staðfestir að það er oxaðra.

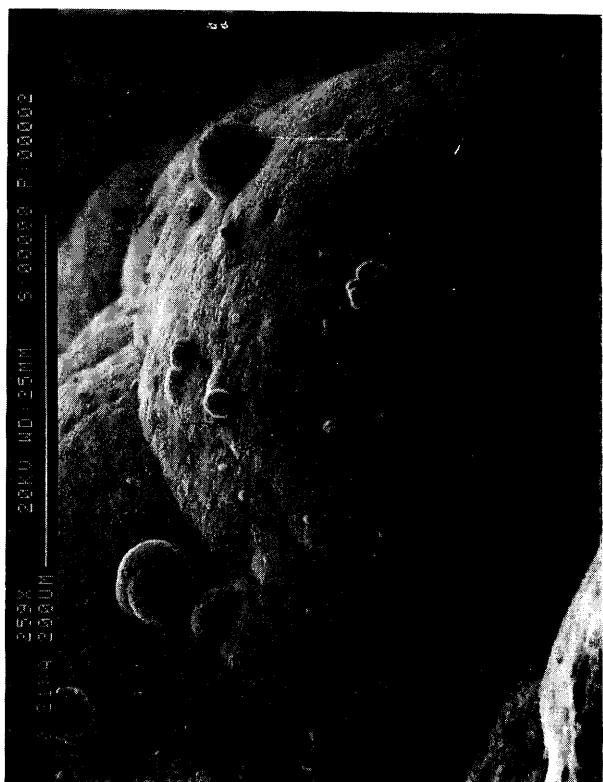
Sýni 13984: Set með málmæðum

Þetta er dökkgrænn siltsteinn með manganæðum, laus í sér, en án sýnilegrar veðrunarkápu. Berginu svipar mjög til ljósa siltsteinsins (13983), sem er gler að meginhluta með málmi í æðum og dreifðum um setið. Málmæðarnar eru áberandi, allt að 2 mm þykkar, og hríslast um setið, en lagskipting hins dreifða málms er ógreinileg. Brún rönd (oxun) í glerinu meðfram æðunum er minna áberandi en í sýni 13983. Málmur í grunnmassa er um 20% (auk æðanna), en kristallar í gleri um 1%. Þessu sýni var skipt í tvennt; A) Málmæð í morknu seti, sem við XRD-greiningu reyndist innihalda meira to dorokft en birnessít. Sýnið var skoðað í SEM og róf tekið af manganæð. Efnagreining var gerð af heildarsýni A og B hluta saman. B) Grönn málmæð sem í fannst einungis to dorokft. Í báðum sýnunum breyttist allt to dorokft í birnessít við þurrkun.

Sýni 13985: Bygging málmkúlnanna

Þetta sýni er dæmigert fyrir málmgrýtið sjálft. Því var skipt í tvennt: A) Manganoxfæðar á sandsteini. Í viðsjá sést vel hvernig stórar málmkúlur eru samsettar úr mörgum smáum. B) Ljóst efni sem lskist um mynduðum glermassa. Bæði sýnin voru keyrð í XRD. Í dökka sýninu greindist to dorokft og vottur af birnessíti, ásamt lagsilskati, en ljósa sýnið gaf ógreinilega toppa lagsilskata. Eftir hitun sýnis A í 110°C greindist aðeins birnessít. Sýni A var skoðað nákvæmlega í SEM. Mynd II-3 sýnir nokkrar ljósmyndir sem voru teknar í rafeindasmásjá við mismunandi stækku. Mynd II-3a sýnir hvernig mangankúlnar liggja í æðum. Mynd II-3b sýnir kúlurnar í meiri stækku (259 X), og sést hvernig smærri kúlur vaxa utan á hinum stærri. Mynd II-3c sýnir mikla stækku (915 X) á massanum utan við kúlurnar. Þar sjást tvær ólískar stríktúreiningar; í fyrsta lagi blaðлага einingar sem virðast safnast óreglulega saman í kúluform, og í öðru lagi þéttari samröðun sem gæti verið jármrkst lagsilskat. Á mynd II-3d sést meiri stækku (1880 X) á stóru kúlunum, og virðist byggingin þar fínlegri og fremur trefjalaga en blaðлага. Á mynd II-4a sést þáttbundin efnagreining af kúlunum. Efnið utan með er einnig manganútfelling, en bæði virðist bygging óreglulegi, og meira af kíslí og járni greinist þar (mynd II-4b).

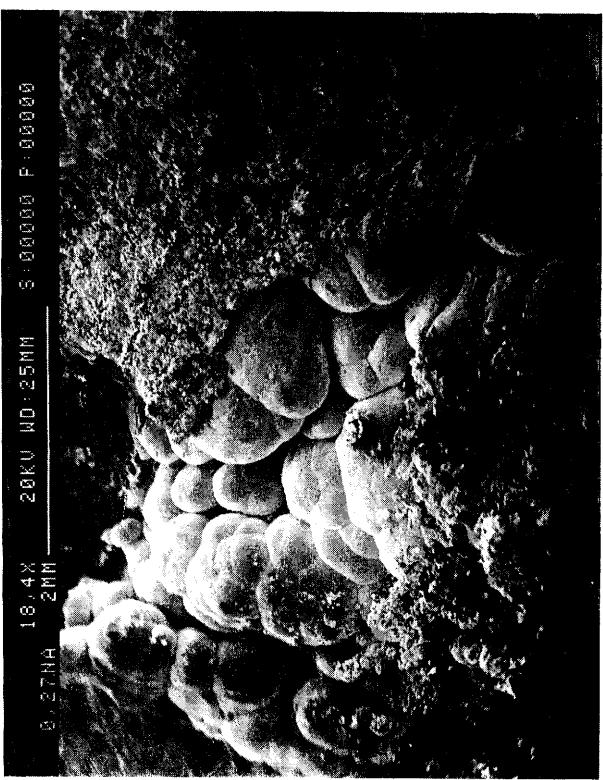
b.



d.



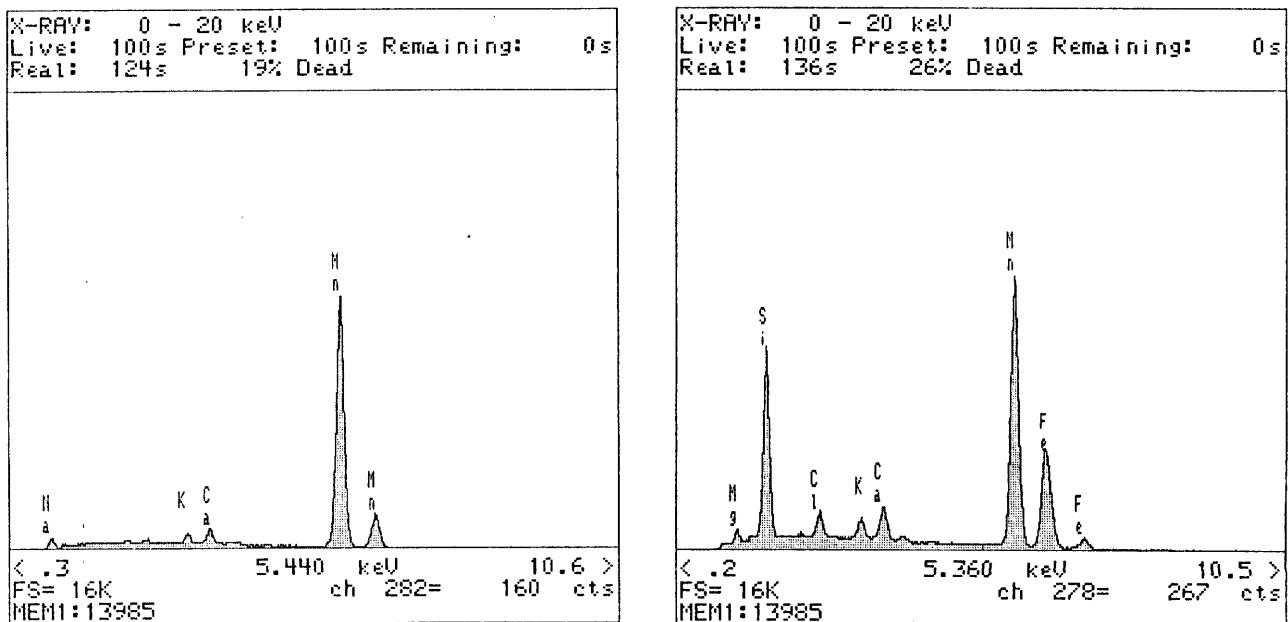
a.



c.



Mynd II-3a-d. Fínbygging mangankúlna. Ljósmyndir teknar í SEM-rafeindasmásjá. Stækkanir 18,4, 295, 915 og 1880 sinnum.



Mynd II-4. Efnagreiningaróf tekin í SEM-rafeindasmásjá. a) Efnasamsetning mangankúlna. b) Efnasamsetning á massa í kring um mangankúlur í sýni 13985.

Sýni 13986: Manganoxfðæðar á sandsteini.

Í víðsjá sjást vellagaðar málmkúlur. Þær greinast fyrst og fremst sem todomkít, en aðeins er vottur af birnessíti. Við hitun í 110°C yfir nött breyttist allt todomkítíð í birnesít.

Sýni 14008: Sandsteinn með málmi í holum

Þessu sýni var skipt í tvennt; A) Málmur úr holum, sem samkvæmt XRD var eingöngu birnessít. Þetta sýni var sett í vatnsbað og breyttist ekkert við það. B) Dökkur, lagskiptur sandsteinn sem reyndist nær myndlaus í XRD, en þó vottaði fyrir todomkítí og birnessít.

Sýni 14012: Grár sandsteinn

Siltsteinn án málmutfellinga, mosagrænn eða grár. Í setinu kemur fram óregluleg lagskipting sem stafar af misoxuðu gleri. Lagskipting þessi er fyrsta stigs (prímer), sem sést af því að í oxuðu lögunum eru einnig óoxuð korn. Oxun er mismikil, allt frá brúnum en gagnsæum kornum til svartra og ógagnsærra. Þetta sýni er heldur grófkornóttara en hin setsýnin, með um 3% smáðíla. Eins og í öðrum sýnum hafa glerkornin lögun eldfjallaðsku þ.e. þau sýna engin merki setflutnings. Við XRD-athugun reyndist sandsteinninn innihalda todomkít, en minna af birnessítí.

Sýni 14020: Grænleitur sandsteinn

Siltsteinn með litlu af málmutfellingum dreifðum í misgreinileg lög sem millimassi í setinu. Sýnið er grænþrúnt að lit. Auk málmlaganna, sem í eru allt að 40% málmur, kemur fram óregluleg lagskipting misoxaðs glers. Smásæir kristallar í glerinu eru um 2%. Sýnið var skoðað í SEM og

komu í ljós korn sem innihalda nær eingöngu kopar. Útlit kornanna og afstaða í berginu bendir til að þessi málmur sé aðfluttur, en ekki fallinn út á staðnum.

Sýni 14819: Dökkur, lagskiptur sandsteinn

Þessu sýni var skipt í tvennt og greint í XRD; A) Dökkur, lagskiptur sandsteinn sem reyndist myndlaus, en vottaði fyrir todoroksti og birnessíti. B) Móbrúnn sandsteinn milli dekkri laga er alveg myndlaus.

Sýni 14839: Oxað set

Sýnið er mjög oxað og hefur einkennandi rauðan lit í þunnsneið. Þetta er set, gert af sýnilegum glerkornum og siltkenndum, rauðum millimassa. Glerkornin í sneiðinni eru mjög blöðrótt og þær blöðrur eru oft tómar, hins vegar er mjög lítið holrými á milli glerkornanna því rauðleita siltið hefur fyllt nær alveg á milli. Einu staðirmir sem málmur sést tiltölulega hreinn er inni í blöðrum á glerkornum. Málmurinn hefur hér ekki safnast saman heldur er jafndreifður um setið. Kristallar, sem eru um 5 % eru pýroxen og plágfoklas. Þeir koma að mestu fyrir sem hópdíslar og vottar fyrir subófetískum textúr. Athugun á þessu sýni í SEM fólst einkum í því að skoða rauðleita millimassann. Það kemur í ljós að þarna er um að ræða mjög járnarskt gler, en oxun á því veldur rauða litnum. Við athugun á sneið úr sýni 14839 kom í ljós mismunur innan einstakra korna, og voru nálægt miðju þeirra oftar en ekki dekkri svæði. Pau voru oft mjög regluleg. Í miðju korna er minna af málmmum eins og járni og titán, en utar í kornunum. Ljósari hlutinn er því járn og titánrískari, auch þess sem hann er ál og magnesíumsnauðari.

Sýni 14859: Set með málmútfellingu og límoníthúð

Utan á sýninu er rauðleit húð, en í brotsári sést svart gler í ljósum millimassa. Þetta er sennilega set sem er að mestu byggt upp af gjósku, og eru glerkornin mjög fersk og óslípuð. Þegar sæmilega stórt sýni er skoðað í vís sjá, sjást skellur eða æðar af málmútfellingu. Í XRD komu fram toppar fyrir frumsteindir bergs, plágfoklas og pýroxen, en einnig ógreinilegur toppur sem gæti verið merki um lagsilfskat. Brúna húðin utan á sýninu er ókristólluð eða illa kristólluð, sennilega er það límonít. SEM greining sýnir að sýnið er Fe og Mn rískara en venjulegt berg. Saltkorn loða við sýnið.

Sýni 14874: Set með svartri húð

Þetta sýni líkist því á undan að öðru leyti en því að utan á þessu er svört húð sem virðist þéttari en bergið. Í XRD greinast toppar fyrir feldspat og halft, en helstu toppar eru einkennandi fyrir lagsilfsköt. Þetta sýni var ekki skoðað í SEM. Þess má geta að feldspatið er nær örugglega frumsteind bergsins, en halftið hefur fallið út úr sjónum.

Sýni 14885: Gler með málmi

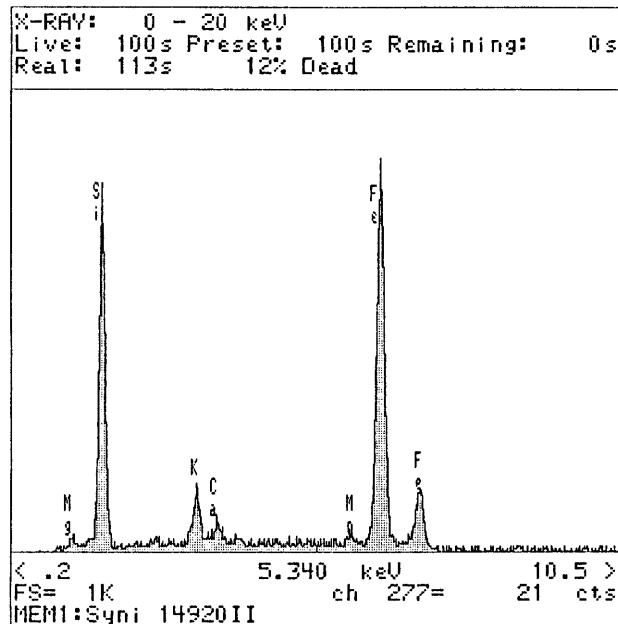
Sýnið er uppbyggt af gleri þar sem málmur og silt fylla upp í holrúm. Glerkornin eru mjög köntuð og blöðrótt og á einum hluta sneiðarinnar er millimassinn tiltölulega mikil oxaður. Fremur stórir díslar fylgja glerinu, bæði kristallar og bergbrot, það er hópdíslar með pýroxen og plágfoklasnálum, allt að 2 mm að lengd og loks stakir kvarsíkrístallar. Málmurinn kemur ekki fyrir eins hreinn og í sýni 14973, heldur er millimassinn ýmist snauðari og rískari af málmi og veldur breytileika í útliti millimassans. Einstaka glerkorn hefur fallið til oxað en mest ber á annars stigs (sekúnder) oxun.

Sýni 14920: Ummyndun, græn lagsiliköt

Þessu sýni var skipt í two hluta, sýni A og B.

Sýni A: Svartur massi byggður upp af örsmáum kílum. Utan á þessu eru ljósgular-ryðrauðar útfellingar. Helstu toppar sem greindust í XRD voru einkennandi fyrir mangansteindina todorokít. Einnig sáust toppar fyrir lagsiliköt. Í SEM sást að kúlurnar, sem reyndar voru ekki mjög afmarkaðar, eru mjög Mn-rískar, eða um 80 % MnO. (Hér skal tekið fram að efnagreining í SEM hefur um 10 % skekkjumörk, og líklega er óvissan meiri hér þar sem sýnin voru ekki unnin undir magnbundna efnagreiningu, og því ekki greint á sléttum fleti. Þá eru rokgjörn efni ekki greind, en summan jöfnuð í 100). Útfellingarnar kringum mangankúlurnar eru gerðar af járni, kíslí og salti.

Sýni B: Þessi hluti sýnisins er mjög óliskur hinum hlutanum sem þegar hefur verið lýst. Þetta er dökkgræn útfelling, mjög þétt og fínkorna. Í XRD fengust skýrir, en breiðir toppar sem einkenna lagsilfsköt. Hér er sennilega um að ræða járnarskt smektít sem hefur óvenjulega kristalbyggingu. Það gæti verið um að ræða blöndu eða blandsteind af nontroníti og glákoníti, sem eru þekktar leirsteindir við þessar aðstæður. Við athugun í SEM greinist langmest af kíslí og járni í sýninu (mynd II-5), en einnig greinist nokkuð af kalsíum, og vottur af kalsíum og magnesíum.



Mynd II-5. Efnasamsetning leirsteinda í sýni 14920. Róf tekið í SEM-rafeindasmásjá.

Sýni 14926: Lagsilskat

Þetta sýni er mjög líkt sýninu hér á undan, grænsvartur, fínlegur massi. XRD gefur svipaða toppa sem benda til lagsilskata úr flokki smektitsteinda. Sýnið var greint í SEM og efnasamsetning er mjög lík, en þó er hlutfall Fe heldur lægra en í sýni 14920 B.

Sýni 14948: Járnæðar og mangankúlur

Blásvartur þéttur massi með ryðrauðum æðum. Sjá má vott af kúlustrúktúr í svarta massanum. Sýnið var ekki athugað í XRD. Í SEM sáust örsmáar kúlur sem innihalda mikið MnO. (mynd 4b) Rauðleitar æðar eru járnrfskari.

Sýni 14972: Set, gler og málmur

Þetta er dökkt set sem samanstendur af glerkornum og kristöllum sem eru umlukin af málmrískum ógagnsæjum grunnmassa. Inn á milli glerkornanna má einnig sjá siltkorn og eru þau sem eru upp við glerkornin oxuð, sýna rauðleitan lit. Inn í blöðrum glerkornanna eru siltkorn og málmútfellingar og fáar eru tómar. Kristallarnir sem finnast eru pyroxen, plagioklas og kvars. Kvarskorn virðast vera rúnnaðri en önnur korn og bendir það til lengri flutnings, enda er engin framleiðala á kvarsi á Reykjaneshrygg.

Sýni 14973: Set, gler og málmur

Þetta sýni er að meginhluta myndað úr glerkornum og inn á milli þeirra má sjá silt- og málmkorn. Glerkornin eru að mestu leyti fersk en þó má sjá smávægilega oxun þar sem silt og málmur liggja við brúnir kornanna en þar hefur glerið hvarfast við málm og/eða silt. Glerkornin eru tiltölulega köntuð. Málmurinn kemur fyrir bæði sem smá korn og líka sem samvaxinn málmur sem fyllir upp í rúmið á milli glerkorna. Brúnleiti millimassinn sem telst vera silt gæti líka verið leirmyndun. Holrými á milli glerkorna er nokkuð mikið. Kvarskornin virðast frekar vera utan við glerkornin en aðrir kristallar virðast umlukir glerrima og vera hluti af glerinu og er kvarsið þá að öllum lík-indum aðflutt. Oxun kemur bæði fram sem fyrsta og annars stigs (þrímer og sekúnder). Fyrsta stigs oxun kemur fram sem rauðleit korn innan um önnur fersk korn, en síðari stigs oxun birtist í því að rimar flestra glerkorna eru oxaðir, eða ummyndaðir.

Sýni 14981: Ljósgrátt basalt með límonítummyndun

Sýnið er ljósgrátt basalt og mjög blöðrótt. Í smásjánni má sjá að glerið umhverfis kristallana er orðið ógagnsætt vegna ummyndunar sem er sennilega límonít. Kristallar eru pýroxen og plagioklas. Útslökknunarhorn albíttvísburunar á plagioklas bendir til þess að samsetningin sé An57. Blöðrur eru um 30%, kristallar um 20% og annað er ummyndað gler. Plagioklas og pýroxen mynda oftast hópdsla en finnast líka stakir.

Sýni 14986: Oxað gler

Svart glerkennt efni með ryðrauðri húð. Þetta líkist fyrstu sýnum, þ.e. virðist vera samhlímdur glersalli. Í XRD sjást fyrst og fremst frumsteindir bergs, plagioklas og pýroxen, en einnig veikir toppar fyrir lagsilskat. Sýnið var ekki greint í SEM.

Sýni 15006: Ferskt gler með málmi

Sýnið er að mestu grænleitt ferskt gler sem þó er oxað við brúnir korna. Þar eru siltkorn og málmkorn. Þau fylla þó ekki á milli glerkornanna því nokkuð holrými er á milli þeirra. Nokkuð mikið sést af skeldýraleifum í þunnsneiðinni og er siltið ekki sfður oxað í nágrenni kalsítgrinda dýranna. Kristallar sem finnast innan glerkornanna eru pýroxen og plagioklas, stundum sem hópdílar. Einnig sjást bergbrot. Málmurinn kemur fyrir sem lítil korn en ekki samfelld útfelling eins og oft hefur sést á milli glerkorna. Á nokkrum stöðum hefur hann þó safnast í stærri kúlur og myndar þannig málmrískan millimassa. Málmur er um 5%, kristallar og bergbrot um 10%, lífrænar leifar um 10%, holrúm um 30% og gler og silt um 45%. Gróflega séð er aðeins merki um annars stigs oxun í sneiðinni.

Sýni 15013: Málmæðar

Blásvart efni, samsett úr smáum kúlum með mjög þéttan innri strúktúr. Á milli eru ljósleitar æðar. XRD gefur toppa fyrir todorokít og birnessít í minna mæli, svo og halít og lagsilískat. SEM greinir kúlur með miklu Mn líkt og mörg önnur sýni, en þar sem efni er ljósara greinast brennisteinn og kalsíum sem helstu efni.

Sýni 13971, 13972, 13974, 13975: Ummyndun af jarðhitasvæði.

Þessi sýni eru ljósar skánir eða holufyllingar í bergsýnum sem voru tekin við Steinahól. Þau voru athuguð með XRD, bæði eins og útfellingar eru skoðaðar, en einnig meðhöndlaðar sem leirsýni. Útfellingarnar sem greindust í flestum sýnum voru halft, ópall og pyrit. Af leirsteindum greindist aðeins smektit í einu sýni; 13974. (Tafla II-2).

Tafla II-1. Efnagreiningar með örgreini. Karl Grönvold efnagreindi á örgreini Norrænu Eldfjallastöðvarinnar. Heildarjárn er reiknað sem FeO.

Sýni	13967	13977	14012	14012		
gerð	þóleiít, glerskán	þóleiít, gróf	setberg, glerkorn	setberg, fín glerkorn		
SiO ₂	49,8	50,4	49,9	50,0		
TiO ₂	1,56	1,48	1,67	1,73		
Al ₂ O ₃	13,5	13,9	13,7	14,0		
FeO	12,7	12,3	11,6	11,6		
MnO	0,20	0,17	0,18	0,21		
MgO	5,83	6,33	6,47	6,75		
CaO	11,4	11,8	12,2	12,3		
Na ₂ O	2,03	2,04	2,00	2,05		
K ₂ O	0,11	0,10	0,16	0,17		
P ₂ O ₅	0,15	0,10	0,14	0,14		
Summa	97,3	98,6	98,0	98,95		

Tafla II-2. XRD-greiningar á útfellingum á sýnum af jarðhitasvæðinu við Steinahól.
(Halstið hefur fallið út úr sjó við þurkun sýnanna.
Plagfóklas er frumsteind í basaltinu.)

Sýnanúmer	Útfelling, númer og lýsing	Greining
13971	461 Hvít skán á basalti	Halít, ópall, plagfóklas
13972	462 Rauðbrún fylling í holu	Halít, ópall
13972	463 Málmkennd korn í hvítleitum massa	Halít, plagfóklas, ópall
13972	464 Hvítgul fylling í stórrí holu í basalti	Halít, ópall, plagfóklas
13974	465 Grár leirkenndur massi	Halít, pyrit, leir
13974	466 Ljósgrátt fylliefni	Halít, pyrit, plagfóklas
13974	467 Grár massi milli glerkorna	Halít, ópall, pyrit, plagfóklas, leir
13975	468 Hvítar kristalþyrpingar í holum í basalti	Ópall

VIÐAUKI III

Efnagreiningar

Tafla III-1. Efnagreiningaaðilar og aðferðir.

Stofnun	Skamm-stöfun	Hvað greint	Aðferð ¹⁾
Háskóli Íslands	HÍ	Aðalefni og nokkur snefilefni í heildarsýni	Leyst í LiBO ₄ flúx, ICP
Orkustofnun	OS	Mn, Fe, Mg, Na, K og nokkur snefil efni í saltsýruleysnum hluta	Leyst í HCl, AAS
Caleb Brett, Chelmsford, Englandi	CB	Mn og nokkur snefilefni heildarsýni	Leyst í HF/H ₂ SO ₄ /HClO ₄ , AAS, ICP
Elkem research center, Kristianssand, Noregi	ERS	Aðalefni í heildarsýni	AAS, ICP

¹⁾ AAS: Atómísog, ICP: Spanglóð.

Í flestum tilvikum var tiltölulega stórt sýni (> 1 g) malað og blandað og hluti af því veginn og leystur. Í nokkrum tilvikum voru sértaekari sýni greind, sem hér segir:

1. Sýni nr. 13979₂ og 13979₃. Heildarsýnið samanstóð af tveimur köggllum og var hvor um sig mulinn. Hið síðartalda reyndist mun harðara og tormuldara en hitt.
2. Sýni nr. 13984₁ er úr málmað, en 13984₂ er dæmigert blandað sýni af sama heildarsýni.
3. Sýni nr. 14008₁ er málmfylling, en 14008₂, bæði tekin út úr staðra heildarsýni frá sama stað.
4. Sýni nr. 14012₁ er sandsteinn, en 14012₂ er dæmigert blandað sýni af sama heildarsýni.

Niðurstöður efnagreininga eru sýndar í þremur töflum. Tafla III-2 er fyrir gosberg, tafla III-3 er fyrir setberg sem kom í vörpu togara árið 1987, og einnig það sem safnað var í nóvember 1990, en tafla III-4 er fyrir setberg sem safnað var í apríl 1991.

Tafla III-2. Niðurstöður efnagreininga á gosbergi frá Reykjaneshrygg.
Nóvember 1990 og Apríl 1991.

Sýni Efnagreint af	13979 ₁ OS	13979 ₂ OS	13979 ₃ OS	13979 ₄ HÍ	13979 ₅ CB	14981 ₁ OS	14981 ₂ HÍ	14981 ₃ CB
SiO ₂ %				50.92			50.65	
TiO ₂ %				1.31			1.45	
Al ₂ O ₃ %				13.6			13.75	
FeO %				12.4			12.59	
FeO % (HCl leysanlegt)	3.7	13.3	2.7			4.3		
MnO %				0.22	0.22		0.20	0.25
MnO % (HCl leysanlegt)	0.07	0.20	0.06			0.03		
CaO %				11.80			11.41	
CaO % (HCl leysanlegt)	2.5	9.0	4.20			2.41		
MgO %				7.14			7.13	
MgO % (HCl leysanlegt)	1.3	5.6	5.53			1.24		
Na ₂ O %				2.14			2.33	
Na ₂ O % (HCl leysanlegt)	0.5	1.5	0.70			0.54		
K ₂ O %				0.16			0.14	
K ₂ O % (HCl leysanlegt)	0.01	0.8	0.04			0.02		
P ₂ O ₅				0.20			0.23	
Óleysanleg leif (HCl) %	86.2	63.0	77.4			80.2		
Summa %	94.3	93.4	90.6	100.0		88.7	100.0	
Ag ppm	0.1	0.8	2		<1	2		1
As ppm					<1			<1
Au ppb					8			2
Ba ppm				30			34	
Cd ppm	<0.1	<0.1	1			1		
Co ppm				58	58		53	54
Cr ppm	28	93	36	44		21	106	
Cu ppm	203	141	90	106		104	115	
Hg ppm					0.14			0.01
Mo ppm					<1			
Ni ppm	45	82	50	63		36	69	
Pb ppm	<10	<10			10			8
Sc ppm				45			45	
Sr ppm				82			89	
V ppm				369			340	
Y ppm				30			28	
Zn ppm	24	69	48	102	121	44	103	111
Zr ppm				70			71	

Tafla III-3. Niðurstöður efnagreininga á málmgryti frá Reykjaneshygg 1987 og nóvember 1990.

Sýn nr. Efnagreint af	12240, OS	12240, HF	12240, CB	13983, HF	13983, CB	13983, ERS	13984, HF	13984, OS	13985 OS	13986 HF	14008, HF	14012, HF	14012, CB	14015, OS	14015, CB	14020 CB
SiO ₂ %	39.29		4.41		29.1	10.22	31.87			28.50	44.02	38.17				
TiO ₂ %	1.42	0.18				0.25	0.81			0.95	1.16	1.07				
Al ₂ O ₃ %	10.94	2.21			8.9	2.65	7.02			7.63	9.83	9.01				
FeO %	12.96	0.97			9.0	5.51	10.91			8.88	14.18	11.48				
FeO % (HCl leyasanlegt)	0.5								2.1	0.4						
MnO %										33.33	12.64	23.21	16.0		12.0	0.22
MnO % (HCl leyasanlegt)	47.9									49.6	51.7					
CaO %	8.31				9.92		7.2	5.59	6.20	2.9	2.8	7.23	7.53	6.59		8.51
CaO % (HCl leyasanlegt)	5.1						7.45	5.7	8.23	5.40		8.32	6.59	6.37		
MgO %	8.56															
MgO % (HCl leyasanlegt)	2.4						10.75	2.8	6.60	2.98	1.1	0.9				5.97
Na ₂ O %	3.53															
Na ₂ O % (HCl leyasanlegt)	3.0															
K ₂ O %	0.79							1.04	0.94	1.75	1.32	4.0	4.6			2.21
K ₂ O % (HCl leyasanlegt)	1.4															0.47
P ₂ O ₅	0.53							0.23	0.17	0.31	0.18	0.6	0.5	0.21	0.20	
Cl %									1.1							
Oleyasanleg leif (HCl) %	1.0										4.9	3.5				51.8
Summa %	61.3	100.0		100.0				100.0	100.0	65.2	64.4	100.0	100.0	100.0	89.0	
Ag ppm	0.2		<1							0.2	0.1					
As ppm			23			5										
Au ppb			5		1773	10										
Ba ppm																
Cd ppm	9.7															
Co ppm	57	9	57		33	50	66	37		2.0	1.6	46	38	39		
Cr ppm	17	165	283				209	120	16	17	204	123	121			274
Cu ppm	7.7	99	98		200	84	65	4.8	5.8	84	81	95				115
Hg ppm			0.70		0.29											
Mo ppm			154		201											
Ni ppm	125	114	183		200	121	60	19	23	90	49	56				
Pb ppm	<10	26	18						<10	<10						
Sc ppm	31	4					5	18								
Sr ppm	574	861					1022	309								
V ppm	380	407					356	224								
Y ppm	26	14					15	16								
Zn ppm	106	33	85	32	122	100	53	60	18	<10	83	76	77	85	84	86
Zr ppm	83	0					0	45			49	74	68			

Tafla III-4. Niðurstöður efnagreininga á málmgryti frá Reykjanesþrygg April 1991¹⁾.

Sýn nr. Efnagreint af	14839, OS	14839, HF	14839, CB	14885, OS	14885, HF	14885, CB	14972, OS	14972, HF	14972, CB	14973, OS	14973, HF	14973, CB	15006, OS	15006, HF	15006, CB
SiO ₂ %	47.54			48.95			41.04			44.69			47.35		
TiO ₂ %	1.33			1.75			1.58			1.45			0.95		
Al ₂ O ₃ %	11.47			14.49			11.54			11.91			11.44		
FeO %	21.18			15.51			12.91			11.97			18.71		
FeO % (HCl leysanlegt)	19.41	0.59	0.57	11.72	0.43	0.33	8.26	12.49	19.8	8.64	10.14	8.2	14.20	1.60	1.45
MnO %															
MnO % (HCl leysanlegt)	1.45			0.62			21.14	8.44		11.69			9.22		
CaO %															
CaO % (HCl leysanlegt)	5.82			3.83			5.27			6.84			6.56		
MgO %															
MgO % (HCl leysanlegt)	5.57			5.85			7.77			6.45			6.12		
Na ₂ O %															
Na ₂ O % (HCl leysanlegt)	4.74			3.99			5.80			5.19			5.47		
Na ₂ O %															
Na ₂ O % (HCl leysanlegt)	3.27			2.98			3.00			3.08			2.29		
K ₂ O %															
K ₂ O % (HCl leysanlegt)	1.96			1.48			1.89			1.94			1.68		
P ₂ O ₅ %															
P ₂ O ₅ % (HCl leysanlegt)	0.68			1.14			0.59			0.68			1.85		
Öleysanleg leif (HCl) %	0.59	0.53		1.10	0.65		0.54			0.58			1.58		0.37
Öleysanleg leif (HCl) %	55.7			62.7			39.0			50.4			54.7		
Summa %	89.7	100.0		85.4	100.0		81.9	100.0		85.3	100.0		85.4	100.0	
Ag ppm	2		<1	5			2	16		4	4		3	7	2
As ppm			18				36			16			2		32
Au ppm			<1				<1			<1			<1		<1
Ba ppm				100		2				570					
Cd ppm	2						2			3					
Co ppm				55	58	61	55			58	34				
Cr ppm	152	132		88	127		100	140		148	118		197	171	34
Cu ppm	226	148		62	82		86	108		97	110		83	87	0.16
Hg ppm			0.08			0.11			0.12				0.16		3
Mo ppm			10			1				58			65		30
Ni ppm	100	73	9		93	89	10	94	89	8			92	95	162
Pb ppm															211
Sc ppm	32					37				33			31		8
Sr ppm	166					155				319			177		
V ppm	347					279				320			301		
Y ppm	29					31				25			25		17
Zn ppm	90	92	84		94	120	119	80	107	72	80		94	88	77
Zr ppm	85					139				88			103		73

Til skýringar skal á það bent að summur í töflunum eru ekki sambærilegar. Í ICP-mælingum HÍ eru þau efni, sem greind voru, reiknuð sem 100% og t.d. ekki tekið tillit til vatns og CO₂ sem vissulega eru fyrir hendi í setsýnum. Glæðitap var mælt í 15 sýnum, og reyndist vera 9% í setsýni en ekkert í bergsýnum. Því má ætla að styrkur hinna ýmsu efna í setsýnum sé tæplega 10% hærri en fram kemur í töflunum, en hins vegar sé mældur styrkur í bergsýnum réttur, svo sem greinilega kemur fram af samanburði þeirra efna sem greind voru af bæði HÍ og CB í töflu III-2. Peir málmar, sem hér er leitað eftir, leysast yfirleitt algerlega í saltsýru úr útfellingum, en eru torleystir úr gosbergi. Hugmyndin bak við ákvörðun saltsýruleysins hluta er því sú, að reyna að nálgast styrk þeirra í útfellingahluta blandaðra sýna. Því má búast við tiltölulega litlum styrk í saltsýruleysnum hluta, þar sem hlutur gosbergs er stórv.

Þegar bornar eru saman niðurstöður efnagreininganna, og höfð er hliðsjón af skekkjumörkum aðferðanna, verður að ætla að sýnin hafi ekki verið einsleit. Minna kemur fram af öllum efnum, nema mangani, í saltsýruleysnum hluta sýnanna en í heildarsýni. Snejfilefnastyrk ber yfirleitt vel saman, þótt fenginn sé með mismunandi aðferðum, sérstaklega ef tekið er tillit til hugsanlegrar misleitni sýna. Þó mælist silfur allmiklu hærra í nokkrum sýnum hjá OS en hjá CB. Ekki er vitað hvað veldur og reyndar eru niðurstöður OS ekki í öllum tilvikum hærri og því ekki um kerfisbundna skekkju að ræða. Misleitni og/eða mengun eru þó lísklegustu skekkjuvaldarnir.