

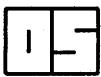


ORKUSTOFNUN
Vatnsorkudeild

Þórólfur H. Hafstað
Svanur Pálsson
Árný Erla Sveinbjörnsdóttir

TÍTANSTEINDIR Í SJÁVARSANDI
Rannsóknir á sýnum af grunnsævi
úti fyrir Suðausturlandi

OS-92026/VOD-04
Reykjavík, september 1992



ORKUSTOFNUN
Grensásvegi 9, 108 Reykjavík

Verknr. 540810

**Pórólfur H. Hafstað
Svanur Pálsson
Árný Erla Sveinbjörnsdóttir**

TÍTANSTEINDIR Í SJÁVAR SANDI

**Rannsóknir á sýnum af grunnsævi
úti fyrir Suðausturlandi**

OS-92026/VOD-04

Reykjavík, september 1992

ISBN 9979-827-12-2

FORMÁLI

Á umliðnum árum hefur nokkrum sinnum verið hugað að magni og gæðum titánríkra steinda, sem fyrir finnast hérlandis. Helst hefur verið talið, að um hagkvæma vinnslu gæti orðið að ræða í gabbrói, sem hefur troðið sér inn í jarðlagastaflann á nokkrum stöðum, og ekki síður í strandsandi, þar sem náttúran sjálf hefur mulið bergið og þannig í raun tekið að sér fyrsta þrep vinnslunnar.

Sú síðbúna skýrsla, sem hér birtist, er um rannsóknir á sýnum, sem flest voru tekin á grunnsævi úti fyrir Suðausturlandi árið 1985. Rannsóknarsvæðið er undan fjörum milli Berufjarðar og Hornafjarðar, og voru sýnin tekin af sjávarbotninum frá fjöruborði og allt út á um 30 m dýpi. Rannsókn þessi er framhald á rannsóknum, sem gerðar voru á Orkustofnun og Iðnþróunarstofnun á áttunda áratugnum og beindust að titani í föstu bergi, og rannsóknum kanadískra fyrirtækisins QIT - Fer et Titane Inc. á titani í strandsandi á Suðausturlandi árið 1983.

Ástæða þótti til að ætla, að sandur á fjörum og á grunnsævi suðaustanlands væri auðugri af titani en gengur og gerist vegna gabbróinniskotanna í fjöllunum umhverfis Lón. Þá var og ætlunin að ganga úr skugga um hvort einhver auðgun ætti sér stað vegna bylgjuhreyfinga og strauma. Þessi rannsókn leiðir hins vegar í ljós, að lítt munur virðist vera á bergsamsetningu sands af rannsóknarsvæðinu og öðrum grunnsævissandi og ekki verður nema að óverulegu leyti vart við sorteringu eftir svæðum og dýpi.

Í framhaldi af þessari niðurstöðu voru gerðar tilraunir til að skilja titánríkar steindir frá öðrum bergbrotum. Bæði var reyndur segul- og þyngdaraðskilnaður, en með heldur slökum árangri. Ástæðan liggur fyrst og fremst í því hve titánsteindirnar eru smáar og dreifðar. Einstök sandkorn samanstanda af margs konar steindum og bergbrotum og gerir það aðskilnað árangurslíttin. Þessi niðurstaða er í samræmi við fyrri athuganir og þrátt fyrir, að í völdum sýnum hafi tekist að ná fram umtalsverðri auðgun, er ljóst, að vinnsla á titánrikum steindum úr sjávarsandi við Íslandsstrendur hlýtur að vera verulegum vandkvæðum bundin. Á hinn bógin er ljóst, að hráefnið er feykimikið.

Reykjavík, 27. september 1992

Haukur Tómasson
Haukur Tómasson

EFNISYFIRLIT

FORMÁLI	2
1. INNGANGUR	5
2. FYRRI RANNSÓKNIR	8
3. HELSTU NIÐURSTÖÐUR	9
4. SÝNATAKA	11
5. KORNASTÆRÐARGREINING	14
6. MÆLING Á EÐLISMASSA	19
7. FLOKKUN OG AÐGREINING SÝNA	22
7.1 Steindir í íslensku bergi	22
7.2 Málmoxíð	22
7.3 Bergflokknun	24
7.4 Samanburður við svifaurnar	24
7.5 Flokkun á botnefni	26
7.6 Aðgreining í segulskilju	28
7.7 Aðskilnaður í eðlisþungum vökva	30
7.8 Smásjárgreining á málmoxiðum	32
7.9 Smásjárgreining á ilmeníti	38
8. EFNASAMSETNING MÁLMOXÍÐA	42
9. HEIMILDIR	46
ENGLISH SUMMARY	47

M Y N D A S K R Á

1. Sýnatökustaðir; nyrðri hluti	12
2. Sýnatökustaðir; syðri hluti	13
3. Kornastærðardreifing. Sýni á línu frá landi sunnan við Vigur	15
4. Kornastærðardreifing. Sýni á línu frá landi norðan við Vigur	15
5. Kornastærðardreifing. Sýni á línu frá landi í sunnanverðri Hrómundarbót	15
6. Kornastærðardreifing. Sýni tekin í fjörum	15
7. Hundraðshluti mismunandi kornastærða eftir dýpi	16
8. Meðalkornstærð eftir dýpi	17
9. Eðlismassi sýna á tveimur línum út frá ströndinni	17
10. Eðlismassi mismunandi kornastærða eftir dýpi	18
11. Málmsteindakerfið $\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ við 1200°C	23
12. Flokkun á botnefni og svifaур	25
13. Flokkun á botnefni	26
14. Hundraðshlutar fjögurra bergflokkja í botnefni	27
15. Flokkun eftir segulaðskilnað	29
16. Flokkun eftir þyngdaraðskilnað	30
17. Flokkun eftir segul- og þyngdaraðskilnað	31
18. Hundraðshluti málmoxíða eftir dýpi	34

T Ö F L U S K R Á

1. Eðlismassi botnsýna út af Suðausturlandi	20
2. Eðlismassi sýna úr fjörum á Suðausturlandi	21
3. Eðlismassi botnsýna af um 20 m dýpi út af Miðsuðurlandi	21
4. Eðlismassi eftir segulaðskilnað	28
5. Málmoxíð í ómeðhöndluluðum sýnum	33
6. Málmoxíð, auðgun við segulaðskilnað	35
7. Málmoxíð, auðgun við þyngdaraðskilnað	36
8. Þyngdaraðskilnaður á segulmögnuðu efni	37
9. Hlutfall ilmeníts í málmoxíðum	39
10. Ilmenít í þyngri hluta nokkurra sýna	40
11. Ilmenít í segulmagnaðri hluta tveggja úrvalssýna	40
12. Efnagreiningar á einstökum punktum málmsteinda í völdum sýnum	43
13. Heildarefnagreiningar	44
14. Titan í vinnanlegu ástandi	45

1. INNGANGUR

Kveikjan að þeim rannsóknum, sem hér verður lýst, var athugun kanadískra fyrirtækisins QIT-Fer & Titane á sandsýnum, sem tekin voru á fjörum milli Hamarsfjarðar og Hornafjarðar árið 1983, með tilliti til málmaðgi. Raunar teygir forsagan sig lengra aftur í tímann, því að langt er síðan mönnum varð ljóst, að málmríkra steinda er að vænta í tengslum við innskotsberg, sem áberandi er á þessum slóðum. Orkustofnun hafði rannsakað titansteindir í föstu bergi um 1980 (Björn Gunnarsson og Freysteinn Sigurðsson 1982), en kanadískra rannsóknin beindist að því, að kanna hvort einhver steindaaðskilnaður hefði átt sér stað í fjörusandinum, sem brotinn er af bergi landsins. Þar sem vart hafði orðið við lítil háttar aukningu í titáninnihaldi í þremur sýnum næst fjöruborðinu, þótti ástæða til að kanna sandinn lengra til hafs. Orkustofnun réðst í að safna sýnum af grunnsævi úti fyrir ströndinni vorið 1985, og fjallar skýrslan um rannsókn á þeim.

Rannsóknasvæðið teygir sig sunnan frá Hornafirði allt norður undir Djúpavog. Það einkennist helst af tveimur miklum flóum; Lónsbug og Hrómundarbót. Fyrir botni þeirra eru víðfeðmar sandfjörur, sem girða af Lón, Álfatfjörð og Hamarsfjörð. Jökulsá í Lóni er mesta vatnsfallið, sem hér fellur til sjávar og með henni, sem og öðrum ám, berst bergmylsna, sem sest á sjávarbotn eða velkist upp á fjörur eftir atvikum. Fáein sýni, sem hér er um fjallað, voru tekin á fjörum, en langflest á tveggja til tuttugu metra dýpi úti fyrir þeim.

Bergmylsnan eða aurinn, sem árnar skila til sjávar, samanstendur af mörgum steindum. Sumar þeirra innihalda málma eða önnur efni, sem eru í miklum metum, en obbinn af þeim er mönnum lítil virði. Þannig freistaði málsteindin **ilmenít** manna til þessarar rannsóknar, enda auðug af titani. Eins og fram kemur, reyndist torvelt að einangra hana svo vel fær, enda er meiri hluti titansins bundinn verðlitum steindum, sem nær ógerlegt er að einangra.

Hér neðst á síðunni er yfirlit yfir greiningarnar. Oftast voru greiningar gerðar á tveimur algengustu kornastærðarflokkum í hverju sýni.

Rannsóknabáttur og sýnafjöldi

Fjöldi greininga

Sýnataka: 133 sýni	111 af sjávarbotni og 22 úr fjörum	
Kornastærðargreining: 133 sýni	85% efnis í þremur aðalkornastærðarflokum	133
Eðlismassamæling: 48 sýni	3 - 4 kornastærðarflokkar í hverju	176
	Eftir segulaðskilnað: 5 sýni	26
	Bergflokkun: 15 sýni, 2 kornastærðarflokkar í hverju	30
	Eftir segulaðskilnað: 4 sýni	8
	Eftir þyngdaraðskilnað: 5 sýni	10
	Eftir segul- og þyngdaraðskilnað: 2 sýni	4
	Smásjárgreining á málmoxiðum: 13 sýni	28
	Eftir segulaðskilnað: 4 sýni	9
	Eftir þyngdaraðskilnað: 5 sýni	10
	Eftir segul- og þyngdaraðskilnað: 2 sýni	4
	Smásjárgreining á ilmeníti: 13 sýni	19
	Eftir segulaðskilnað: 4 sýni	4
	Eftir þyngdaraðskilnað: 5 sýni	5
	Eftir segul- og þyngdaraðskilnað: 2 sýni	4
	Heildarefnagreiningar: 10 sýni	10
	Efnagreiningar í einstökum punktum málmsteinda: 3 sýni	37

Steindirnar hafa misjafna eðliseiginleika; meðal annars er eðlismassi þeirra mismikill. Þetta veldur því, að búast má við, að steindir með misjafnan eðlismassa berist mislangt burt frá ár-ósum; þannig að það verði nokkurs konar náttúruleg auðgun hvað varðar einstaka steindir. Aðskilnaðurinn verður í öldurótinu undan fjörunum. Þungu kornin eru tregari í flutningi, þannig að stærð og eðlismassi **geta** valdið söfnun, þar sem ákveðin ölduorka er ríkjandi. Þessari rannsókn var ætlað að ganga úr skugga um það, hvort og þá hvar, slík auðgun hefði átt sér stað.

Í megindráttum má segja, að eftirtaldir rannsóknaþættir hafi spunnist saman í þessu verki.

Sýnataka. Rannsóknasvæðið er víðáttumikið, fyrir opnu hafi og víða eru sker og grynnningar, sem sum eru ekki merkt á sjókort. Því var ekki hægt að ná sýnum af sjávarbotni nema í besta veðri. Leitast var við að ná botnsýnum sem víðast, allt frá fjöruborði út á 20 - 30 m dýpi. Alls voru 111 sandsýni tekin af sjávarbotni og 22 á fjörum og leirum til samanburðar, **alls 133 sýni**. Að því loknu voru þau flutt til rannsókna í húsnæði Orkustofnunar í Reykjavík (kafli 4).

Eftir því, sem leið á rannsóknaferlið, fækkaði þeim sýnum, sem athuguð voru á hverju stigi, enda mátti ætla, að línum skýrðust, svo að óparfi væri að beita tímafrekum athugunum á öll sýnin. Rétt er að leggja áherslu á það, að val sýna til rannsókna hverju sinni var ekki hlutlaust; að jafnaði voru valin þau sýni, sem þóttu öðrum líklegrir til að geta verið málmaðug.

Kornastærðargreining. Öll sýnin voru tekin til kornastærðargreiningar, **alls 133 sýni**. Kornastærðargreiningin er í reynd fyrsta auðgun efnisins með tilliti til titánríkra steinda, því kornastærð og sortering skipta verulegu máli í þeim auðgunartilraunum, sem á eftir fóru (kafli 5).

Eðlismassamæling. Að kornastærðarflokken lokinni voru valin **alls 48 sýni**, bæði úr sjó og af landi til frekari meðhöndlunar. Mældur var eðlismassi þriggja algengustu kornastærðarflokksanna; 0,18 - 0,25 mm, 0,125 - 0,18 mm og 0,09 - 0,125 mm. Í flestum tilfellum fóru um og yfir 90% efnis sýnanna í þessa þrjá flokka. Mælingar þessar voru gerðar til að komast að því hvort og þá hvar væri að finna efni með tiltölulega háum eðlismassa. Hár eðlismassi getur stafað af því, að mikil sé um titánríkar steindir í sandinum, þó að önnur efni eigi oft þátt í háum eðlismassa (kafli 6).

Bergflokkun. Gerðar voru þunnsneiðar af **alls 15** þeirra sýna, sem eðlisþyngdarmæld höfðu verið, aðallega af kornastærðinni 0,125 - 0,18 mm og 0,09 - 0,125 mm. Þessi rannsókn var gerð til að fá hugmynd um bergsamsetningu efnisins, svo að hægt væri að bera hana saman við annað efni, sem flokkað hefur verið á sama hátt. Bergsamsetning sandsins var svo borin saman við bergflokkja svifaurs, sem nokkrar helstu jökulár austan- og suðaustanlands bera fram (kaflar 7.3 - 7.5).

Segulaðskilnaður. Valin voru **alls 4 sýni** af mismunandi grófleika og reynt að skilja frá málrmíkar steindir í segulskilju. Þetta reyndist tölverðum erfíðoleikum bundið, vegna þess hve segulmagnað efnið er, svo að nota varð mjög veikt segulsvið til að ná fram aðskilnaði. Skásti árangurinn fékkst í fínkornóttu og vel sort eruðu efni. Árangur tilraunarnar var mældur sem eðlismassabreyting og einnig voru greindir bergflokkar bæði í meira og minna segulmagnaða efninu. Gerðar voru 26 mælingar á eðlismassa og 21 bergflokkun í smásjá í tengslum við þennan rannsóknaþátt (kafli 7.6).

Þyngdaraðskilnaður. Þá var notaður þungur vöki til þess að reyna að skilja að þungar steindir og léttar. Þessari aðgerð var beitt á **alls 5 sýni**. Aðeins líttill hluti efnisins reyndist þyngri en vökvinn og leiddi bergflokkagreining í ljós, að þar var aðeins að mjög litlum hluta um málsteindir að ræða, heldur reyndist aðalbergflokkurinn vera pýroxen (kafli 7.7).

Segul- og þyngdaraðskilnaður. Þegar hér var komið sögu, var ljóst, að einstakar steindir væru meira og minna samvaxnar, en það torveldar mjög allan aðskilnað. Þó voru að endingu

tvö sýni tekin til meðferðar bæði í segulskilju og þungum vökva. Í segulmagnaðri og þyngri hlutann félle rétt riflega 2% af heildarsýninu og reyndist uppistaðan í því vera basaltbrot. Þessar auðgunartilraunir skiliðu því áfsflegra litlum árangri (kaflar 7.6 og 7.7).

Smásjárgreining á málmoxiðum. Títan finnst í málmoxiðum; að mestu magnetíti og ilmeníti. Málmoxiðin eru ógegnsæ í gegnumfallandi ljósi og var því notað áfallandi ljós við greiningu á þeim. Skoðun í áfallandi ljósi beindist í fyrstu að því að kanna hver heildarhlutur málmoxiða væri í sýnum og athyglinni beint að tveimur kornastærðarflokkum í **13 sýnum, alls rúmlega 50 greiningar**. Um helmingur greininganna var á sýnum, sem reynt hafði verið að auðga með tilliti til málmoxiða (kafla 7.8).

Smásjárgreining á ilmeníti. Ilmenít er það efni, sem aðallega er verið að sækjast eftir, þegar leitað er að titánsteindum, þó að titán sé einnig í magnetíti í mismiklum mæli. Notað var áfallandi ljós, eins og við greiningu á málmoxiðum, og valin sömu sýni og sömu þunnsneiðar. Alls voru gerðar rúmlega **30 ilmenítgreiningar**, sumar eftir auðgunartilraunir, (kafla 7.9).

Efnasamsetning málmoxiða. Gerðar voru efnagreiningar í einstökum punktum nokkurra málmoxiðkristalla í þremur sýnum með það fyrir augum að meta titáninnihald þeirra. Hér var fyrst og fremst um ilmenít og titánomagnetít að ræða, **alls 37 greiningar** (kafla 8), og voru greiningarnar gerðar á örgreini Norrænu eldfjallastöðvarinnar.

Heildarefnagreiningar. Gerðar voru heildarefnagreiningar á 10 ósigtuðum sýnum, sem flest höfðu verið tekin á grynnungum næst landi og af um 20 m dýpi, en á þeim stöðum hefur sandurinn hvað hæstan eðlismassa.

2. FYRRI RANNSÓKNIR

Á undanförnum árum hefur verið hugað að hugsanlegri vinnslu á ilmeníti og titánríku magnetíti, sem er í tengslum við innskotsberg í Hornafirði og reyndar víðar (Friðrik Daniélsson o.fl. 1978). Þetta eru gabbróinnskot og þótti að vonum sennilegt, að vegna rofs þeirra mundi efni frá þeim skila sér sem sandur á fjörum og á hafslotni úti fyrir ströndinni. Þetta hafa fyrri athugendur haft að leiðarljósi, er þeir beindu sjónum að sandi á fjörum suðaustanlands, en þær hafa nokkrar athuganir verið gerðar á hugsanlegri málvinnslu úr svörtum fjörusandinum, einkum þó titans og járns (Halldór Kjartansson 1985).

Fyrst ber að nefna rannsókn, sem Svíar stóðu að, á sandi úr Hornafirði árið 1953, en ekki gáfu niðurstöður hennar ástæðu til bjartsýni (Sjölund 1953).

Þá kannaði S. Jancovic svartan sand fyrir botni Öxarfjarðar og Héraðsflóa, í Lóni, Hornafirði og við Vlk í Mýrdal. Hann komst að þeirri niðurstöðu, að innihald titanoxiðs í íslenskum sandi sé lágt og að titánríkar steindir séu undantekningarálaust samvaxnar gleri, bæði í móðurberginu og sandinum. Þetta valdi því, að illmögulegt sé að auðga hann á hagkvæman hátt (Jankovic 1970).

Titánríkar steindir voru svo kannaðar og kortlagðar í gabbróinnskotunum í Hornafirði (Björn Gunnarsson & Freysteinn Sigurðsson 1982). Steindirnar reyndust yfirleitt vera mjög samgrónar og gaf það ekki ástæðu til bjartsýni, að hægt yrði að mala fast berg og aðskilja steindirnar, heldur yrði að beita orkufrekari aðferðum, sem vísast væru óhagkvæmar.

Síðust en ekki síst er rannsókn Kanadamanna á nokkrum sýnum, sem tekin voru við Hornafjörð og Álfafjörð 1983. Niðurstöður þeirra voru mjög á sömu lund og fyrri athugenda og varð því ekki af frekari rannsóknum af þeirra hálfu (Cossette 1983).

Segja má að helstu niðurstöður þessara fyrri athugana séu eftirfarandi:

- Efnagreiningar á sandsýnum leiða í ljós, að titanoxið (TiO_2) er að jafnaði á bilinu 2 - 3%. Titanoxið í ilmeníti er um 47%, en mun lægra í magnetíti, um 16%.
- Titan finnst í mörgum steindum, en langmest er af því í ilmeníti og magnetíti. Að jafnaði eru hlutföll þessara steinda þannig, að fjörum sinnum meira er af magnetíti.
- Erfitt er að skilja málsteindir frá öðrum steindum í sandinum og ekki næst nema brot af því TiO_2 -magni, sem er í hráefninu.
- Eðlisþyngdaraðgreining í þungum vökvum er örðug vegna eðlisþungra steinda, annarra en málsteinda. Einnig eru málsteindir samvaxnar léttum steindum og gleri.
- Segulaðgreining er erfið af sömu sökum og einnig vegna þess hve segulmagnað efnið er í heild og steindir samvaxnar. Titánríkasta steindin, ilmenít, er lítið segulmögnud. Ólíklegt er talið, að unnt sé að mala hráefnið svo vel, að möguleikar á aðskilnaði aukist við það.

Allar eru þessar niðurstöður í samræmi við þær rannsóknaniðurstöður, sem fram koma í skýrslu þeirri, sem hér birtist.

3. HELSTU NIÐURSTÖÐUR

- **Kornastærð.** Yfirleitt reyndust sýnin vera nokkuð vel sorteruð, en sorteringin er lökust næst landi og út af árósum sem vonlegt er. Mestur hluti efnisins var af kornastærðinni 0,1 - 0,2 mm, en kornastærð fer minnkandi með dýpi, einkum verður meira af sínu efni, þegar kemur út á meira en u.p.b. 10 m dýpi.
- **Eðlismassi titanríks efnis** er hærri en meðaleðlismassi sands, þannig að hár eðlismassi gæti gefið vísbendingu um hvor eða hvort slíkt efni væri að finna. Á rannsóknasvæðinu var *eðlismassi einna hæstur í sýnum, sem tekin voru næst ströndinni og einnig af um 20 m dýpi*, en hann virðist þó almennt fara lækkandi með dýpi. Hann var hæstur í efni af kornastærð um 0,1 mm. Í nokkrum sýnum frá 3 - 7 m dýpi, næst ströndinni, mældist verulega hærri eðlismassi í kornastærðarfloknum 0,9 - 0,125 mm en í efni af meira dýpi. Nauðsynlegt er að leggja áherslu á það, að öll sýni af þessum kornastærðarflokki, sem hafa hærri eðlismassa en 3,01, eru mjög lístilhluti heildarsýnisins, aðeins 1-5%, flest aðeins 1-3%. Eðlisþunga efnid er þannig mjög óverulegur hluti heildarefnisins og kæmi vart til með að skipta máli við vinnslu í stórum stfl.
- **Eðlismassi sýna af um 20 m dýpi** reyndist svipaður eðlismassa sýna af sama dýpi út af Miðsuðurlandi. Það bendir til þess, að sjávarsandurinn á rannsóknasvæðinu skeri sig ekkert úr hvað eðlismassa áhrærir, þrátt fyrir nokkuð sérstæðar jarðfræðilegar aðstæður í nágrenni þess.
- **Bergfræði.** Hlutföll bergflokkar í hafbotnsefninu og í svifaur af svipaðri kornastærð í Jökulsá í Lóni, eru gjörólk. Hlutföll bergflokkar í Jökulsá í Lóni eru sérstæð miðað við flestar íslenskar jökulár, en þau sérkenni koma engan veginn fram í hafbotnsefninu. Hátt hlutfall basíks glers í hafbotnsefninu og nánast alger vontun á súru gleri og líparsti, sem mikil ber á í aurburði Jökulsár í Lóni, vekur grun um, að botnefni berist í riskara mæli meðfram ströndinni en búast hefði mátt við að óathuguðu máli. Af því má draga þá ályktun, að hafbotnsefni á rannsóknasvæðinu endurspegli alls ekki samsetningu bergsins í fjöllunum á Suðausturlandi, a.m.k. ekki þess bergs, sem Jökulsá er að brjóta og bera til sjávar. Hár eðlismassi virðist langoftast stafa af pýroxeni, þó að málmoxfð eigi þar einhvern hlut að máli málmoxfð, sem að mestu eru magnetít og ilmenít, finnast sem mjög smáar steindir og oftast sem hlutar af stærra korni, en það er alþekkt í íslensku basalti og torveldar mjög alla auðgum á efni með tilliti til málmsteinda. Málmoxfð greindust oftast á bilinu 2 - 7% af sýni í kornastærðarfloknum 0,09 - 0,125. Tvö sýni frá grynnungum næst landi skáru sig mjög úr; þar greindust málmoxfðin um 40% og 20%, en í báðum tilfellum var þessi kornastærðarflokkur innan við 2% heildarsýnis. Sýni þessi höfðu verið tekin til bergflokkunar vegna þess að eðlismassi þeirra hafði mælst afbrigðilega hár. Í kornastærðarfloknum 0,125 - 0,18 mm greindust málmoxfð yfirleitt á bilinu 1 - 5%. Sýni frá um 20 m dýpi út af Sólheimasandi reyndust álfka auðug af málmoxfðum, en málmsteindirnar voru þar þó enn smærri og dreifðari en í sýnum um rannsóknasvæðinu.
- **Aðgreining málmoxiða.** Með aðgreiningu í segulskilju tókst að auka málmoxfðhlutfallið upp í 20 - 38% efnis í kornastærðarfloknum 0,09 - 0,125 mm, en í 16 - 23% í efni af kornastærðinni 0,125 - 0,18 mm. Málmoxfðin í auðgaða hlutanum svara til um 2 - 3% af öllu efni í finni kornastærðarfloknum, en til 0,5 - 1,4% í grófari floknum. Í finni floknum skiliðu um 35 - 80% málmoxfðanna í upphaflega efninu sér í auðgaða hlutann, en í grófari floknum aðeins um 10 - 20%.

Við aðgreiningu á efni af kornastærðinni $<0,25$ mm í vökva með eðlismassa 3,31 tókst að auðga málmoxfðhlutfallið í um 20 - 30% efnis. Þar svara málmoxfðin í auðgaða hlutanum aðeins til 0,1 - 1,5% af heildarefni sýnis.

Ef báðum aðgreiningaraðferðunum var beitt, tókst að auka málmoxfs hlutfallið í 49 - 64% efnis í þeim tveimur sýnum, sem álitlegust þóttu, en þar svara málmoxfsin í auðgaða hlutanum til 1,1 - 1,8% af heildarefnin sýnis. Sýni í aðgreiningartilraunirnar voru valin meðal annars með tilliti til eðlismassa. Þannig má segja, að þær niðurstöður, sem fengust, eigi frekar við úrvalsflokk en að vera lýsandi fyrir dæmigert botnefni.

- **Ilmenít.** Fimmtungur málmoxfsa er hið eftirsóknarverða ilmenít eða sem næst 0,2 - 1,5% af heildarþunga hvers sýnis. Með segulskilju tókst að auka ilmeníthlutfallið í finni kornastærðarflokknúum í 3,3 - 5,5% efnis, sem var innan við 0,5% af heildarefninu í kornastærðarflokknúum. Með aðgreiningu í þunga vökvánum tókst að auðga ilmeníthlutfallið í 2,8 - 5,9%, sem svarar til <0,1% af heildarsýninu. Þegar báðar aðferðirnar voru notaðar á tvö álitlegstu sýnin varð ilmeníthlutfallið 5,7 - 7,5%, en svo mikil fór í úrkast, að ilmenítið í auðgaða hlutanum svarar til 0,1 - 0,2% af upphaflegu sandsýni.

Ilmenít greindist að meðaltali sem rúmlega 20% málmoxfsa í ómeðhöndludu efni og líka í efni, sem hafði verið auðgað við þyngdaraðskilnað, en hins vegar aðeins um 12% að meðaltali í meira segulmagnaða hluta efnis eftir segulaðskilnað, enda er það ekki segulmagnað í sama mæli og hitt aðal málmoxið bergsins, magnetít. Rétt er að vekja athygli á því, að þótt tekist hafi að auka ilmenístyrkinn með þessum aðgerðum, þá er obbinn af ilmenítinu enn eftir í snauða hlutanum, rammlega bundinn öðru efni, sem ekki lætur það laust nema með bræðslu.

- **Efnagreiningar** á ilmeníti benda til þess, að TiO_2 -innihald þess sé að jafnaði 45,6%, sem er heldur lakara en í fjörusandinum, sem Kanadamennirnir greindu. Heildarefnagreining var gerð á tíu sýnum og reyndist TiO_2 að jafnaði 2,7%, eins og áður hafði mælst í fjörusandi. Það er bærilega hátt hlutfall, en aðeins um 1/10 hluti þess er bundinn í ilmeníti.

Í meginindráttum eru möguleikar á titánvinnslu litilir. Þessar athuganir staðfesta í öllum aðalatriðum niðurstöður rannsókna Kanadamannanna. TiO_2 -innihald sýnanna var hið sama og í þeim sýnum, sem þeir tóku (Cossette 1983). Titánrskasta steindin er ilmenít, en kristallar þess eru mjög smáir og bundnr öðru efni. Þar er um að ræða auk magnetíts, verðlaust gler og siliköt, sem örðugt er að skilja frá verðmætum málmríkum steindum, eins og fyrrí rannsóknir hafa sýnt. Við auðgun fæst því mjög óhreint efni, sem svarar til örlistils hluta upphaflega efnisins. Vegna þess hve ilmenítkristallarnir eru smáir eru líkur aðskilnaði eðlilega því meiri þeim mun finna sem efnid er. Ekki er hægt að reikna með, að hægt sé að ná titani með góðu móti nema því sem bundið er í greinanlegu ilmeníti, sem er aðeins um 0,6% af heildarmagninu.

Andstætt því, sem búist var við, *endurspeglar hafbotnsefni á rannsóknasvæðinu ekki samsetningu bergsins á landi*, en von um það var ein meginástaðan fyrir því, að farið var út í þessa rannsókn. Þessi niðurstaða er sérstaklega athyglisverð, því að annaðhvort ættu þá staðbundin sérkenni móðurbergssins að vera hverfandi lítil eða efnisflutningar hafstrauma að vera meiri en ætla mætti í fyrstu. Líklega flytja hafstraumar efni meðfram ströndinni í riskara mæli en búist var við og jafna út þau sérkenni, sem búast mætti við út frá jarðfræðilegum aðstæðum á landi. Til dæmis bendir samanburður við sýni, sem tekin voru út af Sólheimasandi til að sáralstill munur sé á sjávarsandi á þessum tveimur svæðum. Samkvæmt þessu mætti ætla, að um svipað efni sé að ræða úti fyrir Suður- og Suðausturströndinni.

Líkt og fyrrí athuganir leiðir þessi rannsókn í ljós, að rofframlag inn á rannsóknasvæðið úr gabbrói nærsveitis er sáraltíð, borið saman við aðburð efnis meðfram ströndu og frá Hornafjarðar- og Suðursveitarvötnum. Ekki er hægt að búast við að finna þar svæði, þar sem safnast hafa saman titánríkar steindir í þeim mæli, að eitthvað verulega virki frá meðaltali.

4. SÝNATAKA

Eins og fram hefur komið, hafa athuganir á titánríku bergi hingað til beinst að föstu bergi og fjörusandi. Sjávarbotninn úti fyrir suðaustanverðu landinu hefur fram að þessu ekki verið kannaður. Það gefur auga leið, að svo víðáttumikið hafsbottnssvæði verður ekki rannsakað í einni svipan og þótti því viturlegast að beina athyglinni einkum að grunnsævi út af ströndinni. Í Lóni annars vegar og Hamarsfirði og Álftafirði (Hrómundarbót) hins vegar eru víðáttumiklar sandfjörur og efalítið sandbotn þar úti fyrir. Titanríkra steinda er einkum að leita í tengslum við gabbró, og það finnst allvíða í landinu upp af þessum flóum, meðal annars bæði í Eystrahorni og Vestrahorni (Björn Gunnarsson & Freysteinn Sigurðsson 1982).

Á myndum 1 og 2 eru sýnatökustaðirnir sýndir og á hve miklu dýpi sýnin voru tekin. Ekki verður betur séð en dýptartölurnar falli vel að sjókortinu, sem notað er sem grunnur myndanna (Sjómælingar Íslands). Hins ber þó að geta, að dýptarmælingar eru strjálar á rannsóknasvæðinu. Helst virðist ósamræmis gæta á Lónsbug sunnan við Vigur, og má vera, að nálægðin við ós Jökulsár í Lóni eigi þar hlut að mál.

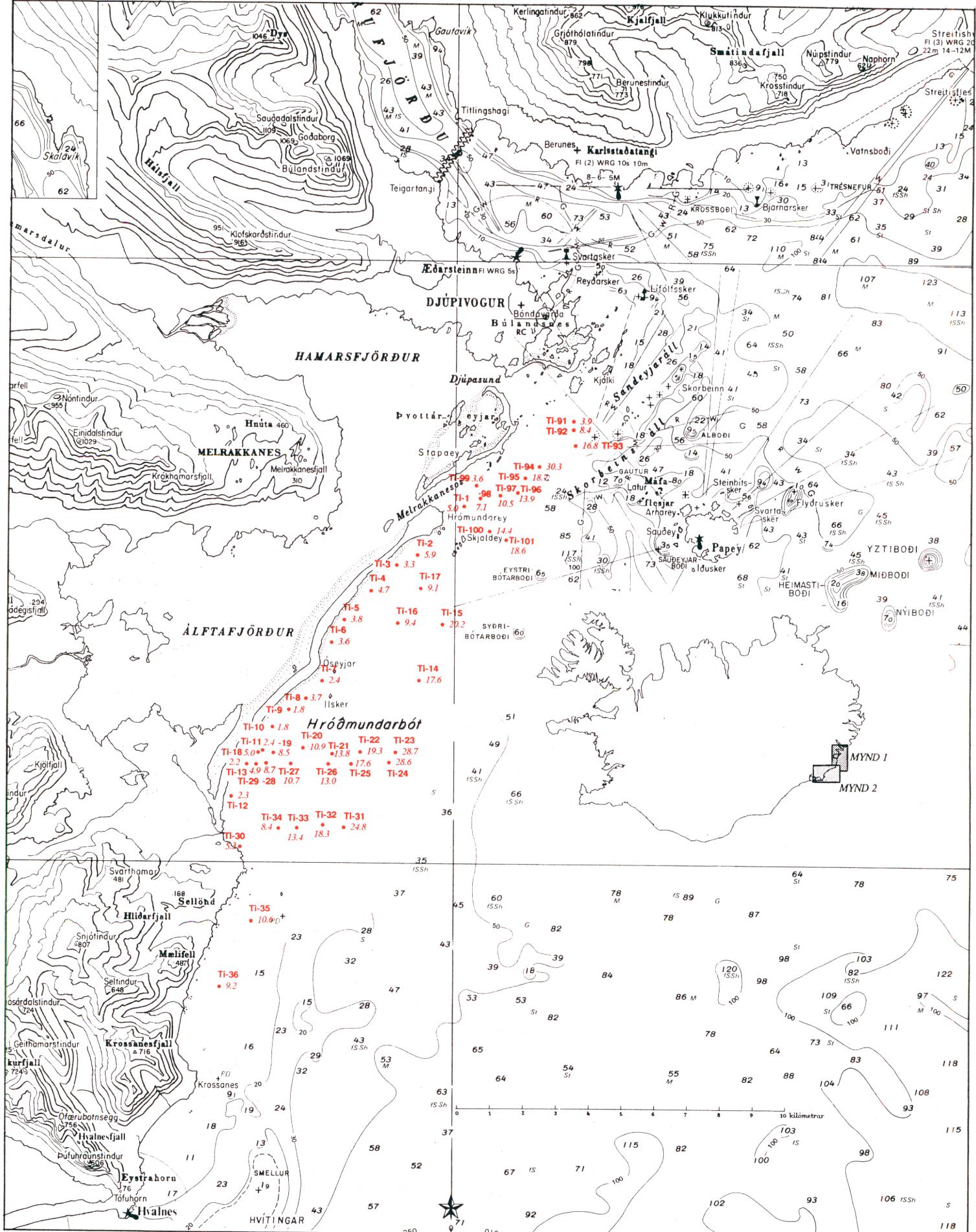
Strandlengjan frá Papey og suður að Stokksnesi er um 60 km löng. Þar af eru Starmýrarfjörur um 15 km og sandurinn úti fyrir Lóni um 25 km. Svo sem sjá má af kortunum (myndir 1 og 2), er 20 m dýptarlínan alla jafna two til fjóra km frá landi, þannig að í stórum dráttum má segja að rannsóknasvæðið sé hátt í 200 km². Ekki er gerð tilraun til að áetla þykkt sandsins, sem þarna virðist alls staðar mynda botn.

Í könnuninni voru aðeins örfá sýni tekin á fjörum, enda beindist athugunin fyrst og fremst að sandi á sjávarbotni. Notaður var báturinn Bláskel, sem var undir styrkri stjórn Kjartans Thors jarðfræðings á Hafrannsóknastofnun. Sandsýnum var náð með botngreip, sem er nokkurs konar krabbaskófla, sem lokast við snertingu við botn. Botngreipin nær þannig sýni af yfirborði botnsins svo framarlega sem hann er laus í sér. Áhaldið reyndist vel, en greinilegt var, að á þéttum, einkorna sandbotni úti á um 20 m dýpi, náðist mun minna magn í greipina en nær landi, þar sem botninn virtist lausari í sér. Upp komin voru sýnin sett í 5 l plastfötur og voru þau geymd í þeim fram að kornastærðargreiningu.

Alls voru tekin 111 sýni af sjávarbotni; merkt Ti-1 til Ti-111. Þessi sýni eru flest af dýptarbilinu 2 - 20 m; einstaka sýni þó af meira dýpi. Einnig voru tekin fáein sýni á fjörum til samanburðar, þó að nær ekkert sé um þau fjallað hér á eftir. Um er að ræða fimm sýni í grennd við Djúpavog (D1 - D5), tvö á leirum í Hamarsfirði (Ha1 og Ha2), fimm á Starmýrarfjörum (S1 - S5), eitt á Hlíðarsandi norðan Hvalsness (HL1), sjö í Lóni (L1 - L7) og tvö í Hornsvík (H1 og H2).

Allar staðsetningar sýnatökustaða á sjó voru gerðar með Loran-C tæki og dýpi mælt með dýptarmæli bátsins. Reynt var til hins ýtrasta að mæla hvoru tveggja sem best. Mörg sýnanna eru tekin alveg uppi í harða landi og þess utan er mjög mikið um blindskei og boða viða á sýnatökusvæðinu. Þar af leiddi að ekki var hægt að vinna nema við bestu veðurskilyrði, en þá gekk sýnatakan líka hratt og vel. Hún var unnin í tveimur lotum, þegar gaf á sjó dagana 20. - 21. maí og 27. - 30. maí. Stórstreynt var þann 19. Loran-staðsetningar voru leiðréttar jafnöðum og færðar inn á sjókort. Viðmiðunarpunktur loran-leiðréttингar var Bónavarða á Djúpavogi, en þaðan var gert út á þessar sandveiðar.

Sjókortið (Hlaða - Stokksnes) er viða nokkuð gloppótt, einkum út af Hamarsfirði, Álftafirði og á Lónsvík. Vera má, að dýptarmælingarnar geti að einhverju leyti fyllt upp í þessar eyður. Allar dýptartölurnar eru leiðréttar þannig, að miðað er við meðal stórstraumsfjöru, reiknað út frá flóðatöflum fyrir Papey og Höfn og miðað við meðalloftþrýsting (Sjómælingar Íslands 1984). Eins og gefur að skilja, er hér um töluverða nálgun að ræða, en eigi að síður ættu þessar mælingar að geta orðið einhverjum til glöggvunar. Vart varð við allmög blindskei, sem ekki eru sýnd á sjókorti. Í einstaka tilfellum var reynt að staðsetja slíka staði, en þær mælingar eru ekki birtar hér, enda ekki ætlunin að endurskoða sjókortið.



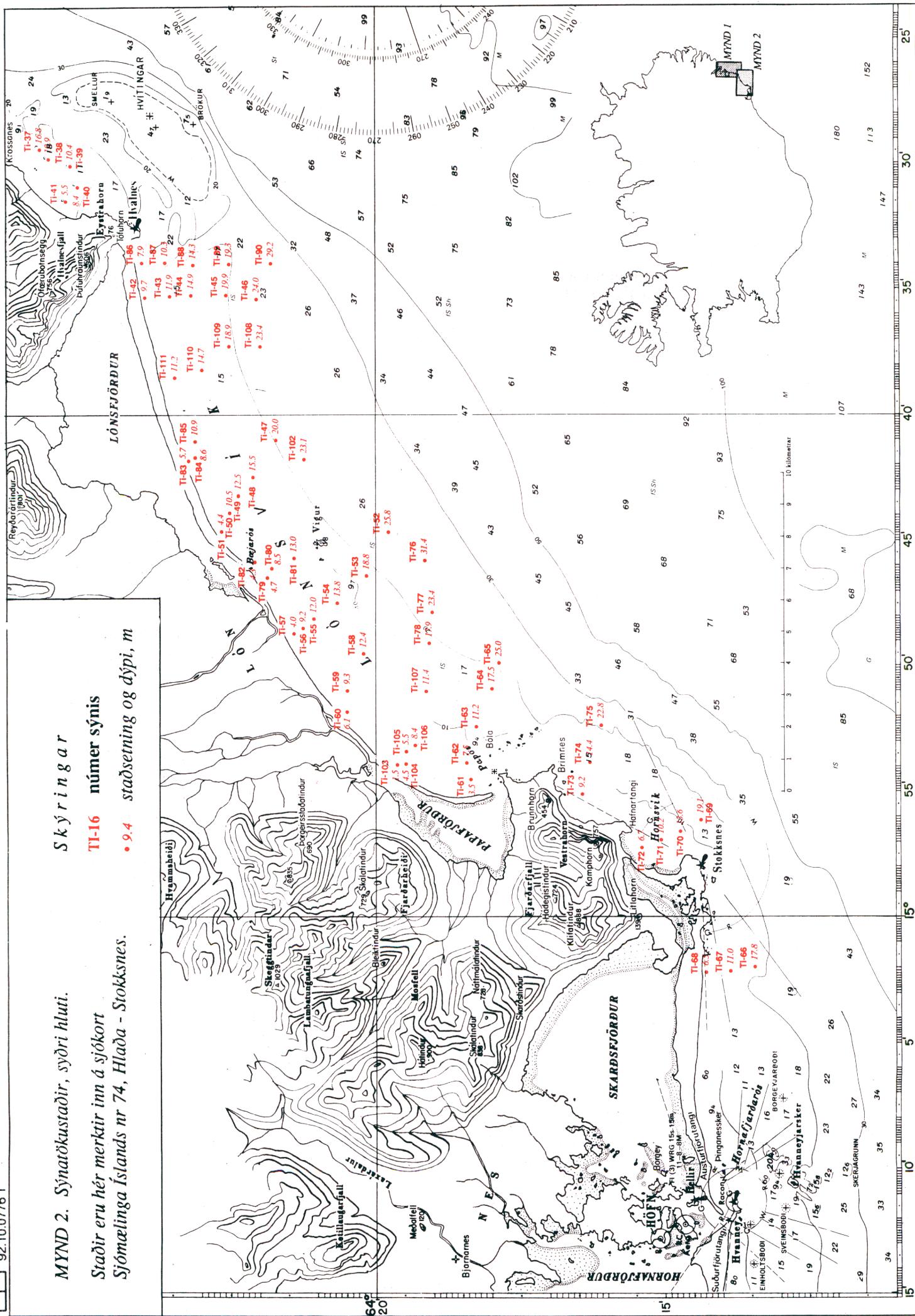
MYND 1. Sýnatökustaðir, nyrðri hluti.

*Staðir eru hér merktir inn á sjókort
Sjómælinga Íslands nr 74, Hlaða - Stokksnes.*

Skyringar

TI-16 númer sýnis

• 9.4 *stadsetning og dýpi, m*



MYND 2. Sýnatökustaðir, syðri hluti.

Stadir eru hér merktir inn á sjökort Sjómælinga Íslands nr 74, Hlaða - Stokksnes.

Skýringar

TI-16 númer sýnis

- ## • 9.4 staðsetning og dýpi, m

5. KORNASTÆRDARGREINING

Afraksturinn af ofanskráðri sýnatöku var í allt 133 sandsýni og voru þau öll þurrkuð, þeim skipt og kornastærðardreifing mæld. Það verk vann Stefán Hermannsson, starfsmaður Orkustofnunar. Efninu var rennt gegnum sigtasúlu, alls 17 sigti, sem skekin voru með hefðbundnum hætti. Grófleiki sigtanna (möskvastærð) var frá 16 til 0,063 mm, og var þeim raðað upp eftir svokölluðu ϕ -kerfi, þar sem grófleikamunur aðliggjandi sigta er $1/2 \phi$ (Skúli Vikingsson 1985).

Yfirleitt reyndust sandsýnin vera nokkuð vel sorteruð, þannig að obbinn af hverju sýni safnaðist á 2 - 3 sigti. Lætur nærrí, að í 85% efnis sjávarbotnssýnanna séu kornin 0,09 - 0,25 mm að þvermáli. Svo sem vænta mátti, reyndist vera mest dreifing í þeim sýnum, sem tekin voru alveg uppi undir fjöru, þar sem smáöldu gætir verulega og oldugangur er hvað óreglulegastur. Einnig er dreifing veruleg við aðrar sérstakar aðstæður, svo sem út af árósum og milli skerja.

Á myndum 3 - 6 eru sýnd dæmi um kornastærðardreifingu 16 sýna. 12 þeirra eru tekin á þremur línum út frá landi, en 4 eru tekin í fjörum, sbr. myndir 1 og 2. Hér má nokkuð glöggt sjá, að grófastur er sandurinn alla jafna uppi í landsteinum (meðalkorn 0,215 mm í þvermál á 4,4 m dýpi), en verður fínni, er á meira dýpi kemur (meðalkornið er 0,104 mm í þvermál á tæplega 30 m dýpi).

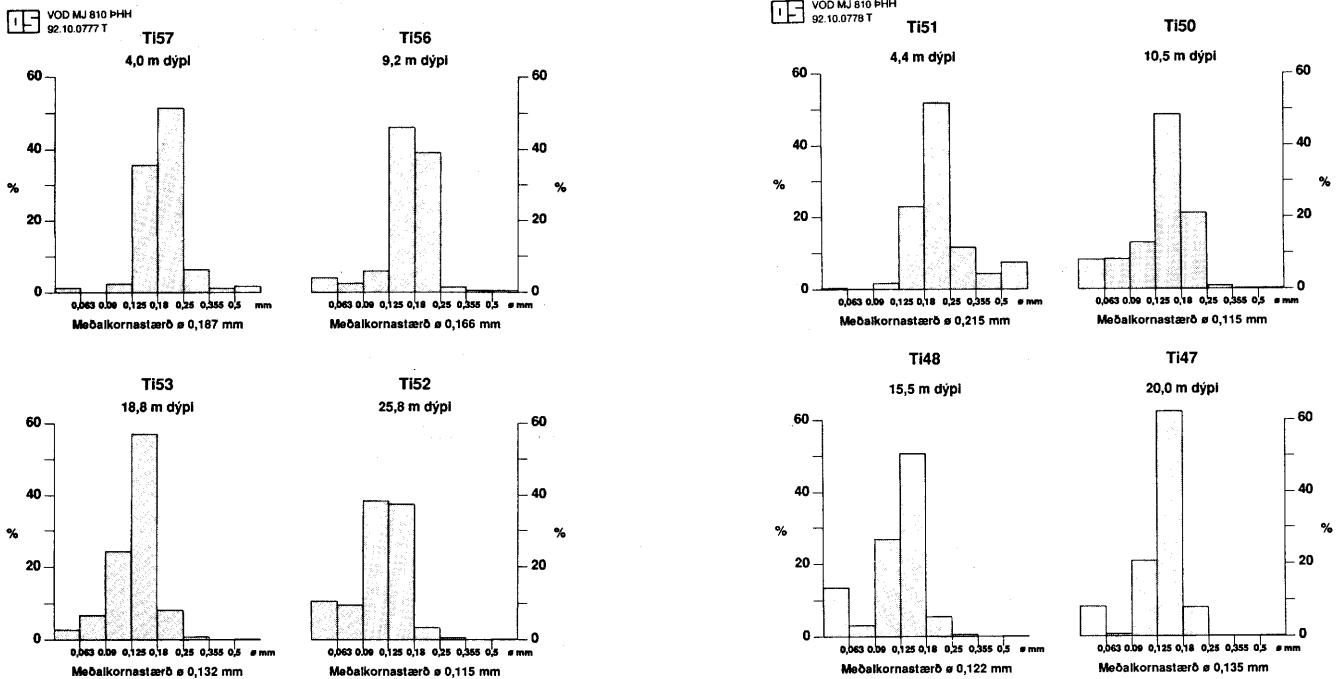
Af myndum 3 - 5 sést, að sýnin þrjú frá um 20 m dýpi eru mjög lík bæði hvað varðar kornastærðardreifingu og meðalkornastærð. Meiri munur er á sýnum næst landi. Þrjú fjörusýnin líkjast helst þeim sýnum, sem tekin voru á gryningunum næst landi, en fjórða sýnið (Ha1) er mjög ólíkt, enda er það tekið á útfirisleirum inni undir Hamarsfjarðarbotni og eru aðstæður þar tölувert aðrar en úti við ströndina.

Á mynd 7 er dregið fram hvernig hlutfall fjögurra helstu kornastærðarflokka hafsbottssýnanna (Ti-sýnin) breytist með dýpi. Grófasta efnid, 0,18 - 0,25 mm, er greinilega uppistaðan í sýnum, sem tekin eru af litlu dýpi. Alls staðar er tölувvert mikil af kornastærðarfloknum 0,125 - 0,18. Kornastærðin 0,09 - 0,125 mm og þaðan af smærri er fágæt næst landi, en er, þegar út á dýpið kemur, orðin verulegur hluti efnisins.

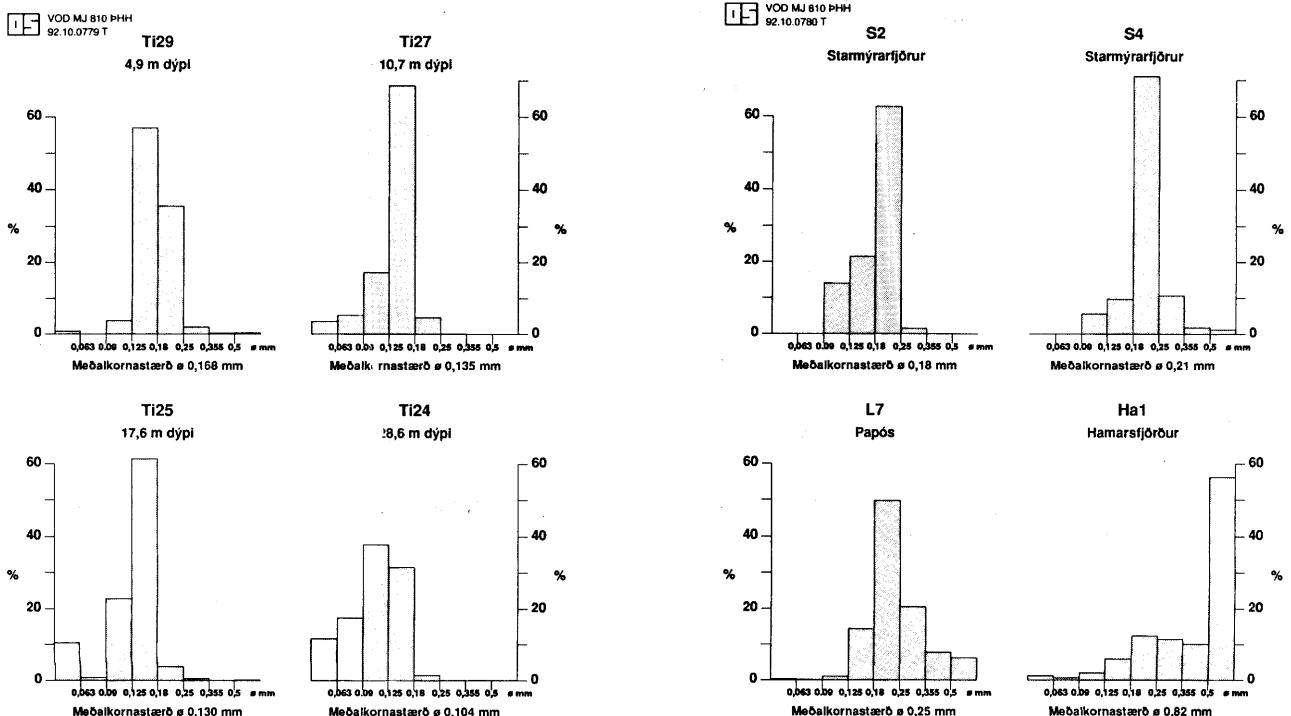
Meðalkornastærð Ti - sýnanna er sýnd á mynd 8. Þar kemur greinilega fram, hvernig sandurinn verður fingerðari eftir því sem dýpið vex, nema hve hann verður ögn grófari á um 20 m dýpi. Næst landi er þvermál meðalkornsins gjarnan $\phi \approx 0,18 - 0,2$ mm, en úti á um 30 m dýpi er $\phi \approx 0,10 - 0,12$ mm. Ekki er við öðru að búast en fleira hafi áhrif á þetta meðaltal en haf-dýpið eitt og nægar að nefna, að straumar eru mismiklir svo og fjarlægð sýnatökustaðanna frá ósum og örðrum efnisuppsprettum. Nokkur sýnanna víkja dálitið frá hinni almennu dýpisreglu, meðal annarra þau sem auðkennd eru sérstaklega með krossi á efri hluta myndar 8. Þetta eru sýnin Ti-93 til Ti-96 og þegar að er gáð, eru þau öll tekin á sömu slóðum á skerjóttu ósasvæði innan við Papey (mynd 2). Þar eru sjávarfallastrumar jafnan mjög stríðir, og skýrir það efalaust þetta frávik.

Á neðri hluta myndar 8 er sýnd meðalkornastærð sýna, sem eru á tveimur línum út frá strönd, annars vegar á Lónsbug skammt norðan við Vigur (Ti-47 til Ti-51) sjá mynd 1, en hins vegar á Hrómundarbót sunnan við Ilsker (Ti-13 og Ti-24 til Ti-29), sjá mynd 2. Þarna kemur tilhneiging sjávarsandsins til að verða fínni, eftir því sem dýpið vex, enn betur í ljós. Breytilegum eðlis-massa einstakra kornastærðarflokka á þessum sömu línum eru gerð skil á myndum 9 og 10 hér á eftir.

Hverjum kornastærðarflokki var haldið til haga að sigtun lokinni og voru flestar síðari athuganir gerðar á einstökum kornastærðarflokkum, en ekki af sandi, eins og hann kom upp úr sjó. Þar af leiðir, að ævinlega er nauðsynlegt að hafa í huga hversu stóran hluta af heildarsýnин er

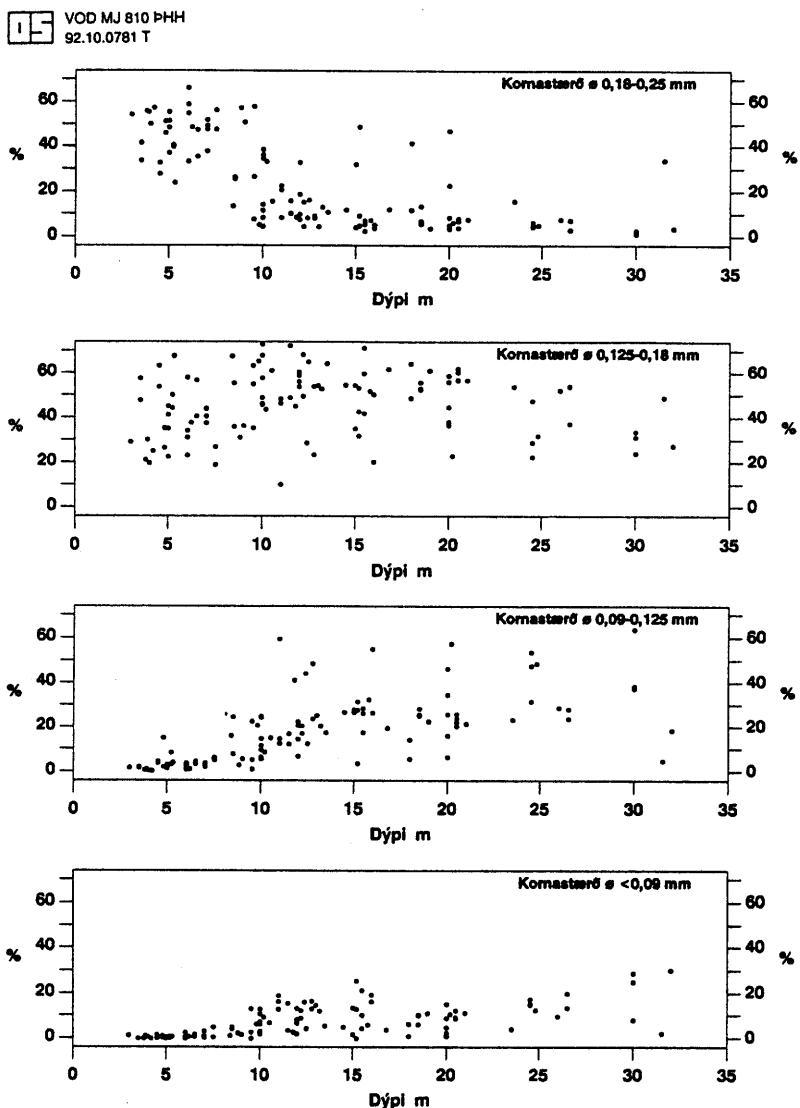


MYND 4. Kornastærðardreifing.
Sýni á línu frá landi norðan við Vigur.



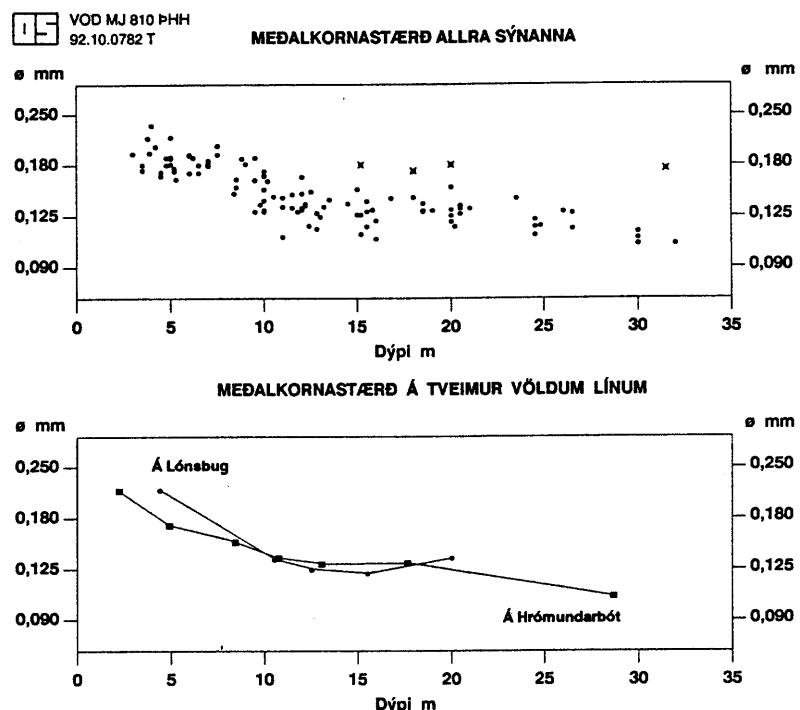
MYND 6. Kornastærðardreifing.
Sýni tekin í fjörum.

verið að meðhöndla í það og það skiptið, þegar þú, lesari góður, ert að brjótast í gegn um allar þær töflur og línum, sem hér koma á eftir. Eins og að líkum lætur, er kornastærðargreiningin þannig fyrsta aðgreining efnisins í greiningarferlinu. Athyglinni er fyrst og fremst beint að hinum fingerðari, en oftast efnismestu kornastærðum, þannig að þar sem lítil sortering hefur átt sér stað, einkum næst landi, er stundum verið að rannsaka mjög lítinn hluta heildarsýnisins.

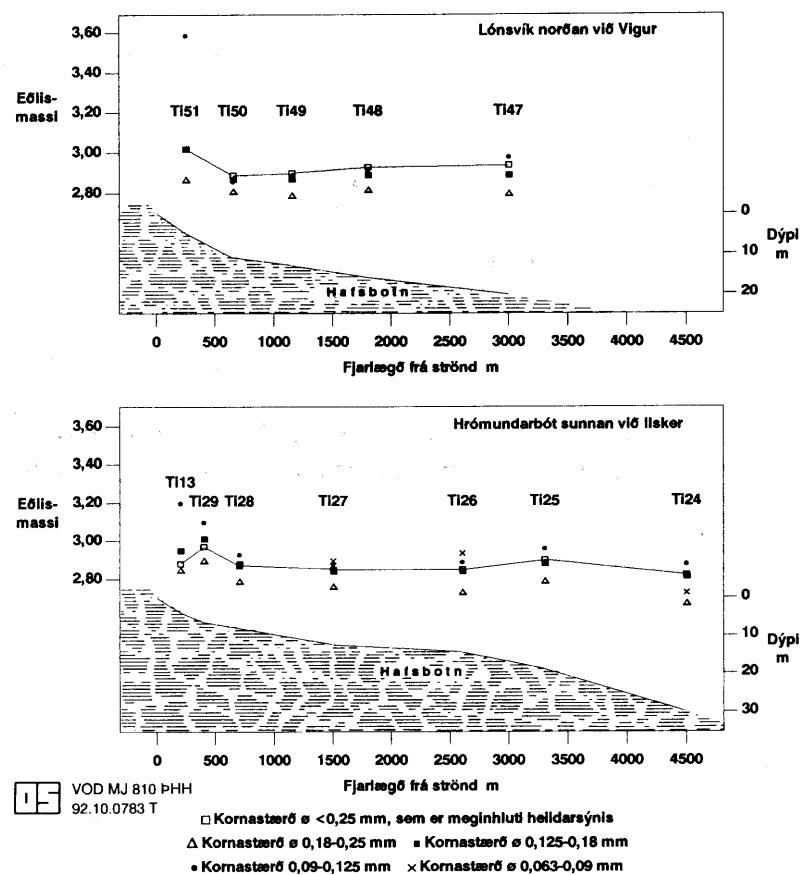


MYND 7. Hundraðshluti mismunandi kornastærða eftir dýpi.

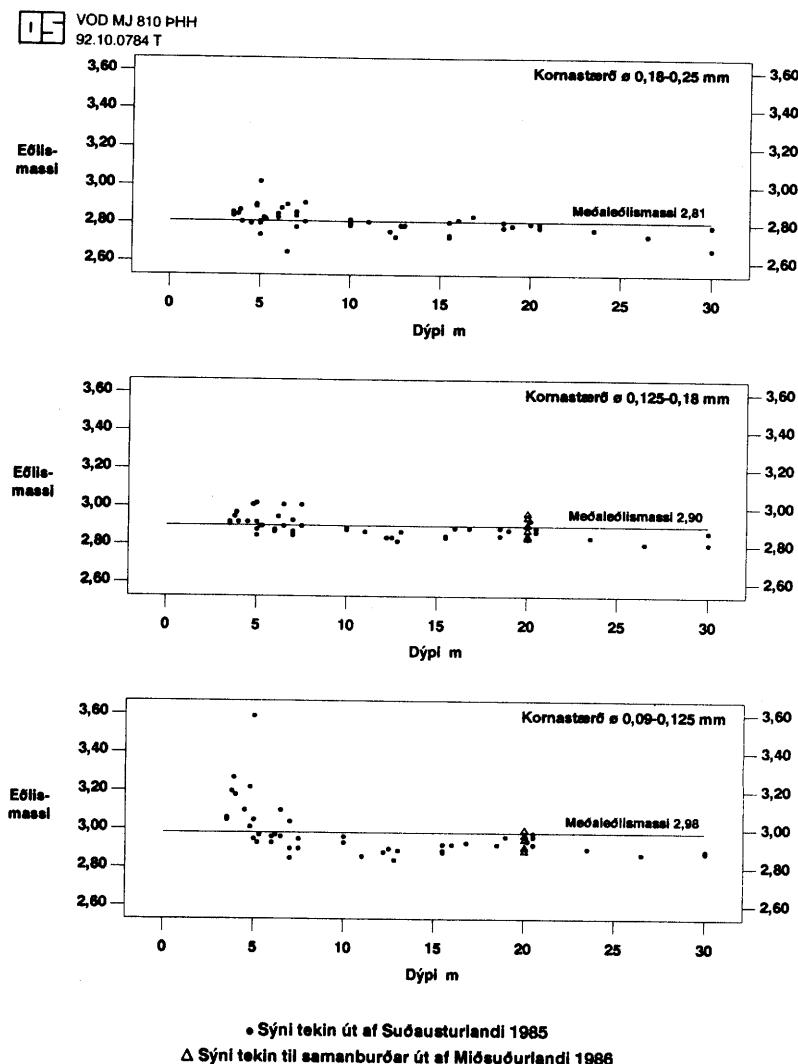
Á mynd 7 sést, að grófasta efnið, ø 0,125 - 0,18 mm, er ríkjandi næst landi, en það fínasta verður æ algengara eftir því sem dýpið eykst.



MYND 8. Meðalkornastærð eftir dýpi.



MYND 9. Eðlismassi sýna á tveimur línum út frá ströndinni á Lónsvík og á Hrómundarbót.



MYND 10. Eðlismassi mismunandi kornastærða eftir dýpi.

Eðlismassi er alla jafna hæstur uppi undir landsteinum, eins og mynd 10 ber með sér. Þetta á einkum við um fínasta kornastærðarflokkinn. Sá flokkur er hinsvegar fágætur í flestum tilvikum svo nærri landi (sbr. mynd 7).

6. MÆLING Á EÐLISMASSA

Mældur var eðlismassi þriggja aðalkornastærðarflokka í 48 sýnum, sem tekin höfðu verið af sjávarbotni og 7 sýnum, sem tekin höfðu verið úr fjörum. Niðurstöður þeirra mælinga eru birtar í töflum 1 og 2. Þessar mælingar voru gerðar til að komast að því, hvar væri að finna efni, sem hefði tiltölulega háan eðlismassa, en hár eðlismassi getur stafað af því, að í efninu sé mikið af málmoxiðum; þar á meðal titánríkum kornum.

Í fyrstu voru gerðar mælingar á sýnum, sem tekin höfðu verið í röð á línum út frá ströndinni. Þá kom í ljós, að hæsta eðlismassann var að finna í efni af kornastærðinni 0,09 - 0,125 mm í sýnum, sem tekin höfðu verið á 3 - 7 m dýpi næst ströndinni á nokkurs konar neðansjávarrifi, sem þar er alla jafnan. Mynd 9 er dæmi um slíkar línur. Þegar í ljós kom, að eðlismassi var hæstur í sýnum af nefndu rifi, var lögð aðaláhersla á að mæla eðlismassa efnis þaðan, og var hann mældur á flestum þeim sýnum, sem þar höfðu verið tekin.

Á mynd 10 er sýnt, hvernig eðlismassi efnis í þessum þremur kornastærðarflokkum breytist með dýpi. Á myndinni kemur greinilega fram, að kornastærðarflokkurinn 0,09 - 0,125 mm sker sig mjög úr að því leyti, að í nokkrum sýnum frá gryningum eða neðansjávarrifi nærrí landi mældist verulega hærri eðlismassi en í hinum tveimur kornastærðarflokkunum og sömu-leiðis hærri en í efni af þessari sömu kornastærð af meira dýpi.

Nauðsynlegt er að hafa í huga, að öll sýnin af kornastærð 0,09 - 0,125 mm, sem hafa hærri eðlismassa en 3,01, eru mjög lítt hluti heildarsýnis, aðeins 1 - 5%, flest aðeins 1 - 3%, þannig að eðlisþunga efnið er mjög óverulegur hluti heildarefnisins. Í kornastærðarflokknum 0,125 - 0,18 mm er þessu hins vegar á annan veg farið. Þar eru sýnin, sem hafa hæstan eðlismassa, verulegur hluti heildarsýnis.

Almennt séð virðist eðlismassi í öllum þremur kornastærðarflokkunum fara lækkandi með auknu dýpi. Í efni af kornastærðarflokkunum 0,125 - 0,18 og 0,09 - 0,125 mm frá um 20 m dýpi mældist þó hærri eðlismassi en þar sem dýpi er heldur minna eða meira. Meðaleðlismassi mældist að meðaltali 2,81 í efni úr grófasta kornastærðarflokknum, 0,18 - 0,25 mm. Hann mældist 2,90 í kornastærðarflokknum 0,125 - 0,18 mm, en hæstur, 2,98, mældist hann í fínasta flokknum 0,09 - 0,125 mm. Þar valda sýnin, sem skera sig úr, reyndar talsverðri hækjun á meðaltalinu.

Til samanburðar við sýnin, sem fjallað er um hér að framan, var mældur eðlismassi efnis af kornastærðinni 0,125 - 0,18 og 0,09 - 0,125 mm í nokkrum sýnum, sem höfðu verið tekin á um 20 m dýpi út af Miðsuðurlandi árið 1986. Niðurstöðurnar eru sýndar í töflu 3 og á mynd 10. Þessir tveir kornastærðarflokkar eru tiltölulega stór hluti heildarsýnanna og er eðlismassi þeirra svipaður og eðlismassi þessara kornastærðarflokka í þeim sýnum út af Suðausturlandi, sem eru tiltölulega rík af efni af þessari kornastærð og af svipuðu dýpi. Þarna hefði verið fróðlegt að mæla eðlismassa sýna, sem hefðu mjög lítið af fínefni, þ.e.a.s. af kornastærðinni 0,09 - 0,125 mm til að sjá hvort þá væri um verulega hækjun á eðlismassa að ræða eins og átti sér stað í Ti-sýnum.

Þegar á heildina er litið, má segja, að niðurstaðan af þessum samanburði sé, að ekki sé neinn umtalsverður munur á eðlismassa sands af sjávarbotni út af Miðsuðurlandi og þeim sandi, sem hér er til athugunar. Samkvæmt þessu má álykta, að sjávarsandurinn út af Suðausturlandi skeri sig naumast úr hvað eðlismassa áhrærir, þrátt fyrir ólíkar jarðfræðilegar aðstæður í landinu upp af sýnatökustöðunum. Hins vegar ber á það að líta, að fleiri þættir en titanaudug málmoxið hafa áhrif á eðlismassa. Á þessu stigi var því komið að því að rannsaka bergsteindir sandsins.

TAFLA 1. Eðlismassi botnsýna út af Suðausturlandi

Tükustæður	Tükunúmer	Dfpl m	Kornastærð μ mm	Hlutu sýnls %	Eðlis-massi	Hvað gert sínar *
Vestan við Stokksnes	Ti68	6,5	0,18-0,25	49	2,91	2, 5, S
	*	*	0,125-0,18	20	3,01	1, 2, 4, 5, I, S, EM
	*	*	0,09-0,125	7	2,90	1, 2, 4, 5, I, S
	Ti66	17,8	0,18-0,25	13	2,84	
Hornsvík	*	*	0,125-0,18	63	2,89	
	*	*	0,09-0,125	20	2,93	
	Ti72	6,7	0,18-0,25	57	2,81	
	*	*	0,125-0,18	27	2,90	
Utan við Hvammstjóru	*	*	0,09-0,125	5	2,95	
	Ti69	19,1	0,18-0,25	23	2,80	
	*	*	0,125-0,18	56	2,90	
	*	*	0,09-0,125	16	2,96	
Papðs	Ti75	22,8	0,18-0,25	16	2,77	
	*	*	0,125-0,18	54	2,84	
	*	*	0,09-0,125	23	2,90	
	Ti61	3,5	0,18-0,25	34	2,80	
Lónsvík	*	*	0,125-0,18	55	2,92	1, 2, 4, 5, I, S
	*	*	0,09-0,125	5	3,10	1, 2, 4, I
	Ti64	17,5	0,18-0,25	12	2,81	
	*	*	0,125-0,18	47	2,89	
Lónsvík sunnan við Vigur	*	*	0,09-0,125	23	2,92	
	Ti104	4,5	0,18-0,25	59	2,85	
	*	*	0,125-0,18	31	2,87	
	*	*	0,09-0,125	1,6	2,93	
Lónsvík vestan við Bæjárðs	Ti78	17,9	0,18-0,25	7	2,78	
	*	*	0,125-0,18	53	2,85	
	*	*	0,09-0,125	29	2,92	
	Ti60	6,1	0,18-0,25	50	2,86	
Lónsvík austan við Bæjárðs	*	*	0,125-0,18	41	2,87	
	*	*	0,09-0,125	4	2,85	
	Ti57	4,0	0,18-0,25	52	2,90	
	*	*	0,125-0,18	36	3,01	1, 4, I
Lónsvík austan við Hvammsfjörðu	*	*	0,09-0,125	2	3,22	1, 4, I, EM
	Ti56	9,2	0,18-0,25	39	2,82	
	*	*	0,125-0,18	46	2,89	1
	*	*	0,09-0,125	6	2,96	1
Tíðungarsíða	Ti55	12,0	0,18-0,25	8	2,79	
	*	*	0,125-0,18	55	2,82	
	*	*	0,09-0,125	24	2,84	
	Ti54	13,8	0,18-0,25	7	2,81	
Tíðungarsíða	*	*	0,125-0,18	41	2,85	1, 4, I
	*	*	0,09-0,125	28	2,88	1
	Ti53	18,8	0,18-0,25	8	2,80	
	*	*	0,125-0,18	56	2,87	1, 4
Lónsvík vestan við Bæjárðs	*	*	0,09-0,125	24	2,92	1, 4, I
	Ti52	25,8	0,18-0,25	3	2,74	
	*	*	0,125-0,18	38	2,81	
	*	*	0,09-0,125	38	2,87	
Lónsvík vestan við Bæjárðs	Ti79	4,7	0,18-0,25	41	2,83	
	*	*	0,125-0,18	45	2,90	
	*	*	0,09-0,125	9	2,93	
	Ti82	4,3	0,18-0,25	46	2,89	
Lónsvík utan við Bæjárðs	*	*	0,125-0,18	27	3,01	1, 4
	*	*	0,09-0,125	15	3,01	1, 4, I
	Ti51	4,4	<0,25	77	3,02	1, 2, 3, 4, 6, 7, 1, S, N
	*	*	0,18-0,25	52	2,87	
Lónsvík austan við Bæjárðs	*	*	0,125-0,18	23	3,02	1, 4
	*	*	0,09-0,125	1,7	3,59	1, 4, I, EM
	Ti50	10,5	<0,25	99	2,89	1, 3, 6, I, p
	*	*	0,18-0,25	21	2,81	
Lónsvík vestan við Hvammsfjörðu	*	*	0,125-0,18	49	2,87	
	*	*	0,09-0,125	13	2,86	
	Ti49	12,5	<0,25	99	2,90	1, 3, 6, I, p
	*	*	0,18-0,25	5	2,79	
Lónsvík austan við Hvammsfjörðu	*	*	0,125-0,18	55	2,87	
	*	*	0,09-0,125	26	2,89	
	Ti48	15,5	<0,25	99	2,93	1, 3, 6, I, p
	*	*	0,18-0,25	5	2,82	
Lónsvík vestan við Hvammsfjörðu	*	*	0,125-0,18	51	2,89	
	*	*	0,09-0,125	27	2,92	
	Ti47	20,0	<0,25	100	2,94	1, 2, 3, 4, 6, 7, 1, S, N
	*	*	0,18-0,25	8	2,80	I
Lónsvík austan við Hvammsfjörðu	*	*	0,125-0,18	62	2,89	1, 2, 4, 5, I, S
	*	*	0,09-0,125	21	2,98	1, 2, 4, 5, I, S
	Ti109	18,9	<0,25*	98		S, p
	*	*	0,125-0,18	23	2,93	
Lónsvík	Ti83	5,7	0,18-0,25	49	2,88	
	*	*	0,125-0,18	38	2,95	
	*	*	0,09-0,125	2	2,97	
	Ti42	9,7	0,18-0,25	46	2,89	
Lónsvík vestan við Hvammsfjörðu	*	*	0,125-0,18	7	2,93	
	Ti43	11,9	0,18-0,25	16	2,73	
	*	*	0,125-0,18	65	2,84	
	*	*	0,09-0,125	13	2,90	

Tökustaður	Tökugóði	Dýplm	Kornastærð ø mm	Illiti sýnis %	Eðlis- massi	Háð gert síðar *
Lónsvík vestan við Hvalnes (frh.)	T144	14,9	0,18-0,25	6	2,74	
		*	0,125-0,18	72	2,85	
		*	0,09-0,125	18	2,92	
	T145	19,9	0,18-0,25	4	2,78	
		*	0,125-0,18	56	2,89	
		*	0,09-0,125	26	2,96	
	T190	29,2	0,18-0,25	3	2,79	
		*	0,125-0,18	25	2,87	
		*	0,09-0,125	65	2,89	
Milli Eystra- horns og Krossness	T141	5,5	0,18-0,25	48	2,79	
		*	0,125-0,18	41	2,90	
		*	0,09-0,125	5	2,96	
Hrómundarbóti	T130	5,3	0,18-0,25	47	2,78	
		*	0,125-0,18	43	2,85	
		*	0,09-0,125	2	2,90	
Hrómundarbóti	T112	2,3	0,18-0,25	50	2,81	
		*	0,125-0,18	20	2,92	
		*	0,09-0,125	0,8	3,18	
	T113	2,2	0,18-0,25	56	2,85	
		*	0,125-0,18	21	2,95	
		*	0,09-0,125	1	3,20	1
	T129	4,9	0,25-0,355	2	2,86	
		*	0,18-0,25	35	2,90	
		*	0,125-0,18	56	3,01	1,4,1
		*	0,09-0,125	4	3,10	1,4,1
	T128	8,7	0,18-0,25	15	2,79	
		*	0,125-0,18	75	2,88	
		*	0,09-0,125	10	2,93	
	T127	10,7	0,18-0,25	5	2,76	
		*	0,125-0,18	68	2,84	
		*	0,09-0,125	17	2,88	1,4,1
		*	0,063-0,09	5	2,90	
	T126	13,0	0,18-0,25	3	2,73	
		*	0,125-0,18	59	2,84	
		*	0,09-0,125	26	2,89	
		*	0,063-0,09	3	2,94	
	T125	17,6	0,18-0,25	4	2,79	
		*	0,125-0,18	61	2,88	
		*	0,09-0,125	23	2,96	1,4,1
	T124	28,6	0,18-0,25	1,5	2,67	
		*	0,125-0,18	31	2,81	
		*	0,09-0,125	38	2,88	
		*	0,063-0,09	17	2,73	
	T110	1,8	0,18-0,25	43	2,86	
		*	0,125-0,18	49	2,92	
		*	0,09-0,125	2	3,06	
	T19	1,8	0,18-0,25	34	2,84	
		*	0,125-0,18	58	2,91	
		*	0,09-0,125	2	3,05	
	T18	3,7	0,18-0,25	24	2,82	
		*	0,125-0,18	68	2,90	
		*	0,09-0,125	4	2,97	
	T17	2,4	0,18-0,25	56	2,87	
		*	0,125-0,18	30	2,97	
		*	0,09-0,125	1,3	3,27	
	T16	3,6	0,18-0,25	55	2,81	
		*	0,125-0,18	35	2,92	
		*	0,09-0,125	2	3,05	
	T14	4,7	0,18-0,25	33	2,83	
		*	0,125-0,18	58	2,88	
		*	0,09-0,125	4	2,96	
	T12	5,9	0,18-0,25	39	2,84	
		*	0,125-0,18	45	2,93	
		*	0,09-0,125	3	3,04	
Utan við Metrakkanes	T199	3,6	0,18-0,25	37	2,74	
		*	0,125-0,18	41	2,85	
		*	0,09-0,125	3	2,95	
Nordan við Ketilfjöls	T191	3,9	0,18-0,25	49	2,80	
		*	0,125-0,18	46	2,88	
		*	0,09-0,125	2	3,05	

Ti109 <0,25 mm var malad niður í <0,125 mm óður en það var segul- og hýnjaráðskilid.

* Skýringar við aftasta dálkinn: Hvað gert súðar:

- | | | |
|---|-------------------------------------|----------------------------|
| 1 | Bergflokken í gegnumfallandi ljósi. | |
| 2 | . | efst seguladgreiningu. |
| 3 | . | þyngdarágreiningu. |
| 4 | áfallandi ljósi. | |
| 5 | . | efst seguladgreiningu. |
| 6 | . | þyngdarágreiningu. |
| 7 | . | secul- + hundarágreiningu. |

I Ilmenitgreining; S Segulaðgreining; P Þyngdaradgreining; EM efnagreining málmoxða.

Að auki voru eftirlitin sýni esnagreind: Ti68, Ti61, Ti57, Ti53, Ti82, Ti51, Ti47, Ti29, Ti27 og Ti25.

TAFLA 2. Eðlismassi sýna úr fjörum á Suðausturlandi

Tökustaður	Tóku-númer	Kornastærð ø mm	Hluti sýnis %	Eðlis-massi	Hvað gert síðar
Lón	L6	0,18-0,25	23	3,03	
	"	0,125-0,18	2	3,09	
	"	0,09-0,125	5	3,18	
	L7	0,18-0,25	50	2,85	
	"	0,125-0,18	14	2,95	
	S1	0,18-0,25	57	2,85	
Starmýrarfjörur	"	0,125-0,18	18	2,95	
	"	0,09-0,125	13	2,98	
	S2	0,18-0,25	62	2,94	
	"	0,125-0,18	22	3,07	1, 2, 4, 5, I, S
	"	0,09-0,125	14	3,13	1, 2, 4, 5, I, S
	S4	0,18-0,25	71	2,83	
Hamarsfjörður	"	0,125-0,18	10	2,93	
	"	0,09-0,125	5	2,99	
	Ha1	0,18-0,25	12	2,90	
Djúpivogur	"	0,125-0,18	6	3,01	
	"	0,09-0,125	2	3,20	
	D5	0,18-0,25	50	2,80	
	"	0,125-0,18	18	2,86	
	"	0,09-0,125	14	2,88	

Varðandi tákni dálkinum Hvað gert síðar sjá skýringar við töflu 1.

Til samanburðar er í töflu 3 yfirlit yfir eðlismassa sýna, sem tekin voru 1986 úti fyrir Rangársandi, Landeyjasandi og Sólheimasandi.

TAFLA 3. Eðlismassi botnsýna af um 20 m dýpi út af Miðsuðurlandi

Tökustaður	Tóku-númer	Kornastærð ø mm	Hluti sýnis %	Eðlis-massi	Hvað gert síðar
Út af Rangársandi	1	0,125-0,18	45	2,91	
	"	0,09-0,125	26	2,95	
	5	0,125-0,18	63	2,91	
	"	0,09-0,125	22	2,97	
Út af Landeyjasandi	18	0,125-0,18	69	2,84	
	"	0,09-0,125	23	2,91	
	62	0,125-0,18	43	2,88	
	"	0,09-0,125	48	2,91	
Út af Sólheimasandi	65	0,125-0,18	60	2,85	
	"	0,09-0,125	24	2,89	
	44	0,125-0,18	39	2,95	1, 4, I
	"	0,09-0,125	32	3,00	1, 4, I
	43	0,125-0,18	25	2,97	1, 4
	"	0,09-0,125	63	2,97	1, 4, I

Varðandi tákni dálkinum Hvað gert síðar sjá skýringar við töflu 1.

Á þessu stigi þótti við hæfi að draga saman eftirfarandi ályktanir:

- *Eðlismassi mældist hæstur í finasta kornastærðarflokki og sýni tekin nærri landi gáfu til kynna, að þar gæti eðlisþyngra efni verið að finna.*
- *Littill munur er á eðlismassa einstakra kornastærðarflokka í sýnum þeim, sem hér eru til athugunar, og í sýnum teknum út af Miðsuðurlandi.*

7. FLOKKUN OG AÐGREINING SÝNA

7.1 Steindir í íslensku bergi

Berg er saman sett úr mismunandi steindum (minerals). Steindir í basísku bergi hér á landi eru silikötin plagióklas, pýroxen og ólivín og málmsteindirnar magnetít og ilmenít, en rannsókn þessi er einmitt könnun á magni og gæðum þessara málmsteinda. Í súru bergi eru auk þess silikötin kvars og alkalifeldspat, en hlutur pýroxens og ólivíns í því er óverulegur. Kristallar þessara steinda eru tvinnaðir saman á ýmsa vegu og í íslensku bergi eru þeir langoftast mjög smáir. Það er því mjög torvelt að skilja þessar steindir að, hvort sem um er að ræða mylsnu, sem finnst í náttúrunni (sandur), eða úr bergi, sem hefur verið malað í vélum. Helst er um að ræða aðskilnað, sem byggist á mismunandi eðlismassa eða segulmögnum. Ekki er þó unnt að fá steindirnar hreinar, því að efnið brotnar alls ekkert frekar á steindamótum en annars staðar.

Ekki er allt berg **kristallað**, því að verulegur hluti þess hefur storknað svo hratt, að kristallar hafa ekki náð að myndast. Bergkvikan verður þá **gler**. Þannig er eldfjallaaska og vikur (gióska) að langmestu leyi gler og berg, sem orðið hefur til úr giósku, er því mestmegin gler, þó að þar gæti oft einnig ummyndunarsteinda. Þetta er algengt í móbergsmýndunum, en einnig er töluvert af gleri í hraunum og ekki síður bólstrabergi. Reyndar verður oft talsvert af plagióklas-, ólivín- og pýroxenkristöllum innlyksa í glerinu. Þegar um glerkennt efni er að ræða, verður fyr nefndum aðferðum til aðgreiningar ekki komið við, því að efnið er einsleitt (hómogen). Eins og fram kemur síðar í skýrslunni, er verulegur hluti efnisins, sem hér var tekið til bergflokkunar, ókristallað, þ.e.a.s. gler.

Við **ummyndun** á bergi vegna jarðhita og þrýstings myndast fjölmargar steindir, svo sem kal-sít, aragonít, kvars, pýrit, seðlitar og leirsteindir, en um þær verður ekki fjallað hér.

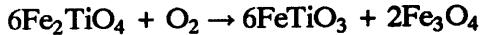
7.2 Málmoxíð

Títan er að finna í málmsteindunum, sem einnig eru nefnd málmoxíð. Þetta eru oxíð járnss og titans, sem jafnan fylgjast að, en eru í breytilegum hlutföllum.

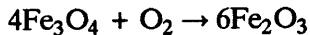
Helstu málmsteindir í fersku basísku bergi eru titánómagetít og ilmenít. Pessar steindir eru hluti af stærra kerfi, sem lýsa má á þríhyrningsriti, sem hefur hornpunktana $FeO - TiO_2 - Fe_2O_3$ og sýnt er á mynd 11. Hér verður ekki farið náið út í bergræði málmsteindanna, heldur einungis stiklað á því stærsta, en áhugasönum lesendum er t.d. vísað á ágæta samantekt í skýrslu Björns Gunnarssonar og Freysteins Sigurðssonar "Títaníkar steindir í gabbrói úr Hvalsnesfjalli í Lóni og Meðalfelli í Nesjum" (1982).

Endaþættir ofantalina leysniraða blandast í öllum hlutföllum við hátt hitastig. Við lægra hitastig eru raðirnar rofnar af "solvus", þ.e. endaþættirnir skiljast í two fasa. Það fer eftir upphaflegri samsetningu leysniraðarinnar við hvaða hitastig þessi aðskilnaður á sér stað. Hæsti punktur solvus-ferils ilmenít-hematít raðarinnar er við tæpar $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$. Við það hitastig leysast út hematít-plötur samsíða (0001) plönum ilmenítsins. Þannig útleysingar sjást þó sjaldan í basalti, vegna þess að aðskilnaður fasanna í titáníku hemóilméniti, sem er algengt í basalti, á sér ekki stað fyrr en við $200 - 300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Á hinn böginn hittir algeng samsetning titánómagetíts (ulvöspínel 20-30) í basalti aðskilnaðarferilinn við $600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pess vegna eiga "subsolvus" ulvöspínel útleysingar sér líklega stað í innskotsbergi, sem kólnar hægt. Útleystu ulvöspínel-listarnir oxast strax yfir í ilmenít. Svona útleysing virðist einnig vera mjög algeng í jarðhitakerfum vegna ummyndunar (Árný Erla Sveinbjörnsdóttir 1978; Sigurður Steinþórsson & Árný Erla Sveinbjörnsdóttir 1981). Titánómagetít verður einnig fyrir oxunarútleysingu við hátt hitastig ($1100 - 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ – high temperature oxyexolution), sem er samtíma oxun og útleysing ul-

vöspínels úr magnetíti. Þessu má lýsa með ferlinu



Magnetít-hluti upphaflegs titánómagnetíts getur nú oxast yfir í hematít samkvæmt ferlinu

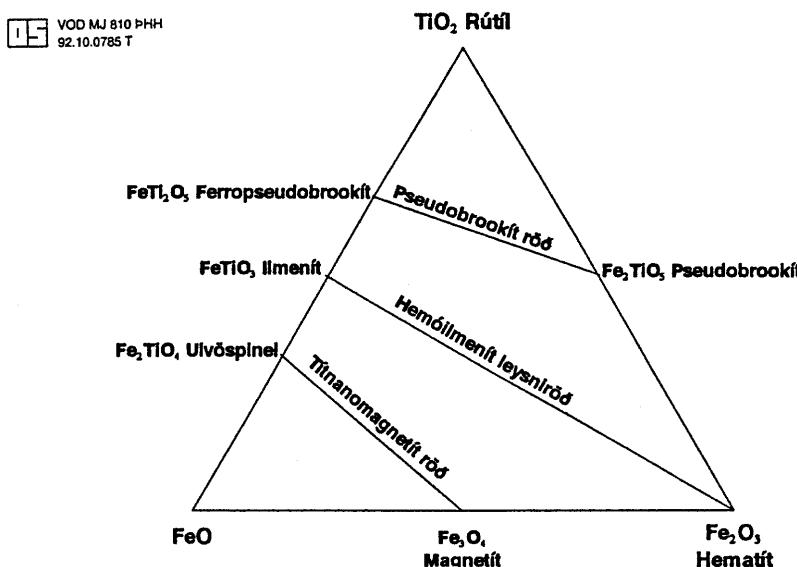


Við lágt hitastig (u.b.b. 200 °C) getur magnetít oxast yfir í maghemít. Maghemít hefur sömu byggingu og magnetít, en það hefur efnasamsetningu hematíts.

Goethít (FeOOH) er algengt veðrunarform málmsteinda. Það er vatnað járnoxíð, sem myndast við oxandi aðstæður. Það getur t.d. myndast úr hematíti samkvæmt ferlinu



Af ofansögðu er ljóst, að titán er helst að finna í ilmeníti (53%) og ulvöspinelríku titánomagnetíti. Korn þessara steinda eru oft samvaxin eða samfléttuð (Björn Gunnarsson & Freysteinn Sigurðsson 1982).



MYND 11. Málmsteindakerfið $\text{FeO}-\text{Fe}_2\text{O}_3-\text{TiO}_2$ við 1200°C.

Málmsteindakerfið, sem sýnt er á mynd 11, er byggt upp af þremur leysniröðum (solid solutions), þ.e. kúbísku leysniröðinni milli magnetíts og ulvöspinelns (titánómagnetít), trígónal leysniröðinni milli ilmeníts og hematíts hemöilmenít) og þeirri orþórombísku milli ferrópsuedóbrookíts og pseudóbrookíts. Myndin er gerð eftir Haggerty 1976.

Með smásjárskoðun á málmoxiðum er hægt að greina á milli leysniraðanna tveggja, þ.e. hemöilmenít- og titánomagnetítraðanna, en hins vegar ekki hvar í röðinni viðkomandi steind á heima. Til að meta nákvæmlega titáninnihald málmsteindanna er því nauðsynlegt að efna greina steindirnar. Það var gert og er um þær greiningar fjallað í 8. kafla.

7.3 Bergflokkun

Á Vatnsorkudeild Orkustofnunar hefur nokkuð verið fengist við bergflokkun á kornum. Greiningarkerfi því, sem notað hefur verið, er lýst í skýrslunni "Bergflokkun og eðlismassi aurs" (Svanur Pálsson og Elsa G. Vilmundardóttir 1983). Í þeiri skýrslu er fjallað um niðurstöður bergflokkunar og mælinga á eðlismassa svifaurs í allmögum jökulám. Flokkunin fer þannig fram, að búin er til þunnsneið af efninu og á henni svo gerð punktatalning á kornunum í gegnumfallandi ljósi í bergfræðismásjá. Kornunum er skipt í um 20 flokka, sem eru að því leyti ósamstæðir, að þar er um að ræða allt í senn *bergtegundir, steindir og gler*. Hér koma að eins nokkrir þessara flokka við sögu.

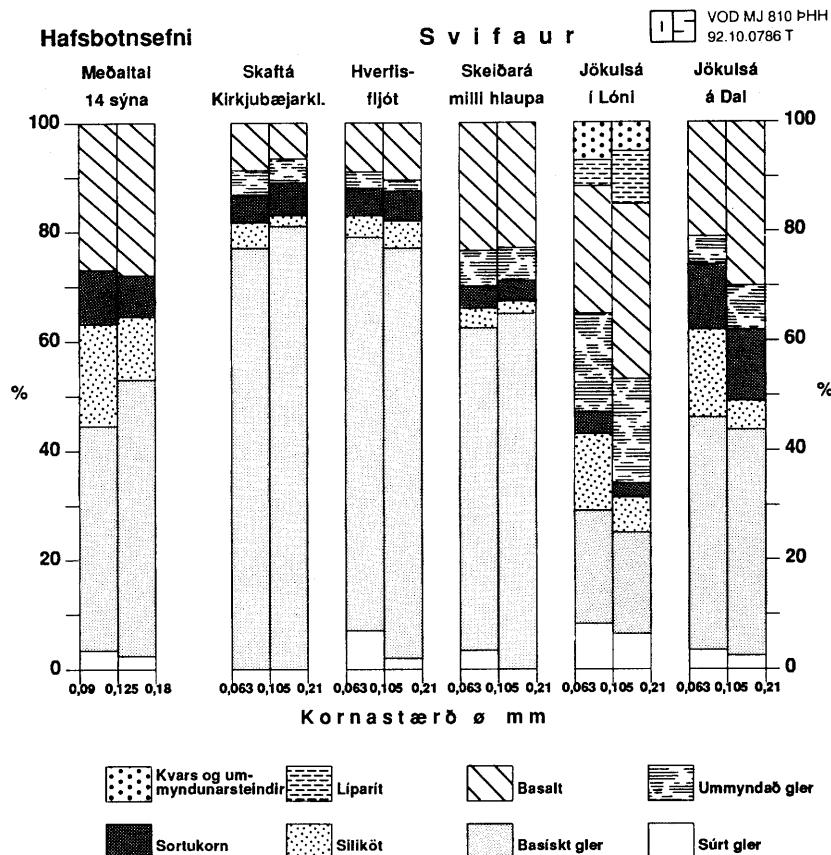
Ákveðið var að nota þetta greiningarkerfi við flokkun hafsbottssýnanna til að fá samanburð við fyrri greiningar, einkum á aurburði. Því voru gerðar þunnsneiðar af nokkrum þeirra sýna, sem eðlismassi hafði verið mældur á. Valin voru sýni af neðansjávarrifi, sem viða er utan við ströndina, af 2,2-6,5 m dýpi. Einnig voru valin sýni af u.p.b. 10, 20 og 30 m dýpi. Næst landi og af um 20 m dýpi voru valin þau sýni, sem höfðu einna hæstan eðlismassa, því að í slíku efni var helst að vænta málmríkra steinda. Nær eingöngu voru valdir kornastærðarflokkarnir 0,125 - 0,18 og 0,09 - 0,125 mm. Taldir voru um 1000 punktar í hverri þunnsneið. Rétt er að taka fram, að verulegur munur er á því, hversu stór hluti hvers einstaks sýnis er af þessari kornastærð sbr. töflu 1. Pannig þurfa þessar greiningar alls ekki að endurspeglar bergsamsetningu heildarsýnis. Eins og að verður vikið síðar, er titánríkra steinda helst að vænta í basaltbrotum, en einnig í sortukornum, sem eru ógegnsætt gler eða málmoxið.

7.4 Samanburður við svifaур

Mynd 12 er súlurit með meðaltali af niðurstöðum bergflokkunar fyrrnefndra kornastærðarflokka þessara sýna af hafsbottnsefni. Á sömu mynd eru súlurit með niðurstöðum bergflokkunar á svifaúr af svipaðri kornastærð úr Skaftá, Hverfisfljóti, Skeiðará, Jökulsá í Lóni og Jökulsá á Dal. Rétt er að hafa í huga, að mörkin milli kornastærðarflokkanna eru ekki hin sömu í svifaurnum og hafsbottnsefninu, þar sem notaðar voru aðrar sigtastærðir og kornastærðarflokkar svifaursins ná yfir breiðari kornastærðarbil. Niðurstöður bergflokkunar á svifaúr eru sóttar í áðurnefnda skýrslu, nema bergflokkun á svifaúr úr Skeiðará, sem er úr sýnum frá tímabilinu 1977 - 1981, þ.e.a.s. milli Grímsvatnahlaupa. Þess má geta, að í Grímsvatnahlaupum er svifaúrinn glerríkari eða um 80% gler í þessum kornastærðarflokum.

Þar sem Jökulsá í Lóni rennur til sjávar miklu nær því svæði, sem botnsýnin voru tekin en hinrar árnar, liggar beinast við að bera þau saman við svifaúr hennar. Í Jökulsá í Lóni er um 20% kornanna ummyndað gler, en það er svo lítið í sýnum af sjávarbotni, að það er ekki sýnt á myndinni (1 - 2%), enda er líklegt, að korn úr ummynduðu gleri brotni fljótt niður í sjó. Sama má segja um líparít og ummyndunarsteindir. Af þeim er talsvert í Jökulsá í Lóni, en nær ekki í sýnum af sjávarbotni.

Samkvæmt greiningunum virðist vera meira af sortukornum í hafsbottnsefninu en í svifaúr Jökulsár í Lóni. Sortukorn eru kolsvört, ógegnsæ korn, oxað gler. Í þeim og basaltbrotum er helst að leita titán- og járnríkra steinda. Rétt er þó að vekja athygli á því, að greiningu sortukorna ber að taka með nokkurri varúð, því að hún er tölувert háð þykkt þunnsneiðarinnar. Því þykktari sem þunnsneiðin er þeim mun meira greinist sem sortukorn. Þunnsneiðarnar með hafsbottnsefninu eru flestar með fægðu yfirborði til að unnt sé að nota þær líka við greiningu í áfallandi ljósi og við efnagreiningu í örgreini, sjá kafla 8. Þær eru fremur þykkar, svo að hugsanlegt er, að það valdi a.m.k. að einhverju leyti þessum mun á greindum hundraðshluta sortukorna í hafsbottnsefninu og svifaurnum.



Sýni af hafsbottnefni (dýpi í m í svigum) voru þessi:

Ti68 (6,5) vestan við Stokksnes og Ti61 (3,5) við Papós
 Ti57 (4,0), Ti56 (9,2), Ti54 (13,8) og Ti53 (18,8) á Lónsvík sunnan við Vigur
 Ti82 (4,3), Ti51 (4,4) og Ti47 (20) á Lónsvík norðan við Vigur
 Ti13 (2,2), Ti29 (4,9), Ti27 (10,7), Ti25 (17,6) og Ti24 (28,6) á Hrómundarþótt

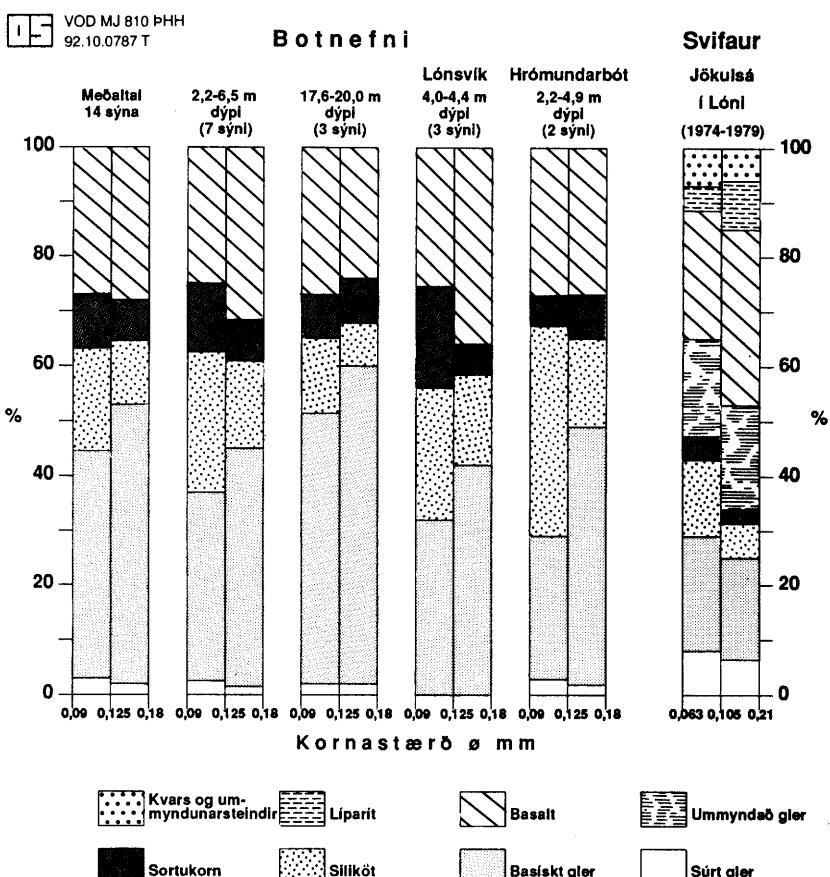
MYND 12. Flokkun á botnefni og svifaур.

Ekkert þeirra vatnsfalla, sem fjallað er um í áðurnefndri skýrslu, er með hlutfallslega jafnlítið af basísku gleri í svifaур sínum og Jökulsá í Lóni eða um 20%, en í sýnum af sjávarbotni eru 35-60% kornanna basískt gler. Hlutfallið ferskt gler/basalt, sem nefnt er glerhlutfall (Svanur Pálsson & Elsa G. Vilmundardóttir 1983), er um 1 í svipaðri kornastærð svifaurs í Jökulsá í Lóni, en rúmlega 2 í sýnum af hafsbottnefni. Ferskt gler getur verið hvort sem er súrt eða basískt. Ennfremur má geta þess, að meira er af steindum (plagíóklasi, pýroxeni og ólivíni) í hafsbottnssýnum en í svifaур Jökulsár í Lóni. Þær hafa losnað við molnun á gleri, en þó meir á kristölluðu basalti og líparíti.

- *Hlutföll bergflokkja í hafsbottnefni og í svifaур af svipaðri kornastærð í Jökulsá í Lóni eru gerólik. Sérstaklega er áberandi, hve mikil er af fersku, basísku gleri og lítið af ummynduðu í hafsbottnefni í samanburði við efni Jökulsár í Lóni. Að minnsta kosti koma sérkenni árinna engan veginn fram í botnefni.*
- *Hið háá hlutfall basísks glers í hafsbottnefni vekur grun um að botnefni berist í ríkara mæli meðfram ströndinni en búast hefði mátt við að óathuguðu máli. Það kemur nokkuð á óvart og af því hlýtur að mega draga þá ályktun, að hafsbottnefni á rannsóknasvæðinu úti fyrir Suðausturlandi endurspegli ekki samsetningu bergsins í fjöllum suðaustanlands.*

7.5 Flokkun á botnefni

Á mynd 13 eru súlurit yfir niðurstöður bergflokkunar botnefnis. Þar á meðal er sama súluritið og sýnt er á mynd 12, sem er meðaltal bergflokkunar allra hafslotnssýnanna 14. Á myndinni eru enn fremur sérstök súlurit yfir sýni af rifinu næst landi og af um 20 m dýpi. Ennfremur eru þar sérstök súlurit yfir sýni af nefndu neðansjávarrifi úr Lónsvík og Hrómundarbót. Til samanburðar er svo enn sama súluritið og á mynd 12 yfir bergflokkun svipaðra kornastærðarflokka svifaurs úr Jökulsá í Lóni.



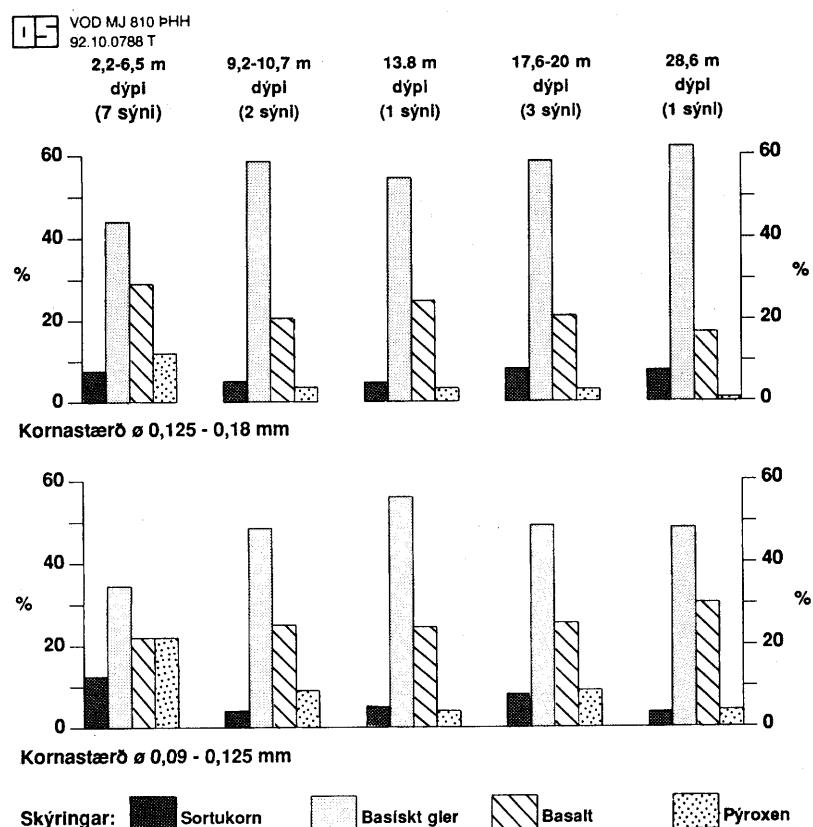
MYND 13. Flokkun á botnefni.

Pessi súlurit gefa ekki til kynna verulegan mun á hlutföllum bergflokkuna botnefnis eftir dýpi eða svæðum, helst að meira sé af gleri en minna af frumsteindum í sýnum frá um 20 m dýpi en þeim, sem voru tekin nærri landi.

Á mynd 14 eru súlurit, sem sýna hundraðshluta fjögurra bergflokkuna af mismunandi dýpi, sem um leið gefur vísbendingu um mismunandi fjarlægð frá landi. Þar kemur fram, að minnst er af basísku gleri, þar sem grynnst er, en pýroxen minnkar með auknu dýpi. Hlutfallslega minna er af basísku gleri í finni flokknum, en meira af pýroxeni. Í þessum sýnum af botnefni er greinilega minna af basísku gleri, en meira af silikötum í finni kornastærðarfloknum (0,09 - 0,125 mm). Til samanburðar má geta þess, að í sýnum, sem greind hafa verið af svifaurs, hefur hlutfallslegrar minnkunar á basísku gleri yfirleitt farið að gæta við nokkru minni kornastærð en hér er.

Reynt var að sýna fram á samband eðlismassa og sortukorna annars vegar og hins vegar eðlismassa og pýroxens. Sambandið milli eðlismassa og sortukorna er ógreinilegt, enda getur þykkt

þunnsneiðanna haft tölverð áhrif á það, hve mikið er greint sem sortukorn, eins og áður er getið. Samt sem áður kom í ljós, að hinn hái eðlismassi í sýninu, sem hefur langhaestan eðlismassa, Ti51, stafar frekar af sortukornum en pýroxeni. Í öðrum sýnum er samband eðlismassa og pýroxens aftur á móti greinilegt. Eðlismassi eykst með auknu pýroxeni, en sambandið er þó enn greinilegra, ef hundraðshlutar sortukorna og pýroxens eru lagðir saman og bornir saman við eðlismassa. Hár eðlismassi stafar aðallega af því, að efnið inniheldur mikið af pýroxeni; sortukorn hafa þar minni áhrif.



MYND 14. Hundraðshlutar fjögurra bergflokka í botnefni.

- Athuganirnar benda ekki til verulegs breytileika eftir svæðum, nema hvað hlutur glers virðist heldur aukast og silikata minnka með vaxandi dýpi. Þessi munur er óverulegur, en er eina reglulega sorteringu, sem sást í botnsýnunum.
- Hár eðlismassi virðist að mestu stafa af pýroxeni, en að nokkru af sortukornum. Eins og fram hefur komið áður, er titánríkra steinda helst að leita í sortukornum og basalti. Þar sem samband eðlismassa og pýroxens er greinilegra en sambands eðlismassa og sortukorna þarf hár eðlismassi alls ekki að benda til titánríks efnis.
- Sé eðlismassinn mjög hár eins og í Ti51 stafar hann þó af háu sortukornainnihaldi. Rétt er að benda á, að þessi hái eðlismassi mældist á efni af kornastærðarflokki, sem er innan við 2% af heildarsýni. Þannig er þessi einstaka greining á engan hátt einkennandi fyrir sandinn, eins og hann kemur upp.

7.6 Aðgreining í segulskilju

Til þess að skilja tftan- og járnrik korn frá öðru efni voru sýni látin streyma í gegnum Frantz segulskilju. Af því að þessi aðferð er mjög seinleg, var fyrst reynt að flýta fyrir með því að nota handsegla til að ná segulmögnuðstu kornunum úr, en í leiðbeiningum frá framleiðanda skiljunnar er gert ráð fyrir, að það sé gert til að ná magnettti. Það gafst illa, því að handseglarnir tóku allt of mikið af lítið segulmögnuðu efni. Nokkrar stillingar á straumi og halla voru reyndar, en best virtist reynast að hafa strauminn um 0,3 amper, hallann um 25° og hliðarhallann um 16°. Pessar stillingar eru svipaðar eða heldur lægri en mælt er með fyrir ilmenít í leiðbeiningum, sem fylgdu segulskiljunni. Straumstyrkurinn var neðarlega á sviði straummælis skiljunnar og var hann mjög óstöðugur, þegar reynt var að stilla á þetta gildi, en stillingunni var náð með því að aftengja mælinn og tengja nákvæman straummæli í staðinn. Alls ekki er vist, að tekist hafi að hitta á að velja heppilegustu stillingarnar.

TAFLA 4. Eðlismassi eftir segulaðskilnað

Töku-númer	Kornastærð ø mm	Hluti heildar-sýnis %	Eðlismassi fyrir aðgreiningu	Eðlismassi eftir aðgreiningu	Meira segulmagnaði hlutinn %
Ti68	0,18-0,25	49	2,91	3,04	1,6
	0,125 - 0,18	20	3,01	3,22	3,2
	0,09 - 0,125	7	2,90	3,28 2,86	7,7
Ti61	0,125 - 0,18	55	2,92	3,24 2,92	3,1
Ti47	0,125 - 0,18	62	2,89	3,13 2,89	3,3
	0,09 - 0,125	21	2,98	3,41 2,95	5,8
S2	0,125-0,18	22	3,07	3,22 3,06	6,7
	0,09 - 0,125	14	3,13	3,43 3,11	8,5

Efri tölurnar í næst síðasta dálkinum eiga við meira segulmagnaða hlutann, en þær neðri við þann minna segulmagnaða. Auðgun er best í finni kornastærðarflokkunum.

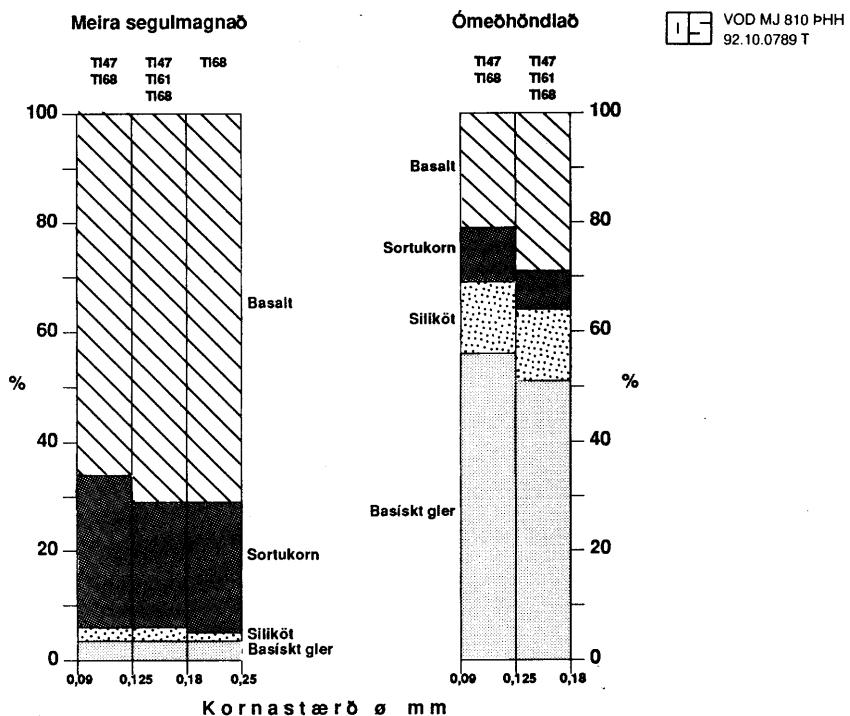
Þetta vandamál, að sýni af íslensku bergi séu mjög erfið í segulaðgreiningu, er vel þekkt (Cossette 1983) og stafar af því, að segulmögnuðu steindirnar í sandinum eru smáar og bundnar ósegulmögnuðu efni, sem þær draga með sér í skiljunni. Annað vandamál verður líska að hafa í huga. Steindirnar, sem verið er að ná til, magnetít og ilmenít, eru segulmagnaðar, en ilmenstið, sem er aðalftansteindin er minna segulmagnað en magnetít, svo að e.t.v. hefði verið heppilegra að aðskilja efnið í nokkrum áföngum og nota misjafnlega sterkan straum.

Í fyrstu var aðskilið efni úr einstökum kornastærðarflokkum fjögurra sýna og eru niðurstöðurnar sýndar í töflu 4. Ti68 var tekið á 6,5 m dýpi vestan við Stokksnes, Ti61 er af 3,5 m við Papós, Ti47 er af 20 m austan við Bæjarós í Lónsvík og S2 er úr Starmýrarfjöru. Þessi sýni voru valin vegna þess, að þau höfðu háan eðlismassa, en af sýninu, sem hafði hæstan eðlismassa, Ti51, kornastærð 0,09 - 0,125 mm, var ekki til nægilegt efni til aðskilnaðar, enda þessi

kornastærðarflokkur <2% af heildarsýni og aðrir kornastærðarflokkar sýnisins voru ekki áhugaverðir hvað eðlismassa snerti.

Eðli máls samkvæmt skiptist efnið í two hópa; meira og minna segulmagnað. Áberandi er, að mikill meirihluti efnisins fellur í minna segulmagnaða hópinn. Í töflunni kemur fram, að úr fínasta kornastærðarflokknunum, 0,09 - 0,125 mm, fæst hlutfallslega mest af meira segulmögnumuðu efni, enda kemst sú kornastærð næst stærð segulmögnumuðu steindanna, sem eru reyndar enn smærri. Hins vegar er þessi kornastærðarflokkur gjarnan því minni hluti heildarsýnisins þeim mun meira sem hann gefur af meira segulmögnumuðu efni. Er það í samræmi við niðurstöður eðlismassamælinganna.

Á mynd 15 eru hlutföll bergflokkja segulmagnaðri hluta sýnanna, sem tekin voru á hafsbottini, borin saman við tilsvarandi hlutföll í sýnum fyrir meðhöndlun í segulskilju. Þar kemur skýrt í ljós, að gler og siliköt eru næstum horfin úr segulmagnaðri hlutanum, en segulmagnaðri hlutinn er annars 70 - 80% basalt og hitt að mestu leyti sortukorn. Þetta kemur ekki á óvart, því að í basalti og sortukornum er helst að finna segulmagnaðar steindir, sem jafnframt eru titáníkar, titanomagnéít og ilmenít.



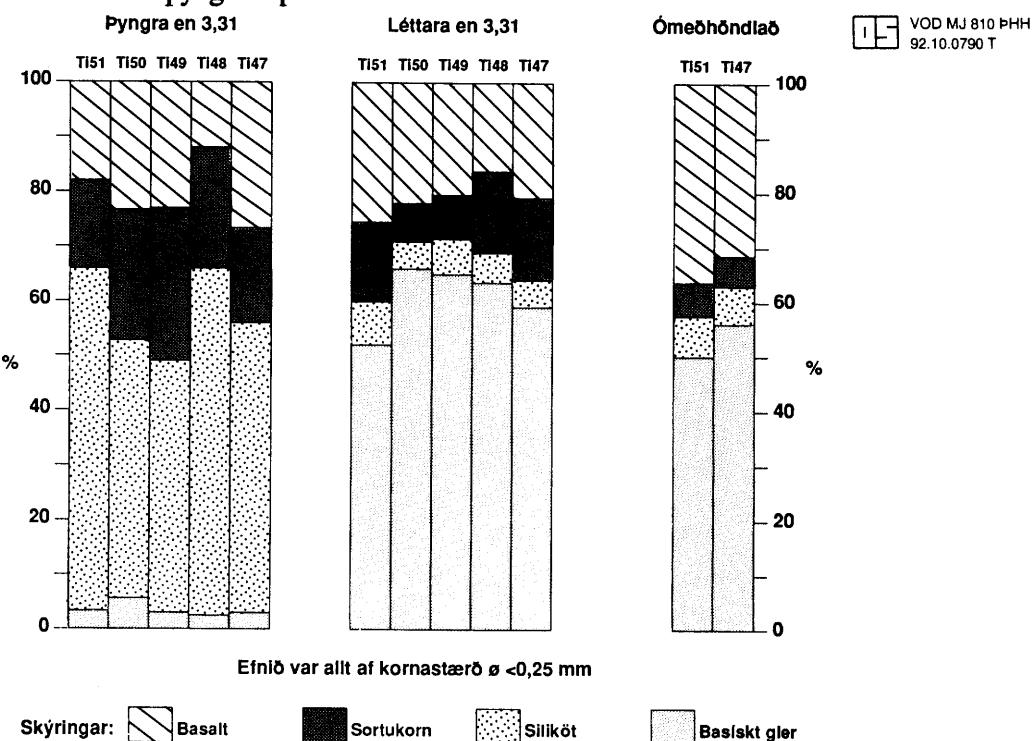
MYND 15. Flokkun eftir segulaðskilnað.

Þrátt fyrir þá annmarka á notkun segulskiljunnar, sem getið er um hér að framan, sést greinilega á mynd 15, að tekist hefur að auðga sýnin verulega að því er varðar basalt og sortukorn. Á töflu 4 má sjá, að í segulmagnaðri flokkinn hafa farið frá 1,6 til 8,5% af efni í hverjum kornastærðarflokki fyrir sig og bestar heimtur eru jafnan í fínasta flokknunum, enda er sá stærðarflokkur næst kornastærð segulmögnumuðu steindanna. *Segulaðskilnaður ætti því að skila bestum árangri, ef efnið er fint og vel sorterað.* Eins og fram kemur á mynd 8, minnkar meðalkornastærð í megindráttum með dýpi og jafnframt verður efnið oft betur sorterað. Hins vegar minnkar eðlismassi í megindráttum eftir því sem dýpið vex. Því má bæta við, eins og sést á mynd 10, að lítils háttar hækkan verður á eðlismassa á um 20 m dýpi, en meðalkornastærð á þessu dýpi er um 0,125 - 0,18 (mynd 8). Miðað við þá segulskilju, sem notuð var, er vart við því að búast, að góður segulaðskilnaður náið nema efnið sé kornastærðarflokkað áður.

7.7 Aðskilnaður í eðlisþungum vökva

Vegna þess að titán- og járnriðar steindir hafa háan eðlismassa, var reynt að ná til korna, sem auðug eru af þessum steindum með aðskilnaði í eðlisþungum vökva. Notað var metylendjóðið (CH_2J_2), en það hefur eðlismassa 3,31 og er bæði dýrt og eitrað, eins og ýmsir aðrir eðlisþungir vökvvar. Í þessa aðgreiningu var notað efni af kornastærðinni $<0,25$ mm úr eftirtöldum sýnum: Ti51, Ti50, Ti49, Ti48 og Ti47. Þessi sýni voru tekin í röð á línu út frá landi í Lónsvík norðan við Vigur. Á myndum 1 og 9 má sjá hvar og á hvaða dýpi þessi sýni voru tekin.

Ástæðurnar fyrir því að ekki var notaður vökví með eðlismassa 4,0, eins og Kanadamenn höfðu gert, eru þær, að efnið, sem nota þarf til að búa vökvani til (thalliummalonat $\text{CH}_2(\text{COOTl})_2$), er svo eitrað, að Eiturefnanefnd leyfði ekki notkun þess í því húsnæði, sem um var að ræða. Auk þess mátti búast við því, að með léttari vökva gengi aðskilnaðurinn hraðar og meira efni kæmi í þyngri hópinn.



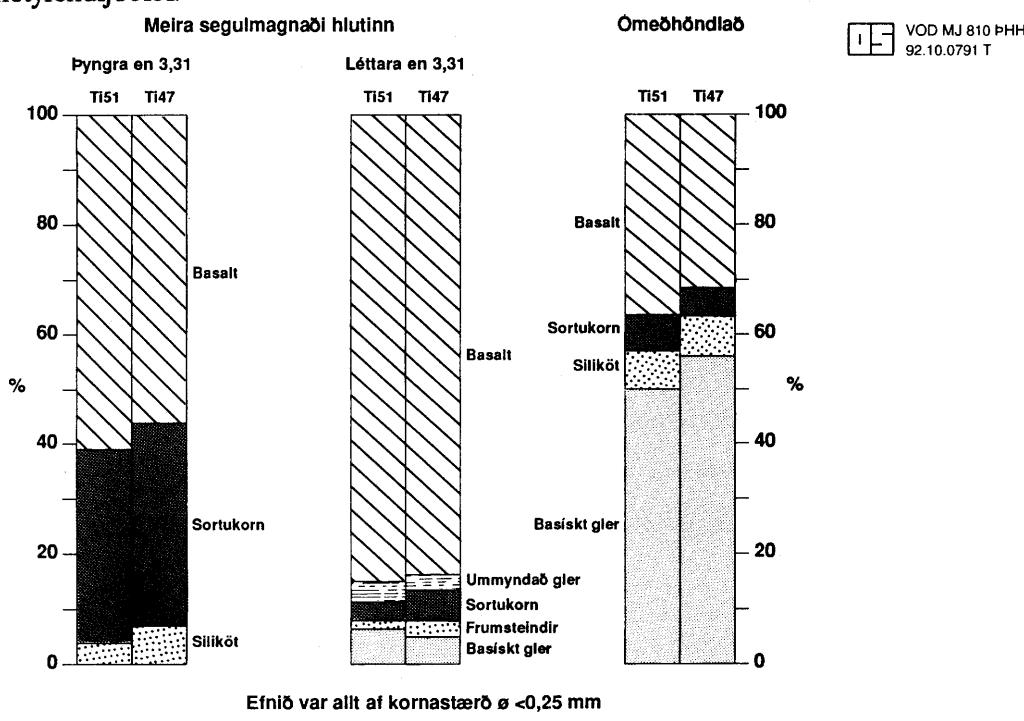
MYND 16. Flokkun eftir þyngdaraðskilnað.

Aðeins lítt hluti efnisins reyndist hafa hærri eðlismassa en vökvinn eða 0,5 - 6,2% af heildar-sýni. Um það má sjá nánar í töflu 7. Á mynd 16 er sýnd bergflokkun þyngri og léttari hluta þessara 5 sýna og til samanburðar er sýnd bergflokkun tveggja þessara sýna fyrir aðgreiningu í metylendjóði, nefnt ómeðhöndlað á myndinni. Myndin sýnir, að 50 - 60% þyngri kornanna eru siliköt, sem að langmestu leyi eru pýroxen. Að öðru leyi er þyngri hlutinn að mestu basalt og sortukorn. Hlutföll bergflokkka léttari kornanna eru, eins og eðlilegt er, lík hlutföllum kornanna fyrir aðgreiningu, þar sem langmestur hluti efnisins fór í léttari hlutann. Á myndinni kemur fram, að hlutfallslega minna hefur greinst af sortukornum en meira af basalti í sýnum um fyrir aðgreiningu en eftir. Það má e.t.v. skýra með því, að greining sortukorna er ónákvæm, vegna þess hversu mjög hún er háð þykkt þunnsneiðarinnar og mörkin milli **basalts** og **sortukorna** eru einmitt sérlega óglögg. Þessi ónákvæmni skiptir e.t.v. ekki eins miklu máli og ætla mætti, því að þetta eru einmitt þeir bergflokkar, þar sem helst er að leita titán- og járnriðra steinda, eins og nánar verður vikið að í kafla 7.8 og töflu 7.

Þegar hér var komið sögu, var ljóst hver áhrif aðgreiningar í segulskilju og metylendíjoði voru:

- Eftir aðgreiningu í segulskilju var segulmagnaðri hlutinn 70 - 80% basaltbrot og afgangurinn að mestu sortukorn. Segulmagnaðri hlutinn reyndist 1,6 - 8,5% af heildarsýni, mismikið eftir kornastærð.
- Eftir þyngdaraðskilnað var þyngri hlutinn 50 - 60% frumsteindir, að langmestu leyti pýroxen, en að öðru leyti basaltbrot og sortukorn. Þyngri hlutinn reyndist vera 0,5 - 2,5% af heildarsýni, nema í Ti51; þar var hann 6,2%.

Þá lá næst fyrir að reyna báðar aðferðirnar á sama sýni. Valin voru 2 sýni, Ti51 af 4,4 m dýpi og Ti47 af 20 m dýpi, en þau höfðu verið tekin í Lónsvík og eru á sitt hvorum enda línu út frá landi rétt norðan við Vigur (mynd 1). Sá hluti þeirra, sem var fínni en 0,25 mm, var tekinn til meðhöndlunar. Fyrst var efnið aðgreint í segulskilju, en síðan var segulmagnaðri hlutinn aðskilinn í metylendíjoði.



MYND 17. Flokkun eftir segul- og þyngdaraðskilnað.

Í Ti51 var kornastærðin $< 0,25$ mm 77% af sýni. 3,4% af því eða 2,6% af heildarsýnini lenti í segulmagnaðri hlutanum. Af þeim hluta reyndist 81% þyngri en 3,31, þ. e. 2,1% af heildarsýni.

Í Ti47 var efni $< 0,25$ mm nærrí því 100% sýnis. 2,7% fóru í segulmagnaðri hlutann. Þar af voru 80% þyngri en 3,31 eða 2,2% af heildarsýni, sem er svipað og í Ti51.

Mynd 17 sýnir niðurstöður bergflokkunar segulmagnaðri hluta þessara sýna eftir aðgreiningu í metylendíjoði. Til samanburðar er sýnd bergflokkun á efni úr sömu sýnum, sem hvorki hafði verið meðhöndlað í segulskilju né þungum vökva. Á myndinni sést, að eftir þessa meðferð er segulmagnaðri og þyngri hlutinn um 60% basalt og afgangurinn sortukorn ásamt örfáum prósentum af frumsteindum, sem að mestu eru pýroxen. Einig sést, að basískt gler hefur nær alveg fallið í hinn minna segulmagnaða hluta, sem ekki er sýndur á myndinni.

Mölun Tilraun var gerð með að mala eitt sýnið, Ti109, svo að allt efnið yrði $\leq 0,125$ mm. Vegna óheppilegs útbúnaðar við mölun varð efnið allt of fínmalað. Allra finasta efnið var skolad burtu til að auðvelda aðskilnað í segulskilju. Þrátt fyrir það gekk segulaðgreiningin mjög treglega, enda er segulskiljan gefin upp fyrir kornastærðina $0,5 - 0,04$ mm. Grófasti hluti efnisins var því hæfilegur fyrir segulskiljuna og finasta efnið í sýninu þar af leiðandi allt of fínt.

Eðlismassi segulmagnaðri hlutans reyndist 3,02, sem er verulega lægra en mælst hafði í segulmagnaðri hluta sýna af kornastærð $0,125 - 0,18$ og $0,09 - 0,125$ mm. Það styrkti þann grun, sem vaknaði meðan á þessari tilraun stóð, að segulskiljan réði alls ekki við svona fínt efni.

Því næst var segulmagnaðra efnið aðgreint í metylendjóði og náðust í þyngri flokkinn aðeins 0,14% af upphaflega sýninu, sem er 15 sinnum lakari útkoma en fékkst úr Ti51 og Ti47, en þau sýni voru ekki möluð fyrir aðgreiningu eins og Ti109. Líta verður svo á, að þessi tilraun hafi mistekist og það bendi til þess, að segulaðskilnaður á efni, sem hefur verið malað niður í svo fina kornastærð, gangi ekki í segulskilju sem þessari. Samt sem áður hafði straumstilli hennar verið breytt til þess að hún þjónaði betur hlutverki sínu, eins og fyrr segir. Í heild er efnið einfaldlega allt of segulmagnað og málmoxíðin, sem því valda, of bundin öðrum efnisögnum, sem þau draga með sér að segulpólum skiljunnar.

7.8 Smásjárgreining á málmoxíðum

Málmoxíða er að leita í sortukornum, sem eru, eins og nafnið bendir til, svört og ógegnsæ í gegnumfallandi ljósi, og því ekki aðgreinanleg frekar á þann hátt. Þau korn þurfti að skoða nánar og var notuð til þess bergfræðismásjá með áfallandi ljósi. Því voru flestar þunnsneiðarnar hafðar með fægðu yfirborði, sem er nauðsynlegt, þegar þeirri aðferð er beitt.

Helstu einkenni málmoxíðanna eru:

- Þau eru mjög fínkorna og oftast hlutar af stærra korni, silikötum og/eða gleri.
- Þau eru gjarnan samvaxin á mismunandi hátt, en oftast í mjög smáum einingum.
- Hrein ilmenít- og magnetíkorn finnast eigi að síður og einnig önnur járnoxíð, svo sem goethít.

Talningu í áfallandi ljósi var hagað þannig, að leitað var að kornum með málmoxíðum, þ.e. magnetíti og ilmeníti, en ekki var greint á milli þeirra steinda. Greind voru 1000 korn í hverri þunnsneið. Kornum með einhverju af þessum steindum, var skipt í 3 flokka eftir því hve stór hluti kornanna var málmoxíð.

- 1. flokkur: sandkorn með $> 50\%$ málmoxíðinnihald; meðaltal 55%
- 2. flokkur: sandkorn með 25-50% málmoxíðinnihald; meðaltal 35%
- 3. flokkur: sandkorn með $< 25\%$ málmoxíðinnihald; meðaltal 7%

Þessar greiningar eru mat á því hve stór hluti hvers korns er málmoxíð. Talningin gefur til kynna hve mörg prósent kornanna 1000, sem talin eru, innihalda málmoxíð og hvernig þau skiptast á milli þessara þriggja flokka.

Meðalinnihald málmoxíða í hverjum þessara þriggja flokka byggir að mestu á sjónmati. Til að skýra þetta mat nánar er þess að geta, að flest kornin, sem lenu í 1. flokki virtust vera rétt rúmlega að hálfu málmoxíð og kornin í 3. flokki virtust innihalda mjög lítið af málmoxíðum. Ennfremur er rétt að hafa í huga, að í talningu sem þessari er hætta á að ofmeta það sem verið er að leita að, því að málmoxíðin eru bjartari en aðrar steindir í áfallandi ljósi. Eins og vikið verður að hér á eftir, virðist þetta mat samt vera fyllilega raunhæft.

TAFLA 5. Málmoxíð í ómeðhöndluduðum sýnum

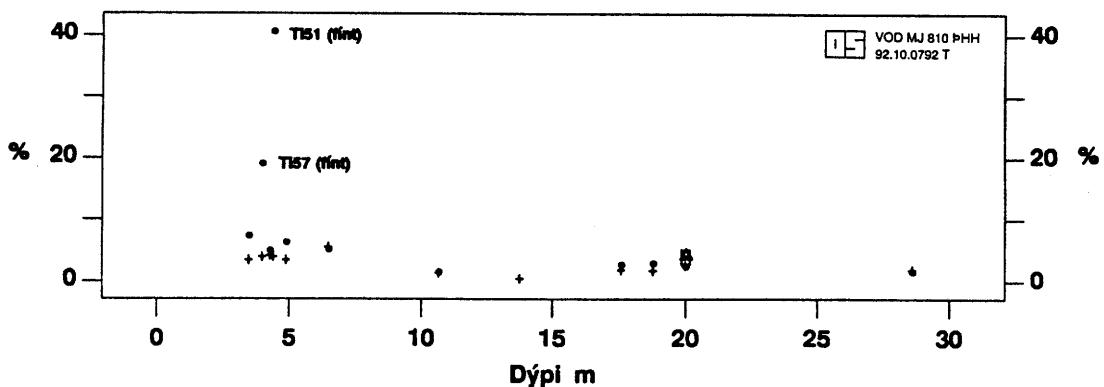
Töku-nr.	Dýpi m	Korna-stærð ø mm	Hluti af heildar-sýni %	Eðlis-massi	Hundraðshluti málmoxíða			Samtals málmoxíð %
					1. flokkur %	2. flokkur %	3. flokkur %	
Ti68	6,5	0,125-0,18 0,09-0,125	20 7	3,01 2,90	2,7 4,4	0,8 0,3	2,0 0,7	5,5 5,4
Ti61	3,5	0,125-0,18 0,09-0,125	55 5	2,92 3,10	0,7 5,1	0,4 0,9	2,3 1,5	3,4 7,5
Ti57	4,0	0,125-0,18 0,09-0,125	36 2	3,01 3,22	1,2 15,0	0,5 3,2	2,2 1,1	3,9 19,3
Ti54	13,8	0,125-0,18	41	2,85	0,2	0,1	0,1	0,4
Ti53	18,8	0,125-0,18 0,09-0,125	56 24	2,87 2,92	0,4 0,9	0,1 0,6	1,2 1,7	1,7 3,2
Ti82	4,3	0,125-0,18 0,09-0,125	27 15	3,01 3,01	1,2 2,3	0,5 0,6	2,4 2,3	4,1 5,2
Ti51	4,4	<0,25 0,125-0,18 0,09-0,125	77 23 1,7	3,02 3,02 3,59	0,7 1,1 37,7	0,1 0,6 2,3	2,3 2,2 0,8	3,1 3,9 40,8
Ti47	20	<0,25 0,125-0,18 0,09-0,125	100 62 21	2,94 2,89 2,98	0,7 0,2 1,1	0,1 0,3 0,3	1,8 2,1 1,3	2,6 2,6 2,7
Ti29	4,9	0,18-0,25 0,125-0,18 0,09-0,125	35 56 4	2,90 3,01 3,10	0,4 0,6 3,5	0,5 0,7 1,1	1,5 2,1 1,9	2,4 3,4 6,5
Ti27	10,7	0,125-0,18 0,09-0,125	68 17	2,84 2,88	0,0 0,7	0,0 0,1	1,3 0,9	1,3 1,7
Ti25	17,6	0,125-0,18 0,09-0,125	61 23	2,88 2,96	0,1 1,0	0,2 0,4	1,6 1,6	1,9 3,0
Ti24	28,6	0,125-0,18 0,09-0,125	31 38	2,81 2,88	0,1 0,4	0,3 0,4	1,5 1,1	1,9 1,9
S2		0,125-0,18 0,09-0,125	22 14	3,07 3,13	1,1 2,8	0,8 0,8	2,2 3,4	4,1 7,0
43	um 20	0,125-0,18 0,09-0,125	25 63	2,97 2,97	0,1 0,8	0,2 0,5	3,2 3,1	3,5 4,4
44	um 20	0,125-0,18 0,09-0,125	39 32	2,95 3,00	0,3 0,3	0,3 0,3	3,8 3,9	4,4 4,5

Sýni Ti68 er tekið vestan við Stokksnes, Ti61 við Papós, Ti57 - Ti47 í Lónsvík, Ti29 - Ti24 í Hrómundarbót, S2 í Starmýrarfjörum og til samanburðar sýni nr. 43 og 44 út af Sólheimasandi.

Málmoxíðinnihald einstakra korna var metið við skoðun í smásjá. Gert er ráð fyrir, að meðalmálmoxíðinnihald korna í 1. flokki sé 55%, í 2. flokki 35% og 7% í 3. flokki. Hundraðshluti málmoxíða í töflunni er fenginn út frá þeim greiningum. Hann er í þyngdarprósentum og er þá gert ráð fyrir, að meðaleðlismassi oxiðanna sé 5,0, en annars efnis 2,8.

Út frá framanskráðum matsprósentum má reikna hlutfallslegt *rúmnál* málmoxfðanna í sýnum. Rúmmálshlutfallið má aftur reikna yfir í *þyngarhlutfall*, en til þess þarf að þekkja meðaleðlis massa málmoxfðanna og meðaleðlismassa annars efnis í sýnum. Magnettí er talið hafa eðlismassann 5,18 (Weast o.fl. 1988) og ilmenist 4,70 - 4,78 (Deer o.fl. 1963). Hér er meðaleðlismassi málmoxfðanna áætlaður 5,0 og annars efnis í sýnum 2,80.

Í töflu 5 eru niðurstöður greininga málmoxfða í sýnum, sem voru ómeðhöndluð að öðru leyti en því, að þau höfðu verið sigtuð, en efnið ekki skilið að öðru leyti.



Grófari kornastærð \approx 0,125-0,18 mm: + tekið út af Suðausturlandi, Δ tekið út af Sólheimasandi
Finni kornastærð \approx 0,09-0,125 mm: • tekið út af Suðausturlandi, □ tekið út af Sólheimasandi

MYND 18. Hundraðshluti málmoxiða eftir dýpi.

Á mynd 18 er sýnt, hvernig hundraðshlutar málmoxfða í efni af kornastærðarflokkunum 0,125 - 0,18 og 0,09 - 0,125 mm breytast með dýpi. Eins og sést á myndinni og í töflu 5, eru málmoxfð samtals oftast á bilinu 2 - 7% reiknað sem þyngdarprósentur. Tvö sýni skera sig mjög úr; þar eru málmoxfðin tveggja stafa tala, u.p.b. 40% og 20%. Í báðum tilfellum er kornastærðarflokkurinn aðeins um 2% heildarsýnis. Hins vegar sker efni af grófari kornastærðinni í þessum sömu sýnum sig ekki úr hvað magn málmoxfða snertir. Þessi sýni, Ti51 og Ti57, eru bæði af rifinu nærrí landi í Lónsvík, sitt hvoru megin við Bæjarós (mynd 1). Jafnvel þó að þessum tveimur sýnum sé sleppt, greindist þó að jafnaði heldur meira af málmoxfðum í sýnum frá grynnungunum næst landi en utan af meira dýpi.

Oftast greindist meira af málmoxfðum í fínna efninu en því grófara. Sýni þau sem tekin voru á um 20 m dýpi út af Sólheimasandi og höfð eru hér til samanburðar, eru áfska auðug af málmoxfðum og hin, en málmoxfðin finnast þar aðallega í þeim floknum, þar sem minnst er af málmoxfðum í hverju einstöku korni, 3. flokki; þ.e. málmsteindirnar eru bæði mjög smáar og dreifðar. Greinilegt samband er á milli magns málmoxfða og eðlismassa, eins og áður hefur verið bent á, þó að pýroxen sé þar samt sem áður þyngra á metunum.

Prófað var að reikna eðlismassa sýna út frá heildarmagni málmoxfða með því að nota 5,0 sem eðlismassa málmoxfða og 2,80 sem eðlismassa annars efnis í sýnum. Það kom sæmilega út miðað við mældan eðlismassa, sem birtur er í töflu 5. Frávirkir eru 0 - 5% og einkennast af því, að reiknaður eðlismassi er hærri í þeim sýnum, sem eru auðugst að málmoxfðum, en að jafnaði lægri í þeim sýnum, sem eru með minnst af þeim. Ekki er við því að búast, að eðlismassi reiknaður á þennan hátt sé nákvæmlega sá sami og mældur eðlismassi, því að við útreikninginn eru notaðar tölur, sem byggjast á mati og eru meðaltölur. Breytilegt pýroxeninnihald hefur t.d. veruleg áhrif á eðlismassa og nokkur óvissa er um meðaleðlismassa málmoxfðanna, sem hér er reiknað með, að sé 5,0. Það, að eðlismassi reiknaður á þennan hátt, skuli þó ekki víska meira en raun varð á frá mældum eðlismassa, bendir til þess, að forsendur útreikninga á heildarmagni málmoxfða í sýnum hafi verið raunhæfar.

TAFLA 6. Málmoxíð, auðgun við segulaðskilnað

Töku-númer	Korna-stærð ø mm	Eðlis-massi	Hundraðshluti málmoxíða			Samtals málmoxíð %	ATH
			1. flokkur %	2. flokkur %	3. flokkur %		
Ti68	0,18-0,25	3,04	3,3	1,1	4,7	9,1 (0,1)	MS
Ti68	0,125-0,18	3,01 3,22	2,7 11,1	0,8 4,1	2,0 5,1	5,5 20,3 (0,6)	ES MS
Ti68	0,09-0,125	2,90 3,28 2,86	4,4 21,8 0,6	0,3 1,2 0,1	0,7 1,4 1,3	5,4 24,4 (1,9) 2,0	ES MS LS
Ti61	0,125-0,18	2,92 3,24	0,7 12,8	0,4 5,4	2,3 5,2	3,4 23,4 (0,7)	ES MS
Ti47	0,125-0,18	2,89 3,13	0,2 8,8	0,3 2,3	2,1 4,6	2,6 15,7 (0,5)	ES MS
Ti47	0,09-0,125	2,98 3,41	1,1 27,8	0,3 4,0	1,3 3,6	2,7 35,4 (2,1)	ES MS
S2	0,125-0,18	3,22	8,5	4,9	7,9	21,3 (1,4)	MS
S2	0,09-0,125	3,13 3,43	2,8 24,0	0,8 7,6	3,4 5,9	7,0 37,5 (3,2)	ES MS

Sýni Ti68 er tekið vestan við Stokksnes, Ti61 við Papós, Ti47 í Lónsvík og S2 í Starmýrarfjörum.

Málmoxíðinnihald einstakra korna var metið við skoðun í smásjá. Gert er ráð fyrir, að meðalmálmoxíðinnihald korna í 1. flokki sé 55%, í 2. flokki 35% og 7% í 3. flokki. Hundraðshluti málmoxíða í töflunni er í þyngdarprósentum og er gert ráð fyrir, að meðaleðlismassi oxíðanna sé 5,0, en annars efnis 2,8.

Tölur í svigum sýna hvað málmoxíð eru stór hluti af meðhöndlaða efinu.

MS meira segulmagnað; LS minna segulmagnað; ES ekki segulkilið.

Tafla 6 er yfirlit yfir greiningu málmoxíða í nokkrum sýnum þar sem sum eru aðgreind í segulskilju en önnur ekki. Raunar er hér aðallega um að ræða greiningar á meira segulmagnaða hluta sýnanna eftir segulaðskilnað, en greiningar á þeim sýnum fyrir aðgreiningu eru teknar úr töflu 5. Ennfremur er greining á einu sýni af minna segulmagnaða hlutanum eftir segulaðskilnað.

Á töflunni sést, að veruleg auðgun verður á málmoxíðum við segulaðgreininguna. Þarna er um að ræða efni af þremur kornastærðarflokkum og er auðgunin áberandi mest í fínasta floknum, en minnst í þeim grófasta. Ekki þarf að koma á óvart, að auðgunin sé mest í fínasta floknum, því að málmoxíðin einkennast af mjög smáum ögnum, eins og áður hefur komið fram.

Rétt er að vekja athygli á tölunum í svigum, en þær sýna hve mörg % af upphaflega efninu fyrir segulaðskilnað skila sér sem málmoxíð í meira segulmagnaða hlutanum. Þessar tölur eru mjög lágar, því að meira segulmagnaði hlutinn er aðeins örfá % af upphaflega efninu (tafla 4). Þetta sýnir, að segulaðskilnaðurinn hefur verið svo lélegur, að megnið af málmoxíðunum hefur raunar, þegar á heildina er litið tapast með minna segulmagnaða efninu, sérstaklega efni með örsmáum málmsteindum, 3. flokks efni. Þarna er einmitt eitt af einkennum íslensks bergs; málmsteindirnar eru mjög smáar og bundnar í kornum með öðru efni, eins og áður hefur komið fram.

TAFLA 7. Málmoxíð, auðgun við þyngdaraðskilnað

Töku-númer	% sýnis	Hundraðshluti málmoxíða				Samtals málmoxíð %		ATH		
		1. flokkur %	2. flokkur %	3. flokkur %						
Ti51	8,1 91,9	13,9 0,1	(1,1) (0,1)	3,4 0,6	(0,3) (0,5)	1,2 2,0	(0,1) (1,9)	18,5 2,7	(1,5) (2,5)	P L
Ti50	0,5 99,5	18,6 0,3	(0,1) (0,3)	6,2 0,1	(0,03) (0,1)	1,2 1,6	(0,01) (1,6)	26,0 2,0	(0,14) (2,0)	P L
Ti49	1,0 99,0	23,0 0,3	(0,2) (0,3)	5,8 0,4	(0,06) (0,4)	1,2 1,5	(0,01) (1,5)	30,0 2,2	(0,3) (2,2)	P L
Ti48	1,9 98,1	10,3 0,5	(0,2) (0,5)	3,2 0,2	(0,06) (0,2)	1,4 2,3	(0,02) (2,3)	14,9 3,0	(0,3) (3,0)	P L
Ti47	2,5 97,5	16,8 0,0	(0,4) (0,0)	2,0 0,1	(0,06) (0,1)	1,0 1,7	(0,02) (1,7)	19,8 1,8	(0,5) (1,8)	P L

Sýnin voru öll tekin á línu, sem liggur frá landi í Lónsvík norðan við Vigur.

Málmoxíðinnihald einstakra korna var metið við skoðun í smásjá. Gert er ráð fyrir, að meðalmálmoxíðinnihald korna í 1. flokki sé 55%, í 2. flokki 35% og 7% í 3. flokki. Hundraðshluti málmoxíða í töflunni er fenginn út frá þeim greiningum. Hann er í þyngdarþósentum og er þá gert ráð fyrir, að meðaleðlismassi oxíðanna sé 5,0, en annars efnis 2,8.

Tölur í svigum sýna hvað málmoxíðin eru stór hluti af heildarefninu, sem meðhöndlað var.

P eðlismassi > 3,31; L eðlismassi < 3,31. Kornastærð efnisins: Ø < 0,25 mm.

Tafla 7 sýnir greiningu málmoxíða í 5 sýnum (<0,25 mm) eftir aðskilnað í þungum vökva. Eins og við er að búast er eðlisþyngri hlutinn verulega (7 - 14 sinnum) auðugri af málmsteindum en sá léttari, en mjög lítt hluti sýnisins fór í þyngri hlutann. Málmoxíð í þyngri hlutanum reiknuð sem hundraðshlutar upphaflegs sýnis (tölur í svigum í næstaftasta dálkinum) eru aðeins 0,14 - 0,5%, nema í Ti51 eru þau 1,5%, en það sýni er verulega afbrigðilegt, eins og áður hefur komið fram.

Eins og áður hefur verið greint frá, voru sýnin Ti51 og Ti47 (kornastærð <0,25 mm) með-höndluð fyrst í segulskilju og segulmagnaðri hluti þeirra síðan aðskilinn í þungum vökva. Við þessu meðferð fóru um 97% efnisins strax burt við segulaðskilnaðinn (fóru í minna segulmagnaða hlutann), en um 80% af þessum 3%, sem eftir urðu (meira segulmagnaða efninu) reyndust hafa hærri eðlismassa en vökvinn.

Tafla 8 sýnir niðurstöður greininga á málmoxíðum þessara tveggja úrvals sýna eftir þessa meðhöndlun. Á töflunni sést, að með því að nota báðar aðskilnaðaraðferðirnar á sama efnið, fæst meiri styrkur málmoxíða en ef aðeins önnur aðferðin er notuð. Samkvæmt þessari greiningu eru málmoxíð í þyngri hluta sýnanna eftir þennan aðskilnað milli 1 og 2 prósent af upphaflegu sýnum, sem tekin voru til aðgreiningar. Það er betri árangur en þar sem eingöngu hafði verið um þyngdaraðgreiningu að ræða (tafla 7).

TAFLA 8. Þyngdaraðskilnaður á segulmögnum efni

Töku-númer	% sýnis	Hundraðshluti málmoxiða			Samtals málmoxið %	ATH
		1. flokkur %	2. flokkur %	3. flokkur %		
Ti51	81	51,6 (1,4)	9,2 (0,3)	3,1 (0,1)	63,9 (1,8)	P
	19	3,4 (0,02)	1,9 (0,01)	9,6 (0,06)	14,9 (0,1)	L
Ti47	80	39,8 (0,9)	4,8 (0,1)	4,3 (0,1)	48,9 (1,1)	P
	20	2,9 (0,02)	1,8 (0,01)	8,1 (0,04)	12,8 (0,07)	L

Sýnin voru tekin í Lónsvík sitt á hvorum enda línu frá landi út frá ósi Jökulsár í Lóni norðan við Vigur.

Málmoxiðinnihald einstakra korna var metið við skoðun í smásjá. Gert er ráð fyrir, að meðalmálmoxiðinnihald korna í 1. flokki sé 55%, í 2. flokki 35% og 7% í 3. flokki. Hundraðshluti málmoxiða í töflunni er í þyngdarþrósentum og er þá gert ráð fyrir, að meðaleðlismassi oxíðanna sé 5,0, en annars efnis 2,8.

Tölur í svigum sýna hvað málmoxiðin eru stórr hluti af heildarefninu, sem segul- og þyngdaraðskilið var.

P eðlismassi >3,31; L eðlismassi <3,31. Kornastærð efnisins: Ø <0,25 mm.

Um niðurstöður greininga á málmoxiðum, sem birtar eru í töflum 5 - 8 má draga þetta saman:

- *Ómeðhöndlað efni: Kornastærð <0,25 mm, málmoxið um 3%. Af kornastærð 0,09 - 0,125 mm greindust málmoxið yfirleitt 2 - 7%, en í tveimur sýnum, þar sem þessi kornastærðarflokkur er innan við 2% sýnis greindust þau um 20 og 40%. Í kornastærðarflokknum 0,125 - 0,18 mm greindust málmoxiðin yfirleitt á bilinu 1 - 5%.*
- *Við aðgreiningu í segulskilju tókst að auðga málmoxiðhlutfallið í 24 - 38% í kornastærðarflokknum 0,09 - 0,125 mm, en í 16 - 23% í kornastærðinni 0,125 - 0,18 mm. Reiknað út frá því efnismagni, sem tekið var til aðgreiningar í segulskilju, svara málmoxiðin í auðgaða hlutanum til um 2 - 3% í finna efninu og 0,5 - 1,4% í því gráfara. Það samsvarar því, að 35 - 78% málmoxiðanna í finni flokknum skili sér í meira segulmagnaða hlutanum. Í gráfari flokknum eru heimturnar mun lakari eða 11 - 21% af upphaflega efninu.*
- *Við aðgreiningu í vökva með eðlismassa 3,31 tókst að auðga málmoxiðhlutfallið í 19 - 30% í efni af kornastærðinni <0,25 mm. Í þeim tveimur sýnum, þar sem um samanburð er að ræða við ómeðhöndlað efni, svara málmoxið í þyngri hlutanum til þess, að um 20 og 50% málmoxiða í upphaflega efninu komi þar fram. Hærri þrósentulan á reyndar við Ti51, sem hefur sérstöðu.*
- *Við aðgreiningu á efni af kornastærðinni <0,25 mm fyrst í segulskilju og síðan í þunga vökvananum tókst að auðga málmoxiðhlutfallið í 49 - 64%. Í þeim tveimur sýnum, sem fengu þessa meðhöndlun, svara málmoxiðin í auðgaða hlutanum til þess, að um 60 og 40% málmoxiða í upphaflega efninu hafi komist til skila í auðgaða hlutanum.*

7.9 Smásjárgreining á ilmeníti

Hér að framan hefur verið fyllað um greiningar á málmoxiðum í heild, en þau ekki aðgreind innbyrðis. Raunar er það ilmenít, sem aðallega er verið að sækjast eftir, þegar leitað er að titánsteindum, enda auðugast af þeim hvíta málmi. Ilmenít var greint sérstaklega í flestum þeim þunnsneiðum, sem notaðar höfðu verið við greiningar á málmsteindum.

Talningunni var hagað á hliðstæðan hátt og þegar málmoxiðin voru greind. Notuð var bergfræðismásjá með áfallandi ljósi, talin 1000 korn í hverri þunnsneið og kornum, sem innihéldu eitthvað af ilmeníti, skipt í 3 flokka eftir því hve stórr hluti kornsins var ilmenít. Þessi flokkun er hliðstæð flokkun málmoxiðanna, sem lýst er hér framar í skýrslunni. Til að greina á milli málmsteindanna var notaður segulmagnaður vökví.

Eins og áður eru greiningarnar mat á því hve stórr hluti korns er sú steind, sem verið er að leita að, í þessu tilfelli ilmenít. Talningin gefur til kynna hve mörg prósent þeirra 1000 korna, sem talin eru, innihalda ilmenít og hvernig þau skiptast á milli þessara þriggja flokka. Talningarnar eru hundraðshlutar korna og til að fá hundraðshluta efnis verður að áætla meðalilmenítinnihald korna í hverjum þessara flokka. Hér er gert ráð fyrir sama meðalinnihaldi ilmeníts í hverjum flokki og gert var ráð fyrir við greiningu á málmoxiðum hér að framan, þ.e. 55% fyrir 1. flokkinn, 35% fyrir 2. flokk og 7% fyrir hinn 3, enda virðist þessi skipting vera raunhæf.

Þessar áætluðu prósentur fyrir flokkana þrjá voru síðan notaðar til að umreikna talninguna yfir í rúmmálsprósentur. Til að umreikna í þyngdarprósentur þarf að þekkja eðlismassa ilmeníts og meðaleðlismassa annars efnis í sýnum. Eðlismassi ilmeníts er 4,70 - 4,78, eins og getið er um hér framar. Eðlismassi annars efnis í sýnum er töluvert breytilegur sérstaklega vegna mjög mismikils innihalda af öðrum málmoxiðum, aðallega magnetíti, sem hefur eðlismassa yfir 5. Sá kostur var tekinn að reikna með eðlismassa ilmeníts sem 4,74, sem er mjög nærrí lagi, en áætla eðlismassa annars efnis misháan eftir því um hvaða sýni var að ræða. Í töflu 9 er eðlismassi annars efnis í sýnum áætlaður 2,85 - 3,3. Þar var hægt að fara nokkuð nærrí um eðlismassann, því að eðlismassi þessara sýna hafði verið mældur fyrir og eftir að-skilnað í segulskilju. Þar sem um er að ræða greiningu á kornum, sem eru eðlisþyngri en 3,31, er reiknað með, að eðlismassi annars efnis sé 3,3. Í töflu 11, þar sem eru tvær greiningar á kornum, sem eru eðlisléttari en 3,31 er reiknað með eðlismassa 3,0.

Í töflu 9 eru ilmenítgreiningar á efni, sem sumt var ómeðhöndlað, en annað hafði verið að greint í segulskilju. Ilmenít í meira segulmagnaða hlutanum af kornastærðinni 0,09 - 0,125 mm, en það er sú kornastærð, sem best hefur tekist að auðga af málmoxiðum í segulskiljunni, greindist frá 3,3 til 5,5%. Eitt sýnið, Ti61 meira segulmagnað, var af kornastærðinni 0,125 - 0,18. Í því greindist mun minna ilmenít.

Hlutfall ilmeníts af málmoxiðum virðist vera mjög mismikið í einstökum sýnum, en verulegrar ónákvæmni gætir í talningunni, vegna þess hve þessi oxíð eru líttill hluti sýnanna. Hlutfallið er að jafnaði lægra í meira segulmagnaða efni en í efni, sem hefur ekki verið segulskilið. Samkvæmt töflu 9 hefur ilmenít að meðaltali greinst sem 25% málmoxiða í sýnum af kornastærð 0,09 - 0,125 mm, sem ekki hafa verið segulskilin. Í ósegulskildu efni af kornastærðinni 0,125 - 0,18 mm greindist það 22% málmoxiða. Í þeim fjórum sýnum af meira segulmögnuðu efni, sem greind voru, greindist ilmenítið aðeins 12% málmoxiða.

TAFLA 9. Hlutfall ilmeníts í málmoxíðum

Kornastærð ø 0,09 - 0,125 mm

Töku-númer	Hundraðshluti ilmeníts			Samtals ilmenít %	Ilmenít sem % málmoxíða	ATH
	1. flokkur %	2. flokkur %	3. flokkur %			
Ti68	0,5	0,2	0,7	1,4	26	ES
	2,2	0,8	1,0	4,0 (0,3)	16	MS
	0,1	0,06	0,2	0,4	20	LS
Ti61	1,3	0,4	0,4	2,1	28	ES
Ti57	1,9	0,3	0,3	2,5	13	ES
Ti53	0,2	0,2	0,3	0,7	22	ES
Ti82	1,1	0,2	0,5	1,8	35	ES
Ti51	7,0	1,1	0,9	9,0	22	ES
Ti47	1,4	0,6	1,3	3,3 (0,2)	9	MS
Ti29	0,8	0,3	0,3	1,4	22	ES
Ti27	0,2	0,1	0,2	0,5	29	ES
Ti25	0,2	0,2	0,4	0,8	27	ES
Ti24	0,0	0,1	0,2	0,3	16	ES
S2	2,1	1,2	2,2	5,5 (0,5)	15	MS
43	0,2	0,1	0,8	1,1	25	ES
44	0,0	0,06	1,3	1,4	31	ES

Kornastærð ø 0,125 - 0,18 mm

Töku-númer	Hundraðshluti ilmeníts			Samtals ilmenít %	Ilmenít sem % málmoxíða	ATH
	1. flokkur %	2. flokkur %	3. flokkur %			
Ti68	0,3	0,2	0,2	0,7	13	ES
Ti61	0,8	0,3	0,8	1,9 (0,06)	8	MS
Ti57	0,0	0,1	0,4	0,5	13	ES
Ti54	0,0	0,0	0,2	0,2	50	ES
Ti47	0,0	0,0	0,3	0,3	12	ES
Ti29	0,1	0,0	0,5	0,6	18	ES
S2	0,1	0,06	0,5	0,7	16	ES
44	0,2	0,2	1,0	1,4	32	ES

ES ekki segulskilið; MS meira segulmagnað; LS minna segulmagnað.

Sýni Ti68 er tekið vestan við Stokksnes, Ti61 við Papós, Ti57-Ti47 í Lónsvík, Ti29-Ti24 í Hrómundarbót, S2 í Starmýrarfjörum og til samanburðar sýni nr. 43 og 44 út af Sólheimasandi.

Tölur í svigum sýna hvað ilmenítið, sem greindist í meira segulmagnaða efninu, er mörg % af því efnismagni, sem tekið var til aðgreiningar í segulskilju.

Rétt er að taka fram, að sýnið Ti51, sem hefur sérstöðu að því er varðar efni af kornastærð 0,09 - 0,125 mm, var ekki segulskilið af því að of lítið var af þeirri kornastærð í sýninu til að hægt væri að segulskilja það.

Til samanburðar má geta þess, að Cossette (1983) notaði segulskilju til að greina að ilmenít og magnetít í þremur sýnum, þar sem efnið hafði áður verið auðgað af málmoxíðum með því að nota vökva með eðlismassa 4,00. Þar reyndist ilmenít vera 19% og magnetít 81%. Samkvæmt Birni Gunnarssyni & Freysteini Sigurðssyni (1982) greindist hlutfall ilmeníts í málmoxíðum í Hvalseyfjalli um 40% og um 43% í Meðalfelli. Þar er um að ræða málmoxíð í föstu bergi, gabbrói. Þar sem gabbróið er djúpberg, sem hefur storknað mjög hægt, þarf ekki að koma á óvart, að ilmeníthlutfallið sé hærra þar.

Hlutur ilmeníts miðað við það efnismagn, sem tekið var til aðgreiningar í segulskilju er sýnt innan sviga í töflu 9. Ilmenítið í þessum fjórum sýnum greindist alls staðar tölувert undir 1%

TAFLA 10. Ilmenít í þyngri hluta nоккура sýna

Tökunúmer	Hundraðshluti ilmeníts			Samtals ilmenít %	Ilmenít sem % málmoxíða
	1. flokkur %	2. flokkur %	<3. flokkur %		
Ti51	3,4	0,7	0,8	4,9 (0,40)	26
Ti50	3,8	1,1	1,0	5,9 (0,03)	23
Ti49	4,3	0,8	0,8	5,9 (0,06)	20
Ti48	1,8	0,5	0,5	2,8 (0,05)	19
Ti47	2,1	0,8	0,6	3,5 (0,09)	18

Greint var efni $\phi < 0,25$ mm. Í svigum eru hundraðshlutar upphaflegs sýnis.

Í töflu 10 eru niðurstöður greininga á ilmeníti í efni þyngra en 3,31 af kornastærðinni $< 0,25$. Ilmenít í efni, sem hafði verið auðgað á þennan hátt, greindist á bilinu 3 - 6%, en reiknað sem hlutfall af upphaflegu sýni er það á bilinu 0,03 - 0,4%. Þar sker Ti51 sig úr með því að vera langauðugast eins og fyrr. Ilmenít sem hlutfall af málmoxíðum samtals greindist þarna að meðaltali um 21%.

TAFLA 11. Ilmenít í segulmagnaðri hluta tveggja úrvalssýna

Tökunúmer	Hundraðshluti ilmeníts			Samtals ilmenít %	Ilmenít sem % málmoxíða	ATH
	1. flokkur %	2. flokkur %	3. flokkur %			
Ti51	3,2	1,1	3,2	7,5 (0,21)	12	P
Ti51	0,4	0,2	2,0	2,6 (0,02)	17	L
Ti47	1,8	1,0	2,9	5,7 (0,12)	12	P
Ti47	0,0	0,2	0,8	1,0 (0,005)	8	L

Greint var efni $\phi < 0,25$ mm. P eðlismassi $> 3,31$; L eðlismassi $< 3,31$. Í svigum eru hundraðshlutar upphaflegs sýnis.

Í töflu 11 eru niðurstöður greininga á ilmeníti í segulmagnaðri hluta tveggja sýna, sem höfðu fyrst verið aðskilin í segulskilju, en síðan aðgreind í þungum vökva. Ilmenít í eðlisþyngri hlutunum greindist heldur hærra en í efninu í töflu 10, sem aðeins hafði verið aðskilið í þungum vökva. Ilmenít sem prósent af málmoxiðum samtals greinist þarna verulega lægra en að meðaltali í hinum töflunum eða rúmlega 12%, svo vill til, að það er nánast hið sama og hlutfallið fyrir meira segulmagnaða efnið í töflu 9. Raunar er alls ekki óeðlilegt, að hlutfallið sé lægra í meira segulmögnuðu efni, því að ilmenít er minna segulmagnað en magnetít og skilar sér því hlutfallslega verr við segulaðskilnað.

Niðurstöður þessara smásjárgreininga á ilmeníti eru í stuttu máli þessar:

- Við aðgreiningu í segulskilju á efni af kornastærð 0,09 - 0,125 mm tókst að auðga ilmeníthlutfallið í 3,3 - 5,5%, sem er aðeins 0,2 - 0,5% af upphaflegu efni. Í efni af kornastærð 0,125 - 0,18 mm, (1 sýni), tókst að auðga ilmeníthlutfallið í 1,9%, sem er aðeins 0,06% af upphaflegu sandsýni.
- Við þyngdaraðskilnað tókst að auðga ilmeníthlutfallið í 2,8 - 5,9% í efni af kornastærð <0,25 mm, en sem hlutfall af upphaflegu efni var það 0,4% í Ti51, en 0,03 - 0,09% í hinum fjórum.
- Við aðgreiningu fyrst í segulskilju og síðan í þunga vökvanaum tókst að auðga ilmeníthlutfallið í 5,7 - 7,5% í efni af kornastærðinni <0,25 mm, sem svara til 0,1 - 0,2% af upphaflegu efni.
- Hlutur ilmeníts af málmoxiðum greindist að jafnaði 21 - 25% í ómeðhöndluðu efni og efni, sem hafði verið auðgað við þyngdaraðskilnað. Það er heldur hærra en greint hefur verið í fjörusandi, en töluvert lægra en greindist að meðaltali í gabbróbergi. Í meira segulmagnaða hluta efnisins greindist þetta hlutfall hins vegar að meðaltali um 12% og skipti þá ekki máli, þótt efnið hafi verið auðgað á eftir með aðgreiningu í þungum vökva. Það má skyra með því, að ilmenítið hafi frekar lent með minna segulmagnaða efninu en magnetitið.

8. EFNASAMSETNING MÁLMOXÍÐA

Til að meta titannihald málmsteindanna voru gerðar efnagreiningar, svokallaðar punktgreiningar, á Fe-Ti oxíðum þriggja sýna, þ.e. vestan við Stokksnes (Ti68), frá Lónsvík sunnan við Vigur (Ti57) og frá Lónsvík austan Bæjaróss (Ti51). Efnagreingarnar voru gerðar með ör-greini Norrænu eldfjallastöðvarinnar.

Niðurstöður efnagreininganna eru sýndar í töflu 12. Alls var mælt í 37 punktum og greindir 6 málmar í hverjum. Þessar frumgreiningar benda ekki til þess að neinn verulegur munur sé á efnasamsetningu ilmeníts annars vegar og titannomagnetíts hins vegar í þessum sýnum.

Í sýni Ti68 eru einungis greindir ilmenítkristallar og reyndist titannihald þeirra vera á bilinu 39 til 51%. Í hinum sýnum sýnum tveimur, Ti57 og Ti51, var niðurstaðan svipuð hvað titannihald varðar, en í þeim voru einnig greind titánómagnetítkorn og reyndist titannihald þeirra töluvert breytilegt, eins og taflan ber með sér. Ástæður þessa breytileika er að finna í berginu, sem sandurinn er brotinn úr, því að ævinlega er um mismiklar útleysingar og samfléttningar að ræða í steindunum.

Vegið meðaltal titans í ilmeníti reynist í þessum greiningum vera 45,6% og í titánómagnetítinu er það 20,3%. Í fjörusandssýnum Kanadamanna (Cosset 1983) voru sambærilegar tölur 47,0% og 15 - 16%. Til samanburðar má benda á, að titán í ilmeníti úr Hvalsnesfjalli er 47,1% (Björn Gunnarsson & Freysteinn Sigurðsson 1982), eða algerlega í stíl við fjörusýnin. Af þessu má ráða, að hvað titannihald áhrærir, er ilmenít í sjávarsandinun heldur lakara en í djúpbergsinnskotum uppi á landi og hugsanlegt er að áhrifa þeirra gæti meira á fjórum en á sjávarbotni. Ekki er ástæða til að draga neinar ályktanir af greiningunum á titánómagnetítinu, enda langtum rýrari uppsprettta hins eftirsóknarverða titans.

Ilmenít er misjafnlega mikið ummyndað og hækkar titanhlutfallið alla jafnan eftir því sem hlutur járnar minnkar. Fræðilega eru tæplega 53% TiO_2 í ilmeníti, en í náttúrunni er ævinlega dálítill breytileiki. Í þýðingarmestu nánum, sem unnið er úr erlendis, er þetta hlutfall töluvert breytilegt, en þó sjaldnast lægra en 53% og í einstaka námu nær hlutfallið allt að 70% (Wessel 1975). Lægri gildi finnast reyndar; t.a.m. er titanhlutfall í ilmeníti frá Suður-Afríku "aðeins" 47,5%, eða svipað og hér er að finna í fjórum.

Fram hefur komið, að oft gætir verulegra útleysinga bæði í ilmeníti og titánómagnetíti (sjá kafla 7.2 hér og Björn Gunnarsson & Freysteinn Sigurðsson 1982). Einnig eru ilmenítkornin oft samfléttuð öðrum málmoxiðum og er afar ólíklegt, að mögulegt sé að aðskilja þau með mölun. Þetta er meðal annars ástæðan fyrir þeim breytileika á efnasamsetningu málmkristalla, sem fram kemur í töflu 12.

Auk ofantalina greininga voru gerðar heildarefnagreiningar á 10 ósigtuðum sýnum og eru niðurstöður í töflu 13. Sýnum var fyrst breytt í gler með því að hita þau upp fyrir bræðslumark og snöggkæla síðan. Glerið var síðan efnagreint á örgreini Norrænu eldfjallastöðvarinnar.

TAFLA 12. Efnagreiningar á einstökum punktum málmsteinda í völdum sýnum

Ef fleiri en ein efnagreining var gerð á sama kristalli, eru þær í sama hólfí

Títanprósentan í ilmeníti er feitletruð, en skáletruð í titánomagnetíti

Ti68 vestan við Stokksnes ø 0,125-0,18

TiO ₂	51.05	50.68	49.47	47.2	45.46	40.13	39.11
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0.01	0.01	0	0.02
MnO	0.89	0.89	0.95	2.1	2	1.23	1.13
FeO	44.87	45.25	44.57	48.24	48.31	55.05	53.58
MgO	2.1	2.14	2.07	0.05	0.1	0.15	0.41
Al ₂ O ₃	0.2	0.18	0.19	0.06	0.05	0.02	0.16
Alls	99.11	99.14	97.25	97.66	95.93	96.58	94.41

Ti57 Lónsvík austan við Vigur ø 0,09-0,125 mm

TiO ₂	48.19	46.3	41.86	40.7	23.9	23.16	25.13	21.75	16.1	16.79
Cr ₂ O ₃	0.01	0.01	0.03	0.04	0.01	0.01	0.02	0	0.02	0.01
MnO	0.65	0.88	0.5	0.77	1.1	1.87	0.87	2.22	0.35	0.36
FeO	47.09	52.73	50.5	52.02	65.18	63.42	55.6	61.71	64.49	67.44
MgO	2.65	1.12	0.61	0.24	0.16	0.32	0.03	0.04	6.48	6.41
Al ₂ O ₃	0.11	0.18	0.42	0.55	1.51	1.64	2.15	2.97	5.35	5.29
Alls	98.7	101.22	93.92	94.32	91.86	90.42	83.8	88.68	93.7	96.3

Ti51 austan Bæjaróss ø 0,09-0,125 mm

TiO ₂	46.48	18.78	44.57	43.78	49.43	21.06	51.09	50.44	19.97	18.38
Cr ₂ O ₃	0	0	0	0	0.07	0.42	0	0.03	0.03	0
MnO	1.02	0.56	1.6	1.71	0.2	0.54	0.18	0.16	0.47	0.44
FeO	44.5	72.3	44.48	48.23	39.55	67.39	35.97	37.13	69.75	68.15
MgO	1.37	0.51	0.41	0.35	0.71	1.24	2.58	3.78	0.59	0.6
Al ₂ O ₃	0.11	2	0.21	0.13	0.21	1.56	0.15	0.18	0.67	0.85
Alls	93.49	94.15	91.27	94.2	90.17	92.22	89.97	91.73	91.49	88.42

TiO ₂	24.99	21.63	21.91	39.71	9.21	20.07	29.3	15.78	20.29	12.41
Cr ₂ O ₃	0.01	0	0.01	0.09	0.46	0.12	0.17	0.09	0	0
MnO	0.98	1.14	1.55	0.32	0.55	0.3	1.53	0.32	1.1	0.76
FeO	57.32	54.86	65.45	47.45	74.2	69.49	52.03	69.15	68	72.14
MgO	0.28	0.06	0.06	1.29	1.66	1.01	1.66	0.94	0.04	0.29
Al ₂ O ₃	2.36	2.12	1.96	0.2	2.45	2.44	1.63	1.96	0.95	0.27
Alls	85.93	79.81	90.94	89.06	88.53	93.41	86.33	88.24	90.37	85.87

TAFLA 13. Heildarefnagreiningar

Tökunúmer	Ti68	Ti61	Ti57	Ti53	Ti82	Ti51	Ti47	Ti29	Ti27	Ti25
SiO ₂	50.7	50.9	50.2	51.1	50.6	51	50.4	50	51.1	50.5
TiO ₂	2.7	2.5	2.6	2.6	2.6	2.6	3.2	2.7	2.4	2.6
Al ₂ O ₃	13.1	13.6	13.1	13.9	13.2	13.6	13.2	12.7	14.2	13.7
FeO	12.1	12.1	12.2	12.1	12.2	12.5	13.6	12.1	11.1	11.7
MnO	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2
MgO	6.2	5.8	6.6	5.7	5.8	5.8	6.1	6.5	5.1	5.7
CaO	10.8	10.4	10.6	10.2	10.4	10.2	10.1	11.1	9.6	10.3
Na ₂ O	3	3.2	3	3.2	3.4	3.4	2.8	2.9	4	3.3
K ₂ O	0.5	0.6	0.5	0.5	0.6	0.4	0.5	0.4	0.6	0.5
P ₂ O ₅	0.3	0.3	0.3	0.3	0.2	0.3	0.2	0.3	0.3	0.3
Alls	99.6	99.6	99.4	99.8	99.2	100	100.3	98.9	98.7	98.8

Þessar efnagreiningar sýna, að hvað titannihald áhrærir, er sandurinn lítið frábrugðinn öðru bergi á Íslandi. Eins og sést af töflu 13, er TiO₂-innihald sýnanna frá 2,4% til 3,2%. Ti47 sker sig dálítið úr, en það sýni er tekið á um 20 m dýpi rétt norðan við Vigur. Sýnið Ti51 sker sig hins vegar á engan hátt frá öðrum sýnum, en það er tekið uppi undir landi nærrí ósi Jökulsár í Lóni. TiO₂-innihald þessara 10 sýna er hins vegar 2,7% að meðaltali, sem er einmitt sama tala og Cossette (1983) gefur upp fyrir TiO₂-styrk "íslenska svarta sandsins". Titaninnihaldið eitt sér er á hinn bóginn ekki lýsandi fyrir það hversu mikið af því sé vinnanlegt með hinum að-skiljanlegustu sigtum eða skiljum. Í skýrslu Cossetts er bent á, að væri allt petta titán bundið í hreinu ilmeníti, væri VHM-stuðull (valuable heavy minerals) sandsins a.m.k. 5,13%, þ.e. ilmenítlutfall sandsins væri a.m.k. 5,13%. Stuðull þessi reyndist hins vegar vera miklum mun lægri, eða að jafnaði 0,67%; aðeins 3 af 14 sýnum höfðu VHM-stuðul >0,75% og þau, sem reyndust skást, voru tekin á litlum fjörubleðlum undir Eystrahorni og Vestrahorni.

VHM-gildið er ákvarðað með aðskilnaði í þungum vökva (e.b. 4.0) og er þetta lága hlutfall skýrt með því, að oftast er ilmenítið bundið léttum silikötum, sem torvelda og rugla aðskilnaðinn. Ilmenítið, sem þannig fæst, er sem sagt ekki fullkomlega hreint og mikill hluti þess verður eftir í frákastinu vegna þess að ilmenítkornin eru samtvinnuð léttari steindum. Reyna má að nálgast ilmenít-gildi, sem samsvarað getur VHM, eftir öðrum leiðum:

Í kafla 7.9 kemur fram, að hlutfall málmoxíða í sjávarsandi er alla jafnan um 3% (1 - 7%).

Í kafla 7.10 er ákvarðað, að þar af sé ilmenít á bilinu 21 - 25%.

Af þessu leiðir að það ilmenít, sem finnst meðal annarra málmoxíða og er þar af leiðandi vinnanlegt án bræðslu, er 0,69% (0,25 - 1,75%), eða nánast jafnt meðalgildi Cossetts.

Einnig er hægt að ákvarða þann hluta, sem talinn er geta verið tæknilega vinnanlegur án bræðslu, fyrir nokkur einstök úrvalssýni, en það gerir þau þó alls ekki eftirsóknarverðari, eins og fram kemur í töflu 14. Hér að framan hafa einkum tveir algengustu kornastærðarflokkar sandsins verið til skoðunar. Við lítum því á sýni þar sem þessir tveir flokkar eru obbiðn af heildarsýninu og að hlutur málmoxíða í þessum flokkum fari þar af leiðandi nærrí því að lýsa sýninu í heild. Í töflu 9 eru greiningar á ilmenítmagni í einstökum kornastærðarflokkum, en oftar en ekki eru þessir flokkar einungis lítið brot af heildarsýninu, þannig að eðlilegra þykir hér að gera ráð fyrir að ilmenít sé um fjórðungur málmoxíða (sbr. kafla 7.9)

TAFLA 14. Titan í vinnanlegu ástandi

Númer sýnis	Hluti af heildarsýni %	Málm- oxið %	Ilmenít greint %	Ilmenít reiknað %	TiO ₂ í ilmeníti %
Skýring	1	2	3	4	5
Ti53	80	2.2	0.55	4.94	0.25
Ti51	77	3.1	0.78	4.94	0.36
Ti47	100	2.6	0.65	6.08	0.30
Ti29	95	3.2	0.80	5.13	0.37
Ti27	85	1.4	0.35	4.56	0.16
Ti25	83	2.2	0.55	4.94	0.25
Meðaltal			0.61		

Skýringar við töfluna:

- 1: Hluti kornastærðarflokkanna 0,125 - 0,18 & 0,09 - 0,125 mm af heildarsýni skv. töflu 1.
- 2: Vegið meðaltal málmoxiða í nefndum kornastærðarflokkum skv. töflu 5.
- 3: Ilmenít reiknað sem 25% af málmoxiðunum í samræmi við niðurstöður í kafla 7.9.
- 4: Ilmenít, ef allt TiO₂ væri bundið í því samkvæmt töflu 13.
- 5: TiO₂ reiknað sem 45,6% af ilmeníti samkvæmt meðaltali úr töflu 12. Pennan hluta má e.t.v. vinna.

Við sjáum af töflunni að ilmenítlutfallið er 0,35 - 0,80%; að meðaltali 0,61% og ef við leyfum okkur að bera þessa tölur saman við VHM-tölur fjörusands (sbr. Cossette 1982, table 3), sést að þær eru yfirleitt næsta áþekkar. Sé því einnig slegið föstu, að titán sé einungis vinnanlegt með góðu móti úr ilmeníti, má gera því skóna, að einungis tilundi parturinn af því titani sem fram kemur í heildarefnagreiningu sé vinnanlegur án bræðslu. Þetta þýðir, að miðað við að TiO₂-innihald sé að jafnaði 2,7%, má aldrei reikna með meiru en 2,7 kg TiO₂ úr hverju tonni sands og vafalaust yrði afraksturinn enn rýrari vegna steindasamfléttингa.

- *TiO₂-innihald er að jafnaði 45,6% í ilmeníti í þeim þremur sandsýnum sem tekin voru til skoðunar, en það er heldur lakara en mælst hefur í fjörusandi. TiO₂-innihald í titán-anómagnettíti var að jafnaði um 20%.*
- *Efnagreiningar á sandi úr fjörum og sjó sýna, að TiO₂ er að jafnaði 2,7%. Titáninnihaldið er þar af leiðandi vel viðunandi hátt. Af því er hins vegar aðeins um tilundi hluti bundinn ilmeníti, sem mögulega má skilja frá öðru efni. Vinnanlegt titáninnihald sandsins er þess vegna mun minna en efnagreiningarnar gætu gefið til kynna.*

9. HEIMILDIR

Árný Erla Sveinbjörnsdóttir 1978: *Málmsteindir í holu 7 Kröfli*. B.Sc. ritgerð við Háskóla Íslands, 30 s.

Björn Gunnarsson & Freysteinn Sigurðsson 1982: *Titanískar steindir í gabbrói í Lóni og Meðalfelli í Nesjum*. Orkustofnun, OS-82094/VOD-15, 61 s.

Cossette, Denis 1983: *Mineralogical Evaluation of Iceland Black Sands*. QIT-FER et Titane Inc. Resource Development Department. Report No. RD-11-83, 27 s.

Deer, W. A., Howie, R. A. & Zussman, J. 1963: *Rock-forming Minerals Vol. 5 Non-Silicates*. Longmans, 371 s.

Friðrik Daníelsson, Gylfi Einarsson, Árni Hjartarson & Freysteinn Sigurðsson 1978: *Íslenskt ilmenít – kónnunarskýrsla 1 heimildakónnun*. Íðnþróunarstofnun Íslands og Orkustofnun, IPSÍ 1978 02 OS JKD 7802, (48) s.

Haggerty, S.E. 1976: Opaque mineral oxides in terrestrial igneous rocks. Í: Rumble, D. (ritstj.). *Oxide minerals. Mineralogical Society of America short course notes*, 3, Hg101-300.

Halldór Kjartansson 1985: Málmgrýti á Íslandi. *Ráðstefna um jarðefni til iðnaðar 29. nóvember 1985 haldin af Verkfræðingafélagi Íslands, Jarðfræðafélagi Íslands og Mannvirkjajarðfræðafélagi Íslands*.

Jankovic, Slobodan 1970: *Frumleit að hagnýtum jarðefnum á Íslandi*. Rannsóknaráð ríkisins, 125 s.

Sigurður Steinþórsson & Árný Erla Sveinbjörnsdóttir 1981: Opaque minerals in geothermal well no. 7, Krafla, Northern Iceland. *Journal of Volcanology and Geohermal Research*, 10: 245-261.

Sjómælingar Íslands 1984: *Sjávarföll við Ísland árið 1985*, 16 s.

Sjómælingar Íslands 1979: *Sjókort 74 Hlaða - Stokksnes*.

Sjölund, Sven 1953: *Rapport från prövtagning och anrikningsförsök av ilmenitsand från Island*. Fjölrít, 4 s.

Skúli Víkingsson 1985: South Coast of Iceland. Beach Material and Coastal Changes. *Iceland Coastal and River Symposium*: 231-243.

Svanur Pálsson & Elsa G. Vilmundardóttir 1983: *Bergflokkun og eðlismassi aurs*. Orkustofnun, OS-83016/VOD-O1, 73 s.

Weast, Robert C., Astle, Melvin J. & Beyer; William H. 1988: *CRC Handbook of Chemistry and Physics*. CRC Press.

Wessel L. F. W. 1975: *Í: Mineral Facts and Problems 1975 Edition. Staff of Bureau of Mines Washington*, Bull.: 1143 - 1160.

ENGLISH SUMMARY

The quantity and quality of Icelandic titan-bearing minerals, gabbroic intrusions frequently appearing in the basaltic lava pile in South-Eastern Iceland, and coastal black sands nearby has been studied on a few occasions.

This report deals with research done on sand samples taken from the sea floor near the coast in 1985. The research area covers almost 200 km² between Hornafjörður and Berufjörður, SE-Iceland, and most of the samples were taken at shallow waters where the maximum depth was around 20 m depth.

Various attempts were made to separate titanium-rich material from rock-fragments and silicates which did not lead to positive conclusions. The content of titan in the sand samples is similar as in "ordinary" basaltic rock, but only a fraction is bound in ilmenite and titanomagnetite crystals. The rest is shattered in the lighter part, showing no tendency of concentration. This is in an agreement with earlier studies.

Gravity-separation is slow and difficult because the sand mainly consists of basaltic rock-fragments and volcanic glass. Heavy titane-bearing minerals are, if present, more or less included in these fragments and thus affecting the density. Minerals showing magnetism are dispersed around in almost every fragment of the sand, making magnetic separation difficult although extremely low magnetic field is induced. These separation tests thus usually give insufficient enrichment of metal-bearing minerals. Yet the metal-mineral content of two carefully chosen samples are around 50% after gravity- and magnetic separations, being around 3% in untreated sand samples.

Ilmenite constitutes up to 25% of the opaque minerals. Being the mineral richest in TiO₂-content, 45.6%, it is yet rather poor compared to foreign concentrates, because of mixing with other minerals, mainly titaniferous magnetite.

The TiO₂-content of the black sand is 2.7%, but around 90% of this is bound in unseparative material, mainly basaltic fragments and volcanic glass.

In short the main results are as follows:

- The present study is in an agreement with earlier studies.
- The remaining 10% of TiO₂ seem to be incorporated in ilmenite crystals. It is emphasized, however, that the sandgrains are rarely monomineralic.
- Great mineralogical difference is observed between the sea floor samples on one hand and fluvial sand in the main glacial river on the other. This indicates that coastal material transport by sea currents is of more importance than previously thought.
- Ilmenite most frequently occurs, in the sea floor samples, as a part of a fine intergrowth with titanomagnetite. Furthermore, as only 10% of the total TiO₂ content of the sand samples is bound in ilmenite crystals. Therfore separation will always be difficult and never yield but a small fraction of the total TiO₂ content of the black sand.