

ÍÐNÞRÓUNARSTOFNUN
ÍSLANDS

ORKUSTOFNUN
JARÐKÖNNUNADEILD

ÍSLENSKT ILMENÍT

KÖNNUNARSKÝRSLA 1 HEIMILDAKÖNNUN

FRIÐRIK DANIELSSON
GYLFI EINARSSON

ÁRNI HJARTARSON
FREYSTEINN SIGURÐSSON

ÍÞSÍ 1978 02

FEBRÚAR 1978

OS JKD 7802

IDNÞRÓUNARSTOFNUN ÍSLANDS

ORKUSTOFNUN
Jarðkönnunardeild

Í S L E N Z K T I L M E N Í T

Könnunarskýrsla 1

Heimildakönnun

Reykjavík 1978-02-15

Friðrik Dánielsson
Gylfi Einarsson
IPSÍ 1978 -02

Árni Hjartarson
Freysteinn Sigurðsson
OS JKD - 7802

ÁGRIP

Markmið heimildakönnunar þeirrar, sem hér birtist, er að gefa stutt yfirlit yfir ilmenítframleiðslu í heiminum og heimildir um ilmenít í íslenskum jarðefnum.

Ilmenít, sem er títansteind ($TiFeO_3$), er helzta títanhráefnið í heiminum í dag, og er unnið á mörgum stöðum. Heimsframleiðsla á ilmeníti var um 4 megatonn 1976 og fer vaxandi. Markaðshorfur eru samilegar. Verð á ilmeníti er \$ 17-19 tonn FOB í Ástralíu, en \$ 55 FOB austurströnd USA.

Ilmenít er unnið bæði úr bergi og sandi. Lægsta magnhlutfall títanoxíðs í bergnámu er um 13% en í sandi um 1% TiO_2 .

Ilmenítsteindakornin eru skilin úr sandinum (og berginu, eftir mölun) með eðlisþyngdarskiljun, fleytingu, raf- og segulskiljun.

Ilmenít er víða að finna í bergi á Íslandi, þó ekki í háu magnhlutfalli. Aðallega er ilmenít í basísku djúpbergi (gabbrói).

Af heimildum að dæma er hæsta magnhlutfall TiO_2 um 6% hér á landi í Austurhorni. Önnur svæði þar sem tiltölulega mikið er af ilmeníti, sem skýrt er frá í heimildum, eru Vesturhorn og Víðidalur. Enda þótt hæsta TiO_2 -hlutfall sé allmiklu lægri í bergi hérlendis en lægsta nýtanlegt hlutfall erlendis, ber þó að hafa í huga að TiO_2 -hlutfallið fellur með hverju ári og stöðugt er tekið til vinnslu títansnauðara berg. Kostir íslensku bergskrokkanna eru að þeir eru stórir með jafnari títanoxíðdreifingu. Kornastærð, aukaefti, harka og fleira skiptir máli þegar kemur að vinnsluhæfni og virðast þessir þættir ekki óhagstæðir í íslensku bergskrokkunum sem koma til greina. Líklega yrði hentugt að vinna járnsteindir úr berginu samhliða ilmenítinu.

Helztu niðurstöður og ályktanir skýrslunnar eru:

1. Ekki er næg kunnátta aðgengileg um ilmenít í íslensku jarðefni til að hægt sé að ákvarða hvort vinnsluhæft jarðefni sé finnanlegt á landinu, enda litlar rannsóknir farið fram á títani sérstaklega.
2. Skynsamlegt er að stíga næstu þrep ilmenítáætlunarinnar sem eru ítarlegri jarðfræðirannsókn með sýnasöfnun og greiningu og vettvangskönnun (sjá bls. 49, Ilmenítáætlun, þrep 2 & 3).

Möguleika á sandnámi þarf að kanna, þar eð minnst er til af þekkingu varðandi sandinn, en sandur gæti verið bezta finnanlega hráefnið hérlendis.

3. Góðir möguleikar eru á að selja íslenskt ilmenít á alþjóðamarkaði og sömuleiðis að vinna dýrari efni úr því hérlendis.

I S L E N S K T I L M E N Í T

Könnunarskýrsla 1.

Heimildakönnun

- 0 ÁGRIP
- 0 Efnisyfirlit
- 1. INNGANGUR
- 2. ALMENNT UM ILMENÍTFRAMLEIÐSLU
 - 2.1 Skilgreining á ilmeníti
 - 2.2 Notkun ilmeníts
 - 2.3 Heimsframleiðsla, forði, þróun og útlit
 - 2.4 Verð
 - 2.5 Helstu ilmenítnámur
 - 2.6 Jarðefni sem ilmenít er unnið úr
 - 2.7 Gæðunaraðferðir
- 3. JARÐFRÆÐILEG HEIMILDARKÖNNUN
 - 3.1 Hráefni (málmsteindir)
 - 3.2 Títannámur
 - 3.3 Títanlíkur á Íslandi
 - 3.4 Einstakir staðir
 - 3.5 Helztu jarðfræðilegar niðurstöður
- 4. FRAMHALD OG FORSENDUR FYRIR ILMENÍTVINNSLU Á ÍSLANDI
- 0 Teikningar, myndir, töflur
- 0 Kort

-----o0o-----

1. INNGANGUR

Lengi hefur verið ljóst að títan er að finna í basísku bergi á Íslandi í talsverðu magni og hefur margt verið rætt og ritað um títanið síðustu áratugina. Árið 1954 fóru fram rannsóknir á sandi úr Hornafirði (sjá "Rapport från provtagning og anrøksningsförsök på ilmenítsand från Island", Statens Geotekniska Institut, Svíþjóð).

Jón Jónsson jarðfræðingur hefur mikið komið við sögu títansins hérlendis (sjá t.d. grein í Suðurland, 1976-06-12).

Árið 1973 sendi Rannsóknastofnun iðnaðarins frá sér skýrslu um títanrannsóknir á Suðurlandi eftir Sigurð R. Guðmundsson (sjá, "TiO₂- rannsóknir á svæðinu frá Ytri-Rangá að ósum Kúðaflijóts, frumskýrsla).

Haustið 1976 fól Framkvæmdastofnun ríkisins Baldri Líndal, efnaverkfræðingi að kanna tilvist málmríkra steinefna í Víðidal (sjá "Áfangagreinargerð I, Málmríkt gabbró í Víðidalsfjalli og nágrenni", Verkfræðistofa Baldurs Líndal, Rvík, 1977-05-16). Í því sambandi voru gerðar efnagreiningar og málmskiljunartilraunir á sýni úr Víðidal (sjá skýrslu Sigurðar Steinþórssonar til Baldurs Líndal; Raunvísindastofnun Háskólans, 1977-05-02). Reyndist talsvert af ilmeníti í sýninu.

Síðla sumars 1977 hófst samstarf Iðnþróunarstofnunar og Jarðkönnunardeildar Orkustofnunar í samráði við Framkvæmdastofnun ríkisins. Gerð var rannsóknáætlun (sjá bls. 45, Ilmenítáætlun) og er fyrsta stig þessarar áætlunar heimildakönnun, tæknileg-hagræn og jarðfræðileg, sem hér birtist.

Fyrri hluti skýrslunnar (2. Almennt um ilmenítframleiðslu) gefur stutt yfirlit yfir vinnslu ilmeníts í heiminum frá tæknilegu og hagrænu sjónarmiði. Seinni hlutinn (3. Jarðfræðileg heimildakönnun) gefur samantekt úr rituðum heimildum sem snerta ilmenít í jörðu á Íslandi og ályktanir sem hægt er að draga af þeim.

Í kafla 4 (4. Framhald og forsendur fyrir ilmenítvinnslu á Íslandi) eru tekin saman veigamestu atriðin sem kanna þarf frekar, og rakið stuttlega hverjar eru grundvallarforsendur ilmenítvinnslu á Íslandi.

2. ALMENNT UM ILMENÍTFRAMLEIÐSLU

2.1 Skilgreining á ilmeníti

Ilmenít er steind, svört á lit og ógagnsæ. Í ofanáfallandi ljósi er hún ljósgrá með brúnleitum blæ og veikum "speglunarpleokronisma".

Að efnasamsetningu er ilmenít járntítan, FeTiO_3 ¹⁾. Ekki er þó alltaf hægt að kenniteikna efnasamsetningu ilmeníts úr náttúrunni. Oft myndast blandsteindir með efnum eins og Mn, Cr, Al og Mg. Dæmi um samsetningu eru sýnd í töflu 2.1 13).

Ilmenít er segulmagnað, en það getur verið mismunandi mikið eftir óhreinindum o.fl. Tafla 2.2 gefur dæmi þar sem ilmenít er talið sterksegulmagnað.

Sjá nánar um eiginleika ilmeníts í jarðfræðikafli.

Tafla 2.1. Efnagreining ilmeníts frá Vestur-Ástralíu¹³⁾

	%		%
TiO_2	34,3	Cr_2O_3	0,10
FeO	27,5	V_2O_5	0,27
Fe_2O_3	25,2	MnO	0,16
SiO_2	4,3	S	0,30
Al_2O_3	3,5	$\text{Na}_2\text{O}+\text{k}_2\text{O}$	0,35
CaO	0,9	P_2O_5	0,015
MgO	3,1		

Tafla 2.2 ²⁾

Afstæð segulaðlöðun steinda (eftir Davis)

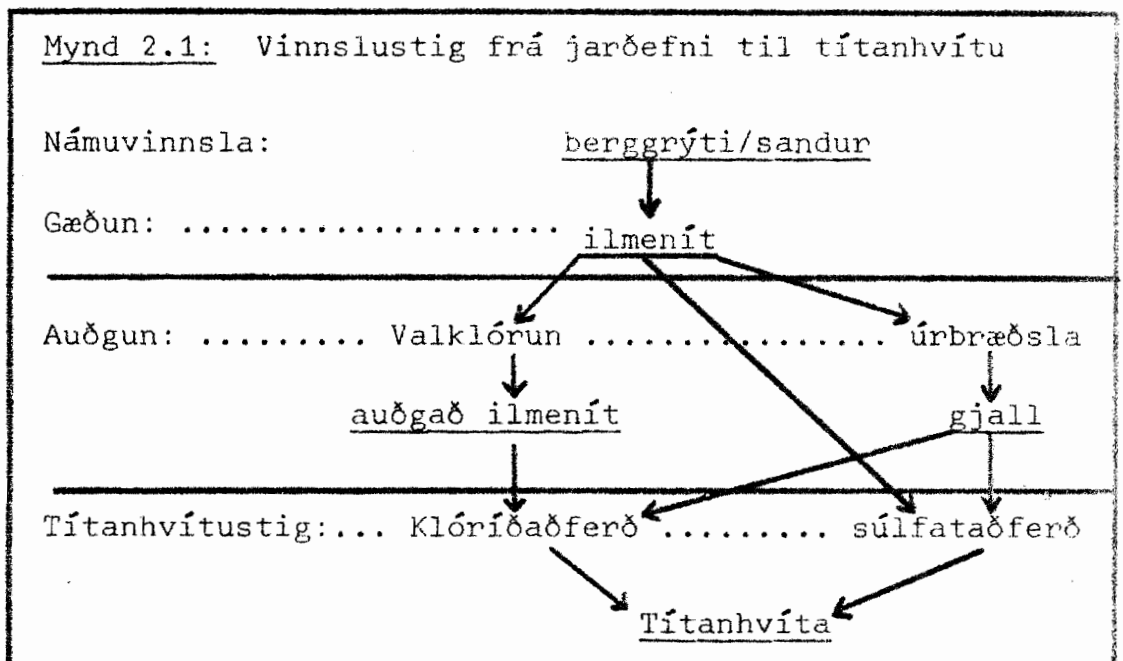
	<u>Steind</u>	<u>Afstæð segulaðlöðun</u>
Sterk-	Járn (viðmiðun)	100,00
segul-	Magnetít	40,18
magn-	Franklinít	35,38
aðar	Ilmenít	24,70
	Pyrrhotít	6,69
	Siderít	1,82
	Hematít	1,32
	Zircon	1,01
veik-	Limonít	0,84
segul-	Corundum	0,83
magn-	Pyrolusít	0,71
aðar	Manganít	0,52
	Calamít	0,51
	Garnet	0,40
ósegul-	Quarts	0,37
magn-	Rútil	0,37
aðar	Cerussit	0,30

2.2 Notkun ilmeníts

Stærsti hlutinn af öllu ilmeníti sem notað er í dag fer í framleiðslu á títanhvítu, sem er litarefni í málningu, pappír, plast o.fl. Af heildar ilmenítneyslu í Bandaríkjunum árið 1974 var 92% hráefni fyrir títanhvítuframleiðslu. Afgangurinn fer í framleiðslu á títanmálm og málmblöndun, húð á suðupráð, karbíð og stein- og leirvörur³⁾.

Ástandið í títanhvítuæðnaðinum er sémilegt. Nýtni afkastagetu var um 80% í USA haustið 1977 en 76% haustið 1976¹⁸⁾.

Gangur framleiðslunnar frá bergi eða sandi í títanhvítu getur verið mismunandi. Þó er hægt að skipta framleiðslunni í þrjú stig, nám- og gæðunarstig^{x)}, auðgunarstig^{y)} og títanhvítustig. Mynd 2.1 er einfölduð yfirlitsmynd yfir vinnslustigin sem venjulega eru farin.



* gæðun er hér notað um eðlisfræðilegar áferðir við að ná eftirsóttum steindum úr berginu/sandinum, þar sem engar efnaþreyingar fara fram í steindunum (enska: "ore dressing").

y) Auðgun getur verið bæði eðlisfræðileg og efnafræðileg (viðara hugtak en gæðun) (enska: "benefication").

Fleiri aðferðir koma til greina. Mynd 1 sýnir aðeins þær algengustu. Helstu aðferðir við lokastigið, títanhvítuframleiðsluna, eru súlfataðferðin og klóríðaðferðin. Með súlfataðferðinni er mikið framleitt af títanhvítu beint úr ilmeníti. Við það þarf að losna við u.p.b. 3.5 tonn af úrgangi á tonn af títanhvítu. Þegar klóríðaðferðin er notuð þarf að auðga ilmenítið, þ.e.a.s. ná járninu úr því að einhverju leiti áður en klóríðaðferðinni er beitt. Við þetta eru margar aðferðir, m.a. úrbræðsla með raforku, sem helst kemur til greina á Íslandi. Gerð hefur verið bráðabyrgða framkvæmniathugun um rafúrbræðslu á innfluttu ilmeníti á Íslandi¹⁴⁾.

Þróunin er sú að hráefni fyrir súlfataðferðina verður herra að TiO_2 -styrk (t.d. er farið að nota gjall), en hráefnið fyrir klóríðaferðina lægra að TiO_2 -styrk.

Úrgangsvandamál eru talsverð í Evrópu, þar sem EBE reynir að finna reglur sem allir geta sætt sig við, en við stendur Norðursjávar er leyfilegt að sleppa úrgangi súlfatverksmiðjanna (járnsúlfati) í sjóinn⁴⁾.

Títanhvítuverksmiðjur, sem reistar eru í dag, nota yfirleitt klóríðaðferðina. Framtíðarvandamál ilmenítnotenda eru hækkanði kostnaður vegna mikillar orkuneyzlu og úrgangs.

2.3 Heimsframleiðsla, forði, þróun og útlit

Heimsframleiðslan og forði vinnanlegs ilmeníts við núverandi tækni- og hagástand eru sýnd í töflu 2.3, tölur í þús. tonna⁵⁾.

	<u>Framleiðsla</u>		<u>Forði</u>
	1975	1976 (áætlað)	
USA	702	619	83000
Ástralía	1117	1300	38000
Kanada	827	900	204000
Noregur	581	650	154000
Önnur lönd með markaðshagkerfi	442	475	192000
Lönd með miðstýrðu hagkerfi	(ófáanleg) (ófáanleg)		100000
Samanlagt	3669	3944	771000

Heimsframleiðslan minnkaði á fyrri hluta áratugsins en eykst nú aftur.

Áætlað er að eftirspurn eftir ilmeníti aukist um 3.5% á næstu árum í Bandaríkjunum⁵⁾.

Eins og kemur fram í töflu 2.3, er ilmenítforðinn nógur og vex alltaf, m.a. vegna þess að áður ónothæf jarðefni verða nothæf með bættri tækni. Heildarforðinn hefur verið áætlaður 2 milljarðar tonna³⁾.

Stærstu auðlindirnar eru í S. Afríku, Kanada, USA, Indlandi, Noregi, Svíþjóð, Finnlandi, CCCP, Ástralíu og Nýja Sjálandi⁶⁾.

Skortur á náttúrulegu rútil (u.þ.b. 95% TiO) hefur neytt framleiðendur afurða úr titani til að nota auðgað ilmenít³⁾. (Rútil hefur fundist á Austur-Grænlandi).

Árekstrar vegna náttúruverndarsjónarmiða við námuvinnslu eru fyrirsjáanleg fyrir ilmenít framleiðendur.

2.4 Verð

Verð á ilmeníti í dag er nokkuð stöðugt. Sjá töflu 2.4.

<u>Tafla 2.4</u>		
<u>Verð á ilmeníti (og gjalli) ^{6,7)}</u>		
Laust, minnst 54% TiO ₂	FOB Ástralía	\$ 17-19/tonn
58/60% TiO ₂	FOB Neendakara Indlandi	\$ 18 -
70% TiO ₂ gjall,	FOB Sorel, Kanada	\$ 102,50 -
54% TiO ₂	FOB bíla, A-strönd USA	\$ 55 -

2.5 Helstu ilmenítnámur

<u>Tafla 2.5</u>	<u>Helstu ilmenítnámur</u>
Ameríka	4 st. í Flórida (sandur) 2 - í New Jersey (berg) 1 - í New York (berg, Tahawus) 1 - í Canada (berg, Allard Lake)
Evrópa	1 - í Noregi (berg, Tellnes) Finland (berg, Otanmäki)
Ráðstjórnarríkin	Óþekktur fjöldi
Ástralía	8 - í Ástralíu (sandur)
Asía	Indland (sandur) Sri Lanka
Afríka	S-Afríka (sandur)
Suður Ameríka	Brasilía

Verið er að auka námurekstur í Ástralíu um 120 þús. tonn ilmeníts. Stofnkostnaður áætlaður \$ 14 milljónir.

Í Suður Afríku er vinnsla úr sandi að fara af stað, 96 þús. tonn fjörusandur/dag; stofnkostnaður námu og bræðslu áætlað \$ 290 milljónir¹⁷⁾.

Afurðirnar munu verða 85% TiO_2 gjall (raf-úrbrætt ilmenít).

Á Sri Lanka er verið að stækka námuna í Pulmoddai Beach úr 83 þús. tonn/ár í 140 þús. tonn/ár af ilmeníti.

2.6 Jarðefni sem ilmenít er unnið úr

Ilmenít er bæði unnið úr bergi og sandi. Til þess að hægt sé að vinna títan (títanhráefni) úr jörðu (bergi eða sandi) verða að vera heil, einangruð korn af ilmeníti (rútili) í berginu/sandinum. Ekki borgar sig með aðferðum dagsins að vinna títan úr bergi þar sem TiO_2 er leyst í berginu (í glerkenndu eða myndlausu bergi) jafnvel þó magnhlutfall títans sé hátt. Grófkornótt, kristallað berg kemur þannig helst til greina sem ilmeníthráefni, auk sandsins.

Lægsta magnhlutfall TiO_2 í bergi sem unnið er í dag er um 13%, en það er í djúpnámu í Otanmäki í Finnlandi. Hæsta magnhlutfall í bergnámu er 40% TiO_2 . Sé jarðefnið sandur, þarf ekki eins hátt magnhlutfall, ilmenít er unnið úr sandi með minna en 1% TiO_2 , þar sem sandurinn inniheldur heil ilmenítkorn, aðeins þarf að skilja þau úr sandinum. Ef fleiri nýtanlegar steindir en ilmenít eru í sandinum lækkar vinnsluhæfa títanhlutfallið.

Tafla 2.6 ³⁾	Magnhlutfall TiO_2 (%) í námum og afurðum úr þeim	
	% TiO_2 í jarðefni	% TiO_2 í styrki (gæddu bergi)
Kanada (St.Urbain)	35	37
Kanada (Allard Lake)	32-40	43
USA (N.Y.State)	17	45
- (Virginía)	18,5	44
- (Flórida)	0,5-3,0	63
Noregur	17	43
Finnland	13,5	44
Indland (Kerala)	20-40	59
Suður-Afríka (Umgababa)	5	49
Ástralía	30	50-65

Vinnsluhæfni bergs ræðst mjög af stærð einangraðra steindakorna í berginu. Það sem hefur áhrif á kornamyndunina er magnhlutfall ferríoxíðs, ferróoxíðs og títandíoxíð; ilmenít kemur einungis fyrir sem einangruð steind ef magnhlutfall ilmenítsins er yfir leysanleikahlutfalli þess í magnetíti.

Berg með kornastærð niður í 0,1 mm getur verið vinnsluhaft. Þá þarf að mala bergið eða stóran hluta þess niður í þá kornastærð, til að kornin losni úr berginu og hægt sé að skilja ilmenítkornin úr.

Kostnaður við mölunina eykst ört með minnkandi kornastærð.

Þegar unnin er sandur falla mölunarstigin burt. Er því ódýrara að vinna sand en berg (með sama TiO_2 -styrk).

<u>Tafla 2.7 Kornastærðardreifing í sandi frá Lakehurst Mine, Florida, USA ¹⁵⁾</u>	
<u>Kornastærð</u>	<u>% þungra steinda (ilmenít, rútil, zirkon)</u>
+ 0,85 mm	-
0,85 mm - 0,42 mm	-
0,42 mm - 0,25 mm	31,88
0,25 mm - 0,18 mm	31,88
0,18 mm - 0,15 mm	18,12
0,15 mm - 0,105 mm	18,12
0,105 mm - 0,075 mm	-

Orkuþörfin við sanvinnslu og gæðun sandsins (með eðlisþyngdarskiljun, rafhleðslu- og segulskiljun) er

$U = 3 - 12$ kWh/tonn sands, en við bergnám í (dagbroti) og gæðun (fleyting og segulskiljun) bergsins er orkuþörfin

$U = 56 - 88$ kWh/tonn bergs, sé bergið malað niður í mínus 100 mesh (0,15 mm), þannig að orkuþörfin er nálægt 10

sinnum meiri fyrir berg en fyrir sand. Er því augljóst að bergið þarf að gefa meira af sér en sandurinn.

Orkuþörfin almennt við vinnslu og gæðun er:¹⁰⁾

$$U = (U_m + U_p) \frac{T \cdot 10.000 (U_m + U_p)}{gR} \quad (1)$$

U = heildarorkuþörf/einingu styrkis

U_m = orkuþörf við nám/einingu hráefnis

U_p = orkuþörf við gæðun/einingu hráefnis

g = % - hlutfall steindar í hráefni (jarðefni)

R = nýtnistig við gæðun %

T = fjöldi tonna af jarðefni sem þarf til að gefa eitt tonn styrkis

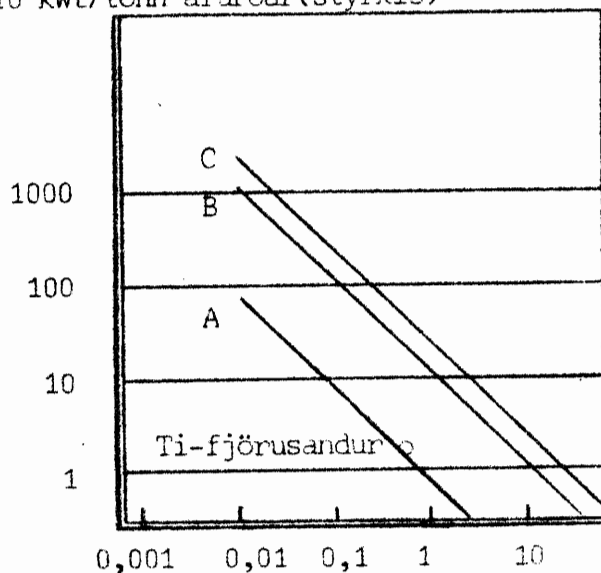
Í mynd 2.2 er jafna (1) í myndriti.

Lína A gefur orkuþörf (U) við vinnslu og gæðun sands, lína B orkuþörf við nám í dagbroti og gæðun, og lína C orkuþörf við djúpbrot og gæðun.

Mynd 2.2 Orkuþörf við nám og gæðun¹⁰⁾

Orkuþörf

10³ kWt/tonn afurðar(styrkis)



% afurðar í jarðefni

A nám og gæðun sands

B nám og gæðun bergs, dagbrot; -100 mesh

C nám og gæðun bergs, djúpbrot; -200 mesh

Úr myndinni sést að orkupörfin er lang lægst fyrir sandinn (orkan, U, er reiknuð á þungaeiningu styrkis)¹⁰⁾, hærrí fyrir dagbrot en mesta orku þarf við djúpbrot. Orkupörfin gefur hugmynd um reksturskostnaðinn og stofnkostnaðinn sömuleiðis (dæmi; þeim mun meir sem þarf að mala, þeim mun stærri og dýrari myllur).

Ilmenít, sem unnið er úr bergi, er yfirleitt unnið í dagbroti. Þó er náman í Otanmäki, Finnlandi, undir yfirborði.

Ilmenít og rútil, sem innihalda króm og vanadín, geta verið óhæf sem títanhvítuhráefni þar eð þessir málmar eru litarmyndandi.

2.7 Gæðunaraðferðir

Til þess að hægt sé að ná hinum verðmætu steindum úr jarðefninu þurfa steindakornin að vera laus. Ef veðrun eða rof er ekki þegar búin að mala bergið niður í sand verður að mala það með mólunartækjum þar til eftirsóttu steindakornin eru laus.

Síðan þarf að skilja þau úr sandinum (mylsnunni). Aðferðir við það fara eftir gerð jarðefnisins (t.d. kornastærð) og hvaða aðrar steindir eru með í sandinum^{*}).

Algengustu gæðunaraðferðir eru:

1. Eðlisþyngdarskiljun, vot eða þurr, byggist á því að steindirnar hafa mismunandi eðlisþyngd.
2. Fleyting byggist á mismunandi yfirborðseiginleikum steindanna og á mismunandi eðlisþyngd.
3. Segulskiljun byggist á mismunandi segulmögnun steindanna.
4. Rafhleðsluskiljun byggist á mismunandi rafhleðslueiginleikum (leiðni) steindanna.

* Sandur er hér notað um rofmyndaðan sand sem og um malað berg.

Áhöld eru um hvaða aðferðir eða hvaða samstæður af aðferðum eigi að nota í hinum mismunandi tilvikum, enda ekki alltaf ljóst hvað hentar best. Sumir álíta t.d. að almennt sé betra að nota eingöngu fleytingu í staðin fyrir samnotkun eðlisþyngdarskiljunar, segulskiljunar og fleytingar.

En vegna orkukreppunnar aukast vinsældir eðlisþyngdarskiljunar og nýjar verksmiðjur nota gjarnan þá aðferð. Sem dæmi um eðlisþyngdarskiljur má nefna Humphrey vindurennu, hristiborð og Reichert keilu.

Hér verður að minnast á mjög sérstaka aðferð við vinnslu títanbergs, sem notuð er í Kanada (Sorel). Bergið er í þessu tilfalli svo fínkornótt að mölun og skiljun kornanna er óhentug. Í staðin er grýtið brutt, hreinsað og blandað afoxara og síðan úrbrætt í rafljósbogafni. Afurðir eru járn og 70% TiO_2 -gjall³⁾.

Hér á eftir fara dæmi um nám og gæðun títanjarðefnis.

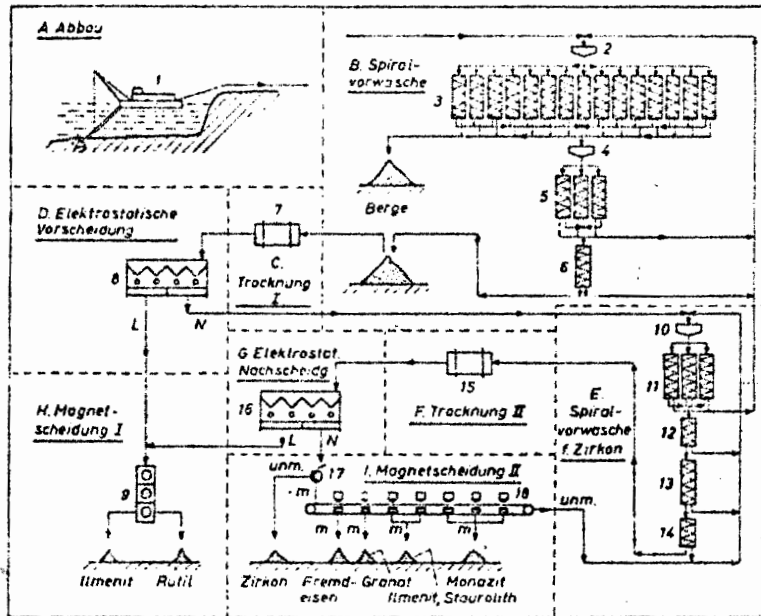
2.7.1 Gæðun sands ^{16,3)}

Sandur, þar sem meðal annara sandkorna er að finna hrein ilmenítkorn, getur verið gott hráefni jafnvel þótt lítið sé af ilmenítinu.

Viss munur er á sjávarsandi og ársandi: sjávarsandur hefur yfirleitt jafnari kornastærðardreifingu og ávöl korn, ársandur ójöfn og óreglulega löguð korn. Úr ársandinum þarf því fyrst að sigta það grófasta, enda er venjulega lítið af málmsteindum í því.

Úr sjávarsandi þarf venjulega aðeins að hreinsa rekavið og ýmislegan lífrænan úrgang.

Mynd 2.3, sýnir dæmi um vinnslu ilmeníts og fleiri steinefna úr sandi (Florida, USA).



Mynd 2.3 Framleiðsla á ilmeníti og fleiri efnum úr sandi¹⁶⁾

Myndskýringar:

1. Sogprammi
2. Skammtari
3. Vindurennur (eðlisþyngdarskiljun)
4. Skammtari
5. Vindurennur
6. Vindurennur
7. Þurrkari
8. Rafhleðsluskilja
9. Sterk- rafsegulskilja
10. Skammtari
- 11-14. Vindurennur
15. Þurrkari fyrir zirkon
16. Rafhleðsluskilja
17. Sterk- rafsegulskilja, kefli
18. - - - , band

L = leiðari

N = einanгрari

M = segulmagnaður

unm = ósegulmagnaður

Sandinum er dælt upp með þar til gerðum pramma og sandvatnsblandan leidd inn í vindurennu þar sem eðlisléttari hluti sandsins er skilinn frá. Eðlisþyngri hlutinn af sandinum fer áfram í næsta vindurennustig. Eðlisþyngri hlutinn úr því stigi, sem inniheldur meirihlutann af ilmenít- og rútilkornunum, er þurrkaður og ilmenítið og rútilið skilið úr í rafhleðsluskilju.

Ilmenítið er síðan skilið frá rútilinu í segulskilju.

Það af þungu steindunum sem eftir eru, þegar þessum stigum er lokið (þ.á.m. hluti ilmenítsins) er meðhöndlað í vindurennum, þurrkurum, rafhleðsluskiljum og síðast í segulskilju.

Stundum þarf að ná leir og járnoxíðum úr sandinum með efnafræðilegum aðferðum (leysing í bösum eða sýrun) áður en hægt er að rafhleðsluskilja sandinn.

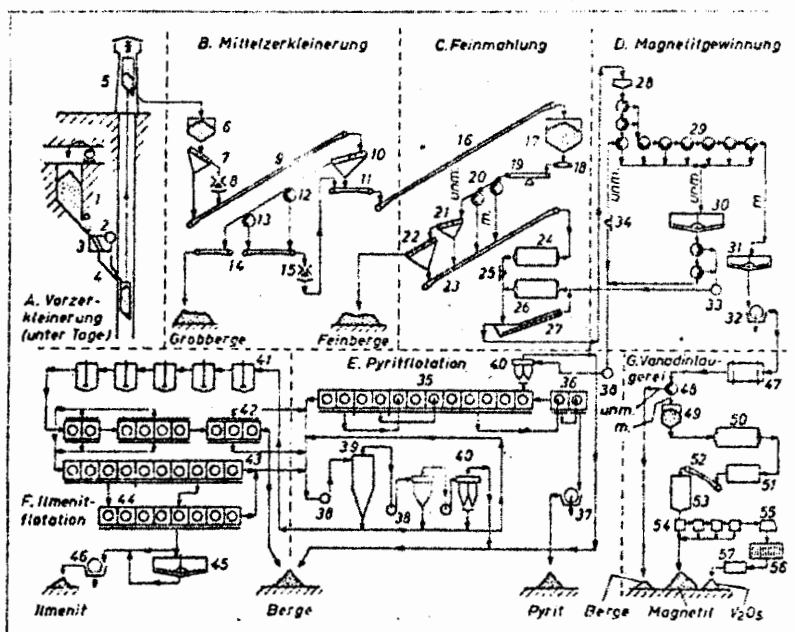
Til eru gæðunarstöðvar fyrir ilmenít-sand, þar sem öll gæðunarstiggin fara fram á fljóttandi pramma. Pramminn sýgur eða krefsar hráefnið úr botninum.

2.7.2 Gæðun bergs

Þegar bergið hefur verið brotið er fyrsta stigið að mala grjótið. Það er gert í þrepum og stundum skiljunarstig á milli, t.d. til þess að ná úr grófu (upp í 20 mm) sem er fátækt af Ti. Mikið er í húfi að sem minnst af berginu þurfi að fínmala vegna þess að kostnaður eykst mjög með aukinni fínmölnun.

Mynd 2.4 sýnir djúpnámuvinnslu og gæðun bergs (Otanmäki, Finnlandi).

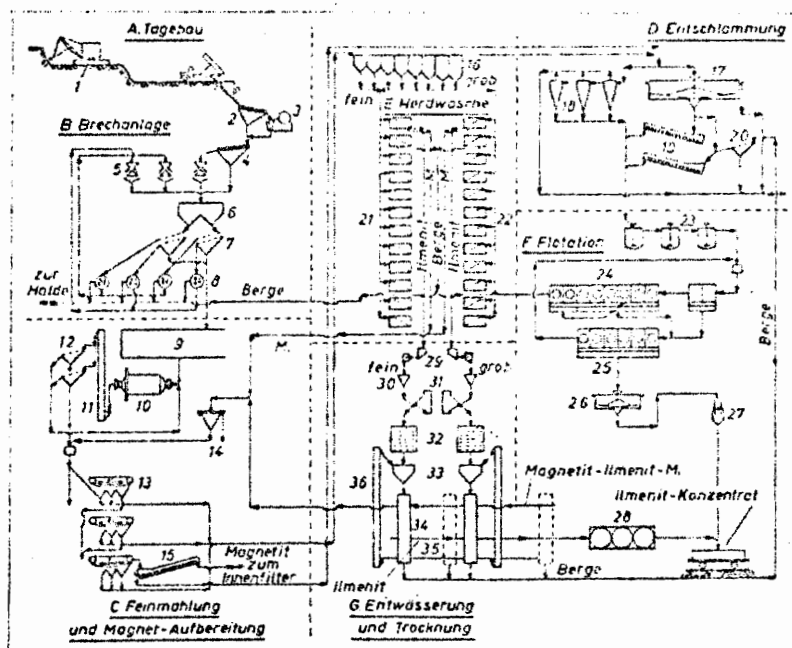
Mynd 2.5 sýnir dagbrotsvinnslu og gæðun bergs (Tahavus, New York).



Mynd 2.4 Djúpnám og gæðun Ti-bergs¹⁶

Myndskýringar

- | | | | |
|-----------|-----------------------------------|-----------|------------------------------------|
| <u>A.</u> | <u>Forbryðjun undir yfirborði</u> | <u>D.</u> | <u>Magnetilvinnsla</u> |
| 1. | Geymir | 28. | Skammtari |
| 2. | Matari | 29. | Segulskiljur |
| 3. | Grjótbrjótur | 30. | Fellipró |
| 4. | Geymir og áfyllir | 31. | Fellipró (fyrir magnetit) |
| 5. | Námuskaftslyfta | 32. | Keflisía |
| | | 33. | Dæla |
| <u>B.</u> | <u>Millimölun</u> | 34. | Sýnatakari |
| 6. | Geymir | <u>E.</u> | <u>Pyrit fleyting</u> |
| 7. | Sigti | 35. | Forfleyting |
| 8. | Keilubryðja | 36. | Eftirfleyting |
| 9. | Færiband | 37. | Lofttömskeflissía |
| 10. | Sigti | 38. | Miðflóttadæla |
| 11. | Færiband | 39. | Vatns-hringiðuflokkari |
| 12-13. | Segulskiljur | 40. | Vatns-hringiðuflokkarar |
| 14. | Færibönd | <u>F.</u> | <u>Ilmenitfleyting</u> |
| 15. | Bryðja | 41. | Hræriblandari |
| <u>C.</u> | <u>Fínmölun</u> | 42. | Forfleyting |
| 16. | Færibönd | 43-44. | Eftirfleyting |
| 17. | Geymir | 45. | Fellipró |
| 18. | Matari | 46. | Lofttöms-keflissía |
| 19. | Vigtæriband | <u>G.</u> | <u>Vanadinvinnsla úr magnetíti</u> |
| 20. | Segulskiljur | 47. | Purrkari |
| 21-22. | Sigti | 48. | Segulskilja |
| 23. | Færiband | 49. | Geymir |
| 24. | Stafmylla | 50. | Mylla |
| 25. | Sýnatakari | 51. | Kögglari |
| 26. | Kúlumylla | 52. | Færiband |
| 27. | Stærðarflokkari | 53. | Kögglaofn |
| | | 54. | Leysitankur |



Mynd 2.5 Dagbrot og gæðun titanbergs^{1b)}

Myndskýringar

- | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|
| <u>A. Dagbrot</u> | <u>E. Ilmenítskiljunardeild</u> |
| 1. Grafa | 21. Hristiborð; fínkornótt |
| | 22. - ; stórkornótt |
| <u>B. Brjótdeild</u> | <u>F. Ilmenítfleyting</u> |
| 2. Sigti | 23. Hræriblandarar |
| 3. Kjálkabryðja | 24. Forfleytihólf |
| 4. Sigti | 25. Eftirhreinsihólf |
| 5. Keilubryðja | 26. Fellipró |
| 6. Geymsla | 27. Skífuskilja |
| 7. Hristisigti | 28. Styrkisgeymsla |
| 8. Segulskiljur | |
| <u>C. Fínmölin og segulskiljun</u> | <u>G. Afvötnun og þurrkun</u> |
| 9. Geymsla | 29. Dælur |
| 10. Stafmylla | 30. Afvötnunartrehtar |
| 11. Bikarlyftur | 31. Dorr-loftómssíur |
| 12. Hristisigti | 32. Þurrkarar |
| 13. Veiksegulskiljur fyrir magnetit | 33. Geymar |
| 14. Afvötnunartreht | 34. Sterk-segulskiljur fyrir gróft |
| 15. Afvötnunargrind | 35. - - fyrir smáknótt |
| | 36. Lyftur fyrir endursendingu afgang |
| <u>D. Afslíming</u> | |
| 16. Dorr-vatnsflokkarar | |
| 17. Vatnsfráskiljari | M = milliafurð |
| 18. Vatns-hverfiflokkari | |
| 19. Ristflokkari | |
| 20. Sigti | |

Á myndunum kemur fram, að gæðunin fer fram í mörgum stigum. Fleyting, segulskiljun og eðlsíþyngdarskiljun eru notaðar í mismunandi röð. Segulskiljur eru settar inn í gæðunarferlið snemma til þess að ná úr magnetítíti.

Ilmenítflínunni lýkur með fleytingu og/eða segulskiljun, fellipró til að ná vatninu og síðast síun.

Í báðum tilfellum (mynd 2.4 og 2.5) eru unnin fleiri nothaf efni en ilmenít úr berginu. Í Otanmäki er vanadínpentoxíð meðal afurða.

HEIMILDATILVÍSANIR

1. Deer, W.A., Howie, R.A. og Zussan, J.: An introduction to Rockforming minerals
2. Taggart, A., F.: Elements of ore dressing, John Wiley, 1951
3. Wessel, F.W.: Títaníum; Mineral Facts and problems, U.S. Bur. of Mines. 1975 ed.
4. Ind. Min., Júní 1977
5. Commodity Data Summaries 1977, U.S. Bur. of Mines
6. Ind. Min., Des. 1977
7. E/MJ., Des. 1977
8. E/Mj. Jan. 1977
9. Stamper, J.W. Títaníum, Mineral Facts and problems, U.S. Bur. of Mines, 1970 ed.
10. Abeidu, A.M. et al. J. Appl. Chem. Biotechnol. 1976, 26, 719-728
11. Roe, L. A., Chem. Eng., June 20, 1977
12. Kellogg, H.H. E/MJ., Apríl 1977
13. Meyer, K., Harmut, P. Erzmetall, Bd. 27 (1974) H. 7/8
14. Alexandrov, V.: Pre-Feasibility Study for Establishment of an Industry for Electro-Smelting Imported Ilmenite Concentrates in Iceland, Utanríkisráðuneytið, Reykjavík, júní 1972
15. Querk, R.; Eilertsen, N.A.; U.S. Bur. of Mines Informations Circular 8197, 1963
16. Finn, W.K., Erzmetall, band x (1957)
17. E/MJ., Oct, 1977
18. C & EN, Oct. 19, 1977

3. JARÐFRÆÐILEG HEIMILDARKÖNNUN

3.1 Hráefni (málmsteindir)

Málmurinn títan (Ti) finnst hvergi hreinn í jörðu. Hann er ætíð bundinn í efnasamböndum með ýmsum öðrum efnum og myndar ásamt þeim fjölmargar tegundir steinda (minerals). Þótt yfir 60 títansteindir séu þekktar í náttúrunni eru þær aðeins þrjár eða fjórar sem finnast í það miklu magni í jörðu að málmvinnsla sé hugsanleg. Þessar steindir eru: ilmenít FeTiO_3 , rútil TiO_2 , leucoxene og perovskít. Þær tvær síðastnefndu verða þó ekki ræddar hér, enda ekki teljandi nýttar til úrvinnslu.

Rútil kemur einkum fyrir sem aukasteind í forngrýti og öðru myndbreyttu bergi (gnæs, pegmatít, o.s.frv.) og í göngum, tengdum anorþósít - gabbró. Það er hins vegar mest unnið úr fjöruzeti, þar sem það hefur safnast fyrir. Ilmenít er í nokkru magni í flestöllu storkubergi, en sem vinnanlegt málmgrýti er það einkum tengt gabbró og anorþósíti. Báðar þessar málmsteindir eru veðrunarþolnar, þar eð þær eru fremur harðar (Mohs' harka: 5-6 1/2) og óhvarf-gjarnar ("kemiskt resistant"). Þær safnast því oft fyrir sem veðrunarleifar, en enn frekari söfnun á sér stað við náttúrúlegan flutning og tilsetningu þeirra, þar eð þær eru mun eðlisþyngri (rútil 4.2, ilmenít 4.7) en algengari steindir í upprunalega berginu. Við vissar jarðfræðilegar aðstæður safnast rútil og ilmenít því fyrir í verulegum mæli í lögum í fjöruzetum. Forn fjöruzet finnast nú all-víða ofan sjávarmáls.

Í föstu bergi koma bæði rútil og ilmenít fyrir sem stakar steindir. Ilmenít er yfirleitt samfara járnsteindunum magnetít (Fe_3O_4) eða hematít (Fe_2O_3) og er iðulega samgróið eða samvafið þeim ("títanómagnetít"). Aðskilnaður ilmeníts og magnetíts er yfirleitt fremur auðveldur, en örðugara er að skilja sundur ilmenít og hematít.

3.2 Títannámur

3.2.1 Jarðfræðilegar aðstæður

Títan - málmgrýti er oftast tengt basískum djúpbergshleifum í forngrýtisskjöldum, svo og djúpbergshleifum í fellingafjöllum af ýmsum aldri (mynd 3.1). Ræður þar ekki sízt fylgni títans við basískt storkuberg (mynd 3.2, mynd 3.3). Þorri hagnýts málmgrýtis hefur magn-fylgni við ákveðna bergflokka. Þannig hafa t.d. króm og kóbalt fylgni við "últra-basískt" berg (mynd 3.2), en t.d. blý og sink við súrt berg (mynd 2). Títan, ásamt vanadíum, er sá málmur, sem hvað gleggsta flygni hefur við basískt berg. Þetta er þýðingarmikið atriði, þar eð Ísland er að langmestu leyti byggt upp af basisku storkubergi.

Munur er á meðal-títaninnihaldi einstakra flokka basisks storkubergs (mynd 3.3). "Últra-" basískt (t.d. periódít), pikrít) og ísúrt ("intermediert": diorit, andesit) berg er til jafnaðar snauðara að títan en gabbró og basalt. Mestur meðalstyrkur hefur verið talinn í gabbrói og basalti á úthafseyjum (Hawaii, Kerguelen, Kanaríeyjum, Réunion o.fl.), eða um 3% TiO_2 . Þóleyjarbasaltið* (tholeyit) eitt og sér hefur um 2% TiO_2 (BEUS 1976). Eyjar þessar liggja utan hinna svokölluðu úthafshryggja (Mið-Atlandshafs-hryggur o.fl.). Þóleyjarbasalt af Mið-Atlandshafshryggnum er talið innihalda minna TiO_2 , eða um 1.3%. (BEUS 1976). Á Íslandi er þóleyjarbasalt talið innihalda mun meira TiO_2 eða 1.5 - 3% (BROOKS; SVEINN P. JAKOBSSON, 1974, Fig. 2); (sjá mynd 3.4). Mun herra títanhlutfall hefur fundist í íslensku gabbrói (sjá kafla 3.4).

* Kennit við bæinn Tholey í Hunsrück í Þýskalandi

Ilmenít-málmgrýti í ríkum mæli er talið koma einkum fyrir með þrennu móti:

1. Í lögum, "linsum" og beltum í djúpbergshleifum (t.d. Bushveld í S-Afríku).
2. Í göngum og sprungufyllingum í anorþósíthleifum eða á mörkum þeirra.
3. Jafndreift ("disseminated") í gabbró-hleifum.

Talið er líklegt að títansteindirnar safnist saman í málmgrýtisskrökka vegna steindaskilnaðar ("kristallisation - differentiation") í kvikuþróum berghleifanna, og setjist þá annað hvort til á vissu dýpi (1) eða þrýstist út í sprungur í storknuðum hluta hleifsins (2), en anorþósít "flýtur" svo að segja ofan á kvikuleifinni ("residualmagma) í þrónni, vegna lægri eðlisþyngdar. (SMIRNOV 1976). Steindaskilnaður er yfirleitt eftir því meiri sem hleifarnir eru stærri, þó aðrir þættir ráði þar einnig miklu um.

3.2.2. Helstu námur erlendis

Notkun títan-steinda fer einkum fram í iðnaðarríkjunum báðum megin Norður-Atlandshafs og í Ráðstjórnarríkjunum. Flutningskostnaður hefur veruleg áhrif á hagkvæmni títan-náms. Þýðingarmiklar títan-námur utan þessa svæðis eru fjörusandsnámur á Indlandi, Suður-Afríku og í Ástralíu (mynd 3.1). Fyrir heimsstyrjöldina síðari voru um 75% heimsframleiðslunnar af ilmeníti unnin úr fjöruseti ofan sjávarmáls í Keralaríki á Indlandi, en nú eru þar aðeins unnin um 2%. (MINERAL FACTS 1975). Um 90% árlegar heimsframleiðslu af rútil hafa verið unnin úr fjörusetum ofan sjávarmáls á austurströnd Ástralíu, ásamt verulegu magni af ilmeníti. Rútil er eftirsóttasta hráefni til vinnslu á títanmálmi og - málmblöndum og mun það vera orsök þess, að námurnar í Ástralíu eru hagkvæmar, þrátt fyrir langar flutningsleiðir. (Ilmenítið mun m.a. vera flutt til Japans).

Á sunnanverðri austurströnd Bandaríkja eru verulegar títannámur í fjöruasetum og er þar unnið töluvert magn af ilmeníti, einkum í Flórida.

Helstu ilmenítnámur í föstu bergi eru í Kanada (Allard Lake og nágrenni, nærri 1/4 heimsframleiðslunnar); í norð-austurríkjum Bandaríkjanna (Sanford Lake Area í Adirondacks Mts. í NY); í Noregi (Storgangen á Jaðri), í Úralfjöllum og Síberíu. Við Allard Lake er málmgrýti unnið á um 700 km² stóru svæði. Talið er að Ti-rík kvikuleif ("residualmagma") hafi troðizt þar inn í hálfstorknaða anorþósít-hleifa, og mynda í þeim "linsur" og ganga úr málmgrýti. Anorþósít-hleifarnir eru víða skornir af gabbró- og anorþósít - gabbró hleifum og - göngum. Málmgrýtið er ilmenít-hematít og er brætt í járn og títangjall (70-75% TiO₂), þar eð aðskilnaður steindanna er örðugur. (INDUSTRIAL MINERALS 1960). Við Sanford Lake (Tahawus) er einnig talið líklegt, að títan- og járnrík kvikuleif hafi spýtt inn í hálfstorkið anorþósít og myndað þar stóra málmgrýtisskrokka úr ilmenítmagnetít. Í þessum skrokkum kemur málmgrýtið bæði fyrir sem botnlag úr stórkornóttri (Ø 5 mm) ilmenít-magnetít-blöndu og sem misauðug lög með jafnhleifðu málmgrýti ("disseminated ore") með minni kornastærð (Ø 1-2 mm). Úr Storgangen er unnið ilmenít - magnetít - málmgrýti úr 1.200 m langri og allt að 50 m breiðri sprungufyllingu ("Storgangen") í anorþósít-hleif. Íhugunarvert er, að málmgrýtið er flutt nokkra km leið með kláfferju til hafnar í Jössingfirði.

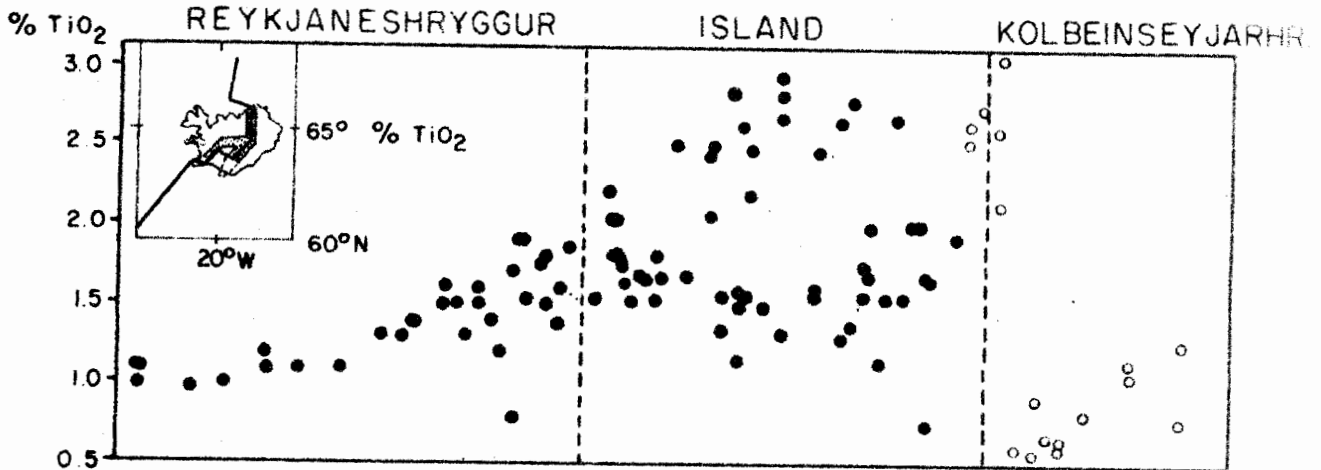
3.3 Títanlíkur á Ísland

3.3.1 Könnunarstaða

Á Íslandi finnast hvorki forngrýtiskjarnar, sem hefðu getað leitt til rútilsöfnunar í fjöruasetum, né stórir gangskornir anorþósíthleifar, eins og hluti ilmenítnámana er tengdur. Hins vegar er landið nær allt úr basisku storkubergi, þar sem vænta má hás meðalinnihalds af TiO_2 og all víða eru basískir og/eða blandaðir djúpbergshleifar, þar sem söfnun TiO_2 gæti hafa átt sér stað.

TiO_2 -innihald íslensks bergs hefur verið kannað þó nokkuð, en þær rannsóknir hafa að mestu lotið að almennum eiginleikum bergsins, en yfirleitt ekki verið beint tengdar títannámuleit. Eina rannsóknin sem hefur verið gerð með það í huga, var á gabbrói undan brú á Víðidalsá í Húnaþingi. (BALDUR LÍNDAL 1977, SIGURÐUR STEINÞÓRSSON 1977), en hún var ekki umfangsmikil. Hér verður ekki rakið allt það, sem fjallað hefur verið um TiO_2 í íslensku bergi, en bent á mynd 3.4. (úr BROOKS; SVEINN P. JAKOBSSON 1974), sem sýnir TiO_2 í þóleyjarbasalti á Íslandi og á úthafshryggnum norðan þess og sunnan. Sést þar, að TiO_2 -innihaldið er mun meira á Íslandi sjálfu, en báðum megin við það. Einnig kemur fram viss tvískifting sýnanna af Íslandi eftir TiO_2 -innihaldi : meirihlutinn með 1-2% TiO_2 , en allmörg sýni 2.5-2% TiO_2 . TiO_2 -innihald virðist almennt vera tiltölulega lágt í þóleyjarbasalti (sbr. kafla 3.2.1 og BROOKS; SVEINN P. JAKOBSSON tafla 1). TiO_2 -innihald yfir 3% virðist því ekki ólíklegt í sumu íslensku bergi.

Mynd 3.4



Þorri hins basiska storkubergs á Íslandi liggur fyrir sem basalt, og er nokkuð af því talsvert glerjað. Málms-teindirnar í því (ilmenít, magnetít) eru því bæði minni að efnismagni, en efnainnihald segir til um og smærri og örðugri í skiljun, en t.d. í gabbróí. Hagkvæm vinnsla Ti-málmgrýtis væri því að líkindum bundin við gabbróhleifa, og e.t.v. fjöruaset mynduð úr þeim. Gabbró finnst allvíða á landinu (sjá kafla 3.3.2., mynd 3.5), en er yfirleitt í fremur smáum hleifum. Hins vegar er það oft í tengslum við súrara djúpberg ("granófýr", diorít o.fl.), sem gæti þýtt skiljun á upprunalegri kviku og þá e.t.v. söfnun á TiO_2 í vissa hluta bergsins.

3.3.2 Útbreiðsla gabbrós á Íslandi

Yfirlit yfir útbreiðslu gabbrós á Íslandi og nokkra eðlisþætti basískra innskota, ásamt heimildaskrá, er að finna í INGVAR B. FRIDLEIFSSON (1976). Þaðan er einnig tekin að stofni til mynd 3.5. (Fig. 1 í fyrrnefndu riti). Heimildir um einstaka staði er einkum að finna í óbirtum próf- og doktorsritgerðum og byggjast upplýsingar í kafla 3.4 hér á eftir að verulegu leyti á þeim. Skrá um gabbróinnskot á Íslandi er sett fram í töflu 3.1., en staðsetning og stærð innskota í henni eru að hluta úr INGVAR B. FRIDLEIFSSON 1976, tafla 1.

TiO₂ - og ilmenít-innihald sýna er úr tilvísuðum heimildum.
Um allmörg gabbró-innskot liggja engar nákvæmar upplýsingar fyrir, eins og sjá má á töflu 3.1.

TAFLA 3.1

GABBRÓINNSKOT Á ÍSLANDI

<u>STAÐUR</u>	<u>Stærð km²</u>	<u>% TiO₂</u>	<u>% ilmenít</u>
<u>Kjalarnes</u>			
Músarnes	2		
Þverfell	4	1,38-2,62	10-15
<u>Stardalur</u>			
Stardalshnjúkur	2,3	1,15	
Gráhnjúkur	0,1	3,44	
<u>Hrappsey-Purkey</u>	0,15 (10 [*])	0,02-0,22	1
<u>Setbergseldstöð</u>			
Kolgrafarmúli	6		
Þorgeirsfell	3		
Lýsuskarð	2,5	1,5	
<u>Hafratindur</u>			
<u>Hríshóll</u>	1		
<u>Hrafnseyri</u>			
<u>Viðidalur-Vatnsdalur</u>			
Borgarvirki	1		
Steinsvað		4,4	
Urðarfell	(1,5 [*])		
Hólar-Skessusæti	2,5	1,05	
Hnjúkur	0,5		
<u>Borgarfjörður Eystri</u>	0,5		
<u>Austurhorn</u>	(11 [*])		
Hvalnesfjall	2,3	2,30 6,10	4,41 11,55 16,0
Krossanesfjall	0,5	2,45	4,71
<u>Vesturhorn</u>	(20 [*])		
Kamphorn-Brunnhorn	3,5	3,10-3,94	6,17-11,55
Stokksnes	5,5	3,86-4,83	7,33- 9,17
<u>Viðborðsfjall</u>	10		
<u>Valagil</u>	2		
<u>Geitafell</u>	1,5		
<u>Stóra-Laxá</u>	10	2,9 3,16	7,8 - 8,6

* Blandað innskot, súrt og basískt.

Flest öll gabbró-innskotin eru tengd megineldstöðvum. Þar sem gabbró er djúptberg, og hefur storknað djúpt í jörðu niðri, þá finnst það nú aðeins á yfirborði þar, sem rofist hefur ofan af því. Það finnst því einkum í eldri jarðlagamyndunum (tertiér, ár-kvarter) úti við strendur eða í djúpt skornum dölum. Þéttast liggja gabbró-innskotin í Hornafirði og Lóni, og munu þar þó e.t.v. ekki öll kurl komin til grafar, þar eð svæði þetta er ekki allt jarðfræðilega kortlagt enn þá. Annars eru flest þekktu gabbró-innskotin um vestanvert landið, en þar gildir svipað, þar eð hluti Vestfjarða er lítt rannsakaður enn.

Í fyrrgreindum heimildum er yfirleitt getið eftirtaldrá atriða um einstaka gabbró-skrokka: Lega, yfirborðsflatarmál, berggerð. Oft er einnig getið um innri smíð ("strúktúr"), samband við annað nærlagt berg, efna- og steindasamsetningu, innri skiftingu. Þótt upplýsingar þessar séu vitaskuld hvergi nærri fullnægjandi með tilliti til títan-könnunar, þá veita þær yfirleitt gott yfirlit um aðstæður og jarðfræðilegar horfur á títan.

Tvenns ber að gæta í sambandi við þær upplýsingar, sem aflað er úr framangreindum heimildum: Hver höfundur notar þá berggerðagreiningu, sem hann hefur talið best henta. Þeim flokkunum er fylgt hér og getur því gætt nokkurs ósamræmis um flokkun og heiti ýmissra undirdeilda berggerðanna. Í annan stað er hér jafnan fylgt íslenskri venju um jarðfræðilegt tímatal, og kvarter-tíminn talinn hefjast fyrir sem næst 3.1 millj. ára. Erlendis er hann oft talinn hefjast fyrir 1.5 - 2.0 millj. árum.

3.4 Einstakir staðir

3.4.1 Kjalarnes - Stardalur

Rannsókuð hafa verið þrjú meiri háttar basísk innskot sunnan og vestan við Esju (INGVAR B. FRIDLEIFSSON 1973), sjá mynd 3.6. Þau eru talin tengd tveimur árkrarterum megineldstöðvum: Kjalarneseldstöð, sem er stærri og eldri og Stardalseldstöð.

- 1) Kjalarnes: Á Músarnesi hjá Brautarholti er innskot um 2 km^2 að stærð. Það er samsett af margföldum laggöngum (halli $20-25^\circ\text{C}$ SSV), en samanlögð þykkt þeirra er talin vera um 350 m. Bergið er mjög grófkornótt dólerít^{*}).
- 2) Þverfell - Leiðhamar - Lauganípa: Umhverfis Esjuberg er samsett innskot um 4 km^2 að stærð. Samanlögð þykkt þess er um 1 km, en innskotið í Þverfelli eitt sér er um 200 m að þykkt. Berggerðin er dólerít, sums staðar með olivín (t.d. Þverfell - Lauganípa), en annars staðar án þess. Dólerítið er það gróft í Leiðhamri, að næstum mætti kalla það gabbró. Málmsteindir í sýni úr Lauganípu eru aðeins um 5%. TiO_2 -innihald er yfirleitt lágt, Lauganípa 2.6-2.7%, Leiðhamar 1,4%, Þverfell 2,2%. Leiðhamar er niðri á sléttlegndi en Þverfell og Lauganípa í hlíðum Esjunnar.
- 3) Stardalur: Hjá Stardal er um 2.3 km^2 stórt innskot (Stardalshnjúkur) úr grófu dóleríti með olivíni. Þykkt þess er áætluð 100-200 m. Í sýni úr því hefur verið greint 1.2% TiO_2 . Stardalshnjúkur er auðaðgengilegur en brattur sjálfur.

Af innskotum þessum við Esju virðist innskotið á Músarnesi vera títanvænlegast.

* Notkun heitisins dólerít hefur verið nokkuð á reiki. Þannig hefur grófkornótt basalt ("grágrýti") verið nefnt dólerít, en einnig hefur það verið notað um berg í basískum innskotum og göngum, sem er fínkornóttara en gabbró. Þannig berg hefur einnig verið nefnt diabas.

3.4.2 Snæfellsnes

Rannsókuð hafa verið þrjú meiri háttar gabbróinnskot á Snæfellsnesi (HARALDUR SIGURÐSSON 1970). Þau eru tengd tveimur megineldstöðvum (Setbergseldstöð; "Centre 1", "Centre 2"). Eldstöðvunum er einnig tengt töluvert magn af súru bergi og fjöldi keiluganga. Miðja annarrar megineldstöðvarinnar er rétt austan eða norðaustan við Setberg í Eyrarsveit. Sú er talin plíósen að aldri (þ.e. frá lokum tertíer-tíma) og þóleyisk að bergefñasamsetningu. Henni er tengt gabbró í Kolgrafarmúla. Miðja hinnar er talin vera norðaustur frá Lýsuhóli í Staðarsveit. Sú eldstöð er talin vera ár-kvarter en bergefñasamsetning á milli þóleyisks og alkalisks basalts.

Innskot í Þorgeirsfelli og við Lýsuskarð eru talin tengd henni ásamt ýmsum smærri innskotum, sem meiri óvissa ríkir þó um. Athyglisvert er, að hraunastafli úr ýmsum gerðum alkalisks bergs hefur hlaðist upp yfir þessarri eldstöð á síð-kvarter, en TiO_2 er oft meira í alkalí-basalti en í þóleyjar-basalti. Þessa gætir einnig e.t.v. í Setbergssvæðinu, sjá töflu 3.2.

Tafla 3.2

TiO_2 í bergi á Setbergssvæði (H.S. 1970):

<u>Berggerð,</u>	<u>TiO_2 (%)</u>		<u>Berggerð</u>	
<u>Megineldstöðvar:</u>	<u>"Centre 1"</u>	<u>"Centre 2"</u>	<u>Alk.bas.</u>	<u>Alk. bas.?</u>
Óliv. Þól. bas.	1.9	2.2	2.2	Óliv. Bas.
Þól. basalt	2.5	2.9	2.7	Hawaiit
Bas. andesít	1.9	2.2	2.2	Mugearít
"Icelandit"	1.0	1.5	1.5	Benmoreit

Svo virðist sem berg tengt "Centre 2", sé títanríkast. Lega gabbró-innskotanna er sýnd á mynd 3.7.

- 1) Kolgrafarmúli (sjá mynd 3.8): Innskotið er um eða yfir 6 km^2 að stærð. Bergið er grófkornótt og flokkað sem kvarts-gabbró. Það er víða blettótt og er þar annars vegar um granófýr-líkt berg að ræða, en hins vegar járnsteindir (og/eða pýroxen), sem eru taldar vera nærri 16% bergsins. Innskotið er þéttskorið af keilugöngum. Í tengslum við innskotið stendur e.t.v. gabbrógangur, allt að 100 m þykkur, undir Eyrarhyrnu (mynd 3.8).
- 2) Þorgeirsfell: Innskot þetta kemur fram í Þorgeirsfelli; sem berg eða í skriðum; frá fjallsrótum og upp á brúnir. Það er um 3 km^2 að stærð. Berggerð er talin vera ólivín-gabbró. Belta- eða lagskiftingar verður vart í berginu, en mörk þess við grannbergið virðast vera mjög brött. Svipað gabbró finnst á jafnsléttu í Staðarsveit (mynd 3.7).
- 3) Lýsuskarð: Þetta innskot er um 2.5 km^2 að stærð. Berggerð er talin vera bíótít-gabbró, en er annars nokkuð breytilegt að gerð. Það virðist vera samsett úr þykkum, láréttum lögum. Milli innskotsins og grannbergsins (basalthraunstaflans) er 200-400 m þykkt lag af granófýri. TiO_2 hefur verið greint 1.5% í gabbróinu, en þess er getið til, að járn- og títansteindir hafi skilist frá því, áður en það storknaði á núverandi stað sínum.

Berg virðist títanvænlegast í megineldstöð II ("Centre 2"), en þar er hæst títan-hlutfall og aðskilnaðar berggerða verður vart í gabbróinu.

3.4.3 Hrappsey - Purkey:

Í Hrappsey, Purkey og nærliggjandi smærri eyjum er basískt innskotsberg og innskotsbreyzkja (- breccia) á yfirborði á u.þ.b. 10 km² stóru svæði. Innskotsbergið er anorþósít og díabas. Þessi staður er áhugaverður fyrir þá sök, að hann er eini markverði fundarstaður anorþósíts á landinu og jafnframt sá eini, sem rannsakaður hefur verið bergfræðilega (HREFNA KRISTMANNSDÓTTIR 1970). Anorþósít er sú bergtegund erlendis (ásamt gabbróí), sem títangrýti er oftast tengt. Á Hrappseyjarsvæðinu finnst anorþósítið sjálfst á yfirborði á sunnan- og vestanverðri Hrappsey og á smærri eyjum SV af Hrappsey. Það finnst í blettum og spildum (stærsta samfellda spildan er um 3 ha) og er samanlagt flatarmál þeirra um 0.15 km². Bergið er grófkornótt eða jafnvel stórkornótt; 80-100% úr plaglóklas, en annars mjög breytilegt að útliti, smíð og lagskiftingu. Ilmenít og magnetít finnast í berginu en munu þó til samans vera innan við 1% þess. TiO₂ - er því enda lítið í berginu eða 0.03 - 0.22%. Þetta bendir til þess, að TiO₂ hafi skilist frá þeim hluta kvikunnar, sem anorþósítið er myndað úr, hvort sem það hefur spýtt í kviku út í grannbergið; og myndað þar ganga; eða setið eftir í kvikuþrónni; en þá væri þess e.t.v. að leita í gabbróhleif undir núverandi jarðaryfirborði.

Díabasið þekur um 5/7 hluta Hrappseyjar. Það er plagióklasdílótt og fínkornótt til grófkornótt, yfirleitt í lögum. TiO₂ er 0.96 - 2.73%, að meðaltali um 2.0%.

Eyjarnar eru yfirleitt láglendar og greiðar aðgöngu.

3.4.4 Hríshóll í Reykhólasveit

Hjá Hríshóli í Reykhólasveit er gabbró-innskot, um 1 km² að stærð. Umhverfis botn Króksfjarðar er talin vera megineldstöð (súrt berg, keilugangar, ummyndun). Sérkenni eldstöðvarinnar virðist vera mikill fjöldi bergstanda (gígtappar, "plugs"). Svæði þetta hefur ekki enn verið kannað til hlítar (N: HALD; A.NOE - NYGAARD; A.K. PEDERSEN 1971). Efnagreiningar liggja ekki fyrir úr gabbróinu, en TiO₂ í basalti á svæðinu hefur verið greint 1.8-3.4%, hæst í bergstandi hjá Borg vestan Króksfjarðar. Gabbró-innskotið liggur nærri þjóðvegi.

3.4.5 Víðidalur - Vatnsdalur

Basískt djúpberg og innskotsberg finnst á nokkrum stöðum um miðbik Húnaþings, í utanverðum Víðidal og Vatnsdal. Innskot þessi eru tengd tveimur megineldstöðvum (R.N. ANNELLS 1968). Megineldstöð mun vera á sunnanverðu Vatnsnesi, í næsta nágrenni við hinar tvær (JAKOB H. LÍNDAL 1964), svo og e.t.v. austan Vatnsdals. Hæst títaninnihald í bergi á þessu svæði var greint í dólerítlagi í Hjallanum (Deildarhjalla) í Vatnsdalsfjalli um 4% TiO₂, en var víða 2-3% TiO₂. Helstu gabbróinnskot eru (sjá mynd 3.8):

- 1) Borgarvirki: Flatarmál um 1 km². Berg er flokkað sem evkrít og er yfirleitt grófkornótt.
- 2) Steinsvað: Gabbró sést á smábletti undir brú á Víðidalsá hjá Lækjarmóti. Berg þetta er grófkornótt og inniheldur yfir 3% TiO₂ (R.N. ANNELLS 1968). Sýni úr þessu bergi hefur verið rannsakað nánar (skýrslur BALDURS LÍNDALS 1977 og SIGURDAR STEINÞÓRSSONAR 1977).

Reyndist þá títaninnihald samsvara 4.4% TiO_2 , sem tókst að auðga við þyngdarskiljun ákveðinnar kornastærðar í 25% TiO_2 (ásamt 52% Fe_2O_3), en talið var, að þar mætti hæglega gera betur. Þarna nær gabbróið rétt upp fyrir vatnsborð Víðidalsár. Útbreiðsla þess nærlendis er óþekkt, þar eð berg er allt hulið þykkum, lausum jarðlögum. Hins vegar eru góðar líkur á, að kanna mætti tilvist og/eða útbreiðslu gabbrósins þarna með jarðeðlisfræðilegum aðferðum.

- 3) Urðarfell: Samskonar gabbró og við Steinsvað finnst í Dagmálagili syðst í Urðarfelli upp af Melrakkadal í Víðidal; eða mjög svipað. Gabbróið er í snarhallandi lagi eða bergskrokk í um 300 m y.s. hæð í fjallshlíðinni. Bergið er grófkornótt, málmsteindir (magnetít, ilmenít) hafa verið greindar um 13% í því, en efna-greiningu skortir.
- 4) Hólar - Skessusæti: Austan í og austan við norðurenda Víðidalsfjalls er gabbró-innskot, um 2.5 km² að flatarmáli. Bergið er grófkornótt plagíóklas-dílótt gabbró (evkrít) með fínkornóttri kápu. Í henni og stórkornóttum hluta í gabbróinu ("pegmatíti"), hafa málmsteindir verið greindar 11-12%.
- 5) Hnjúkur: Fast við bæinn á Hnjúki í Vatnsdal er gabbró-innskot (0.2 km² að flatarmáli) umlukt dólerítkápu. Bergið er grófkornótt og Feldspatdílótt. Í því verður vart við ólivín, sem annars er talið vera fáséð í gabbrói á þessum slóðum. Efnagreining sýnir yfir 3% TiO_2 .

Töluvert skortir á, að nægar efnagreiningar séu til á marktækum bergsýnum af þessu svæði. Miðað við þær greiningar, sem til eru, virðist gabbróið við Steinsvað (og e.t.v. í Urðarfelli) vera títanvænlegast. Hins vegar er gabbróið (evkrítið) í Hólum - Skessusæti mest að flatarmáli og jafnframt hvað aðgengilegast, og því mest forvitni á marktækum greiningum á því.

3.4.6 Austurhorn í Lóni

Mikið er um innskotsberg í Austur-Skaftafellssýslu, sjá mynd 3.9. Austur undir sýslumörkum er stórt gabbró-innskot í Hvalnesfjalli, sem einnig hefur verið kennt við Austurhorn (D.H. BLAKE 1964). Yfirborðsflatarmál þess er talið vera 2.3 km². Í bergi í því hefur verið greint hæsta TiO₂-hlutfall, sem höfundum þessarrar skýrslu er kunnugt um í íslensku gabbrói, eða rúmlega 6%. Norðan við innskotið er megineldstöð ("Álftafjarðareldstöð"; milli Lónsheiðar og sjávar, sjá mynd 3.10), en talið er að innskotið standi ekki í beinum tengslum við eldstöðina, heldur sé það að marki yngra en hún. Tvö lítil gabbró-innskot eru í Krossanesfjalli (sjá mynd 3:10) og er talið, að þau séu tengd megineldstöðinni. Úr öðru þeirra hefur verið greint um 2.5% TiO₂.

Granófýr er utan um og undir gabbróinu í Hvalnesfjalli, og er talið líklegra að gabbróið hafi troðist inn í granófýrið en öfugt, þó næsta litlu muni líklega á aldri þeirra. Gabbróið er yfirleitt grófkornótt. Nokkur munur er á berggerð frá stað til staðar. Þannig er sérlega dökkt gabbró ("skúmberg", "melanókrat" berg) í Breiðatindi, með verulegu magni af ólivíni, sem annars finnst á stangli í gabbróinu. Nokkrar efnagreiningar hafa verið gerðar á bergi í innskotinu. Í granófýrinu er TiO₂ 0.3-0.6%. Aðeins tvær greiningar eru úr gabbróinu. Í sýni úr 240 m ý.s. hæð 1.4 km NNV af Grænanesi er TiO₂ 2.3%, en úr sýni af ströndinni, 0,6 km V af Hvalnesbæ, er TiO₂ 6.10%, en málmsteindir greindar um 12%. Í dökka gabbróinu ("skúmberginu") á Breiðatindi voru greindar málmsteindir um 16% og gæti þess vegna verið þar enn hærri TiO₂-hlutfall.

Legga gabbró-innskotsins (sem bergskrokks) gæti bent til þess að TiO₂-ríkur, grófkornóttur sandur hefði myndast við rof úr því. Líkur væru þá á því, að slíks sands væri að leita í rifinu fyrir utan Lónsfjörð, eða á undirlendi í Lóni, ef rofið hefði átt sér stað við hærri sjávarstöðu í lok síðustu ísaldar. Þessi atriði eru með öllu ókönnuð enn.

Þjóðvegurinn fyrir Hvalnesskriður liggur við rætur Hvalnesfjalls og er því innskotið greitt aðgöngu, þó fjallið sjálf sé bratt og hömrótt. Undirlendi er nokkuð á Hvalnesi sjálfu og vissar líkur á hafnarmöguleikum í Hvalneskrók. Efnagreiningar og aðstæður benda til þess, að innskotið í Austurhorni geti bæði verið títanvænlegast og hagkvæmast í nýtingu þeirra innskota, sem kannaðar heimildir ná til.

Innskotin í Reyðarárfjalli og í Slaufrudal eru talin vera úr súru bergi (sjá M.J. ROOBOL 1969), en beinar heimildir um þau voru ekki fyrir hendi.

3.4.7 Vesturhorn í Hornafirði

Við Vesturhorn er eitt stærsta innskot á landinu (J.K. ROOBOL 1969), að flatarmáli um 19 km^2 á yfirborði. Innskot þetta er samsett og er talið að greina megí í því 72 aðskilin innskot eða innskotsþætti. Hinum basíska hluta þess má skipta í tvö megininnskot. Svokallaður "Western Ring Complex" á Stokksnesi og Litla-Horni og "Eastern Basic Complex" í Brunnhorni - Kamphorni (sjá mynd 3.11). Vestra innskotið er talið samsett úr bauglaga göngum og lögum. Flatarmál innskotsins á yfirborði er talið um 5.5 km^2 , en skifting þess á bergtegundir sem hér segir: "Súrskellu" - (acid patch) kvarts-gabbró 60%, bytownít-gabbró 30%, gabbró 10%. Eystra innskotið er heilsteyptara, þó kenna megí einnig í því ýmsa bogsmíð; flatarmál þess er talið vera um 3.5 km^2 og skifting eftir bergtegundum eftirfarandi: "Súrskellu" - kvarts-gabbró 10%, bytownít-gabbró 80%, gabbró 10%. Á milli basísku innskotanna og ofan á þeim að hluta er súrt innskotsberg (granófýr, "epi-granít"). Talið er líklegt, að súra bergið hafi troðizt inn á undan, samtímis og á eftir því basíska, en bæði basísku innskotin séu ámóta að aldri, samkvæmt aldursgreiningum (ROOBOL 1969) um 6 1/2 millj. ára.

Talsverður fjöldi efna- og steindagreininga liggur fyrir af svæðinu, sjá töflu 3.3. Í öllum gabbrósýnunum er TiO_2 -innihald meira en 3.5% og er það jafnmesta TiO_2 í einu innskoti, sem getið er um í könnuðum heimildum.

TAFLA 3.3

TiO₂ - innihald í innskotsbergi í Vesturhorni

<u>Staður:</u>	<u>Berggerð:</u>	<u>Málmsteindir (%)</u>	<u>TiO₂ (%)</u>
1. <u>Súrt og ísúrt berg</u>			
	"Epi - granít"	0 - 3,5	0.2 - 0.5
	Díorít	1 - 2	0.4 - 1.0
	Basískt blíórít	3 - 9	1.7 - 2.7
2. <u>Kvarts - dólerít:</u>			
Klífatindur	(porfýriskt Kv.-dól.)	4.4	2.86
Kamphorn	(gangur)	8.4	3.25
3. <u>Gabbró, eystra innskot:</u>			
Hvítalda	Kvarts-gabbró	10.2	3.60
Kamphorn	-	12.5	3.56
Brunnhorn	Gabbró	8.0	3.94
Hvítalda	Bytownít-gabbró	11.3	3.10
4. <u>Gabbró, vestra innskot:</u>			
Litla-Horn	"Súrskellu"-Kvarts-gabbró:	-	4.24
Stokksnes	Gabbró	9.3	4.83
Stokksnes	Bytownít-gabbró	5.9	3.86

Nákvæmari staðsetningar eru í heimildarriti. Fullt samræmi þarf ekki að vera á milli efna- og steindagreiningar (magnetít + ilmenít), vegna sýnavals.

Basísku innskotin eru að hluta á flatlendi (Stokksnes; strandflötur), en mest sést í þau í hamra- og skriðuklíðum Vesturhornsfjallanna. Þau er því vel aðgengileg, þó torfært geti verið um þau sjálf.

Sandrif og -fjörur eru með sjónum á þessum slóðum; bæði fyrir Hornsvík og Skarðsfirði, en samsetning sandsins er óþekkt.

3.4.8 Mýrdalssandur

Gjóska sú sem kemur úr Kötlu og berst með vatns-
hlaupum fram Mýrdalssand inniheldur allnokkuð TiO_2
eða 4-5%. (LACROIX) (1922) efnagreindi fyrstur gjóskuna
úr gosinu 1918. Niðurstöður hans eru þær að TiO_2 -
innihald sé 5.01%, Fe_2O_3 -innihald 3.44% og FeO-
innihald 12.34%.

Reiknuð steindasamsetning gefur 5.02% magnetít og
9.57% ilmenít. Efnagreiningar á eldri gjóskulögum
sýna mjög svipaða niðurstöðu.

Á vegum Rannsóknarstofnunar iðnaðarins var framkvæmd
 TiO_2 -greining á sýnum af suðurströndinni frá Kúða-
fljóti vestur á Rangársand. (SIGURÐUR R. GUDMUNDSSON,
1973). Sýnin frá Kúðafljóti að Vík eru mjög jöfn að
 TiO_2 -innihaldi eða 3.70 - 4.84%. Meðaltal 35 sýna
er 4.21%.

Athugað var TiO_2 -innihald í mismunandi kornaflokkun
fimm sýna. Örlítill tilhneiging er til aukningar TiO_2 -
innihalds með minnkandi kornastærð.

Smásjargreining hefur verið framkvæmd á einu sýni af
Mýrdalssandi (JÓN JÓNSSON, 1976). Gaf hún eftirfarandi
niðurstöður:

Plagioklas	6.3%
Pýroxen	4.5%
Ólivín	0.6%
Málmur	11.5%
Gler	75.8%

Ekki er getið um hverjar málmsteindirnar eru, né heldur
um stærð þeirra.

Mýrdalssandur hefur byggst upp í síendurteknum Kötlu-
gosum. Hvergi sér nú í botn sandsins, en lágmarksmagn
er 500 milljón m³. (SIGMUNDUR EINARSSON 1975).

Vikurinn er nokkuð fínkornóttur. Í meðfylgjandi töflu
eru sýndar lauslegar niðurstöður sigtunar á litlu sýnunum.

Tafla 3.4

<u>Svæði</u>	<u>minna en 0,25 mm</u>	<u>0,25-4 mm</u>	<u>stærri en 4 mm</u>
B	11,4	73,6	15,0
A ₁	16,0	70,9	13,1
A ₂	16,5	75,3	8,2

A₁: svæði A norðan Þjóðvegur

A₂: svæði A sunnan Þjóðvegur

Tölurnar í töflunni eru meðaltöl fyrir hundraðshluta
af heildarþunga sýna. Alls voru sigtuð um 100 sýni
(SIGMUNDUR EINARSSON 1975).

Á Sólheimasandi er gjóska, sem svipar mjög til Kötlu-
gjóskunnar. Ein TiO₂-greining gaf 3.92% (SIGURÐUR R.
GUÐMUNDSSON 1973).

JÓN JÓNSSON (1976) hefur gert eina smásjárgreiningu á
gjóskunni og eru niðurstöður hans þessar:

Plagioklas	22.0%
Pyroxen	12.0%
Ólívín	7.0%
Málmur	24.0%
Gler	54.0%

3.4.9 Stóra - Laxá í Hreppum

Basískt djúpberg ("dólerít") kemur fram báðum megin við Stóru-Laxá, frá Skarðsfjalli til Galtafells. (INGVAR B. FRIDLEIFSSON 1970). Um miðbik svæðisins virðist megin hluti bergsins samanstanda af margföldum göngum, misþykkum. Kornastærð bergsins er all breytileg frá einum stað til annars, en einna grófast er bergið í gili Laxár á norðanverðu svæðinu. Steindasamsetning virðist vera svipuð víðast hvar.

Tvær efna- og steindagreiningar (ilmenít) eru af dólerítinu: 2,9% TiO_2 , 7,8% ilmenít og 3,16% TiO_2 , 8,6% ilmenít.

Dólerítið kemur fram á u.p.b. 10 km^2 stóru svæði. Land er þar yfirleitt mishæðótt og víða nokkurn spöl frá vegi, en annars aðgengilegt. Svæði það, sem basískt innskotsberg þekur á yfirborði, er eitt hið stærsta við Stóru-Laxá, þeirra sem getið er í heimildum. Kornastærð er líklega fremur óhagstæð og greint TiO_2 -innihald lægra en víða annars staðar.

3.5 Helztu jarðfræðilegar niðurstöður

Upplýsingar fengust ekki úr könnuðum heimildum um ýmis veigamikil atriði fyrir vinnsluhæfni títan-bergsins (hér: gabbró), svo sem kornastærð og kornastærðardreifing ilmenít-steinda, samfléttun steinda, glufun bergs, legu og útbreiðslu berghluta o.s.frv. Úr þessu og fleiru, verður ekki bæt nema með markvissri markskoðun og sýnatöku. Þrátt fyrir þessa annmarka; og ótvíræðan skort markvissra efna- og steindagreininga, þá eru þó ýmis atriði ljós um títanlíkur í gabbrói á Íslandi.

1. Þó nokkuð víða finnast basískt djúpberg með meira en 3% TiO_2 -innihald. Í Víðidal, Austurhorni og Vesturhorni finnast gabbró með meira en 4% TiO_2 -innihald. Þessi gildi eru mun hærri en meðaltalsgildi gabbrós almennt (sjá mynd 3.3). Því fylgir, að TiO_2 -innihald í basalti á Íslandi er tiltölulega hátt (sjá mynd 3.4).
2. Hæst TiO_2 -hlutfall í efnagreindum sýnum fannst í Austurhorni, 6.10%, en steindagreiningar þar gætu bent til tiltölulega herra ilmeníthlutfalls í öðrum sýnum. Jafnhæstu TiO_2 -hlutfallsgildin eru úr Vesturhorni, 3 1/2-5% í allmörgum sýnum.
3. Þó TiO_2 -hlutfall þetta sé ekki hátt í samanburði við TiO_2 -innihald í "linsum" og göngum í nýttum námum (sjá töflu 2.6), þá er þess að geta að títansteindir (ilmenít) munu að líkindum vera jafndreifðar ("disseminated") í gabbróinu hér, svo að hér getur verið um verulega mikið heildarmagn að ræða.
4. Kornastærð og samfléttun korna virðist ekki vera óhagstæð, ef marka má þá einu skiljunartilraun, sem gerð hefur verið; (og það við næsta ófullkomnar aðstæður) (SIGURÐUR STEINÞÓRSSON 1977) en þar tókst að ná 25% TiO_2 -styrk.
5. Títannám er mögulegt úr sandi þótt TiO_2 magnið sé lágt. Sumsstaðar er numinn sandur með minna en 1% TiO_2 . Í námunda við innskotin í Austur- og Vesturhorni er mikið af sandi og mól. Möguleikar á títanríkum og vinnsluhæfum sandi eru því fyrir hendi á þessum slóðum.
6. Landslagsaðstæður og afstaða til hafna eða hafnarstaða virðast ekki óhentugar, a.m.k. við hornin bæði, sem verður að telja títanvænlegustu staðina.

Jarðfræðilegar aðstæður til títanvinnslu á Íslandi má því meta í stuttu máli á grundvelli kannaðra heimilda:

- 1) TiO_2 -hlutfall er fremur lágt (í % TiO_2).
- 2) Gabbró á Íslandi er fremur títanauðugt; heildarmagn TiO_2 getur því verið vænlegt.
- 3) Kornastærð og samfléttun korna virðist ekki vera óhentug, en þarf nánari könnunar við.
- 4) Landslagsaðstæður virðast ekki vera óhentugar á títanvænlegustu stöðunum, en þarfnast viðeigandi mats.

Títan er sá málmur, sem langmestar líkur eru á, að vinna megi úr basísku djúpbergi (gabbró) hérlandis, en líkur eru á nokkurri járnvinnslu sem aukagetu með títanámi. Reynist slíkt mat þess eðlis, á grundvelli fyrirliggjandi heimildarkannanna, að ástæða sé til að huga nánar að aðstæðum, þá liggur beinast við að framkvæma frekari rannsóknir á innskotum í Austurhorni og Vesturhorni og fjöruseti tengdum þeim. Þær rannsóknir lytu að úttekt á legu, skiftingu og smíð ("strúktúr") bergsins og markvissri sýnatöku (merkurvinna). Í sýnum yrðu greind kornastærð og samfléttun korna, auk efnanna Ti, Fe og V (títan, járn, vanadíum): Þar við bættust brot- og skiljunar-rannsóknir, auk hag- landfræðilegra rannsókna.

JARÐFRÆÐIHEIMILDIR

- Annels, R.N., 1968. A geological investigation of a Tertiary intrusive centre in the Víðidalur - Vatnsdalur area, northern Iceland. Ph.D. thesis, University of St. Andrews, 614 síður.
- C.K. Brooks og S.P. Jakobsson 1974: Petrochemistry of the volcanic rocks of the North-Atlantic ridge system. Kristjánsson (ed.) 1974 S. 139-154.
- Deer, Howie Zussman 1966: An Introduction to the Rock forming minerals. Langman Greups Ltd., London 528 síður.
- Einarsson, S. 1975: Vikur á Mýrdalssandi - forkönnun GN 7503.
- Friðleifsson, I.B., 1970. The Stóra-Laxá igneous complex, S. Iceland. B.Sc. thesis, University of St. Andrews, 88 síður.
- Friðleifsson, I.B., 1973. Petrology and structure of the Esja Quaternary volcanic region, southwest Iceland. D.Phil. thesis, 208 síður, Oxford University. UK.
- Friðleifsson, I.B. and L. Kristjánsson, 1972. The Stardalur magnetic anomaly, SW-Iceland. Jökull, Vol. 22. s. 69-70. Reykjavík.
- Friðleifsson, I.B. 1976. Distribution of large Basaltic Intrusions in the Icelandic Crust NEA report OS-JHO 7622.
- Guðmundsson, S. 1973: TiO_2 -rannsóknir á svæðinu frá Ytri-Rangá að ósum Kúðafljóts. Frumskýrsla.
- Hald, N., A. Joe-Nygaard and A.K. Pedersen, 1971. The Króksfjörður central volcano in northwest Iceland. Acta Naturalia Islandica, Vol. II, No. 10, 29 síður, Reykjavík.

- Jónsson, J. 1976: Nokkur orð um svartan sand, Suðurland, 8 tbl. 1976.
- Kristmannsdóttir, H., 1970. Anorthositt og assosierte bergarter på Hrappsey, Vest Island. Cand. real. thesis, 162 síður, Oslo University.
- Lacroix, A. 1922: C.R. Acad. Sc 107.
- Líndal B. 1977: Málmríkt gabbró í Víðidalsfjalli og nágrenni. Bréf til Framkvæmdastofnunar ríkisins.
- Nudd SW 1960: Industrial Minerals and Rocks Am. Inst. of Umveg, Metalurgical and Petroleum Engineers 934 s.
- Roobol, M.J., 1969: The Vesturhorn acid-basic intrusion of S.E. Iceland. Ph.D. thesis, University of London.
- Roobol, M.J., 1972: Size-graded, igneous layering in an Icelandic intrusion. Geol. Magn., Vol. 109 S. 393-404.
- Sigurðsson, H., 1966: Geology of the Setberg area, Snæfellsnes western Iceland. Greinar 4, No. 2, S. 53-122. Soc.Sci. Islandica. Reykjavík.
- Sigurðsson, H., 1970: The petrology and chemistry of the Setberg volcanic region and of the intermediate and acid rocks of Iceland. Ph.D. Thesis, Durham University, 321 síður.
- Steinþórsson, S. 1977: Skýrsla um rannsókn á gabbrói undan brunni yfir Víðidalsá.

4. FRAMHALD OG FORSENDUR FYRIR VINNSLU Á ÍSLANDI

Ekki er, með þeirri könnun sem gerð hefur verið, hægt að leggja fram forsendur fyrir því að hægt sé að vinna títan-steindir úr íslenzku jarðefni.

En ef ákveðið verður að halda áfram og gera ítarlegri rannsóknir á íslenzku Ti-jarðefni þarf að rannsaka eftirfarandi atriði, í forgönguröð:

4.1 Kornastærðin

Eftir því sem ilmenítkornin eru stærri í berginu, eftir því er ódýrara að gæða grýtið. Orkuþörfin fyrir mölun niður í 0,15 mm og fleytingu er 47-73 kWh/tonn grýtis, en fyrir mölun niður í 0,075 mm og fleytingu eða segulskiljun er orkuþörfin 73-105 kWh/tonn grýtis¹⁰⁾.

Stofnkostnaðurinn eykst auk þess þegar kornastærðin minnkar.

Berg, þar sem meiri hluti kornanna er minni en 0,1 mm gæti verið vinnanlegt, ef aðrir þættir eru hagstæðir, en miklu munar hversu dýrari gæðunin verður en ef kornin væru t.d. upp undir 0,15 mm.

Sé hráefnið ár- eða sjávarsandur þurfa að vera laus ilmenítkorn í sandinum. Hugsanlegt er að vísu að mala sandinn, ef hægt væri að skilja mestallan ónýta hluta sandsins frá, fyrir mölunina, með t.d. eðlisþyngdar-skiljun.

4.2 TiO₂ - hlutfall

Lægsta TiO₂ - hlutfall í Ti-bergi sem brotið er, er um 13% (djúpnáma, Otanmäki, Finnlandi). Þróunin er sú að berg með minna og minna málminnihald er brotið (dæmi: kopargrýti 1942, 1,1%; 1977, 0,65%; 2000 (áætlað), 0,03%). Þannig verður berg með lágum ilmenítstyrk álitlegra með hverju ári.

Trúlega gæti berg með TiO₂ - hlutfalli undir 10% verið vinnanlegt í dag, ef steindakornin eru nógu stór, naman aðgengileg (dagbrot) og fleiri efni en ilmenít vinnanleg úr berginu, þó í litlu magni væri.

Ef ilmenítið er unnið úr sandi getur TiO₂-hlutfallið verið mjög lágt, jafnvel undir 1%, sé ilmenítið að finna sem einangruð og laus korn í sandinum.

4.3 Berg eða sandur

Í kafla 2.6 kemur fram að sandur er lang ódýrastur í vinnslu, reiknað á magn hráefnis (orkuþörf: 3-12 kWh/tonn sands), dagbrot næst dýrast (orkuþörf: 56-88 kWh/tonn) en djúpnám dýrast (orkuþörf: 85-190 kWh/tonn). Tölurnar eru miðaðar við mölun niður í 0,15 mm (100 mesh); ef mala þarf niður í 0,075 mm (200 mesh) yrði orkuþörfin fyrir dagbrot, 92-120 kWh/tonn og fyrir djúpnám 111-223 kWh/tonn. Af þessu sést að sandurinn er mjög áhugavert hráefni. Sé ódýr orka fáanleg verður bergnám álitlegra, en fjármagns-kostnaðurinn (vextir, afskriftir) og viðhaldskostnaðurinn verður þó hár.

Eftir því sem bergið er auðbrjótanlegra, eftir því er ódýrara að gæða það, þ.e.a.s. harka bergsins þarf að vera sem lægst.

4.4 Magn

Ef farið er út í vinnslu þarf að vera hráefnisgrundvöllur fyrir nokkurra áratuga rekstri. Það þýðir að heildarmagn ilmenítsins þyrfti að vera af stærðargráðunni megatonn, lægst.

4.5 Aukaefni

Ef nýtileg aukaefni eru í berginu eykst vinnsluhæfni bergsins. Litandi efni í ilmenítinu (Cr, V) eru til skaða og verður að komast að hvort þau eru í of stóru hlutfalli. Kanna verður gæði járnsteindanna með tilliti til járnbræðslu.

4.6 Náttúruvernd

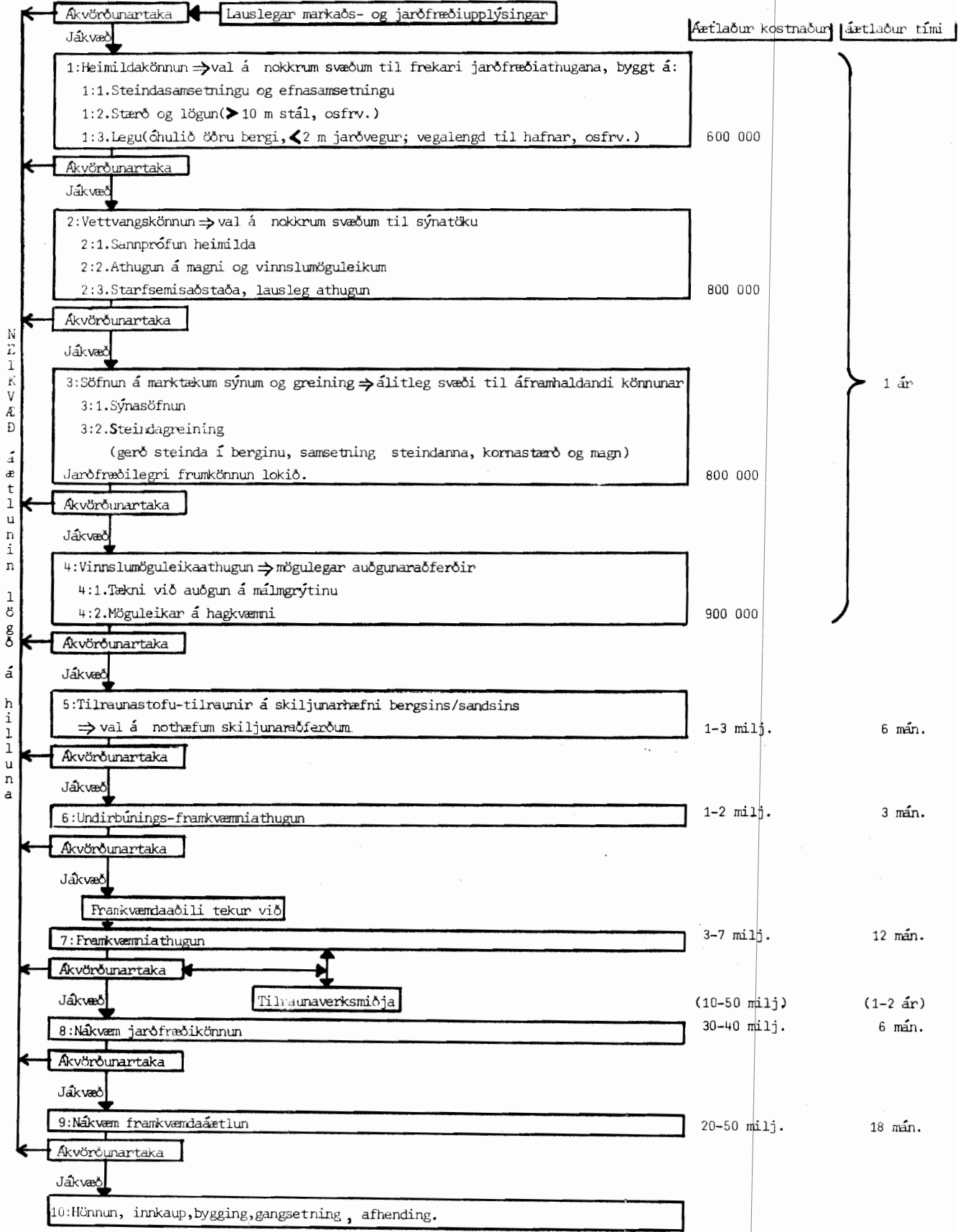
Náttúruverndarsjónarmið þurfa að koma með í reikninginn við námuáætlun, bæði hvað snertir hráefnistekjuna og úrganginn.

4.7 Lega

Náman þarf að liggja eins nálægt gæðunarverksmiðjunni og auðið er. Aðgangur að vatni er nauðsynlegur við gæðunina.

ILMENITÄETLUN.

1:Litterature research. 2:Geological and infrastructural reconnaissance. 3:Mineralogical analyses. 4:Survey of dressing methods. 5:Laboratory beneficiation tests. 6:Pre-feasibility study. 7:Feasibility study. (7b:Pilot plant tests.) 8:Geological mapping. 9:Detail planning. 10:Designing, purchasing, constructing, start-up, hand-over.



N E L K V A D í æ t l u n i n l ö g g ö á h i l l u n a

Áætlaður kostnaður | Áætlaður tími

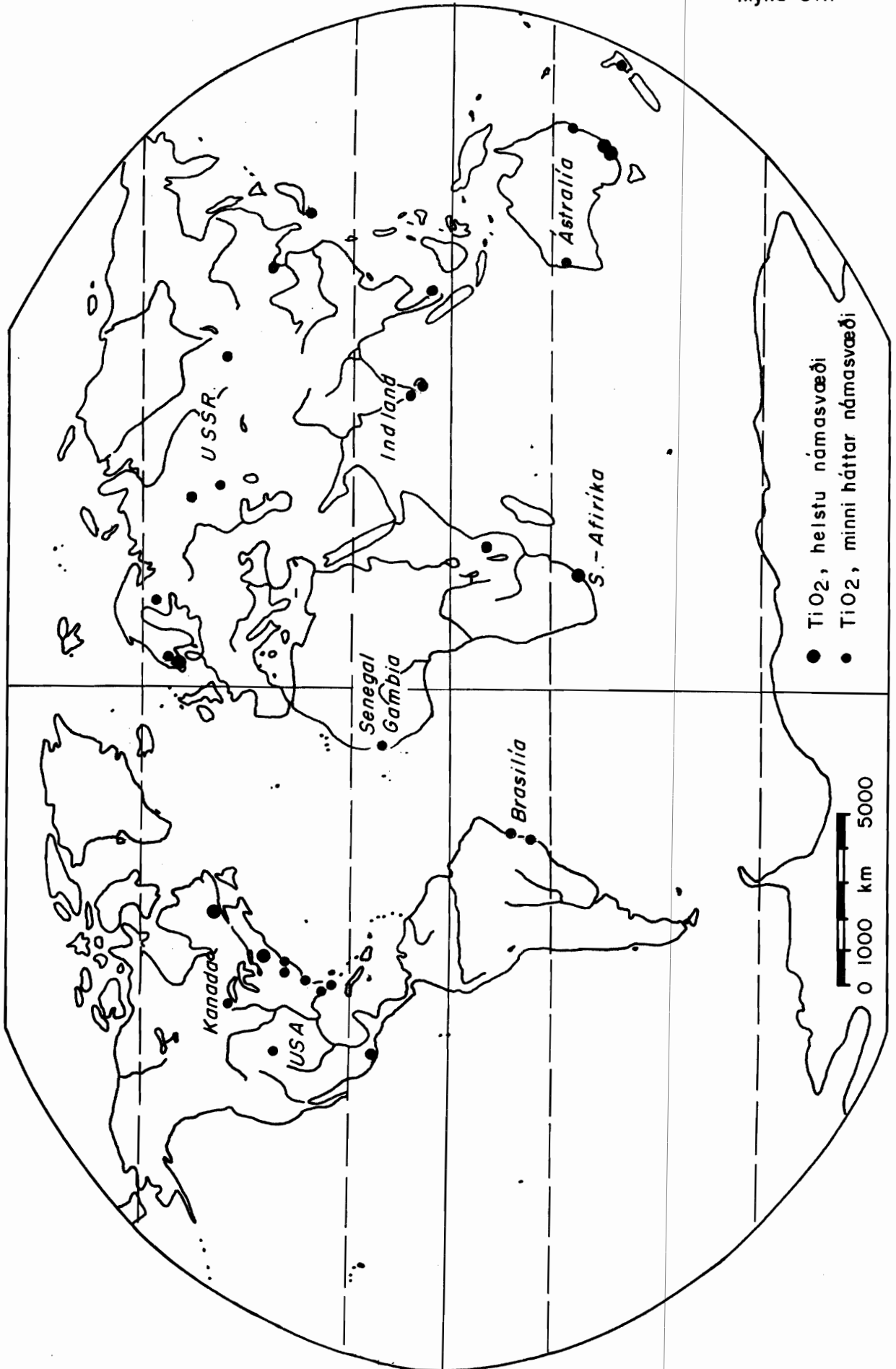
1 ár

(míðað við verðgildi 1977-10-11)



Helstu titanvinnslusvæði
jarðar

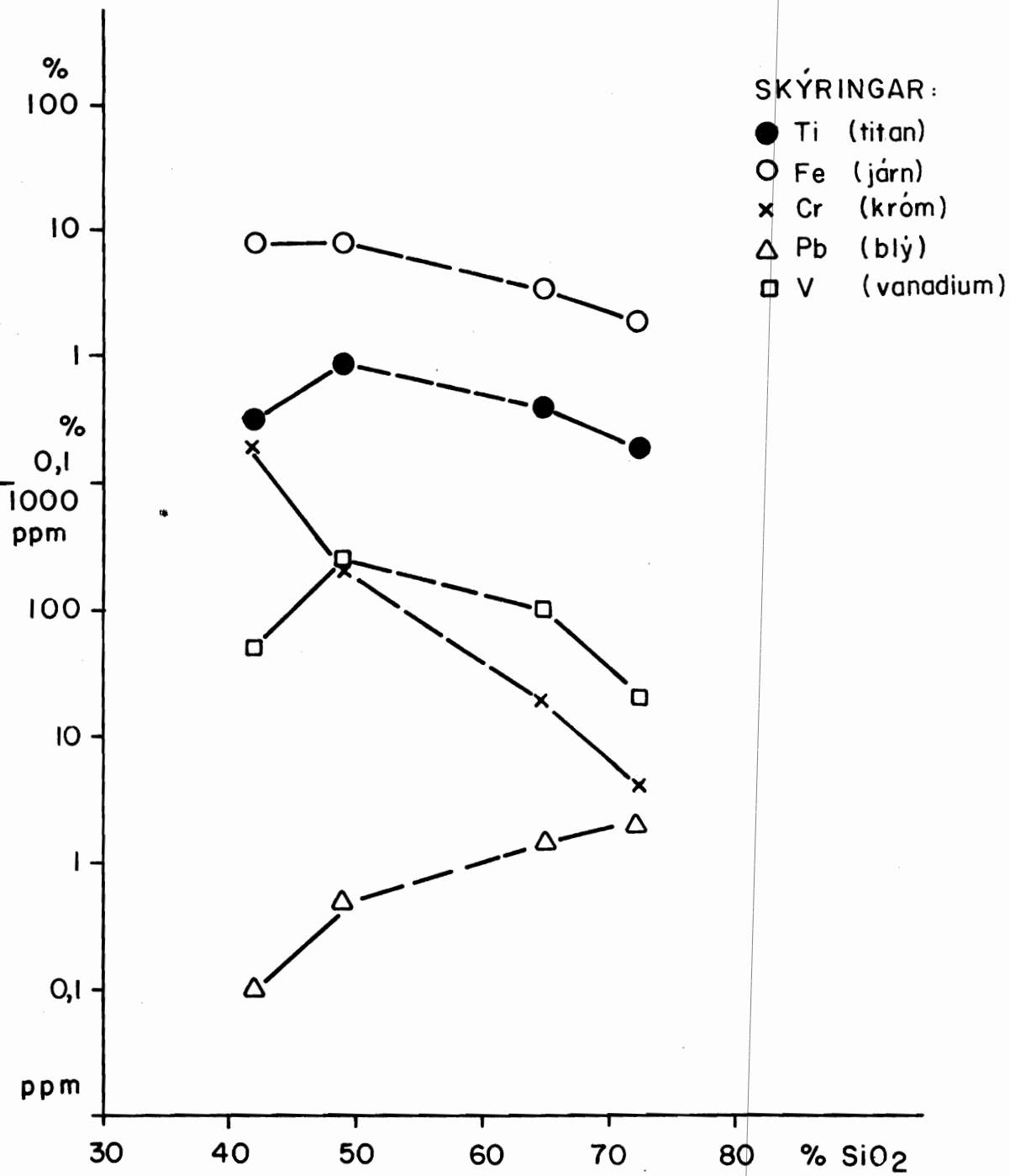
Mynd 3.1.





Efnastyrkur í ýmsum bergtegundum

Mynd 3.2.



Peridótít (Ultra-basít) Basalt („Basít“) Gr. Diórit („Sialít“) Granít

% SiO₂ [Fe], [Ti] eftir Beus (1976)
[Cr],[V], [Pb] eftir Levinson (1974)



Titanstyrkur í ýmsum
bergtegundum

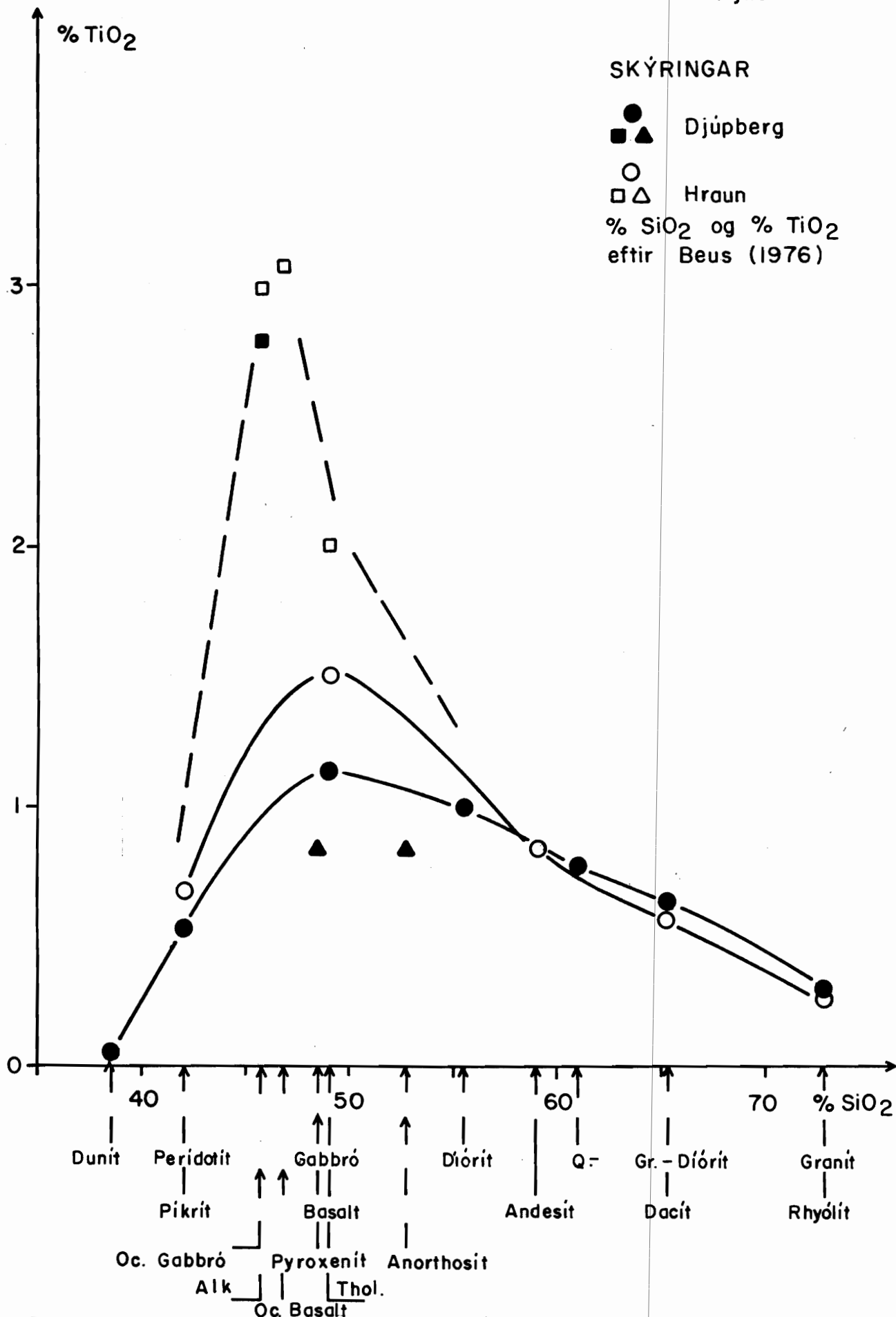
'78.02.07 FS/AÁ

T 667

ým.

F16629

Mynd 3.3.





Helstu Basisku Innskotin á
Íslandi

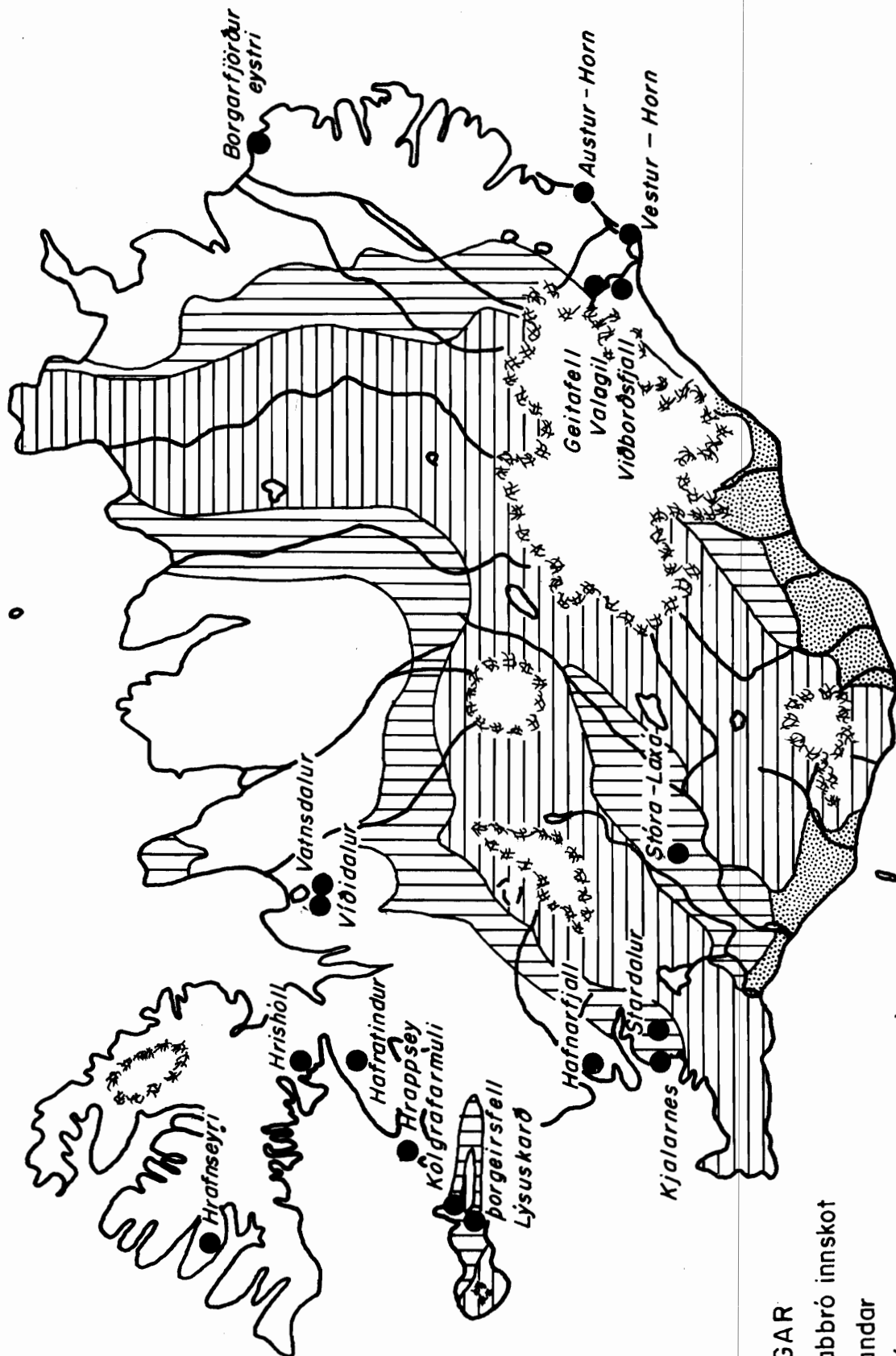
'78.02.08 FS/ÁÁ

T 671

ým.

F 16638

Mynd 3.5



SKÝRINGAR

● Gabbró innskot

▨ Sandar

▧ Sið-kvartert berg (— 0.7 M.a)

▩ Ár-kvartert berg (0.7 — 3.3 M.a)

Áð mestu eftir Ingvar B. Friðleifsson (1976)



Kjalarnes – Stardalur

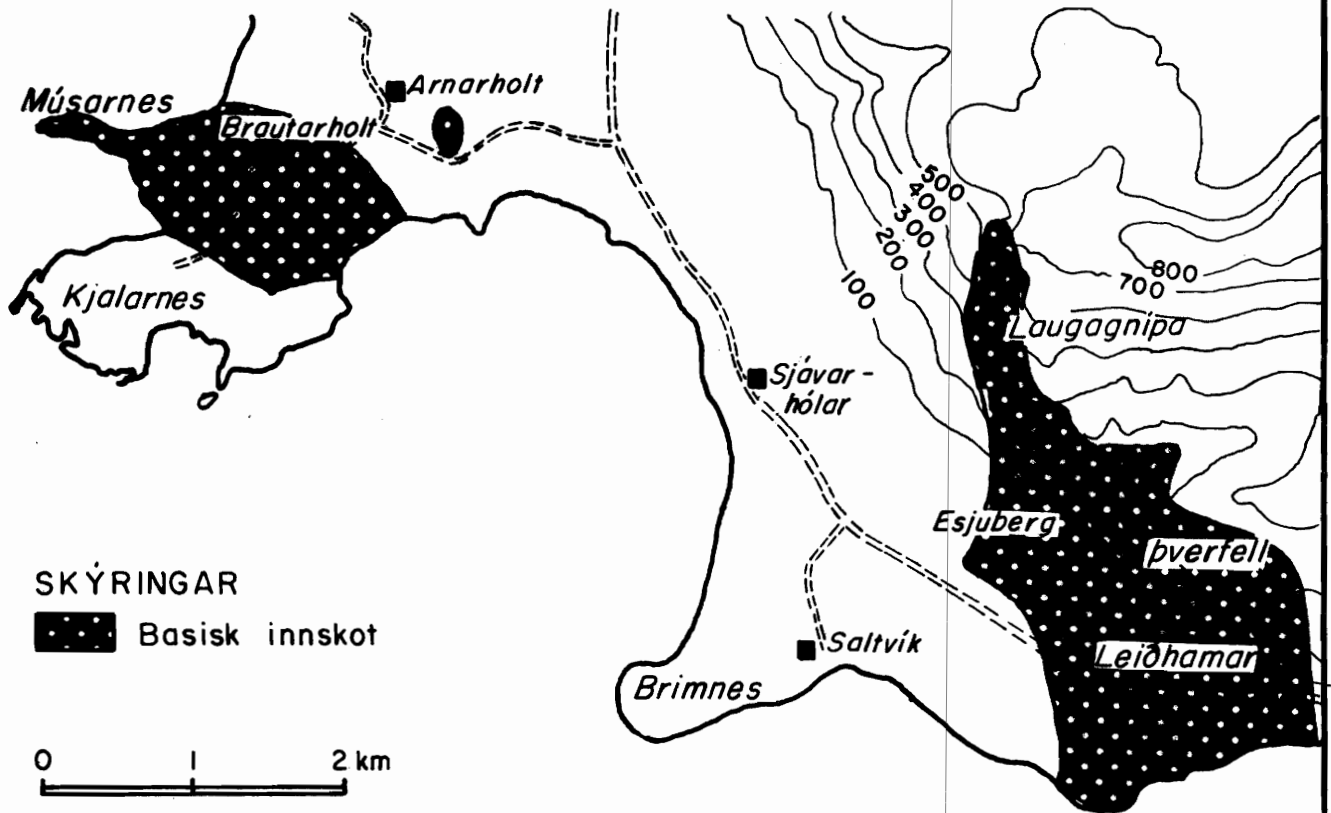
'78.02.08 AH/AA

T 50

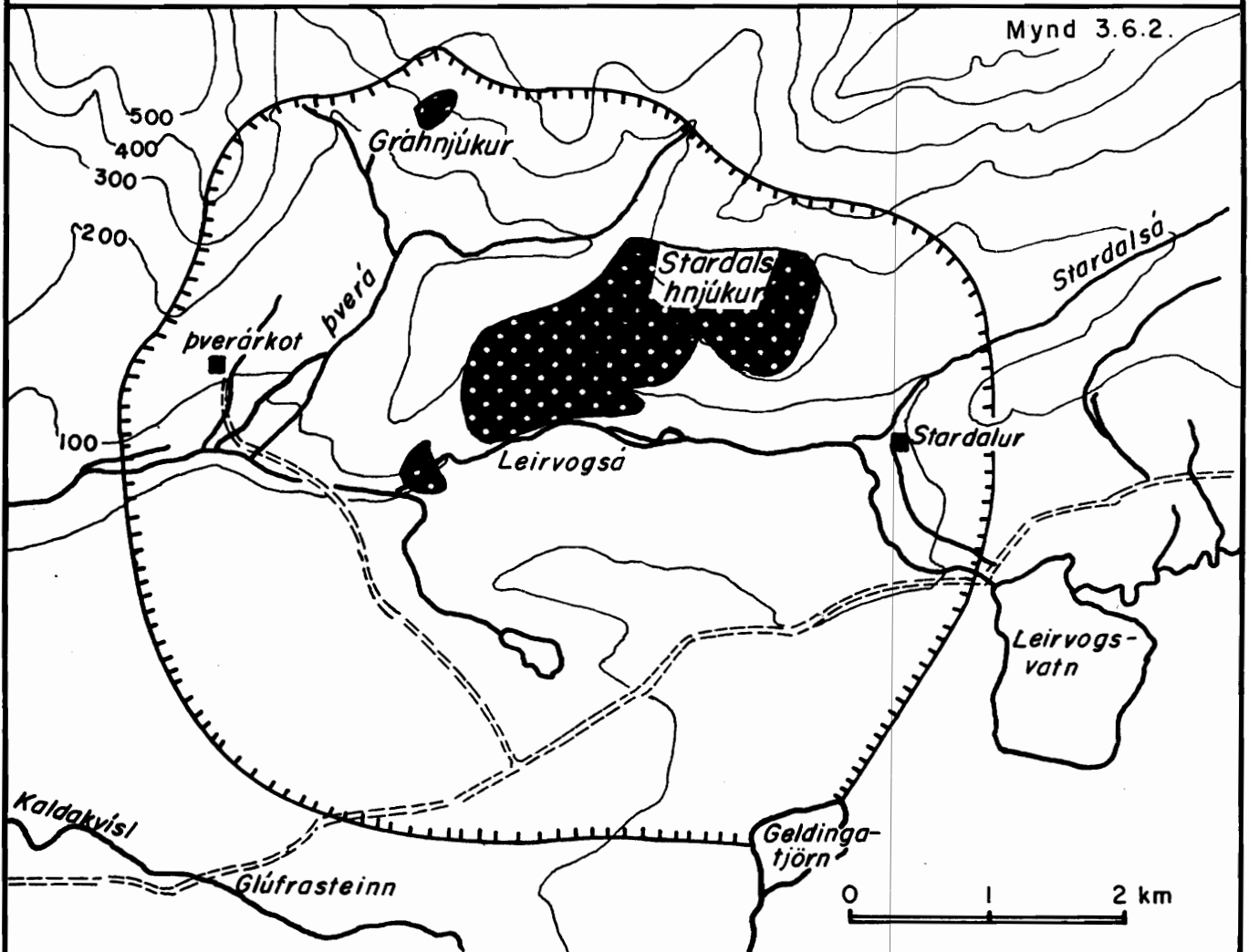
Kjalarn.

F 16633

Mynd 3.6.1.



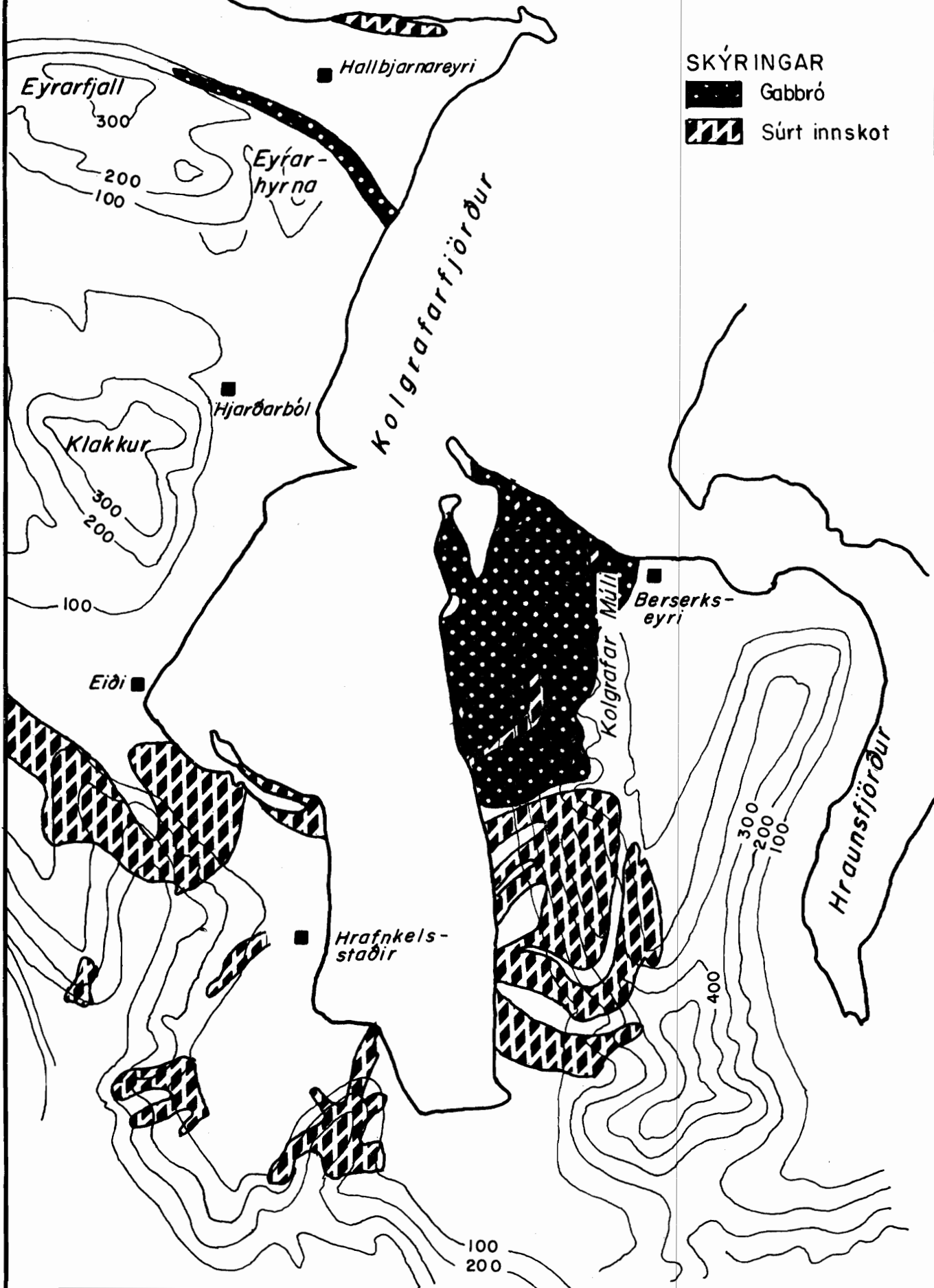
Mynd 3.6.2.





Kolgrafarmúli

Mynd 3.72



SKÝRINGAR

 Gabbro

 Súrt innskot



Setbergeldstöðin

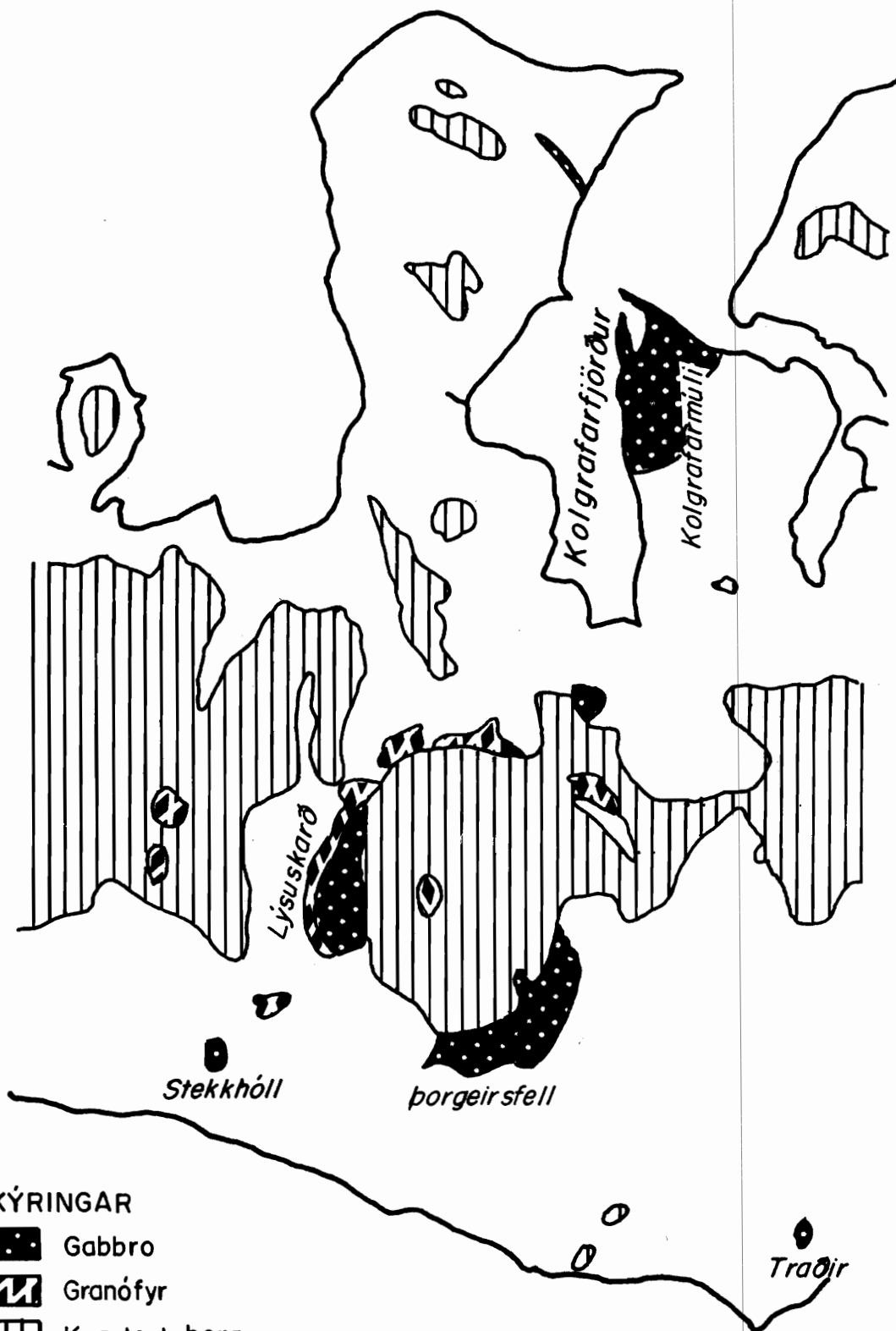
'78.02.08 ÁH / ÁÁ

T 100

Snæfellss.

F 166 39

Mynd 3.7.1



SKÝRINGAR

-  Gabbro
-  Granófyri
-  Kvartert berg

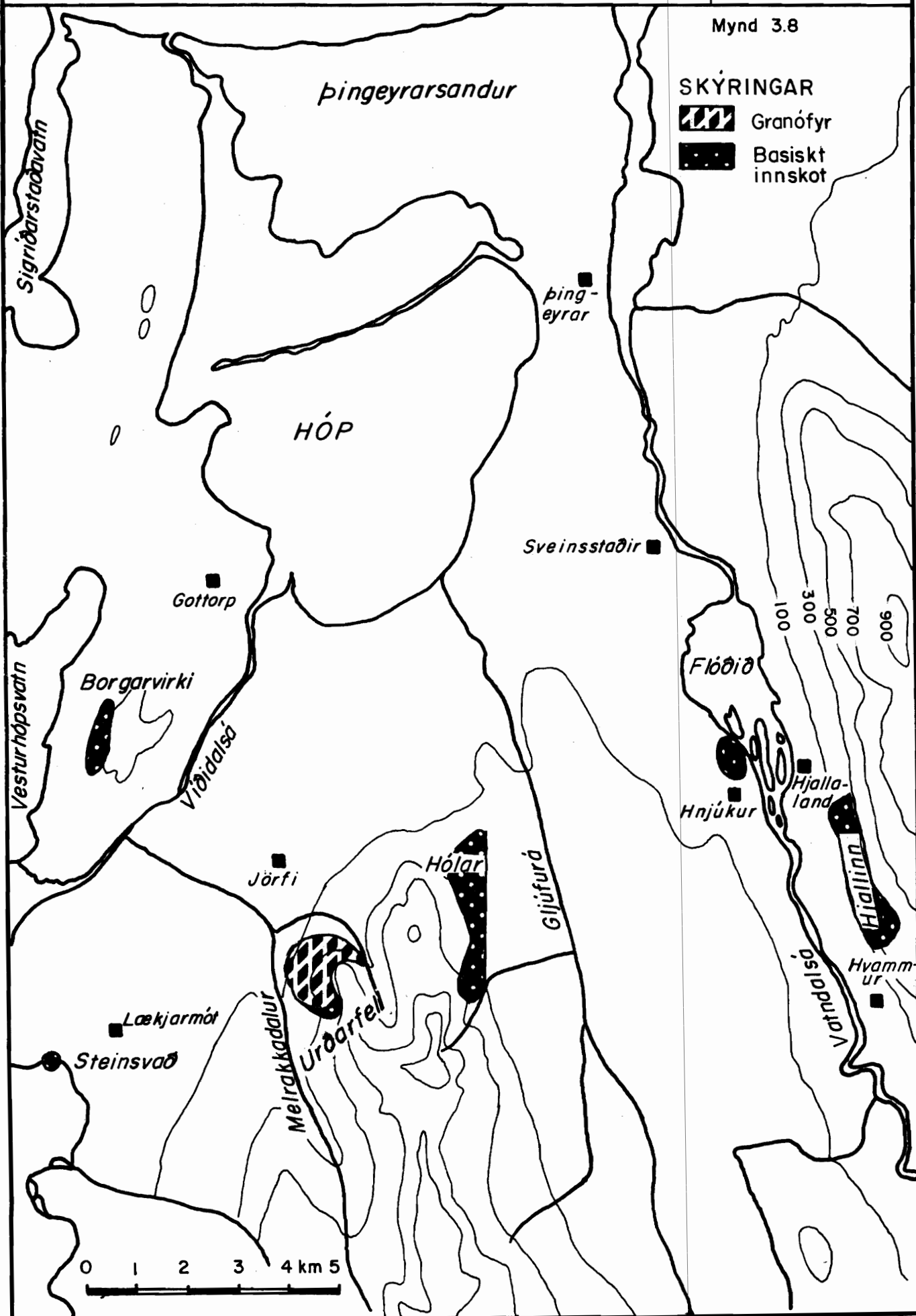




Mynd 3.8

SKÝRINGAR

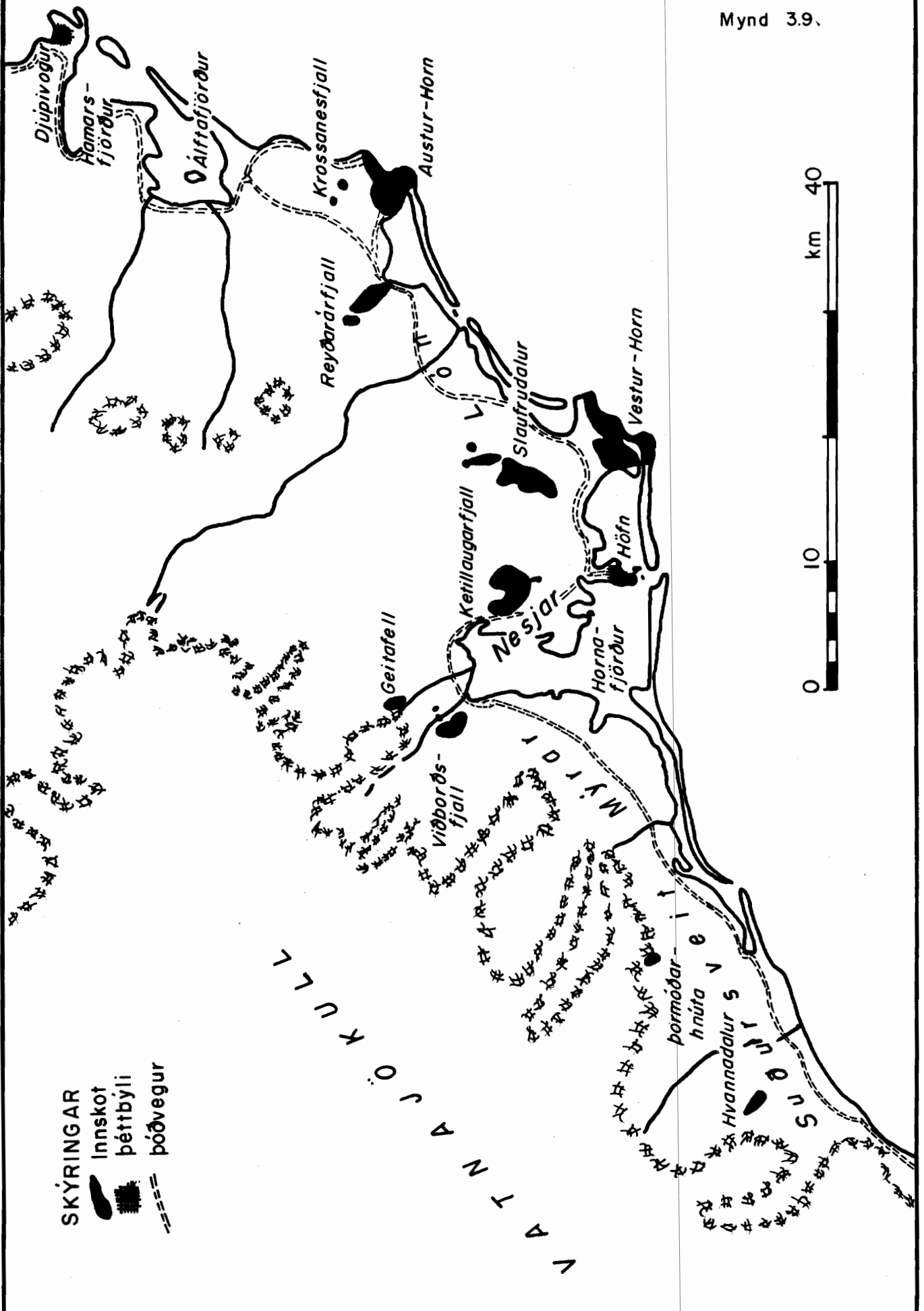
-  Granófyrr
-  Basískt innskot





Innskot á Suðausturlandi
(Eftir Roobol 1969)

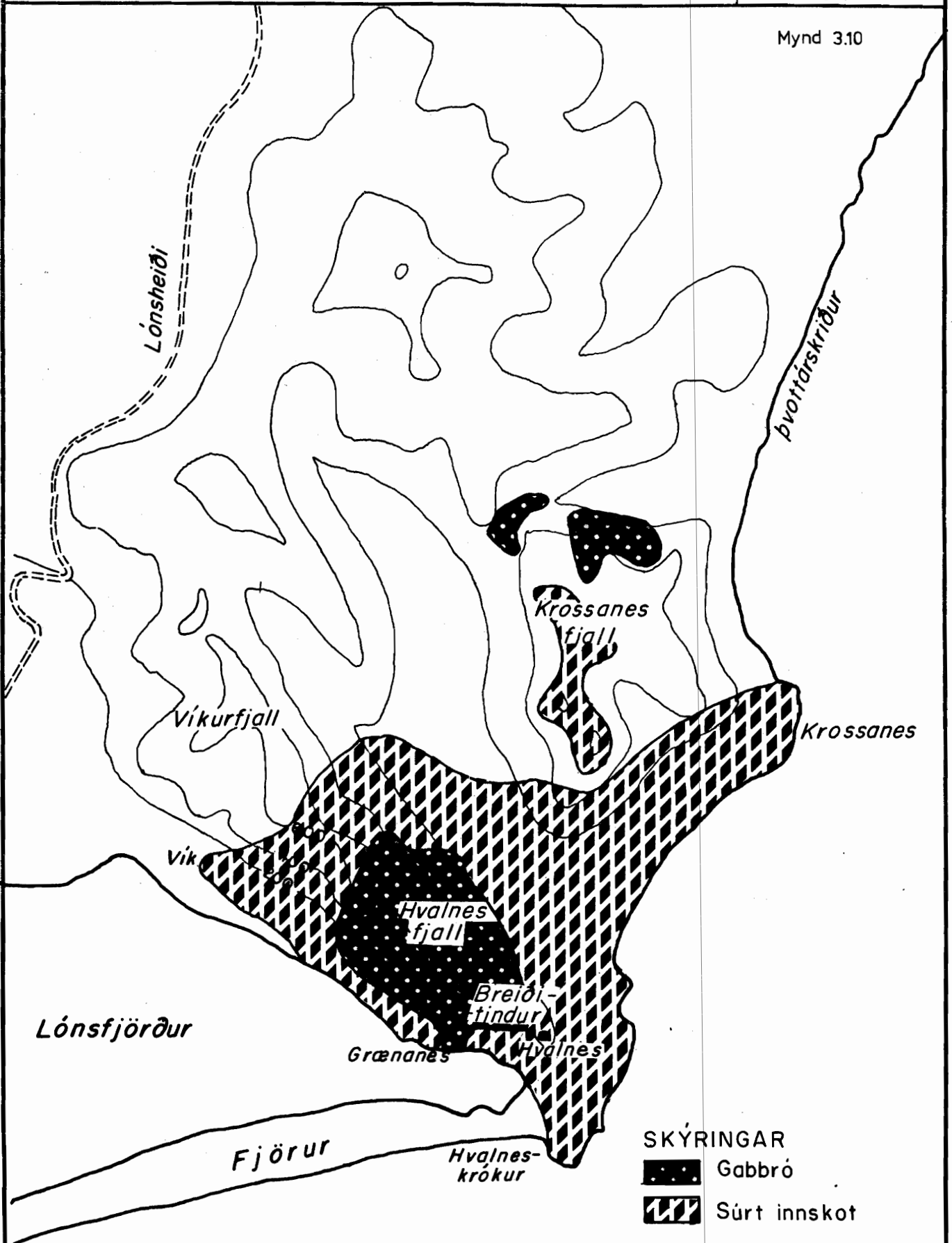
Mynd 3.9.





Austurhorn

Mynd 3.10

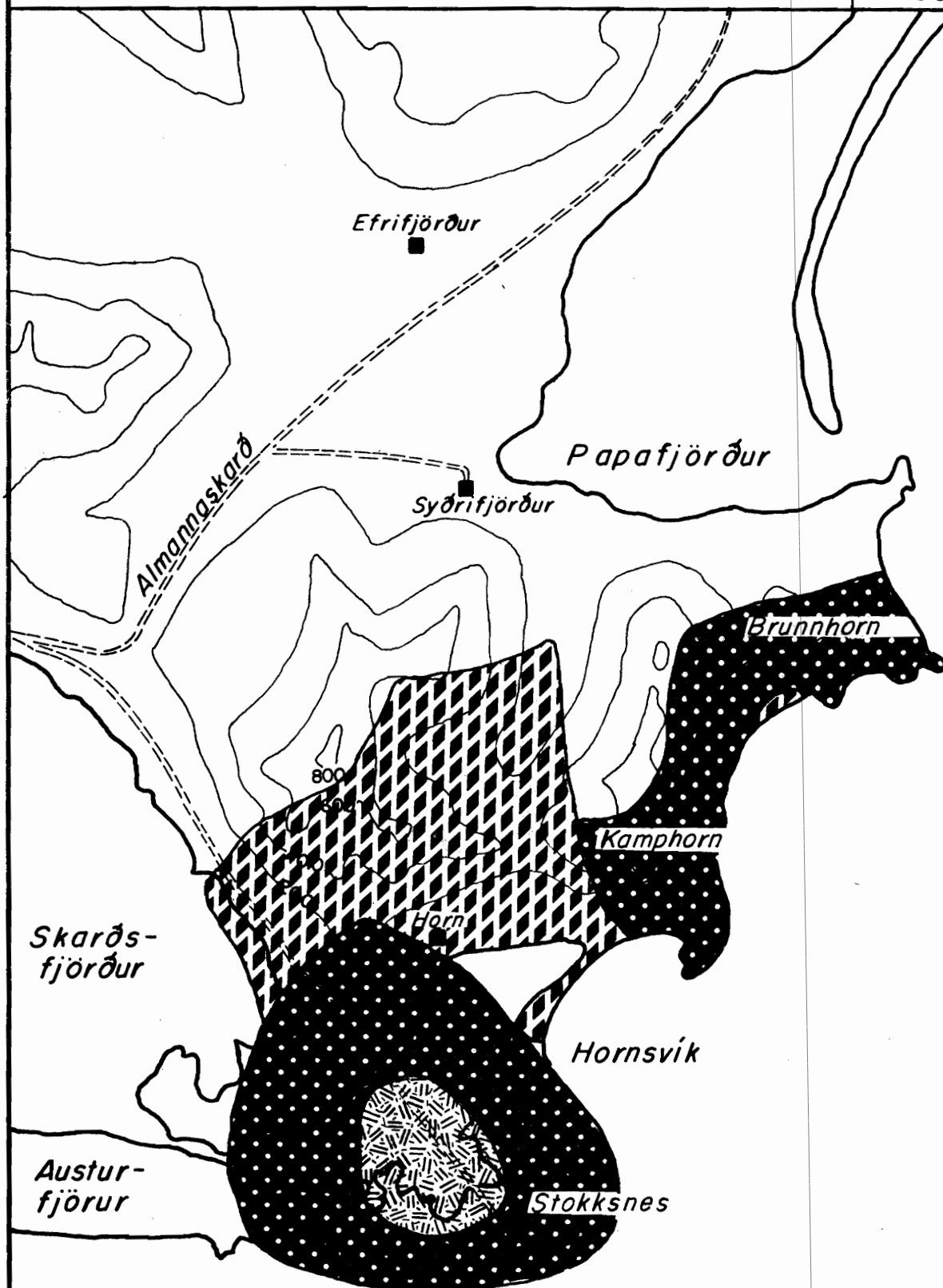


SKÝRINGAR

 Gabbró

 Surt innskot






SKÝRINGAR

 Gabbró

 Granófyf

 Berg breyskja





MÝRDALSSANDUR

(Sbr. Sigmund Einarsson 1975)

Mynd 3.12.

