



Bergvesenet rapport nr 5167	Intern Journal nr	Internt arkiv nr	Rapport lokalisering	Gradering
Kommer fra ..arkiv Elkem AS Hovedbibl	Ekstern rapport nr 84-85-01	Oversendt fra Elkem AS	Fortrolig pga	Fortrolig fra dato:
Tittel Det store eksamensarbeidet i malmgeologi, NTN 1971: En undersøkelse av nikkel-kopper mineraliseringer i Reinfjord-Jøkkelfjord området Troms				
Forfatter Hansen, Tor Søyland		Dato År 28.12 1971	Bedrift (Oppdragsgiver og/eller oppdragstaker) Norsk Hydro A/S	
Kommune Kvænangen	Fylke Troms	Bergdistrikt	1: 50 000 kartblad 17352 17353	1: 250 000 kartblad Hammerfest
Fagområde Geologi Prøvetaking Oppredning		Dokument type	Forekomster (forekomst, gruvefelt, undersøkelsesfelt)	
Råstoffgruppe Malm/metall		Råstofftype Ni, Cu		
Sammendrag, innholdsfortegnelse eller innholdsbeskrivelse Undersøkelse av funn i 1971 av Cu/Ni-mineralisering i forbindelse med en periodotitt. Funnet ligger nord for Reinfjorden. Rekognoserende feltarbeid, knytter mineraliseringen til avkjølingssonen i et stort intrusivkompleks. Det er anslått en forekomst på 1,7 mill tonn med 0,3 % Cu og 0,3 % Ni. Enkle oppredningsforsøk antyder at det er mulig å få 90 % utvinning i et bulkkonsentrat. Bind II : Bilag Det foreslås ytterligere undersøkelser				

V

DET STORE EKSAMENSARBEIDET

I

MALMGEOLOGI

FOR

TOR SÖYLAND HANSEN

BIND I : TEKST

N.T.H. 1971

REGISTER BLANK

1977

BUSINESS

ERKLÆRING

Jeg erklærer herved på ære og samvittighet at jeg har utført dette eksamensarbeidet selv og uten noen ulovlig hjelp.

Tor Søyland Hansen
.....

Tor Søyland Hansen

Det store eksamensarbeidet
i faget
Malmgeologi
for
Tor Søyland Hansen.



En undersøkelse av nikkel-kopper mineraliseringer i
Reinfjord-Jøkkelfjord området, Troms.

Basert på tidligere opplysninger og eget rekognoserende feltarbeid, foreta en undersøkelse av de rapporterte nikkel og koppermineraliseringer i området.

På grunnlag av detaljerte observasjoner og prøveinnsamlinger langs utvalgte profiler i terrenget, forsøk å fastslå mineraliseringenes litologiske assosiasjoner og deres mineralogiske, kjemiske og oppredningstekniske karakteristikker.

Foreta en vurdering av de eventuelle økonomiske produkter som kan ventes fra mineraliseringene og kom med et forslag til videre undersøkelser i området.

Kandidaten skal med besvarelsen vedlegge følgende erklæring med sin underskrift:

"Jeg erklærer herved på ære og samvittighet at jeg har utført dette eksamensarbeide selv og uten noen ulovlig hjelp".

Besvarelsen skal innleveres i 4 eksemplarer, ha format A 4 og være innlevert innen 4.12.71. Kandidaten gjøres oppmerksom på at ifølge gjeldende reglement er besvarelsen Høgskolens eiendom. En eventuel publisasjon av oppgavens resultater kan bare skje i forståelse med Høgskolen.

Norsk Hydro A/S skal yte økonomisk støtte under feltarbeide og ett eksemplar av oppgaven blir stillet til firmaets rådighet etter sensuren er fallt. Forevrig bør Norsk Hydros økonomiske interesser ivaretas under oppgavens utførelse. Forevrig henvises det til eksamensreglementet.

F.M. Vokes
F.M. Vokes.

INN H O L D S F O R T E G N E L S E

FORORD.....I-III

0. SAMMENDRAG

1.	INNLEDNING::.....	1
1.1.	Feltets beliggenhet og adkomst dit.....	1
1.2.	Topografi og overdekning.....	2
1.3.	Utført feltarbeide og hjelpemidler.....	3
2.	TIDLIGERE GEOLOGISKE ARBEIDER.....	5
2.1.	Geologisk kartlegging.....	5
2.2.	Geofysikk.....	5
2.3.	Remote sensing.....	6
2.4.	Prospektering.....	6
3.	GEOLOGISK OVERSIKT.....	8
3.1.	Regional geologi.....	8
3.2.	Lokal geologi.....	9
3.2.1.	Generelt.....	9
3.2.2.	Metasedimentene.....	9
3.2.3.	Den lagdelte gabbroen.....	11
3.2.4.	Reinfjords ultramafiske kompleks.....	12
3.2.4.1.	Struktur og tektonikk.....	12
3.2.4.2.	Textur og mineralogi.....	13
3.2.5.	Malmgeologi.....	14
3.2.5.1.	Sulfidmineralisering.....	14
3.2.5.2.	Oksydmineralisering.....	17
4.	PRØVETAKNINGSPROFILER.....	17
4.1.	Generelt.....	17
4.2.	Profilplassering.....	17
4.2.1.	Vertikalprofil av Reinfjord-komplekset	17
4.2.2.	Mineraliseringen i Bonjikdalen.....	19
4.2.3.	Mineraliseringen ved Småvatna.....	19
4.3.	Analysemetodikk.....	19
4.3.1.	Silikatanalyse.....	20
4.3.2.	Metallanalyser.....	20
4.3.3.	Svovelanalyse.....	21
4.4.	Petrografiske undersøkelser.....	21
4.4.1.	Silikatanalyser.....	21
4.4.2.	Forsterittanalyser.....	22
4.4.3.	Mikroskopering.....	23
4.4.4.	Petrografisk tolkning.....	25
4.5.	Sulfidpetrografiske undersøkelser.....	27
4.5.1.	Svovel og metallanalyser.....	27
4.5.2.	Relasjon mellom svovel og metall.....	29
4.5.3.	Gitterbundne elementer.....	31
4.5.4.	Sulfidberegning.....	33
4.5.5.	Metallforhold.....	34
4.5.6.	Edelmetallanalyser.....	36
4.5.7.	Mikroskopering.....	37
4.5.7.1.	Generelt.....	37
4.5.7.2.	Struktur og tekstur.....	37

4.5.7.3.	De enkelte opale mineraler.....	40
4.5.7.4.	Genese.....	46
4.5.7.5.	Sekundær omvandling.....	49
4.6.	Andre undersøkelser.....	50
4.6.1.	Rasjord.....	50
4.6.2.	Bekkesedimenter.....	51
4.6.3.	Geofysikk.....	52
4.7.	Malmgeologisk tolkning.....	53
5.	OPPREDNINGSUNDERSØKELSER.....	57
5.1.	Sulfider.....	57
5.1.1.	Generelt.....	57
5.1.2.	Forundersøkelse.....	57
5.1.3.	Forsøksmetodikk.....	58
5.1.4.	Tolkning av resultatene.....	60
5.1.5.	Konklusjon.....	62
5.2.	Silikatbundet nikkel.....	62
6.	VURDERING AV ØKONOMISKE PRODUKTER.....	64
6.1.	Sulfider.....	64
6.1.1.	Generelt.....	64
6.1.2.	Konsentrattyper.....	64
6.1.3.	Marked og priser.....	65
6.1.4.	Produktverdier.....	66
6.1.5.	Diskusjon.....	68
6.1.6.	Konklusjon.....	69
6.2.	Ni-holdig olivin.....	70
6.2.1.	Mineralisering.....	70
6.2.2.	Marked.....	70
7.	KONKLUSJON.....	72
8.	VIDERE UNDERSØKELSER.....	76
8.1.	Generelt.....	76
8.2.	Motivering og målsetting.....	76
8.3.	Investering.....	77
8.4.	Undersøkellesprogram.....	78
8.4.1.	Sikring.....	78
8.4.2.	Forundersøkelser.....	78
8.4.3.	Geologisk kartlegging.....	78
8.4.4.	Malmgeologisk detaljkartlegging.....	79
8.4.5.	Prøveinnsamling.....	79
8.4.6.	Aeromagnetiske målinger.....	79
8.4.7.	Gravimetriske målinger.....	80
8.4.8.	Tolkning.....	80
8.4.9.	Boring.....	80
8.4.10.	Budsjett.....	81
8.5.	Konklusjon.....	82
	LITTERATURLISTE.....	83

FIGURLISTE

Figur nr.	Side nr.
1	Kartskisse over Nord-Troms og Vest-Finnmark...1
2	Foto av Reinfjord med ultrabasitten.....2
3	Funnpunkter i Jökelfjorden.....6
4	Geologisk kart over Nord-Troms og V-Finnmark..8
5	Blokkdiagram av kompleksets struktur.....10
6	Fargefoto av dunit-og pyroksenittlag.....13
7	Foto av lagdelt fjellhammer.....14
8	Foto av ulike typer lag.....14
9	Diskordant mineralisert kontakt mot metasedm.15
10	Panoramafoto av fjellsiden med prøvet.-prof..18
13	Foto av serpentinisert olivin, Mesh-struktur.23
14	Foto av subhedrale olivinkorn i peridotitt...23
15	Foto av bronzitt i augittkorn.....24
16	Foto av kontakten pyroksenitt og lys gabbro..24
17	Foto av grense mellom websteritt-og dunittb. 24
18	Smeltediagram for $MgO-SiO_2$ systemet.....25
19	Wagers forklaring av cumulater.....26
20	Tabell over silikatbundet Ni i ulike b.a.....32
21	Tabell over metallforhold og MgO -gehalter....34
22	Diagram av forholdet mellom MgO og Ni/Cu35
23	Diagram over vertikalfordeling av $Cu/Cu+Ni$...35
24	Tabell over edelmetallanalyser.....36
25	Foto av opake interstedsielle mineraler.....37
26	Foto av delvis deformert sulfidgruppe.....38
27	Foto av finfordelt sulfid i silikatkorn.....39
28	Foto av delvis forvitret magnetk s.....40
29	Foto av bravoittisert pentl. m. frisk kjerne.41
30	Foto av finkornig kobber-og svovelkistekstur.43
31	Foto av finkornig magnetitt-og silikatfase...44
32	Foto av markasitt og limonitt.....45
33	Isotermaldiagram av $Cu-Fe-Ni-S$ systemet.....47
34	Diagram for metallkontrasten i rasjordprøver.50
35	Skisse av tenkt snitt i massivet.....54
36	Polerslip av flotasjonskonsentrat.....60

F O R O R D

Noen vil kanskje innvende at denne oppgaven ble startet på et alt for spinkelt grunnlag til diplomoppgave å være. Antydning til mineralisering i Reinfjord ble funnet ved en dags rekognosering, knappe tre uker før diplomoppgaven ble tatt ut. Geologisk sett var området nærmest ukjent.

I løpet av 14 dager spredt over september 1971, (rasfare ved nedbør), ble fjellssidene i Reinfjord forsert opp og ned, tilsammen en bestigning som tilsvarer to gangers besøk på toppen av Mont Blanc. Det ble innsamlet ca 150 kg. materiale fordelt på 202 enkeltprøver.

En takk til stud. tekn. P.M. Bowitz-Ihlen for assistanse under fire dagers rekognosering og til Norsk Hydro A/S for økonomisk støtte ved feltarbeidet.

Under bearbeidelsen av materialet på N.T.H. i oktober og november ble det foretatt mikroskopistudier av 25 tynnslip og 22 polerslip. To prøver ble undersøkt med elektron-mikroprobe. Det ble analysert 19 prøver på røntgendiffraktometer og 6 prøver på røntgenspektrografer. Det ble foretatt 94 spektrometriske målinger av 41 prøver med hensyn på 9 elementer med tilsammen 846 analyseverdier. Samtlige analyserte prøver gjennomgikk på forhånd prosedyren: knusing, splitting og pulverisering. Det ble videre foretatt fire flotasjonsforsøk med tilhørende 10 kornfordelingsanalyser; tilsammen 68 binokularstudier av konsentrater fra 14 flotasjonstrinn, 4 avganger, samt maleforsøk og magnetseparering.

For i det hele tatt å kunne overholde fristen for innlevering av diplomarbeidet, foretok Kjemisk avdeling på NGU hele 35 silikatanalyser med hensyn på 7 elementforbindelser, og tilsammen 106 prøver ble analysert ved atomabsorbsjon på elementer med totalt 460 avlesninger.

Oppredningslaboratoriet på N.T.H. analyserte 44 prøver med hensyn på svovel, og Geologisk Institutt tok seg av sporelement- og silikatanalyse av 5 standardprøver.

Norsk Hydro A/S har besørget fem analyser med hensyn på platina.

Jeg vil rekke en felles takk til samtlige som har bidratt med hjelp til gjennomførelsen av et slikt enormt analysearbeide for en etter hvert overanstrengt diplomkandidat. En spesiell takk til prof. dr. philos F.M. Vokes for all bistand og inspirasjon - spesielt når analyseproblemene syntes enda høyere enn fjellene i Reinfjord.

I alt 1778 analyseverdier og ca. 3000 verdier fremkommet ved beregninger, er i slutten av november og første halvdel av desember bearbeidet og hvorav essensen er arrangert i 21 tabeller og 31 diagrammer.

Som det forhåpentlig vil fremgå av besvarelsen, har jeg lagt stor vekt på å fremstille stoffet så lettfattelig som mulig. Det er ikke alltid like enkelt for en leser å sette seg inn i problemene og forstå alt, selv om tungt stoff er lagt frem i enkle vendinger. Jeg har derfor forsøkt å belyse mest mulig av problematikken ved hjelp av kart, skisser, figurer, tabeller, diagrammer og sist men ikke minst med et rikelig utvalg av fotografier. De rette bildene kan etter min mening si mer enn tusen ord. For den ivrige leser er det vedlagt to stereoskopiske sett fotografier ferdig montert for lomme-stereoskop.

Da deler av oppgaven er nokså petrografisk, geokjemisk og strukturellt betont, finner jeg det uforsvarlig å unnlate å belyse geologien litt nærmere. Dette for at leseren fullt ut kan ha utbytte ved å lese resten av oppgavebesvarelsen. Likeledes finner jeg det derimot uforsvarlig

å presentere samtlige undersøkelsesresultater. Dette vil bare bidra til å gjøre besvarelsen uoversiktlig idet viktige opplysninger vil drukne i detaljdata og uvesentlig prat.

Jeg må få lov til å rette en hjertelig takk til NGU ved fotograf Aamo for hjelp ved kopiering, til fru Hox og fru Breisjøberget for hjelp til maskinskriving, og sist, men ikke minst til min kone, Randi, som sammen med de ovennevnte har bidratt til å gi denne besvarelsen den rette lay-out.

Til slutt vil jeg ønske hver enkelt leser en riktig god fornøyelse.

Trondheim, 28/12-1971



Tor Søyland Hansen

S A M M E N D R A G

Sommeren 1971 ble det rapportert funn av Cu- og Ni-mineraliseringer i tilknytning til en periditt mellom Reinfjord og Tverfjord i Jökelfjord i Nord-Troms.

Ved rekognoserende feltarbeid ble det slått fast at mineraliseringen var knyttet til en avkjølings-sone ytterst i et intrusivt magmatisk kompleks med veldefinert cumulat-tekstur. Det ble raskt slått fast av verken de rapporterte eller nyoppdagede mineraliseringer var av økonomisk interesse i seg selv.

Prøver fra et vertikalprofil nedover komplekset er undersøkt sammen med materiale fra den mineraliserte kontakten mot en granatgneis, samt en sulfidrikere sone innenfor. Kopperkis, pentlanditt og magnetkis opptrer samlet som interstedsielle korn i pyroksenitt. Analyser viser at det har foregått en segregasjon i komplekset og peker hen på muligheten av en disseminert forekomst mot massivets bunn.

Ut fra enkle oppredningsforsøk synes det mulig å fremstille et bulkkonsentrat med 90% utvinning, eller separate Cu- og Ni- konsentrater med henholdsvis 90 og 60 % utvinning.

Vurdering av aktuelle salgsprodukter kontra marked og priser, viser at fremstilling av separate Cu- og Ni- konsentrater gir mest i gevinst. Dette gjør det mulig å bryte en forekomst på 1,7 mill tonn, og med 0,3 % Cu og 0,3 % Ni.

De videre undersøkelser foreslås lagt opp med henblikk på å finne en dissiminert, segregert forekomst av ovennevnte type mot det ublottedde bunnparti i komplekset.

1. INNLEDNING

1.1 Feltets beliggenhet og adkomst dit

Geografisk ligger Reinfjords ultramafiske kompleks ytterst i Kvænangen kommune i Troms fylke på grensen mot Vest-Finnmark. Stedet kan angis med flg. posisjon: $70^{\circ} 06' N$ og $25^{\circ} 35' \text{Ø}$. Geologisk sett hører dette innunder den sydligste del av Vest-Finnmarks basiske bergartskompleks. Se kartskissen fig. 1.

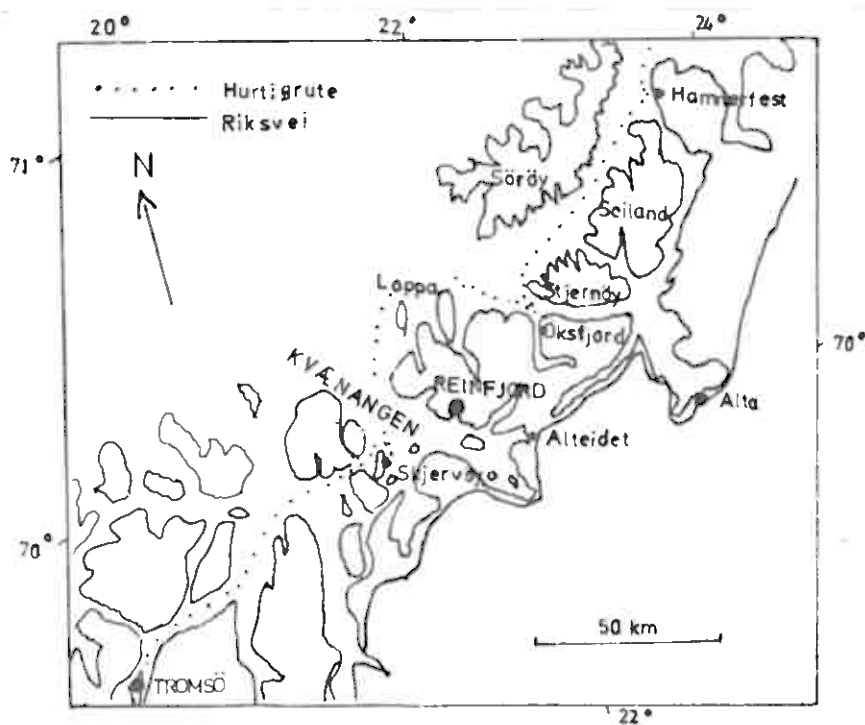


Fig. 1 Kartskisse over Nord-Troms og Vest-Finnmark

Adkomst skjer med lokalbåtene i Kvænangen enten man har kommet med hurtigruta til Skjervøy fra Tromsø eller med buss til Alteidet fra Alta. Leie av passbåt i godt vær gjør en uavhengig av lokalbåtene. Korrespondansen er nemlig elendig.

1.2 Topografi og overdekning

Reinfjord er et fiskevær med 200 innbyggere. Stedet ligger trygt med høye rasfarlige fjell på tre kanter. Et av disse fjellene utgjør deler av Reinfjords ultramafiske kompleks. Se fig. 2



Fig. 2 Foto av Reinfjord med den lagdelte ultrabasitten.

Topografien i distriktet kan måle seg med de vildeste fjellpartier i Nord-Europa. Til tross for dette er forbausende store deler av området tilgjengelig for folk i god fysisk form. Nedbør gjør selvsagt store deler av fjellene livsfarlige å ferdes i grunnet steinsprang. Fjellene er fra 700 - 1.200 m høye.

Overdekningen er enten total eller mangler fullstendig. Arealmessig er store deler av berggrunnen dekket av ur siden dalbunnen, samt nedre halvdel av fjellsidene, vanligvis er belagt med rasmateriale. Øvre halvdel av fjellsidene består av bratte og utilgjengelige skrenter, mens

områdene oppe på fjellet er småkuppert og viser en sjelden god blotting av fjellgrunnen. Snø og vann er det eneste som her skjuler bergarten, og geologiske godbiter lyser imot en med frostsprengning som eneste ødeleggende faktor.

Klimaet er heller fuktig og kaldt, noe som fører til at de høyere partier er dekket av snø eller snøskavler størsteparten av året.

Langfjordjøkulen dekker deler av Reinfjords ultramafiske kompleks mot nordøst, en isbre som i likhet med andre mindre breer har krympet betraktelig siden århundreskiftet.

1.3 Utført feltarbeide og hjelpemidler

En uke ble benyttet til rekognosering i området for å fastslå det geologiske miljø og å finne fram til mineraliserte områder som det kunne være aktuelt å legge et prøveinnsamlingsprofil over. En erfaren student hjalp til med rekognoseringen.

Det ble raskt fastslått at funn av Ni- og Cu-mineraliseringer i seg selv var av liten økonomisk interesse. Det ble delvis derfor i tillegg utført prøvetakning vertikalt på Reinfjords lagdelte ultramafiske kompleks. (se fig. 2). I tillegg til fastfjellsprøve ble det innsamlet rasjordsprøver fra nedre del av profilet.

Siste uke ble to aktuelle sulfidmineraliseringer prøvetatt. Det ble også innsamlet noen bekkesedimentprøver i tilknytning til disse mineraliseringene. Med vaskepanne ble det også innsamlet tungmineraler fra aktuelle steder i området.

Som hjelpemiddel måtte en benytte en stor slagge på grunn av meget seige bergarter. Som landmålingsutstyr ble benyttet Widerøe's flyfoto F-5 og 6, serie 1.800, samt en enkel liten høydevinkelmåler. Nylontaug med påmerket avstandsskala fungerte i nødsfall også som klatretau.

Til tross for vanskelige terrengforhold og at det var umulig å få assistanse, valgte jeg å fullføre prøveinnsamlingen helt alene. Arbeidet måtte imidlertid stanses ved regnvær og tining av nysnø eller tele, da dette førte til hyppige steinsprang.

2. T I D L I G E R E G E O L O G I S K E A R B E I D E R

2.1 Geologisk kartlegging:

Norges Geologiske Undersøkelser har ved besøk fastslått at Reinfjordområdet tilhører det store gabbromassivet i Vest-Finnmark, men området bør likevel betegnes som "terra incognita" inntil 1961. NGU's arbeider gjennom tidene er presentert av Høltedal (1953, 1960) med dertilhørende berggrunnskart over Norge.

Barth (1953, 1961), Krauskopf (1954), Oosterom (1956, 1963), Hooper (1963) samt Stumpf og Sturt (1964) har alle bidratt med arbeider innen Vest-Finnmarks basiske bergarter, og som er av interesse for forståelsen av Reinfjords ultramafiske kompleks. Disse arbeider er henholdsvis utført på Seiland i Øksfjordområdet, på Seiland - Stjernøy og i Loppadistriktet. Se fig.4

Under ledelse av Hooper har engelske studenter foretatt geologisk kartlegging av Kvænangen i årene 1961 - 68. Deler av dette arbeidet ble publisert i høst (1971) sammen med en rekke andre arbeider i Nord-Norge utført av engelske geologer (NGU 269). En av Hoopers studenter, M.C. Bennet, har hatt Reinfjords ultramafiske kompleks som arbeidsfelt for sin Ph.D. - et arbeide som først vil foreligge i 1972. En foreløbig oversikt er allerede gitt i ovennevnte publikasjon.

2.2 Geofysikk

Aeromagnetiske målinger utført av Geofysisk avdeling ved NGU i 1965 ved hjelp av flux-gate magnetometer. Resultatene er utgitt på aeromagnetiske kart, hvorav kartblad Øksfjordjøkulen 1733 II er av interesse.

Tyngdemålinger er siden 1964 utført regionalt i Vest-Finnmarks kyststrøk av Brooks (1970) og i Lyngen-Øksfjord området av Brooks og Chroston. (1971). Bouguer anomalikart fra de siste målingene er ennå ikke publisert, men NGU innehar et eksemplar.

2.3 Remote Sencing

Flyfotografering i sort/hvitt er utført over området av Fjellanger og Widerøe sommeren 1966, serie 1.800.

2.4 Prospektering

Om skjerpefeberen ved århundreskiftet har fått folk til å klatre i fjellene ved Reinfjord, er det vanskelig å ha noen formening om. Anmeldelser av funn foreligger i alle fall ikke hos bergmester Vasshaug i Alta. Det finnes tre anmeldelser i Jøkelfjord-distriktet henholdsvis på sink, kobber og jern. Se fig. 3

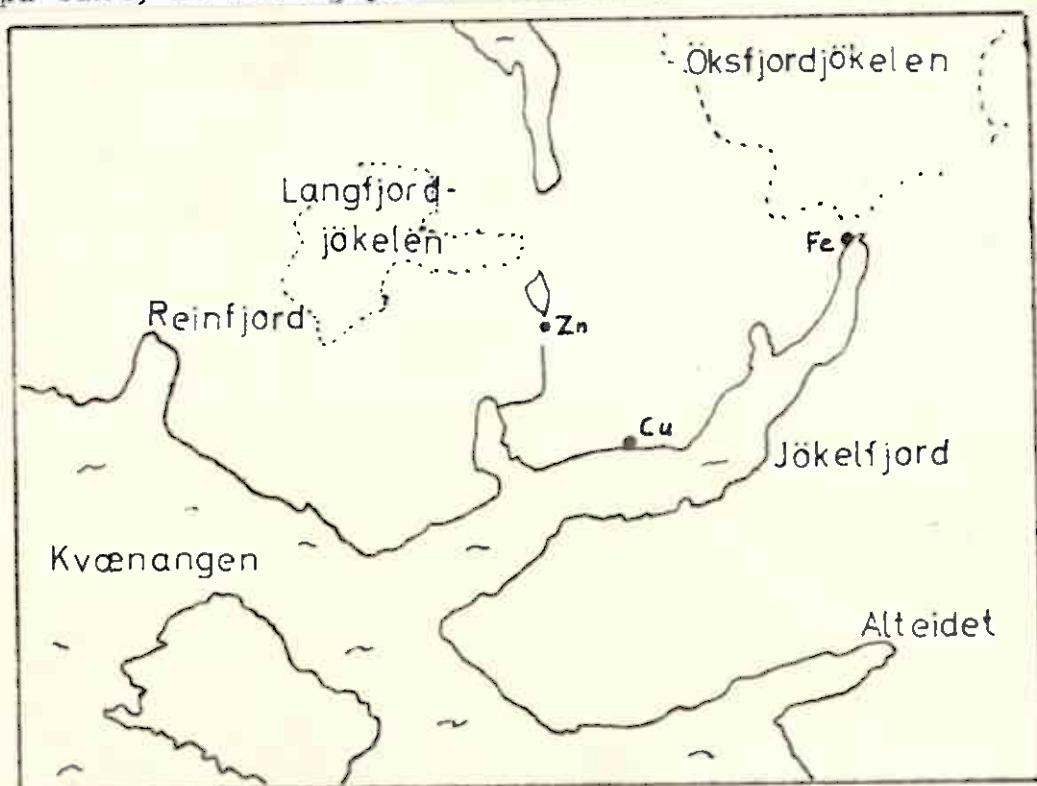


Fig. 3 Funnpunkter i Jøkelfjorden.

De to sistnevnte ble undersøkt og har knapt nok historisk verdi.

Norsk Hydro's rekognosering i Reinfjord sommeren 1971 førte til rapport av sulfider i bunnen av en lagdelt basisk bergart i kontakt til kvartsittisk gneis. Røntgenanalyser viste nikkel- og kobberverdier som kunne tyde på anomal mineralisering. Ved mikroskopiundersøkelser ble det rapportert frie bravoittiserte pentlandittkorn sammen med kobberkis og magnetkis.

3. GEOLOGISK OVERSIKT

3.1 Regional Geologi

Vest-Finnmarks basiske bergartskompleks er bygd opp av gabbroide til ultrabasiske eruptive bergarter, så som gabbroer, olivingabbroer, peridotitter og pyroksenitter, sammen med lagdelte gabbroide og syenittiske gneiser som trolig representerer metamorfoserte vulkanske bergarter. (Holtedal 1960) Se fig. 4



Fig. 4 Geologisk kart over Vest-Finnmark og Nord-Troms (Fra Holtedal 1960)

Det basiske bergartskompleks er antatt å være dannet i forbindelse med den kaledonske orogenese. Intrusiver innen orogene soner er ellers i verden beskrevet som stratiforme legemer injisert i strukturelle svakhetssoner hvorved lagningen er oppstått. Stillwater, Bushveld, Skjergaard, etc. representerer alle lagdelte intrusiver i ikke-orogene områder (Barth 1953).

De massive gabbroide til ultrabasiske bergarter i Øksfjorddistriktet oppfattes som eruptiver som har trengt inn i de lagdelte gabbroide og syenittiske masser. (Krauskopf 1954).

3.2 Lokal geologi

3.2.1 Generelt

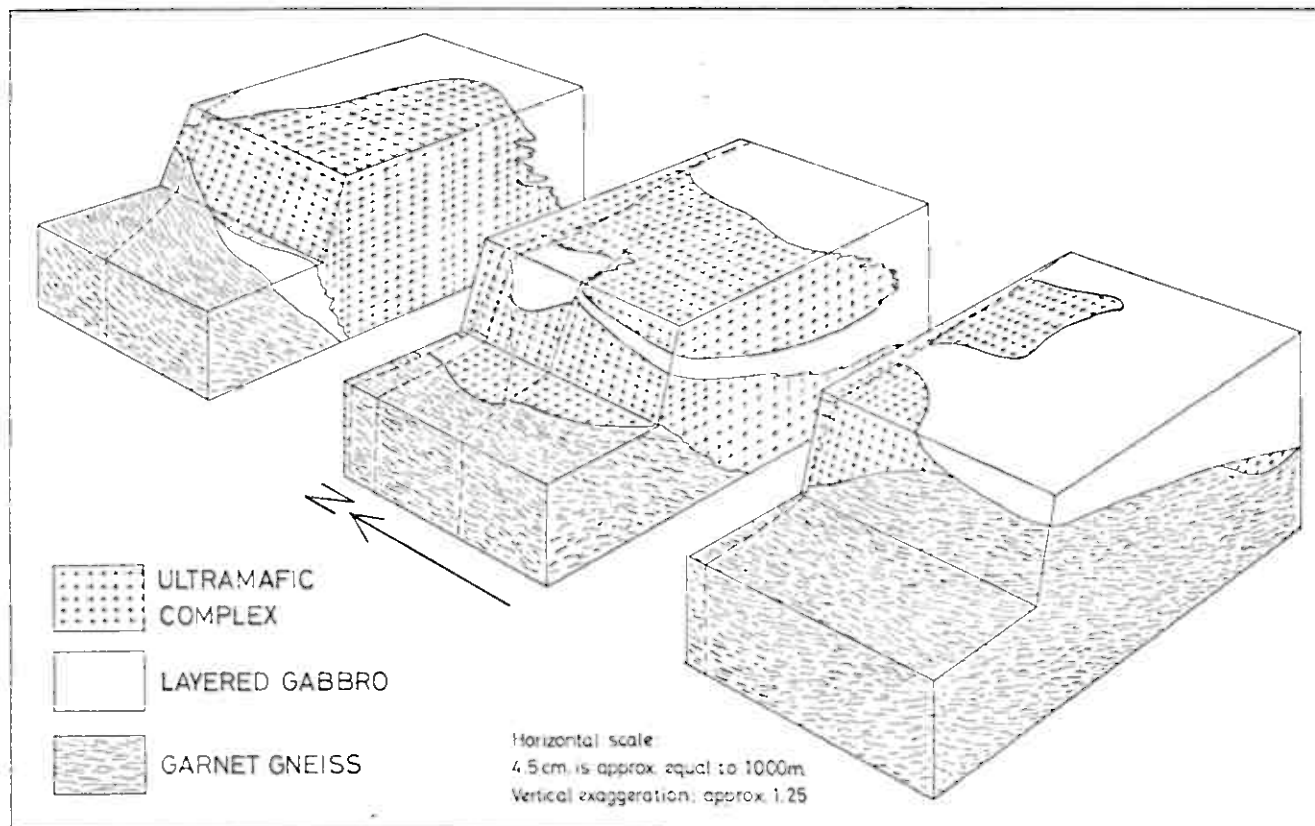
Den lokale geologi i Reinfjorddistriktet vises i "Geological map of the Løppen district" av P.R. Hooper (1971) - se bilag 1 -, og Bennet (1971) har gitt en foreløpig beskrivelse av geologien rundt Reinfjorden.

Reinfjords ultramafiske kompleks består av faktisk uberørte lagdelte bergarter og intruderer lagdelte gabbroer og tett foldede metasedimenter. Kontakten er diskordant, og komplekset - ca. 4 km bredt og 6 km langt - danner en skålaktig form. Se fig. 5 neste side

3.2.2 Metasedimentene

Metasedimentene forekommer som feltspathoidige granat-gneiser. De har en sterk foliasjon definert av vekslende pre-metamorfe sandsteins- og slamlag (psammittiske og pelittiske lag) og har ofte store porfyroblaster av granat og feltspat. Foliasjonen stuper inn mot den lagdelte gabbroen og danner en basenglignende struktur rundt de basiske og ultrabasiske masser.

En termal sone på inntil 2 km er dannet rundt det gabbroide og ultramafiske intrusive kompleks. På utsiden av denne sonen har gneisene blitt regionalt metamorfosert til amfibolitt facies. Selve sonen rundt komplekset viser en annen temperatur-påvirkning, karakterisert ved



Sketch block diagram illustrating the relationship of the ultramafic complex to its envelope.

Fig. 5. M.C. Bennet's forslag til tolkning av kompleksets struktur.

dannelsen av sillimanitt, K-feltspat og anti-peritt.
(Bennet, 1971)

En smalere sone av høytemperatur-hornfels som inneholder K-feltspat, granat, hypersten, sillimanitt og grønne spineller, er funnet langs den vestre kontakt av Reinfjords gabbro-ultramafiske masse. Tette folder med akseplan liggende innen foliasjonen er funnet lokalt i hornfels-sonen og daterer intrusjonen av gabbroen til et senere tidspunkt. (Bennet, 1971)

3.2.3 Den lagdelte gabbroen

Den lagdelte gabbroen danner en konvolutt rundt den ultramafiske intrusjonen, se figur 5 på side 10, og er deler av et større flak som strekker seg nord- og østover, se bilag 1. Dets vestre grense er svakt diskordant med foliasjonen i gneisene, og det er ikke påvist noen avkjølingskontakt innen gabbroen.

Den veldefinerte lagningen er mer iøynefallende i den lavere del hvor mafiske lag opp til 2 meters tykkelse er observert. Lenger opp minsker hyppigheten av de mafiske lag.

Veksling av lagene skjer plutselig, og Bennet har observert at lag-grensene både viser "normal" og "revers" gradering.

Jackson (1967) beretter at mafiske bånd fra mafiske cumuler viser lav krystallisasjonsgrad. Bennet (1971, s. 167) påpeker derimot at denne her omtalte gabbroen, viser forskjellig rekrySTALLISASJON, spesielt i de feltittiske lag. RekrySTALLISerte pyroksener har riktignok beholdt den originale korn grensen.

Den lagdelte gabbroen består av plagioklas (An_{50-64}), monoklin og rombisk pyroksen med akessoniske korn av spinell, zirkon og apatitt. Bennet har i tynnslip påvist opp til 15 volum-% opake mineraler i bergarten langs enkelte kontakter hvor gabbroen har "spist" seg inn i granatgneisen.

3.2.4 Reinfjords ultramafiske kompleks

3.2.4.1 Struktur og tektonikk

Det ultramafiske komplekset består vesentlig av lagdelte dunitter, peridotitter og pyroksenitter som intruderer granatgneisen i syd-vest og den lagdelte gabbroen ellers. Kontakten mot gneisene er diskordant. Lagene innen komplekset faller svakt mot nord-øst og ligger konkordant både på gneisene og selve bergartsgrensen i syd-vest.

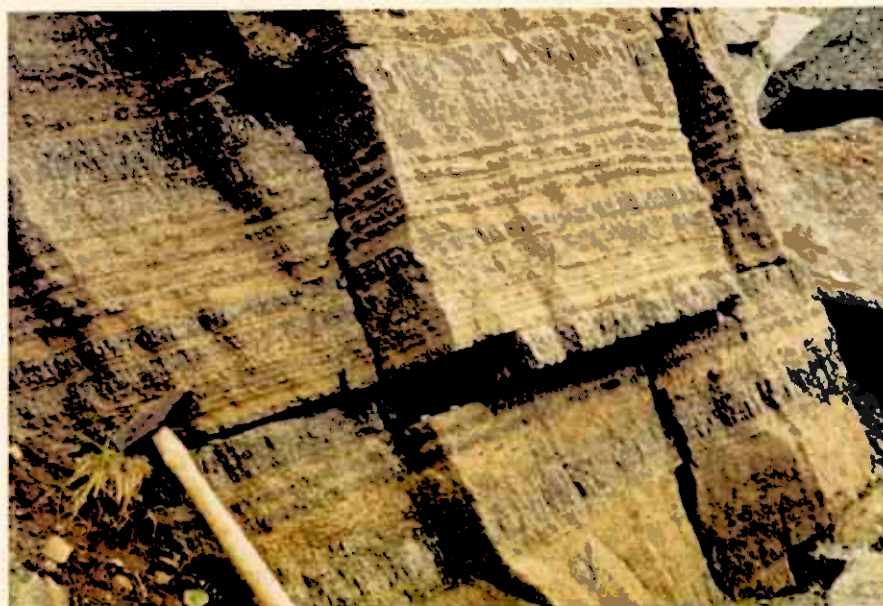
Nær søndre grense, nærmere bestemt i fjellsiden opp fra Reinfjord, ligger et 40 - 60 meter tykt flak av metamorfosert gabbro inne i ultrabasitten. Se fig. 2 på side 2. For nærmere granskning kan henvises til to stereoskopiske fotosett, bilag 4.

Langs kontakten mot sydøst danner både gabbroen og peridotitten uregelmessige linser inn i hverandre og vidner om høy plastisitet av gabbroen under peridotittens intrudering. Ved andre kontakter har ultrabasiske smelte intrudert langs allerede definerte lag i gabbroen.

Bortsett fra en helning på ca. 20° mot nord-øst, må komplekset betraktes som uberørt av senere tektonikk. Det er observert en liten fold, $\lambda=1$ m, og denne må tolkes til å være dannet ved en plastisk sklidning like etter krystallutfelninger for vedkommende sekvens.

3.2.4.2 Textur og Mineralogi

De beste beviser for krystalliseringer fra et ultra-mafisk magma in situ finnes i den sjeldne og praktfulle cumulat tekstur. Den er helt typisk for hva som finnes i eruptive cumulater. Fig. 6 viser et eksempel på meget raske vekslinger av lag rike på monoklin pyroksen og olivin.



Figur 6. Hurtig vekslende dunitt-og pyroksenittlag

Tykkelsen på dunitt- og pyroksenittlagene varierer fra 1 cm til over 30 m. De tykkere dunittlagene vil gå mot peridotittisk sammensetning og viser ofte en underordnet cumulat tekstur. Se figur 7 og 8 neste side.

Komplekset er rikt på pyroksenitter i de nedre partier, men over gabbroflaket (se bilag 2) er intensiteten en annen, og hele komplekset ender tilslutt med en dunittisk sammensetning. Komplekset har således blottet store arealer med dunitt innover mot Langfjordjøkulen.

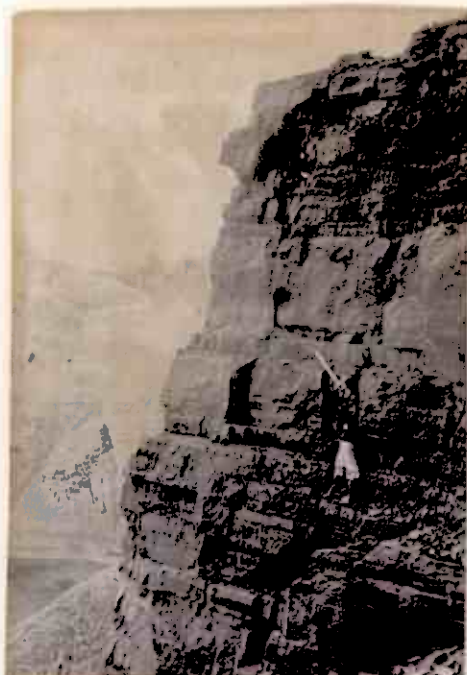


Fig. 7

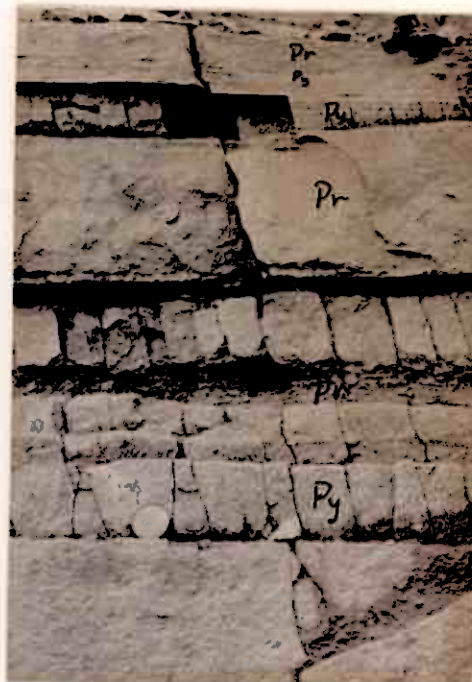


Fig. 8

Fig. 7. Pyroksenittbank mellom to tykkere peridotittlag.

Fig. 8. De dunittiske lag forvittrer lettere. I de øverste peridotittbenker kan skimtes underordnet pyroksenlagning.

Ultramafittens mineralogi er for det meste olivin, monoklin og rombisk pyroksen; sjeldnere plagioklas; samt varierende mengder av sekundære mineraler, så som kryptit, hornblende, biotitt og epidot.

De opake mineralene er magnetitt og ilmenitt, krom- og magnesiaskineller, magnetkis, kobberkis og pentlanditt foruten sekundær magnetitt og bravoitt.

3.2.5 Malmgeologi

3.2.5.1 Sulfidmineralisering

Den klassiske malmgeologi har en rekke beviser på at forekomster av nikkel- og kobbersulfider kan dannes fra et intrusivt ultramafisk magma. Under avkjøling av

væskefasen vil likevektsbetingelser føre til at sulfidene skilles ut fra silikatsmelten som egen væskefase og synke ned mot magmaets nedre del p.g.a. større spesifikk vekt. (Lindgren s. 773)

Svovelmengden i ultramafitten har alt å si om nikkelet skal avblandes som sulfiddråper eller inngå i silikatmassen. Likeledes må viskositeten i magmaet være høy såpass lenge at sulfidene gis mulighet til å synke ned og derved føre til økonomiske konsentrasjoner, enten som massive eller dissiminerte forekomster.

I kontakten mellom Reinfjords ultramafiske kompleks og granatgneisen i sydvest, se bilag 2, finnes dissiminerte sulfidmineraler innen ultrabasitten. Bergartsgrensen er blottet kun et sted, oppe i Bonjikkaldalen (se fig. 9), men går like under en rusten mineralisert blotning også oppe i dalen mot Stålvatnet. Se forøvrig detaljkartet på bilag 3.



Fig. 9. Diskordant mineralisert kontakt mellom komplekset og granatgneisen. (Tatt mot vest)

Mineraliseringens sulfidmineraler er magnetkis, kobberkis, pentlanditt og svovelkis. Overflateforvitring har ført til bravoittisering av pentlanditten som forøvrig for det meste finnes som selvstendige korn.

Ultrabasitten er på dette sted uten lagning, og i begge de mineraliserte blotningene synes ikke sulfidmengden direkte å være av økonomisk interesse. De kan heller gi en pekepinn om hva som måtte befinne seg mot bunnen av komplekset.

Lignende sulfidselskap finnes i mindre mengder på ultrabasittens sydøstlige grense hvor den lagdelte lyse gabbroen og peridotittmassivet har ganger og linser inn i hverandre. Se bilag nr. 2. Mineraliseringen finnes i ultrabasittens gabbroide "tunger" som stikker inn i den lagdelte gabbroen.

Mineraliseringen er også her uten økonomisk interesse, men kan benyttes som veileder via vurdering av en eventuell segregasjonsforekomst på eller nær ultrabasittens bunn. De mineraliserte kroppene ser nemlig ut til å være dannet under intrusjonen og representerer som således ultrabasittens sulfidkjemi før hovedcumulatprosessen tok til.

Sulfidene kan i det siste tilfellet muligens være dannet ved svoveltilførsel fra gabbroen under intrusjonen. Dette kan også forklare sulfidenes hyppighet langs denne så plastisk betonte kontakt.

Sulfider er observert meget svakt dissiminert flere steder ellers i massivet bundet til utvalgte cumulat-medlemmer. (P.J. Wyllie, 1967, s. 22).

3.2.5.2 OksyDMINERALISERING

Øverst i Bonjikdalen (prøvepunkt 4, bilag 3) finnes noe kromitt i en dunittisk bergart sammen med spinell og noe dissiminert sulfid av ovennevnte type.

Sydøst for Stålvatnet (prøve 31) er det påvist ilmenitt-anrikninger med dissiminerte sulfidkorn i en pyroksenittisk gabbroid bergart.

4. PRØVETAKNINGSPROFILER

4.1 Generelt

I de siste årene er det publisert en rekke moderne arbeider gjort på ultrabasiske kroppar og deres sulfid- eller mangel på sulfidforekomster.

For å vurdere de rapporterte nikkel- og kobber mineraliseringene på den riktige måte, fant jeg det derfor påkrevet å foreta en systematisk prøveinnsamling av hele den ultramafiske lagrekken. Dette ville samtidig gi meg et solid grunnlag for å vurdere eventuelle videre undersøkelser i området og komme med forslag til disse.

4.2 Profilplassering

4.2.1. Vertikalprofil av Rein fjord-komplekset

Prøvetakningsprofilen ble lagt til fjellsiden nord for Bonjikdalen. (Se bilag nr. 3). Til tross for meget bratt terreng var dette det eneste stedet det var mulig å få et nesten komplett og nøyaktig profil av lagrekken. Profilet er satt sammen av seks mindre profiler og det forekommer kun et lite hull i serien som har en vertikal høydeforskjell på 616 m. Se figur 10 på neste side samt bilag nr. 4.

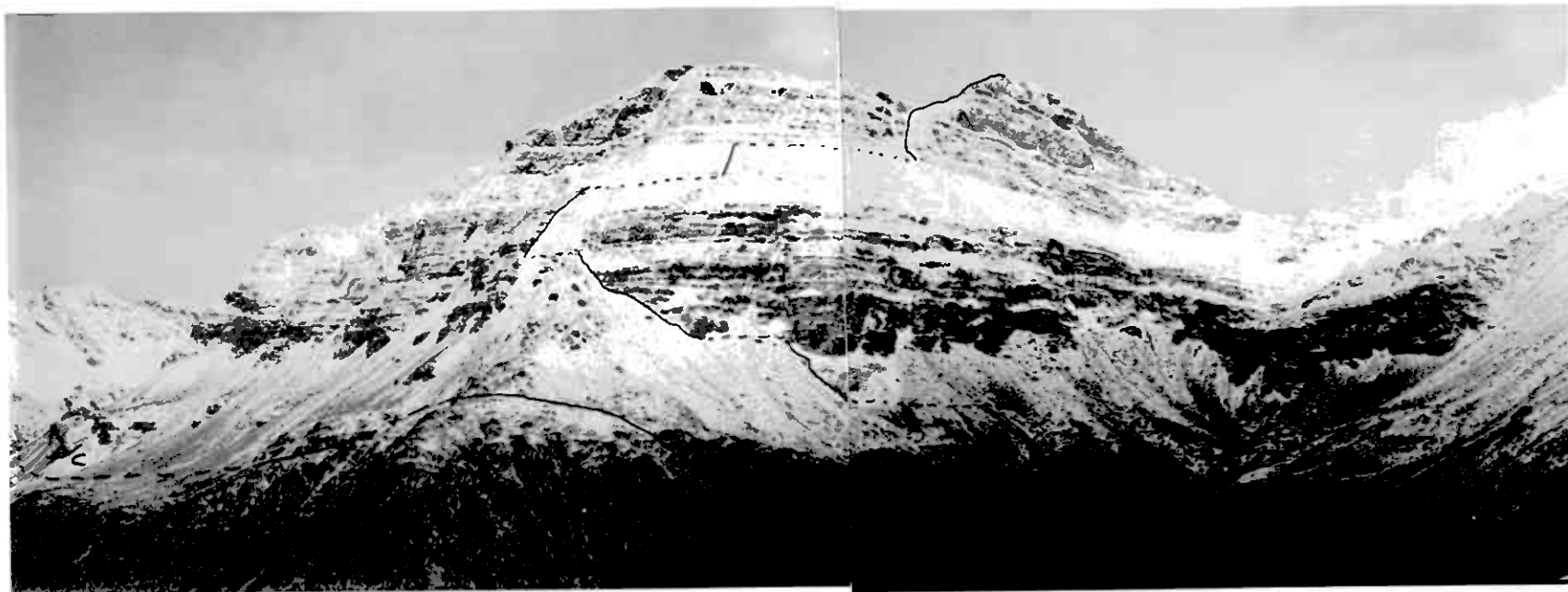


Fig. 10. Ultramafittens sydvestlige fjellside med makro-cumulatstrukturer.
Mineralisering B: Legg merke til den tynne sonen med hornfels.
Mineralisering C: To avkjølingssoner. Like ovenfor finnes cumulatene.
(Foto fra siste dag i felten)

Fra prøvepunkt med både dunitt- og pyroksenittlag ble det tatt en prøve av hvert slag. I nedre del av fjellsiden ble det samtidig innsamlet rasjordsmateriale.

4.2.2. Mineraliseringen i Bonjikkdalen.

Det ble lagt et profil på 75 m over det eneste sted hvor massivet har blottet kontakt til metasedimentene.

(Fig. 10). Dissiminerte sulfider lå i den øvre halvdel, og profilet i sin helhet var ment til å tolke sulfid-mineraliseringens assosiasjon. Se fig. 10, på side 18, eller fig.9 på s.15 hvor profilet også er påtegnet.

Langs bekken i Bonjikkdalen ble det tatt fire bekkesedimentprøver, et ovenfor og tre nedenfor bergartsgrensen.

4.2.3 Mineraliseringen ved Småvatna

Blotninger her viser hverken lagning eller kontakt mot granatgneisen. Profilet på 24 m er lagt vinkelrett på en struktur den blottede haugen har og som indikerer en avkjølingssone innen ultrabasitten.

Det ble tatt tre bekkesedimentprøver, to nedenfor og et ovenfor Småvatna.

4.3 Analysemetodikk

Av det innsamlede prøvematerialet ble et selektivt utvalg plukket ut for analyser og mikroskopistudier.

4.3.1 Silikatanalyse

SiO_2 , TiO_2 , Fe_2O_3 -total, Al_2O_3 , MgO , MnO og CaO ble analysert med optisk spektrograf på NGU. For kontroll ble noen prøver analysert kjemisk, og en sammenligning av standardprøvene finnes i figur 12. Ved røntgenanalyse fremkom summeer over 100%. Analyseverdiene ble som forsøk justert til 100%.

Nesteparten av jernet foreligger riktignok som toverdig jern, men til gjengjeld vil serpentiniserte olivinholdige prøver ha et betydelig vanninnhold. (For 111-C, 9% og for 123-Pr, 10% H_2O). Andre feilkilder er dårlige standarder for Mg-rike prøver, og midlere feil på SiO_2 -analysene gir relativt store utslag på summen.

4.3.2 Metallanalyser

Ni, Cu, Co, Cr, Sr, Zn, Zr, samt Fe og Mn som kontroll, ble analysert på røntgenfluorescens ved hjelp av en selvkomponert hurtigmetode.

Metoden gikk ut på å foreta en spektrografisk analyse med LiF_{220} -krystall over hvert elements k_α -linje ved hjelp av skriveren på telleenheten. Bakgrunnen ble stipplet inn i flg. superposisjonsprinsippet (se bilag nr. 5) og lengden på utslaget ble målt i antall millimeter. Standardprøvene ble analysert ti ganger, og beregnet standardavvik forsvarte faktisk bare en avlesning. En analyse på hele 9 elementer ble utført på under 30 minutter ibefattet omregning til reelle analyseverdier.

Standardprøvene ble analysert på atomabsorpsjons-spektrometer etter en totaloppslutning av prøvene med HF , H_2SO_4 og HNO_3 i en platinadigel. Niog Cu-analyser ble i tillegg utført på alle prøvene etter oppslutning i HNO_3 .

4.3.3 Svovelanalyse.

Pulveriserte bergartsprøver ble analysert ved forbrenningsmetoden i oksygenrikt miljø.

4.4. Petrografiske undersøkelser.

4.4.1. Silikatanalyser.

Silikatanalysene finnes fremstilt i petrografiske grupper i bilagene 6, 7 og 8. På bilagene 9 og 10 er silikatanalysene plottet mot høyde over havet, utregnet etter enkel landmåling i felten og stereoskopisk parallelaksemåling på flyfotoene. På bilagene 11 og 12 er fremstilt lignende diagrammer.

Ved studie av bilag nr. 9 over pyroksenitter og gabbroer merker en seg følgende:

1. Gabbroflakets analyser virker meget forstyrrende.
2. TiO_2 -verdiene er lavere i gabbroen.
3. SiO_2 og CaO viser en markert økning oppover i komplekset totalt sett.
4. Al_2O_3 , Fe_2O_3 (-total), SiO_2 , CaO og TiO_2 viser en markert anrikning oppover mellom gabbropartiene.
5. Fe_2O_3 og delvis CaO øker noe nederst.
6. MgO og CaO viser tegn til symmetrisk oppførsel.
7. Fe_2O_3 viser overensstemmelse med olivinmengden i komplekset.
8. MnO viser ingen tegn til kjemisk trend.

Ved studie av dunitter og peridotitter, bilag 10, merker en seg dette:

1. SiO_2 og Fe_2O_3 viser økende gehalt oppover.
2. CaO , Fe_2O_3 , MgO og MnO viser økende gehalt mellom gabbroene.
3. Dette bilag viser ingen direkte selvmotsigelser til bilag 9.
4. Dette bilag viser en høyere kontrast.

Ved studie av bergartsgrensen mellom gabbroflaket og peridotittkomplekset, bilag 11, merker en seg dette:

1. MgO , MnO , Fe_2O_3 og SiO_3 (-pyroksenitt) viser en gradert minkning nedover bergartsgrensen.
2. CaO øker nedover i gabbroen, men anrikes litt i likhet med Al_2O_3 nederst i ultrabasitten.

Studie av mineralisering B i bilag 12 gir disse opplysninger:

1. CaO og MgO minker gradvis, men kraftig inn i granatgneisen.
2. MgO viser dessuten en markert høy verdi inne i den grovkrystallinske pyroksenitt.
3. Fe_2O_3 og TiO_2 minker gradvis, men viser en anrikning i kontaktmetamorfosens forkant.
4. Al_2O_3 minker gradvis, men viser en kraftig anrikning i hele hornfelsen.
5. SiO_2 og MnO er forholdsvis stabil, men SiO_2 øker og MnO synker i verdi inne i gneisen.
6. Dette sett har visse likhetstegn med det forrige.

Tolkningen kommer i pkt. 4.4.4.

4.4.2. Forsterittanalyser.

Analysen ble utført på røntgendiffraktometer ved måling av variasjonen av d_{130} . (Yoder & Sahama, 1957). $Fo(mol\%)$ er så utregnet ved bruk av formelen:

$$Fo(mol\%) = 4233,91 - 1494,59 \cdot d_{130}.$$

Verdiene er satt opp i bilag 13, men i tillegg plottet mot høyde over havet i bilag 10. En kan av dette slutte følgende:

1. Verdiene viser stor overensstemmelse med verdiene for Fe_2O_3 -total.
2. Prøve 129-B's verdi må forkastes.

Olivin er delvis omvandlet til serpentin (se fig. 13), spesielt i kontakten mot gabbroflaket. Duntten består av delvis rundede og tett pakke anhedrale olivin-krystaller, mens olivinen som opptrer i peridotitten viser en subhedral til euhedral korntorm (se fig. 14). Olivin med pyrokse-n-rim er observert på grensen mot pyroksehornfels.



Fig. 14. Subhedrale olivin-korn i peridotitt.



Fig. 13. Serpentinisert olivin med Mesh-struktur.

Pyrokse-n opptrer som en farveløs enstatitt øverst i profillet, men går etterhvert over i en mørkere variant nedover i lagene, bronzit, (opt.+). Samtidig opptrer anitt som hovedkomponent i pyrokse-nlagene (websteritt). De to pyrokse-nene viser ofte en tekstur som må tolkes som avblanding i fast fase langs krystallografiske plan (fig. 15). Nedover i lagene viser pyrokse-n en noe større omvandingssgrad.

Plagioklas opptrer ikke i dunitten og i svært liten grad i pyroksenitten. Nederst og da i avkjølingskontakten mot metasedimentene, opptrer noe plagioklas som interstedsielt mineral (An_{50-60}).



Fig. 15. Avblanding av bronzitt (mørk) i augitt (lys).



Fig. 16. Kontakten pyroksenitt og lys gabbro. Subhedrale pyroksenkorn i plagioklas grunnmasse.

De hurtig vekslende olivin- og pyroksenrike cumulatmedlemmer viser en gradvis overgang (lherzolitt) fra dunitt til pyroksenitt (websteritt). Over pyroksenitten er grensen skarp mot dunitt (se fig. 17).

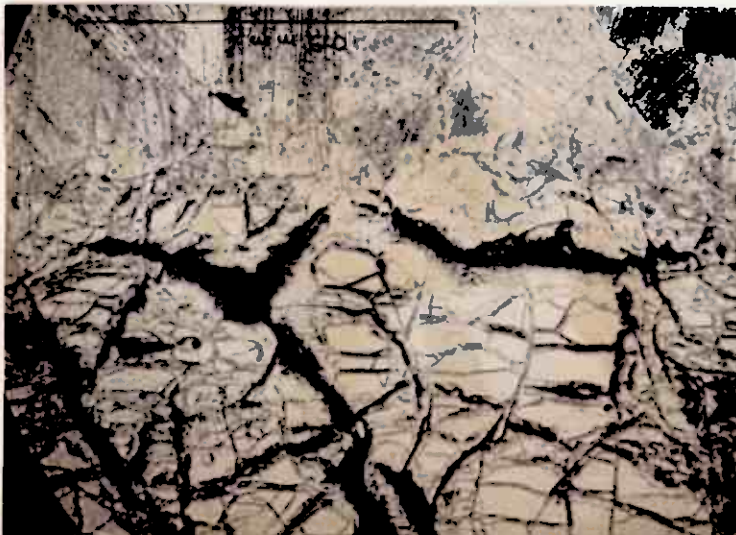


Fig. 17:

Grense mellom websterittbånd (nederst) og dunittbånd (øverst)

4.4.4. Petrografisk tolkning.

Elementfordelingen, mineralogiske og bergartsteksturelle observasjoner forklares tilfredsstillende som dannet ut fra en avkjølende magmaflytende intrusjon. Den kjemiske sammensetningen av magmaet må ha ligget like i nærheten av peridotittens gjennomsnittlige kjemi idag, og en må anse magmaet som en ultrabasisk intrusjon i seg selv.

Olivin (forsteritt) krystalliserer allerede ved 1890°C , se fig. 18, men kan opptre i likevekt med enstatittsmelte ned til 1557°C , eller ned til $1400\text{--}1500^{\circ}\text{C}$ i likevekt med Al_2O_3 -holdig smelte tilsvarende en normal peridotitt (Krauskopf 1967). Med et par tusen atmosfæres vanntrykk vil smeltepunktet senkes til 1300°C .

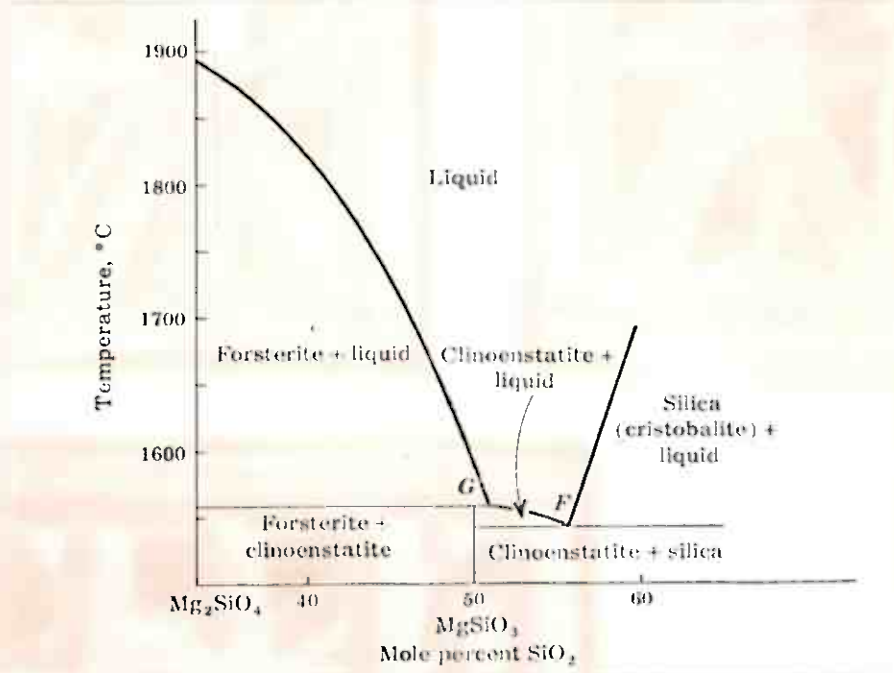


Fig. 18. Del av MgO-SiO_2 systemet viser inkongruent smelting av enstatitt. (Fra Barth, 1962, s. 97).

Pyroksen-hornfelsen i massivets kontakt mot granatgneisen tilsier en metamorfosegrad på 800°C ved ca 4 km dyp. En plastisk "kappe", idag grovkrystallinsk pyroksenitt, rundt massivet ved intrusjonen vil redusere temperaturfallet betraktelig fra det glødende massivet. De kalde gneisene fører også til et betraktelig varmetap langs kantene.

Varmetapet forøvrig, det vil si dannelsen av cumulus, skjer vesentlig ved toppen og langs kompleksets kanter. Strømninger fører så cumulat ned mot den flate kammerbunnen, se fig. 19 (etter Wager 1968). Dette forklarer den meget utholdende og plane strukturen som selv de tynneste lag i komplekset har.

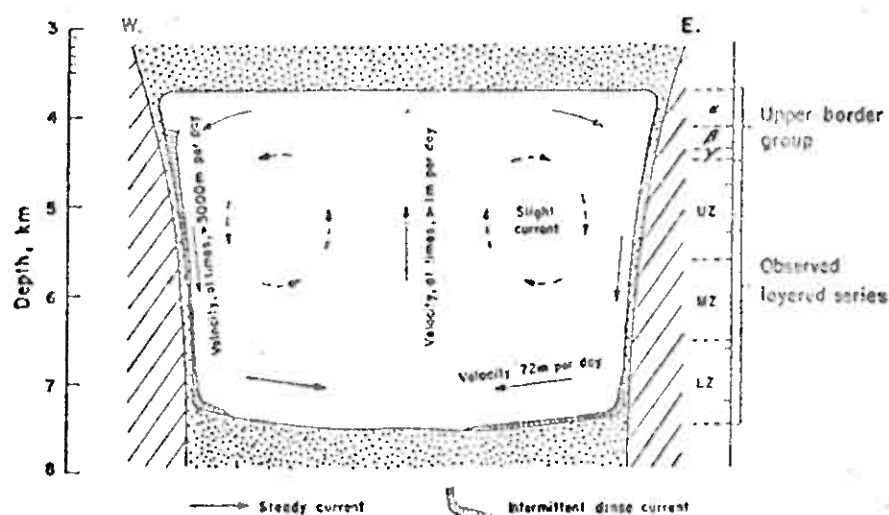


Figure 16. Suggested conditions in the Skaergaard liquid at the beginning of the observed layered series, showing (1) the slow, continuous, convective circulation (drift current), with a velocity of the order of 2 m per day, and (2) the intermittent, dense convection currents descending along the walls with high velocity, undercutting the slow current and coming to rest on the floor.

Fig. 19. Wagers forklaring av cumulater.

Anrikning av SiO_2 oppover må tas som en direkte indikasjon på at lagrekken ligger den "riktige" vegen.

Det gabbroide flaket tilhører den lyse gabbroen og gjenstår som en kile inn i magmaet nær dets sydlige grense. Diffusjonen av elementer ut fra magmaet, sannsynligvis ved

plastisk fase, bekrefter dette. Ca og Al derimot viser liten evne til å gå inn i magmaet ved diffusjon.

Ved høy temperatur under intrusjonen er riktignok noe plagioklas smeltet inn i magmaet langs dets kontakt mot gneisene og finnes således anriket i disse partier. Al_2O_3 anrikes kraftig i den kontaktmetamorfoserte granatgneisen. Al_2O_3 -anrikningen her forklares ved magmaets dårlige evne til å ta opp aluminium ved fortrenkning ved lavere temperaturer. Al_2O_3 må som således representere spor av en fortrenget del av gneisen like etter intrusjonen.

Fe og Ti har diffundert lett gjennom den kontaktmetamorfoserte gneisen, men temperaturfall må ha ført til dannelselse av ilmenitt og magnetitt i hornfelsens bakkant. Ca og Mg har også diffundert inn i gneisen i noen grad.

I prøve 211 er iaktatt olivin noe som forklarer høy MgO-verdi. Prøve 213-210, se bilag 12, representerer som således magmaets "snerk". Prøve 209-203 representerer magmaets kjemi ved krystallisasjons start i avtakende grad og med forbehold om rester av sidebergarter fra intrusjonen (SiO_2 og Al_2O_3) og senere diffusjon.

Interpretasjon av bilag 12 gir følgende sammensetning av en pyroksenitt ved krystallisasjons start: $\text{SiO}_2 < 50 \%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 < 6 \%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \approx 11 \%$, $\text{CaO} \approx 15 \%$, $\text{MgO} \approx 16 \%$, $\text{MnO} \approx 0.2\%$ og $\text{TiO}_2 \approx 1.5 \%$. Verdiene er plottet nederst på diagrammet i bilag nr.9.

4.5. Sulfidpetrografiske undersøkelser.

4.5.1. Svovel- og metallanalyser.

Metall- og svovelanalysene er i likhet med silikatanalysene satt opp i tabeller etter petrografiske og mineraliserte enheter i bilagene 13, 14 og 15. Verdiene er frem-

stilt i diagramform i bilagene 16, 17, 18 og 19. Resultatet av Cu- og Ni-analysene med HNO_3 beslyses for seg selv senere.

Ved studie av bilag 16 for pyroksenitter og gabbro merker en seg følgende: (Det er til hvert punkt knyttet en tolkning der denne synes åpenbar.)

1. Middelverdien av S, Cu og Ni øker markert nedover. Dette tyder på at en settling av sulfider har funnet sted. Om gradienten representerer de resterende mindre sulfidpartikler fra segresjon av større sulfidmengder, eller om sulfidpartiklene i seg selv utgjør all sulfid med en settlingsgradient, kan ikke disse data oppklare.
2. Høye verdier av Cu og Ni i enkelte lag tyder på segresjon av små sulfidpartikler under rolige perioder i cumulat-prosessen.
3. Ni og Cu viser avhengighet. Dette forklares ved at Ni og Cu inngår i mineraler dannet ved felles prosess.
4. Cr minker ned mot gabbroen, øker ned til neste gabbro og minker så igjen. Det synes å være en overensstemmelse mellom krom og olivinrike partier i komplekset.
5. Sr, Zn og Zr viser en ubetydlig økning nedover.

Studie av bilag 17 for dunitt og peridotitt gir følgende tolkning:

1. Middelverdien av Ni, Cu, Co og Zn øker nedover. Ni- og Cu-verdiene er tidligere forklart. Co synes å være assosiert med Ni og Cu muligens via et jernsulfid.
2. Cr øker markert over gabbroflaket og er tidligere forklart.
3. Høy Ni-verdi (2150 ppm) kontra lav S-verdi (380 ppm) i dunitten tyder på olivinbundet nikkel.

Mineralisering B i bilag 18 gir følgende tolkning:

1. Ni, Cu, Cr og S minker over profilet inn i gneisen. Relasjonen Ni, Cu og S er tidligere forklart. Minskningen bekrefter tydelig at mineraliseringen skyldes forhold innen magmaet. Hurtig avkjøling gjør at magmaet nærmest grensen fryser før noe vesentlig sulfid fra magmaet gis anledning til å nå fram. Minkning inn i selve gneisen skyldes migrering i likhet med Cr.

3. Høy Sr-verdi i hornfelsen synes å markere en smeltefront i gneisen. Sr synes å være bundet til Na-holdige silikater.
4. Zn og Co viser ingen trend.

Av bilag 19 for mineralisering C kan en slutte følgende:

1. S, Ni, Cu og Co øker mot nedre grense av en mer middelskornig pyroksitt. De felles bundne elementer synes å være dannet ved segresjon i en termisk roligere periode under avkjølingen. Dette indikerer også de større pyroksenkornene.
2. Cr-verdiene avtar, men har høy verdi i nederste prøve. En viss invers relasjon med sulfidene synes å være tilstede.

Analysene i forbindelse med grensen mellom gabbroflaket og massivet i bilag 14 viser i likhet med silikatanalysene en viss migrasjon av massivets elementer inn i gabbroen og omvendt. Spesielt kan økende verdier for Sr inn i gabbroen noteres.

Mange av de ovennevnte tolkninger bygger på tildels svake grunnlag, men skal en først si noe generelt, må det bli slik det er gjort her. Før en nærmere konklusjon kan gis, må det være på sin plass å studere i detalj relasjonen mellom svovel og metall, metallene innbyrdes og metallene bundet som sulfid, samt mineralogien.

4.5.2. Relasjonen mellom svovel og metall.

I bilag 20 er satt opp en rekke diagram hvor metallverdien er plottet mot respektive prøvers svovelverdier. Ved tegn adskilles de ulike prøvetyper.

Ved studie merker en seg raskt den gode relasjonen det er mellom Ni og S og Cu og S. Vogt (1923) viste at forholdet mellom Ni og S syntes å være konstant innenfor hver enkelt Ni- Cu- mineraliseringstype i intrusive bergarter.

Det er i all enkelhet trukket en linje gjennom punktenes anslåtte middelerverdi. Det viser seg da at linjen nær sagt splitter mineraliseringens og bergartsprofilets prøver. Forholdet mellom Ni og S er faktisk så markant at det kan benyttes til å definere en prøve som anomal eller ikke. Wilson og Anderson (1959) viser også at mineraliseringskvaliteten påvirker forholdet mellom Ni og S.

Relasjonen mellom Cu og S viser også et konstant forhold, men med et langt mindre standardavvik. Wilson (1969) får derimot lavere standardavvik for Ni/S-relasjonen ved en liknende undersøkelse.

Ser en på de respektive forhold opptegnet fra analysene med HNO_3 -oppslutning, viser denne analysemetode ingen vesentlig forskjeller bortsett fra at den trukne linje går gjennom origo.

Co viser en svak avhengighet med S hvor det i relasjonen også inngår et større konstantledd foruten en proporsjonalitetsfaktor. Co synes ikke å vise noen relasjon til mineraliseringsgraden. En bør bemerke at standardavviket fra Co-analysene var noe høyt og kan ha innvirkning på denne konklusjonen.

Zn viser ingen relasjon med S eller mineraliseringsgrad. Wilson (1969) konkluderer med det samme.

Sr viser ingen relasjon med S. Derimot ser en tydelig av bilag 20 at prøvene fra mineralisering B og C har høyere Sr-verdier. Dette bekrefter bare noe en allerede vet; at mineraliseringen ligger langs bergartsgrensen til Na-rikere bergarter.

Zr viser en svak relasjon med S samtidig som mineraliseringsprøvene synes å ha noe høyere Zn-verdier. Dette skyldes i likhet med Sr den nære kontakt med andre bergarter.

4.5.3. Gitterbundne elementer.

B. Mason opplyser i sin lærebok (opplag 1966) at Ni med ioneradius 0.69 Å substituerer det like store Mg-ionet. Masons konklusjon bygget på atomdata fra 1952 kan ikke være riktig da atomdata fra 1964 berettter om langt andre ioneradier.

Ni har, ifølge atomdata av 1964, en ioneradius på 0.78 Å (+2) og 0.62 Å (+3), og bør således substituere Fe med ioneradiene 0.76 Å (+2) og 0.64 Å (+3). Likeledes har Fe og Ni lik elektron-negativitet. Co ligner Fe litt mer enn Ni, og en bør derfor vente at Co viser de samme gitteregenskaper som Ni. Som kjent viser Ni stor evne til å forekomme gitterbundet i silikater.

Cu har derimot en ioneradius på 0.96 Å (+1) og 0.69 Å (+2), og da det ligger forholdsvis langt fra andre elementers ioneradier, viser Cu liten evne til å gå inn på gitterplasser. En må derfor vente at vesentlig all Cu er mineraltbundet.

Smirnova (1968) og Lynch (1971) beskriver en analysemetode for sulfidbunden Ni, Cu og Co ved hjelp av atom-absorpsjon etter oppløsning med ascorbinsyre i noen få timer. Cameron, Siddley og Durkam (1971) diskuterer metoden og reiser spørsmålene angående gitterbunden Ni for serpentinisert olivin.

HNO₃ har i lengere tid vært regnet som et forholdsvis brukbart løsningsmiddel ved analyse av sulfidbundne elementer, men også her vil serpentiniserte prøver skape problemer. HNO₃ som løsningsmiddel ble likevel valgt, og analyseresultatene er å finne i bilagene 13, 14 og 15 sammen med svovelanalyser og totalanalysene. I bilag 21 er bergartsprofilets analyseverdier plottet i profildiagrammet.

Som det framgår av bilagene, viser de to sett Cu-verdier avvikende resultater. En må anta at vesentlig all Cu er sulfidbunden, og en av de to analysemetodene må følgelig være feil. Det er mulig at røntgen-verdiene, som i dette tilfellet ble målt delvis inne på en wolfram-linje ikke kan brukes kvantitativt.

Gitterbundet Ni framkommer som differens mellom de to analysemetoder med forbehold om korreksjon for serpentiniserte prøver. Ni i prøvene 101-C og 109 er således silikatbundet. I tabellen under (fig.20) er satt opp et overslag over gitterbundet Ni i de ulike bergartene.

BERGARTSTYPE	GITTERBUNDET NIKKEL
Dunitt	ca. 2100 ppm
Dunitt-bånd	ca. 1000 ppm
Pyroksenitt-bånd	280 - 415 ppm
Pyroksenitt, mineralis.B	225 - 375 ppm
Pyroksenitt, mineralis.B	175 - 280 ppm
Granatgneis	70 - 80 ppm

Fig. 20: Silikatbundet nikkel i ulike bergartsprøver.

Som en allerede har lagt merke til i bilag 20 over svovelmetall relasjonen, går ikke den midlere linje for de plottede punkter gjennom origo verken for Ni, Cu eller Co (røntgenanalysen). Ni-aksen skjæres ved ca 300 ppm Ni, Cu-aksen ved ca 150 ppm og Co ved ca 70 ppm Co. For Cu er det snakk om en analysefeil, mens for Ni og Co utgjør de nevnte verdier den gjennomsnittlige gitterbundne del av elementene.

Forholdet mellom Ni og Co i silikatfasen er ca. 4:1, mens forholdet totalt er ca 10:1. Dette indikerer at Ni har større kalkofil karakter enn Co, og at fysikalsk - kjemiske forhold har tillatt Ni å vise kalkofile tendenser.

Den påviste silikatbundne elementandel vil forstyrre noen av de senere omtalte relasjoner. Derfor er det i tillegg tatt med relasjoner beregnet ut fra den sulfidbundne andel.

4.5.4. Sulfidberegning.

På grunnlag av analyser av S samt Ni og Cu med HNO_3 -oppløsning, er det foretatt en beregning med henblikk på å klarlegge sulfidforholdet. Sulfidbunden Ni antas primært å foreligge som pentlanditt, $(\text{Fe}, \text{Ni})_9\text{S}_8$, Cu inngår i kobberkis, CuFeS_2 , og resten av svovelet inngår i magnetkis, Fe_{1-x}S , og svovelkis, FeS_2 . Forholdet magnetkis/svovelkis anslås til 20:1 ifølge mikroskopistudier.

I bilag 21 sees resultatet av beregningene. Sulfidforholdet er utregnet i prosent av totale sulfider. Som en ser, øker magnetkis/pentlanditt-forholdet nedover i komplekset. Bortsett fra granatgneisen holder mineraliseringsprøvene relativt minst pentlanditt. Kobberkis opptrer med vekslende mengdeforhold, men opptrer relativt mest i mineralisering C.

De høye verdiene for % Ni i sulfidene oppover i komplekset kan delvis skyldes analysefeil på grunn av serpentinisering og for høye Ni-verdier. Det er mulig at sulfidene i de øvre partier har hatt lenger tid til å trekke ut gitterbundet Ni. Wilson (1959) viste at peridotitt ofte har dobbelt så mye Ni i sulfidfase som pyroksenitten (10 % mot 5 % Ni). Liknende observasjoner er gjort i Ranafeltet i Nordland hvor peridotittens sulfider holder ca. 10 % Ni mot ca 6.5 - 2 % Ni i norittens sulfider (Vokes, 1968). Dette stemmer godt med de observerte data, se bilag 22, da komplekset er rikere på peridotitter oppover i lagene.

4.5.5. Metall-forhold.

Wilson og Anderson (1959) hevder at metallforholdet i Cu - Ni - Co -sulfidforekomster avhenger av den assosierte intrusive bergartstype, og hvor et høyt forholdstall peker hen på et magnesiumrikere magma. I tabellen i figur 21 er satt opp de aktuelle metallforhold, og av interesse er også MgO-gehalten tatt med. I tillegg til prøvene fra Reinfjord er det oppført et par eksempler beskrevet av Wilson, Kilburn, Graham og Ramlal (1969).

Prøvested	Bergart	Ni/ Cu total	Ni/ Cu HNO ₃	Ni/ Co	% MgO
Vert.profil	Pyroksenitt	2,-	1,7	10,1	19
" "	Peridotitt	3,3		7,1	37
" "	Dunitter	8,-	40,-	10,2	43
Miner. B	Pyroksenitt	1,6	1,3	7,6	15
"	Gneis	0,4	0,6	1,5	1
Miner. C	Pyroksenitt	1,2	1,5	11,4	
Ung.Katiniq	Serpentinitt	3,5		48	33
Mt.Watters	"	7		69	35
Bowden Lake	"	17		138	37
Bucko Lake	Pyroksenitt	20		151	37

Fig. 21. Tabell over metallforhold og MgO-gehalter.

Relasjonen mellom metallforholdet og MgO-verdiene stemmer forbausende godt innen Reinfjordkomplekset, se fig. 22.

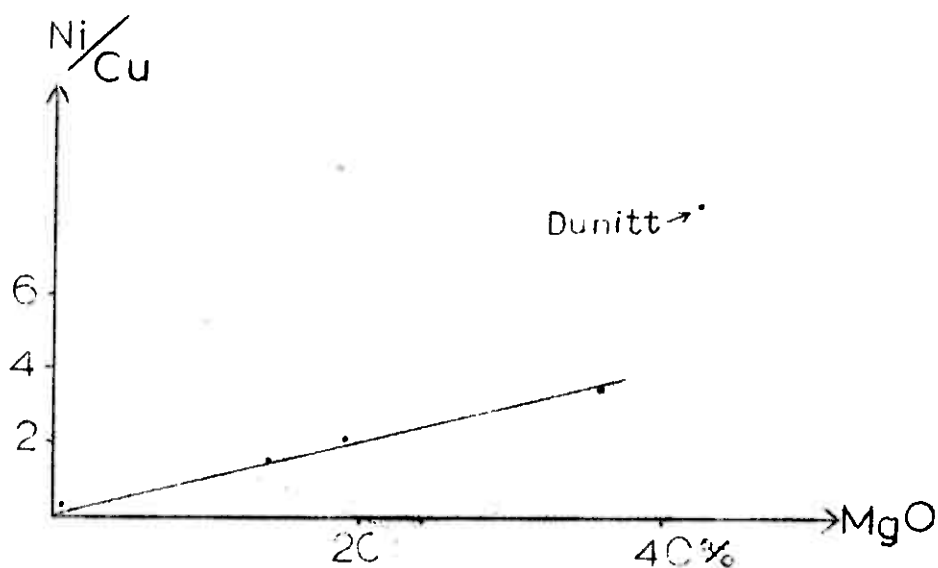


Fig. 22 Forholdet mellom MgO og Ni/Cu (total).

Regner en ut forholdet $\text{Cu}/(\text{Cu}+\text{Ni})$, gir dette verdier fra 0 til 1 og kan meget enkelt håndteres. I fig 23 er disse verdiene plottet i et profil over lagrekken. En har her satt sammen etter beste evne samtlige tre profiler. (Se s. 54).

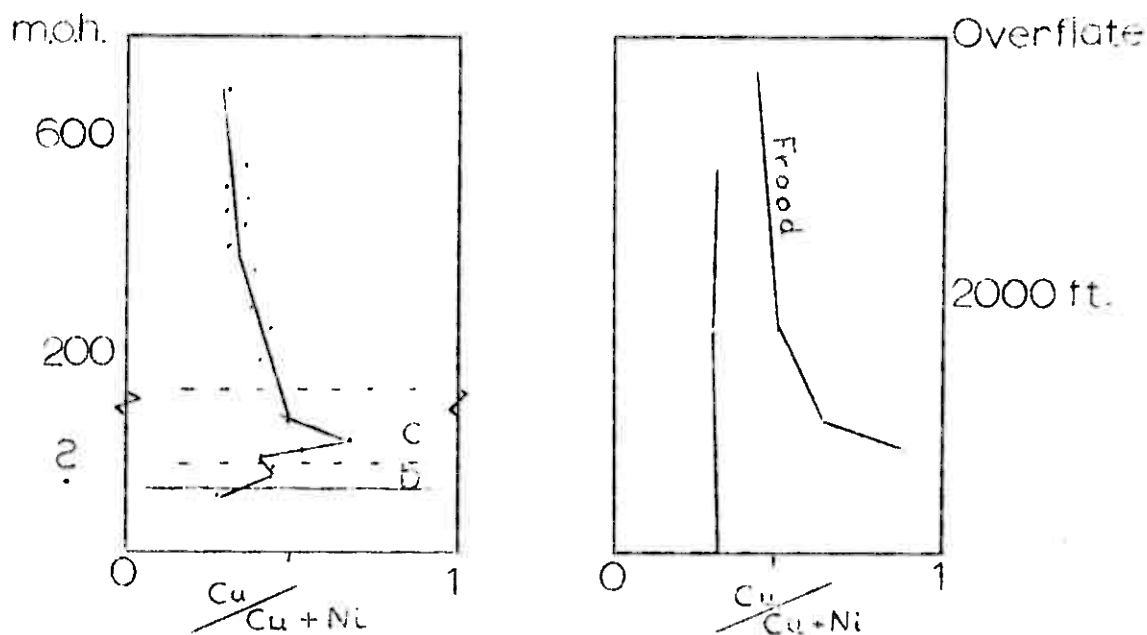


Fig. 23. Vertikalfordeling av kobber/nikkel forhold.
Reinfjord til venstre. Frood og Falconbridge til høyre (Wilson 1959).

Frood er en typisk dissiminert forekomst, mens Falconbridge representerer en injisert forekomst. Som en ser er likheten med Frood meget slående. Wilson mener en slik elementfordeling er helt typisk for en dissiminert forekomst dannet fra et magma ved likvid ublandbarhet.

I likhet med Skaergaard-intrusjonen (Wager, 1957) synes de første utskilte sulfider å være anriktet i Cu. Vi ser ut til å ha kommet i annen rekke først etter at mye av Cu er sulfidbundet. Dette er i og for seg naturlig siden Cu viser langt større kalkofil karakter enn både Ni, Co og Fe. (Goldschmidt, 1954, s.16).

4.5.6. Edelmetallanalyser.

Det inngår ofte underordnede mengder av edelmetaller i magmatiske Cu - Ni - mineraliseringer, enten bundet som egne sulfider, som ferro-legeringer eller i sulfidgitteret. De aktuelle elementer er Au, Ag, Pt, Pd, Ru, Rh, Ir og Os.

Malmene i Sudbury har mellom 0.25 og 0.75 ppm Pt-metaller i segregasjonsforekomstene og ofte fra 2 til 4 ppm i "offset" - forekomstene. (Vokes, 1968).

I tabellen under er satt opp edelmetallinnholdet for et par norske kaledonske forekomster, foruten et par prøver fra Reinfjord undersøkt ved aktiveringsanalyse.

PRÖVE	% Ni	% Cu	ppm Pt	ppm Pd	ppm Au
Faøy	2,1	2,8	1,11	2,94	0,136
Lien, Hosanger	1,51	0,62	0,028	0,085	0,030
Reinfjord, 137	0,21	0,07	0,05		
Reinfjord, 305	0,09	0,13	0,05		

Fig. 24. Tabell over edelmetallanalyser.

4.5.7. Mikroskopering.

4.5.7.1. Generelt

I polerslip av pyroksenitter opptrer aldri sulfider med over 5 areal-%, foruten i ett spesialtilfelle. Den dissiminererte sulfidmengde er ikke statistisk fordelt i bergarten i slip-skala, så for i det hele tatt å få sulfider representert i et slip for kvalitativ undersøkelse, var det nødvendig med en tildels sterk selektiv utvelgelse innen den skårne bergartsprøve. Slipene kan selvfølgelig ikke benyttes til kvantitative undersøkelser av sulfid/bergartsforholdet. Å foreta en korntelling på grunnlag av en masseproduksjon av slip synes helt utopisk, da kjemiske analyser belyste disse forhold tilstrekkelig.

4.5.7.2. Struktur og tekstur.

Sulfidgruppen opptrer vanligvis på interstedsielle plasser i pyroksenitten og hvor bergartsmineralene viser en granulær struktur (se fig. 25).

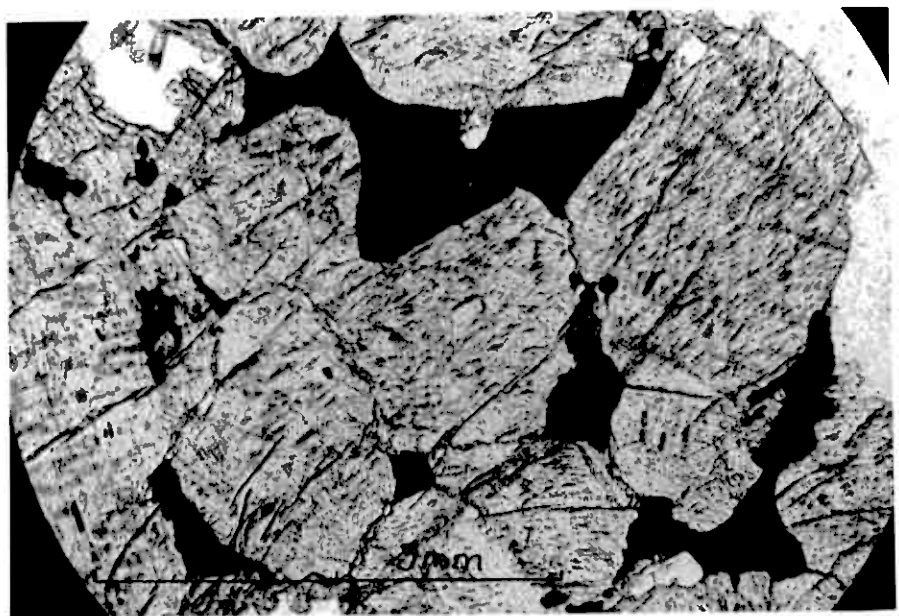


Fig. 25. Opake interstedsielle mineraler i granulær bronzitt.

Sulfidgruppene er representert med nesten samtlige opake mineraler og opptrer også med en tydelig deformert dråpeform, se fig 26. Tildels pentlandittfri magnetkis, kobberkis og frikorn av bravoittisert pentlanditt er de vanligste mineralkorn innen sulfidgruppene.

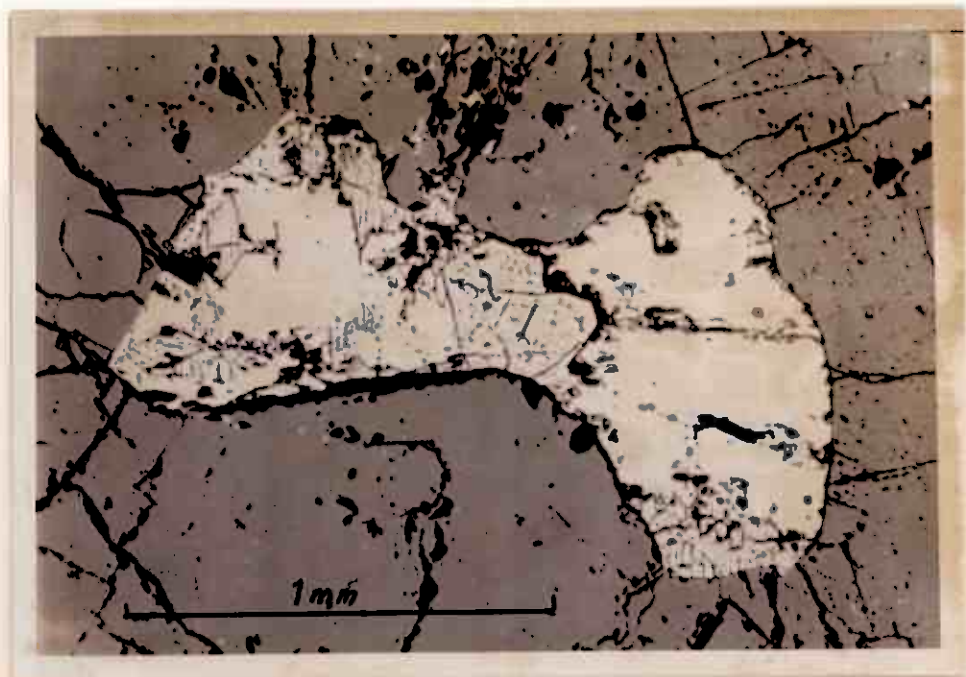


Fig. 26. Sulfidgruppe med magnetkis (po), kobberkis (cp), bravoittisert pentlanditt (bv) og markasittmasse (ma).

Svovelkis opptrer enkelte steder sammen med kobberkis i sulfidgruppene. Likeledes viser ilmenitt og tildels magnetitt enkelte steder stor tilknytning til sulfidgruppene. Foruten bravoitt, opptrer årer av limonitt, og markasittmasser som omvandlingsprodukter i oksyderte prøver.

Størrelsen på sulfidgruppene varierer sterkt med størrelsen på bergartsmineralene, fra ca. 2 cm i en grovkornig bergart til ca 50 mikron i en middeltkornig bergart.

I tillegg til sulfidgruppene opptrer også 100-5 mikron store separate korn av magnetkis, kobberkis og muligens bravoitti-

sert pentlanditt på interstedsielle plasser og langs korngrensene mellom silikatkornene. Disse korn representerer muligens kutt av tilsvarende små sulfidgrupper da magnetkis og kobberkis noen ganger ble observert i samme korn.

Ørsmå korn på ca 1-20 mikron av magnetkis og kobberkis finnes enkelte steder innesluttet i silikatene. I enkelte oppsprukne silikatkorn synes sulfidene å ha blitt mobilisert inn i svakhetsområder. Se fig. 27.

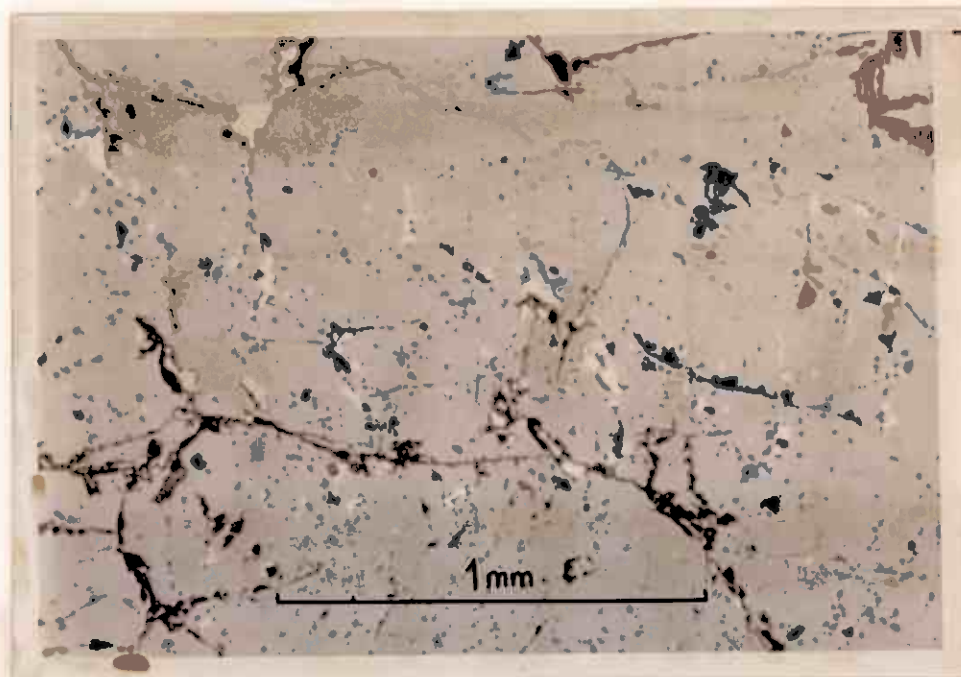


Fig. 27. Finfordelt sulfid i silikatkorn, delvis mobilisert inn på sprekker.

Foruten de ovennevnte sulfider og oksyder finnes også svært finfordelt magnetitt i silikatene samt spredte korn av magnetitt og ilmenitt. I grovkrystallinsk bergart opptrer enkelte steder magnetitt med en uregelmessig og ormeaktig avblandingstekstur sammen med ca. fire ganger så mye silikatmasse.

I peridotittene finnes forholdsvis bare spor av sulfider og da som ørsmå anhedrale korn med kobberkis, pentlanditt og svovelkis. Derimot opptrer noen dissiminerte hypidomorfe magnetittpartikler som et omvandlingsprodukt ved serpentinisering. Imidlertid ble verken awaruit (Ni_3Fe), eller heazlewooditt, (Ni_3S_2), påvist.

4.5.7.3. De enkelte opale mineraler.

Magnetkis, Fe_{1-x}S

Magnetkisen er krembrun og strekt anisotrop og opptrer overalt som anhedrale korn, men med en forholdsvis jevn korngrense mot andre sulfider i sulfidgruppene. Kornstørrelsen varierer veldig avhengig av mineralselskapet; fra 500-50 mikron i sulfidgruppene, 100-15 mikron for delvis separate korn og helt ned i 7 mikron for partikler inne i silikate. Omtrent 80 % av magnetkisen forekommer i sulfidgruppene og anslås i gjennomsnitt å utgjøre ca 70 areal-% av sulfidene.

Enkelte prøver viser sterk forvitring, og deler av magnetkisen er langs korn grensene omvandlet til et markasittpyritt-aggregat og med dannelsen av limonitt. Se fig. 28.

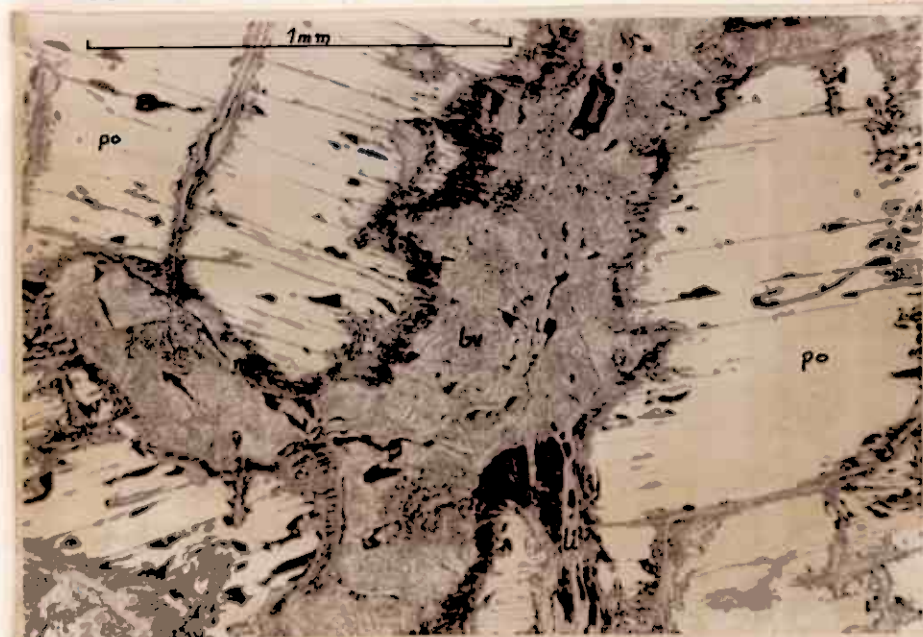


Fig. 28. Foto av anløpet slip fra forvitret prøve viser magnetkis (po), bravoitt (bv), markasittaggregat (ma) og limonitt (li).

Pentlanditt $(\text{Fe}, \text{Ni})_9 \text{S}_8$.

Den har en kremgul farve, er isotrop og opptrer hovedsakelig som frie korn i sulfidgruppene, men forekommer også som små flammer inne i magnetkisen.

De separate korn utgjør anslagsvis 80 % av pentlanditten og har en kornstørrelse på omtrent 1 mm og ned til ca 30 mikron. De opptrer som anhedrale, men oppsprukne korn og ofte som tykkere årer i magnetkisen. De viser sterk bravoittisering (se fig. 29) og kan som således være helt omvandlet til bravoitt (se fig. 26), eller for sterkt forvitrede prøver delvis også gå over i markasitt og limonitt (fig 28).

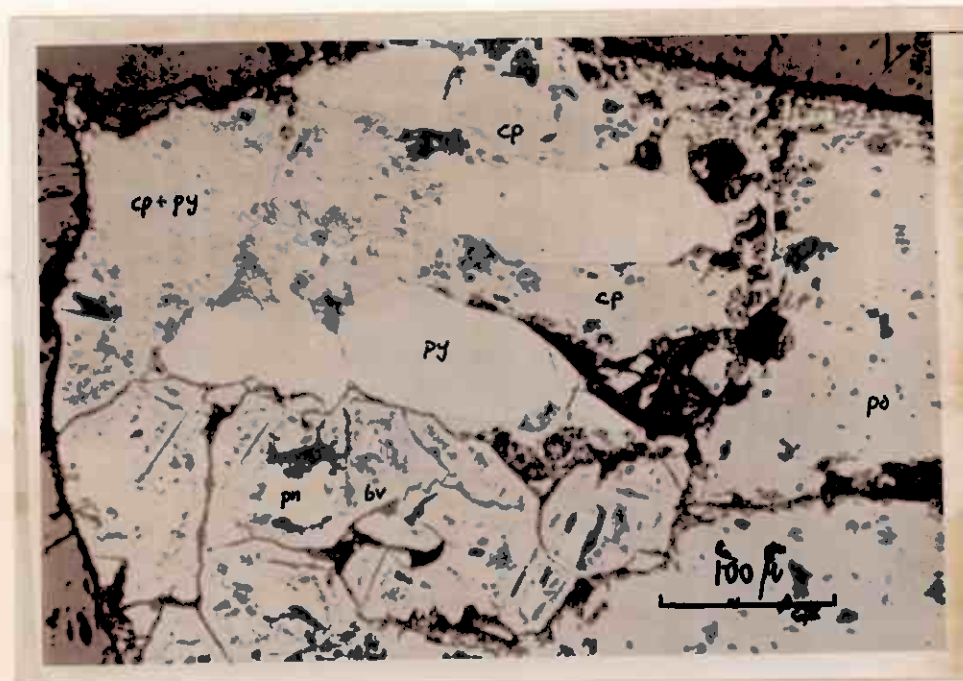


Fig. 29. Bravoittisert pentlanditt (bv) med frisk kjerne (pn), magnetkis (po) og kobberkis (cp) med finkornig tekstur sammen med svovelkis (py).

Mindre mengder pentlanditt opptrer som flammer inne i magnetkisen og vesentlig fra dennes korngrense. Kornstørrelsen varierer fra 1-20 mikron. Pentlandittflammene

viser større motstand ovenfor forvitring enn de frie korn. I prøver med middels oksydasjon kan en langs magnetkisens omvandlingskant skimte strukturer som tyder på bravoittiserte pentlandittflammer selv om magnetkisens forvittringsfront viser sært lik struktur (se fig. 26). Prøver med ytterligere omvandling visker ut alle spor av pentlandittflammer langs magnetkisens kanter.

Totalt anslåes derfor pentlandittflammene å utgjøre ca. 20 % av pentlanditten selv om en ved første studium vil synes dette tallet er noe høyt. Av sulfidene utgjør pentlanditten ca. 15 areal-% medregnet bravoittiserte korn.

Bravoitt (Fe, Ni) S₂.

Den opptrer utelukkende som et omvandlingsprodukt fra pentlanditt. Fargen er krembrun og enkelte korn er tildels sterkt anisotrope. Det eneste som skiller den fra magnetkisen er den typiske pentlandittoppsprekningen (fig. 26), pentlandittrester der de måtte finnes (fig. 29) eller en mørkbrun anløpning etter noen dager (fig. 28).

Bravoittiseringen, som skjer ved fjerning av inntil 5/9 av Fe- og Ni-atomene fra pentlandittgitteret, starter langs pentlandittens sprekker og foregår så inn mot dens kjerne (se fig 29). Fjerning av mer Ni enn Fe fører også til dannelse av pyritt-markasitt-partikler inne i bravoitten (fig. 28).

En antar at ca 80 % av pentlanditten i prøvene er omvandlet til bravoitt og av disse ca 10 % til markasitt-svovelkis-aggregat.

Kobberkis CuFeS_2 .

Den har en gul farge, viser anisotropi og opptrer som anhedrale korn fra 30 mikron til ca 1 mm i sulfidgruppene. Som tidligere nevnt opptrer kobberkis i likhet med magnetkis som svært små korn på mindre sprekker og dissiminert inne i silikatene (se fig. 27 side 39). I likhet med både magnetkis og pentlanditt er kornstørrelsen proporsjonal med sulfidgruppens størrelse som igjen er en funksjon av bergartens kornstørrelse og beliggenhet i komplekset.

Totalt anslås kobberkismengden til 15 % av sulfidene.

Svovelkis FeS_2 .

Mineralet viser en gul-hvit farve, er isotropt med høy refleksans og hardhet og viser en ripete poleringsgrad. Mineralet opptrer bare i et par slip fra de rikeste prøvene og utgjør da et par-tre prosent av sulfidene. Svovelkisen er delvis subhedral og er alltid å finne i eller i tilknytning til kobberkis. Det er også observert en svært finkornig avblandings- eller fortrengningsstruktur mellom svovelkis og kobberkis (se fig. 30).

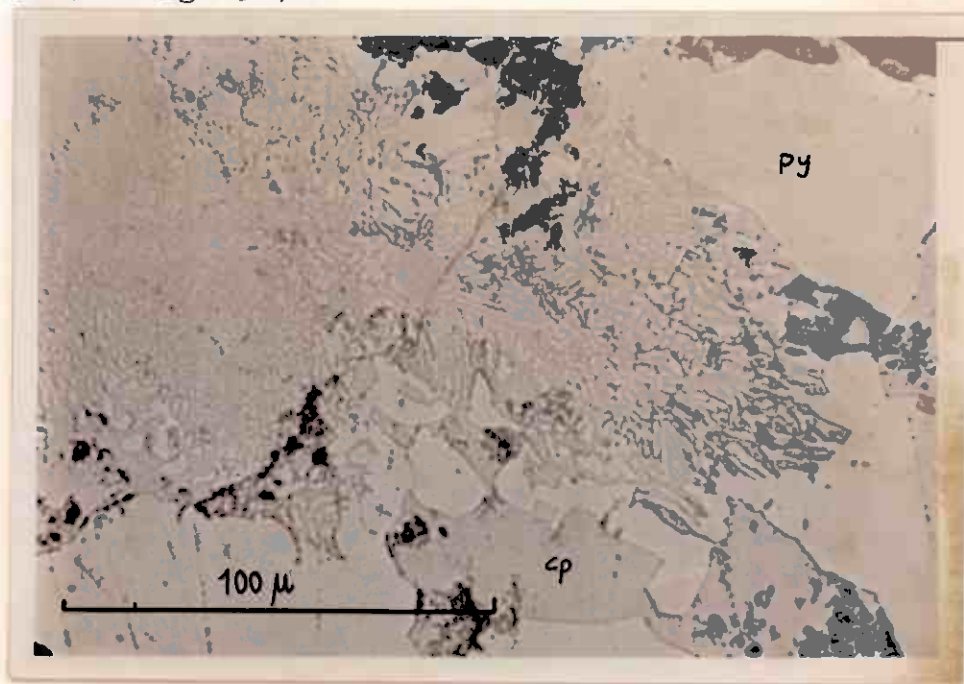


Fig. 30. Avblandings- eller fortrengningstekstur mellom svovelkis (py) og kobberkis (cp).

Sinkblende ZnS.

Ved studie av oppredningsproduktene ble det funnet en karakteristisk "sternchen" av sinkblende på ca 10 mikron midt inne i et større kobberkiskorn.

Ilmenitt FeTiO_3 .

Mineralet har gråbrun farge og er sterkt anisotropt og opptrer som spredte korn på ca. 50 mikron på korngrensen og inne i silikatene. Likeldes viser endel korn sterk tilknytning til sulfidgruppene. Korngrensen er imidlertid ofte mer markert mot sulfidene enn mot silikatene, og det er bare ca 5 % av sulfidgruppene som viser assosiasjon med ilmenitt.

Magnetitt Fe_3O_4 .

Mineralet har grålig farge, er isotropt og opptrer som ilmenitt, men med mindre hyppighet. Det er mulig at kornene forveksles med gunstig orienterte ilmenittkorn. Derimot opptrer en rekke små tildels ørsmå korn eller linser av magnetitt på mindre enn en mikron, dissiminert inne i silikatene og ofte orientert etter silikaters krystallografiske plan.

Ellers opptrer magnetitten i noen prøver som fortrengnings- eller avblandingsfase inne i silikatene (se fig 31).



Fig. 31. Finkorning magnetittfase i silikat Korn.

En lignende tekstur er funnet i pyroksenene rundt spredte serpentiniserte oliviner og tyder derfor på fortrenkning. Ved serpentinisering av olivin med dannelse av Meshstruktur, er det observert noen få anhedrale idiomorfe magnetittkorn på et par mikrons størrelse.

Både ilmenitt og magnetitt opptrer sjelden med over ca 3 areal-%.

Markasitt FeS_2 .

Et kryptokrystallinsk aggregat av markasitt og svovelkis opptrer som et omvandlingsprodukt fra magnetkis, (fig. 26, 28 og 32) og opptrer her delvis som nåler og flammer fra korngrensene og inn langs magnetkisens krystallografiske plan. I sterkt bravoittisert pentlanditt skiller den seg ut ved sin lavere reflektans (fig. 28 og 32).



Fig. 32. Magnetkis (po), kobberkis (cp) og bravoittisert pentlanditt (bv) med omvandlingsproduktene markasitt/svovelkis-aggregat (ma) og limonitt (li).

Limonitt $\text{HFeO}_2 \cdot \text{nH}_2\text{O}$

Den har en gråblå farve med rødbrune indreflekser og opptrer som årer gjennom forvitrede og omvandlede sulfidkorn. Årene går vesentlig langs primære korngrenser eller sprekker og har sterkest tilknytning til magnetkis og bravoittisert pentlanditt, men løper også gjennom kobberkis. (fig. 28 og 32).

Kromitt $(\text{Mg}, \text{Fe}) \text{Cr}_2\text{O}_4$

Den er isotrop med meget lav reflektans og opptrer bare dissiminert i dunittisk bergart. Omtrent 200 mikron store anhedrale til subhedrale korn opptrer med en mindre fase av magnetitt.

Andre mineraler.

Det er også observert noen ørsmå gulhvite mineraler i ett slip og som muligens er en kobolt-forbindelse. Likeledes gjør meget lav kornstørrelse det vanskelig å identifisere et annet blålig unikt mineral, men mye tyder på at det er kobberglans.

4.5.7.3. Genese.

En rekke forskere av sulfidsmelte (Vogt, Wager, Havley og Smith) postulerer alle at likvid blandbarhet eksisterer ved høytemperatur mellom en sulfidsmelte med 1 % silikat og 5-10 % jernoksyd, og en gabbroid smelte med 0.1 % sulfid. Craig og Kullerud (1969) har bevist at jernoksyd øker løselighetene slik at avblandingstemperaturen senkes. Forholdet til Ti-oksyd er ikke funnet omtalt i litteraturen.

I følge mikroskopistudier ser det ut som om ilmenitt og magnetitt utskilles fra sulfidsmelten under avkjøling med

avblanding av sulfid og jernoksydholdig smelte. Fe-rik Cu-Fe-S fase krystalliserer ved 912°C til bornitt, magnetkis og Fe (Grieg 1955). Ti i smelten kunne således sammen med Fe oksydere til ilmenitt og tiloversbleven jern til magnetitt. På den annen side burde mangel på Fe bidra til dannelselse av rutil, hvilket ikke er observert. Den utskilte ilmenitt og delvis magnetitt er ikke regelmessig å se i sulfidgruppene, noe som forteller om dets minerale volum i forhold til resten av sulfidfasen.

Under avkjøling av sulfidsmelten opptrer en rekke interstabile faser i Cu-Ni-Fe-S systemet. Således fryser det en nikkelholdig sulfidfase under ca. 1150°C . Likeledes vil det utskilles en kobberrik væskefase under 1129°C og ofte segregerer denne fra den første fasen og en eventuell nikkelrik sulfid-restsmelte, avhengig av den totale væske-sammensetning. (Kullerud 1969) Se forøvrig fig. 33.

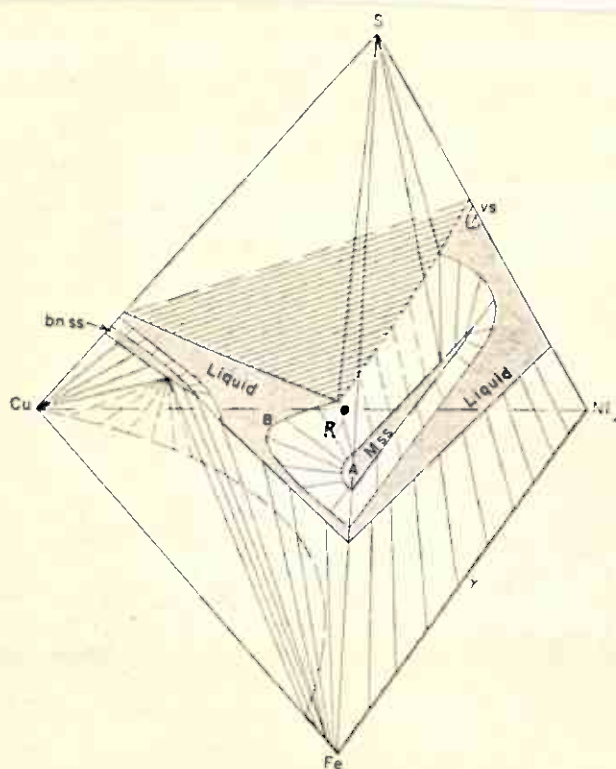


Fig.33. Skjematisk isothermal - diagram av Cu-Fe-Ni-S systemet ved 1000°C . (Etter Craig og Kullerud 1969) Reinfjord sulfidsmelte: R.

Sammensetning for en primær sulfidsmelte fra Reinfjord estimeres til å representere ca 67 % magnetkis, 15 % kobberkis, 15 % pentlanditt og 3 % svovelkis. Den kjemiske sammensetningen er plottet inn i fire-fasediagrammet i fig. 33.

I dette tilfellet vil den kobberrike fasen skilles ut. Fra denne fryser en svovelfattig kobberkis ved ca 970°C , og det tiloversblevne svovel reagerer enten med nikkel-sulfidfasen eller fryser som svovelkis ved 743°C . Det forklarer de enkelte svovelkiskornene inne i kobberkisfasen og den fin kornige avblandingsteksturen som således muligens representerer en kobberkisfase og hvor dråper av utskilt svovelkis er blitt innefrosset. Det representerer neppe en tekstur pga. senere mobilisering av Cu inn i svovelkisen, selv om dette er et vanlig fenomen.

I følge fasediagrammer vil den frosne nikkelholdige sulfidfase, i likevekt med en nikkelrik smelte samt den kobberrike fasen, føre til dannelsen av både magnetkis og pentlanditt. Den første magnetkis dannes som en del av den faste fasen allerede ved 1149°C , mens pentlanditt opptrer som egen stabil fase fra den nikkelrike sulfidsmelte først ved 610°C . Dette forklarer hvorfor pentlanditt opptrer som egne korn og delvis som årer mellom magnetkiskornene.

Vekst av den magnetkisholdige faste fase i en etter hvert nikkelrikere væske har ført til nikkelrikere partier. Ved senere innskrumpet stabilitetsområde for den primære magnetkisfase, er derfor nikkel utskilt med dannelse av pentlandittflammer.

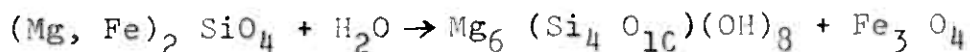
Med dette ansees dannelsen av sulfidgruppene med tilslag av oksyder som forklart.

De små sulfidpartiklene inne i silikatene representerer innevokste væskepartikler. Dissiminerte korn av ilmenitt og magnetitt representerer i likhet med sulfidene avblandede oksyddråper fra magmaet, muligens også via en avblending fra sulfidsmelten. De observerte kormitt- og magnetittkorn i dunittisk bergart representerer som således en kromholdig jernoksydsmelte avblandet fra den dunittiske smelte.

4.5.7.4. Sekundær omvandling.

Som allerede bemerket omvandles pentlanditt og magnetkis under atmosfæreforhold ved dannelselse av henholdsvis bravoitt og markasitt/svovelkis. Bravoitt kan imidlertid også omvandles videre til markasitt. Markasitt dannes under sure forhold, mens svovelkis prioriteres under alkaliske forhold. Svovelkis vil imidlertid også prioriteres ved trykk over 2 atm. Omvandlingen, som skjer ved utlutning av Fe og Ni, men også S, under tilførsel av vann, fører ofte til utfelling av jernhydroksyder.

Omvandling av olivin til serpentin kan i all enkelthet skrives:



Olivinens gitterbundne nikkel kan sammen med jern danne legeringen awaruit ($\text{Ni}_3 \text{Fe}$) eller i nærvær av svovel sulfidet heazlewooditt ($\text{Ni}_3 \text{S}_2$). Mye av jernet vil oksyderes til magnetitt. Dette forklarer de observerte små magnetittkorn i den serpentiniserte dunitten. Undersøkelse med elektronmikroprobeanalysator viste ved fotografisk opptak en fullstendig statistisk fordeling av Ni i hele prøven.

4.6. Andre undersøkelser.

4.6.1. Rasjord.

Som tidligere nevnt ble det innsamlet rasjordsmateriale parallelt med noen av fastfjellsprøvene. Disse undersøkelsene ble utført delvis for å supplere fastfjellsanalysen, se relasjonen til disse, og for eventuelt å danne en brukbar metode ved de videre undersøkelser i det utilgjengelige fjellområdet. Prøvene 616 - 637 representerer fastfjells-punktene 116 - 137. Prøve 701 og 702 er tatt henholdsvis øverst og midt i mineralisering B (se bilag 3).

Etter analyse av 5 siktefraksjoner under 0.4 mm for en fat-tig og en relativt sulfidrik prøve, ble kontrasten for Cu og Ni undersøkt. (se fig. 34).

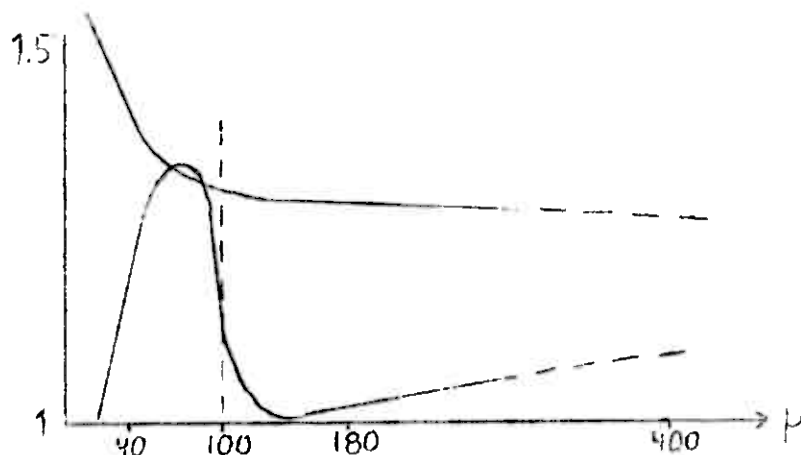


Fig. 34. Metallkontrasten for ulike siktefraksjoner.

Dette viser at fraksjonen + 100 mikron er egnet seg best for analyse på Cu og Ni. Samtlige prøver ble så siktet og analysert ved HNO_3 - oppløsning og atomabsorpsjon med hensyn på Cu, Ni, Co, Fe, Mn og Mg. Analyseresultatene med Cu/Ni forhold er satt opp i bilag 23 og fremstilt i profildiagrammet i bilag 24.

Fig. 34 viser at analysene av fraksjonen +40 mikron er domert av utlutbar silikatbunden Ni pga. serpentinisering. Vektmessig er fraksjonen forholdsvis liten.

Tolkning av diagrammet tilsier følgende:

1. Fe og Mn minker nedover i profilet i likhet med fastfjellsprøven.
2. Cu og Ni øker nedover i profilet i likhet med fastfjellsprøvene.
3. Mg øker nedover i profilet noe fastfjellsprøvene ikke viser så tydelig. Dette kan skyldes større forvitningsgrad for dunitt enn pyroksenitt, eller en gjennomsnittlig olivinanrikning i komplekset nedover prøveserien.
4. Høye Ni-verdier viser ingen relasjon med Mg og skyldes derfor neppe Ni fra serpentinisert olivin.
5. Ni/Cu-forholdet varierer ikke i samme grad som i fastfjellsprøvene og påvirkes antagelig av varierende tilslag av Ni fra serpentinisert olivin.
6. De mineraliserte prøvene har lavere Cu- og Ni-verdier noe som må skyldes materialets oksyderte karakter.

Rasjordsanalysen synes å bekrefte allerede observerte data fra fastfjellsprøvene. Derimot kreves forholdsvis friskt rasmateriale for at metoden kan benyttes ved prospektering. Rasblokk-studium vil nok egne seg bedre.

4.5.8.2. Bekkesedimenter

Bekkesedimentundersøkelsene var vesentlig ment å gi nyttige opplysninger for forslag til eventuelle senere geokjemiske undersøkelser av denne art. Prøvene ble innsamlet henholdsvis over kompleksets mineraliserte bergartsgrense (501-504), langs denne (505-507) og utenfor feltet (508-509). Se bilag 3. Vanntemperaturen under prøvetakingen lå rundt 4°C. Prøvene ble siktet i to fraksjoner og analysert på Ni, Cu, Co, Fe og Mn på normalt vis. Analyseverdiene vises i bilag 25, og Ni- Cu og Co- verdiene er tegnet opp på sannsynlighetspapir i bilag 26.

Studium av bilag 26 tilsier at Cu-analysene gir meget brukbar kontrast for de anomale prøvene. Derimot viser Ni og delvis Co to bakgrunnsverdier, en for metasedimenter og en for peridotitt komplekset. En av de ventede anomale prøvene viser god kontrast for Co ved minste siktefraksjon. Minste siktefraksjon egner seg også best for Cu-analyse.

Ved interpretasjon av verdiene viser prøve 507, tatt fra et lite vannsig ca 30 m under den mineraliserte sone, de høyeste verdier. Verdien av prøve 501 må tolkes til å stamme fra en av de mineraliserte cumulat-medlemmer i komplekset. En må merke seg det dårlige utslaget som rasmateriale og vanntilførsel ned i bekken fra de mineraliserte soner ga, og en må stille seg tvilende til om bekkesedimentinnsamling ville ha bidratt til lokalisering av Cu- og Ni- mineraliseringene.

To konsentrater ved panning viste under 0,02 ppm Pt.

4.6.3. Geofysikk.

Det eneste aeromagnetiske profil som NGU har fløyet over massivet er inntegnet på bilag 2. Detaljundersøkelser av skrive- og fotoruller har frembragt materiale som etter bearbeidelse er opptegnet i bilag 27.

Tolking av bilag 27 tilsier at målingene meget tydelig gjenspeiler topografien og det magnetiske innholdet i selve ultrabasitten og den lagdelte gabbroen. Siden målingen er utført så nær fjellmassivet, vil dette overskygge et eventuelt magnetisk tilskudd for massivets dyp. En kan derfor ved denne enkle betrakning ikke slutte noe om massivets dybde.

Spesifikk vekt av komplekset er fastslått til ca. $3,37 \text{ g/cm}^3$. Tyngdemålinger utført av Brocks, se side 6, er foretatt regionalt. Noen få målepunkter langs strandlinjen i Rein-fjord danner ikke grunnlag for å tolke dybden i det mafiske komplekset.

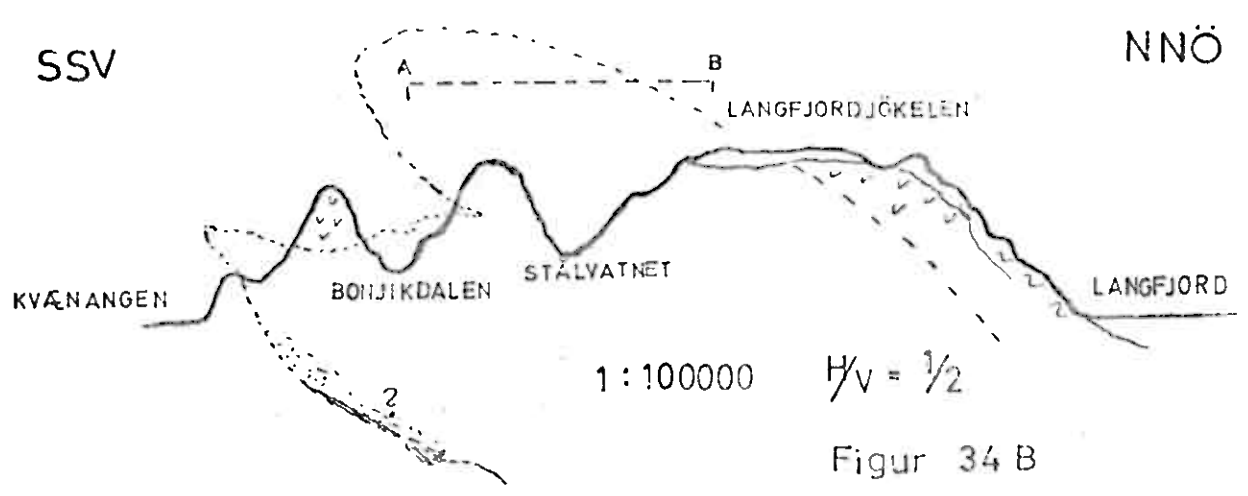
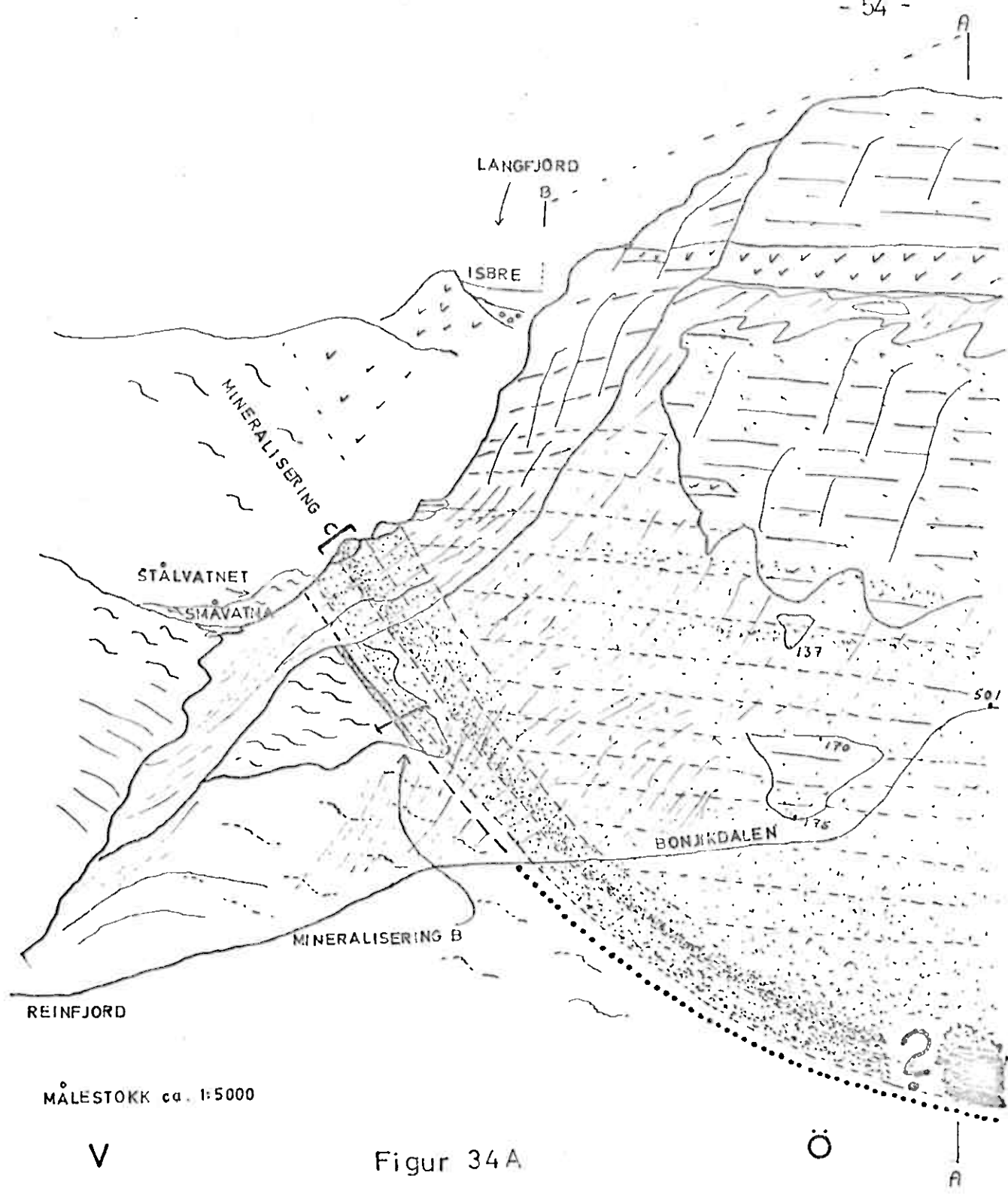
4.5.9. Malmgeologisk tolkning.

Mikroskopstudier sammen med svovel og metall-analyser bekrefter at det har foregått en segregasjon av dissiminererte avblandede sulfiddråper i det ultrabasiske magmaet. På grunn av kobberets større kalkofile egenskaper, og muligens også på grunn av differensiell segregasjon av ulike sulfidfaser, vil Cu/Ni-forholdet øke mot bunnen i komplekset og er et klassisk eksempel på det overnevnte fenomen.

Noen små sulfidpartikler sitter innesluttet i massivets silikater, mens mengden og samtidig størrelsen på interstedsielle sulfidkorn øker nedover i komplekset. Strømninger i magmaet eller rolige cumulat-perioder har ført til mindre sulfidkonsentrasjoner i enkelte av pyroksenittmedlemmene i komplekset. Alle analyser og analysyeforhold tyder imidlertid på at størsteparten av sulfidene er anriket under vertikalprofilets laveste prøvepunkt, punkt 175.

Sulfidmineraliseringen langs en avkjølingssone i magmaet, mot metasedimentene, viser at sulfidanrikningen her har skjedd på et tidlig stadium og før dannelsen av cumulater på tilsvarende nivå. Mineralisering B må være dannet umiddelbart etter intrusjonen og ut fra den sulfidmengde som var tilstede lokalt i magmaet, og med tilførsel av noen segregerte sulfiddråper i det innerste partiet. Kontakten danner nemlig en vinkel på ca 30° med segregasjonsretningen (se fig. 34) neste side.

Sulfidene langs denne sone ansees ikke dannet ved svoveltilførsel fra bergartene under intrusjonen da både metasedimentene og den lagdelte gabbroen er svovelfattige..



Som en ser av fig. 34. tolkes mineralisering C å være dannet senere enn mineralisering B, men likevel før hoved-cumulat-prosessen tok til . Mineralisering C, som representerer den rikeste blottede sone med opp til 3 % sulfider, stammer sannsynligvis fra den perioden hvor hovedsegregasjonen av sulfidene foregikk i magmaet in situ. Sulfiddråper er fanget opp mellom silikatkornene langs kammerets rue krystallisasjonsfront, men på grunn av skrånende vinkel og at partiet representerer magmakammerets ytterkant vil konsentrasjonen sjelden overstige de påviste 3 % sulfider.

Segregasjon av sulfiddråper i magmaet in situ vil gi de største konsentrasjoner mot eller nær bunnen av det ultrabasiske magma. Under gunstige bestingelser kan sulfidene anrikes i så store mengder at de nærmest utgjør en massiv malmlinse. Konsentrasjoner av denne art vil man derfor i første rekke finne på magmaets horisontale bunn og under de sentrale partier hvor vertikal tykkelse på magma såvel som mineralisering vanligvis er størst. I figur 34 er antydnet mineralisering B og C's forløp mot kompleksets bunn.

En del av det primære magmas sulfider kan ha utvandret fra magmaet allerede før det kom på plass. En flytende sulfidsmelte av denne art kan enten ha forlatt magmaet før eller under intrusjonen og vil i det sistnevnte tilfelle finnes injisert på sprekker og forkastningssoner eller inn mellom lagdelte bergarter. Endelig kan det ha fulgt med magmaets bunnparti under hele intrusjonen og vil være å finne i kontakten mellom det krystalliserte magma og bergarten under. Det er ikke funnet bevis verken for eller imot at noen av disse prosesser har funnet sted,

At det har foregått en segregasjon av sulfider i magmaget in situ er allerede bevist. At segregasjonen har stanset på grunn av størkende magma og således ikke ført til konsentrasjoner ansees som motbevist i og med anrikninger i mineralisering B og C.

Dannelsesteorier med støtte i mekaniske og fysiske lover og undersøkte forekomster tilsier at konsentrasjonen mot bunnen av komplekset er større enn i de påviste mineraliseringer B og C. Hvor stor del av den segregerte sulfidmengden som er konsentrert på bunnen av komplekset kan det derimot ikke sies noe sikkert om. Komplekset er i sin helhet tilnærmet uberørt av senere tektonikk, og den konsentrerte sulfidmengde ansees derfor fortsatt å befinne seg i intrusivets bunnparti.

Kilburn (1969) klassifiserer en rekke kanadiske ultrabasiske intrusiver til å være av vulkansk type. Tilhørende Cu-Ni-mineraliseringer finnes mest ved massivets bunn, noe er disseminert (se fig. 35), men sjelden inngår noe i sidebergartene. Mindre peridotittlinser av vulkansk type finnes konkordant med gabbroide serier på Seiland, men det er hittil bare påvist mindre mengder sulfider. Hvorvidt en sammenligning av Reinfjords ultramafiske kompleks med kanadiske og via seilandske peridotittlinser skal tolkes positivt eller negativt, finnes det for dårlig materiale til.

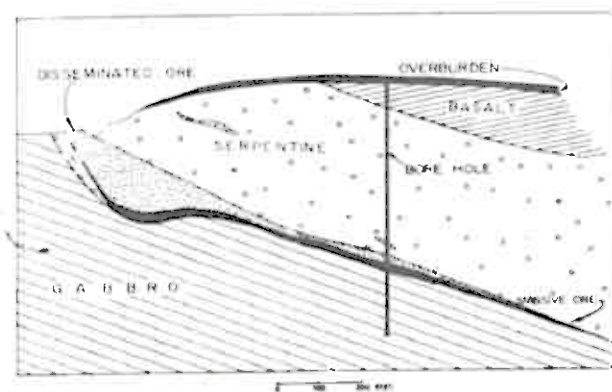


Fig. 1. Cross section showing the geology of the Katiniq sill, Ungava district; and the location of the borehole sampled for analysis.

Fig. 35: Et eksempel på kanadisk intrusiv av vulkansk type. (Wilson 1969)

5. OPPREDNINGSUNDERSØKELSER

5.1. Sulfider.

5.1.1. Generelt.

Ved oppredningsundersøkelsene ble det tatt sikte på å klarlegge noen oppredningskarakteristikker som har betydning for fremstilling av salgbare konsentrater. Dissiminerte forekomster av Cu- og Ni- sulfider oppredes vanligvis ved flotasjon under fremstilling av et sulfid-bulkkonsentrat. I enkelte tilfeller kan kobbersulfidene floterer selektivt, men nikkelsulfidene kan sjelden skilles fullstendig fra magnetkisen på grunn av finkornig sammenvoksing. På grunn av lave rågodsverdier, vil alltid bergartsmineralene volde problemer og en er derfor nødt til å foreta reflotasjon i flere trinn.

5.1.2. Forundersøkelser.

I tillegg til mikroskopistudier av uknuste malmprøver ble kvalitative og kvantitative elementanalyser lagt til grunn ved bestemmelsen av prøvematerialet fra de to mineraliseringsprofilene B og C. Ved mikroskopistudier (omtalt tidligere) ble friknusningsgraden for ca. 80 % sulfider anslått til ca 40 mikron eller ca 400 mesh. Frikorn av pentlanditt ga forhåpninger om fremstilling av et nikkelrikt konsentrat.

Prøvene var lite representative for flotasjonsundersøkelsen da de de var tatt i dagoverflaten og har som således vært gjenstand for oksydasjon. Likeledes var sulfidmengden meget lav (ca 1/10 av en brukbar cut-off-grade) så prøvene egent seg svært dårlig for oppredningsforsøk.

Ut fra de anslåtte sulfidforhold (se side 48) skulle det teoretisk være mulig å fremstille et sulfidbulkkonsentrat med ca. 5.3 % Cu og ca. 5.2 % Ni, og i følge mikroskopistudier

av pentlanditt et Cu-Ni- konsentrat med ca. 20 % Cu og ca 15 % Ni, foruten et nikkelholdig magnetkiskonsentrat med ca. 2 % Ni.

5.1.3. Forsøksmetodikk.

På grunn av den svært beskjedne sulfidmengden var det nødvendig å operere med større prøvemengder. Prøvene ble grovknust, splittet og slått sammen med lik vektfordeling for hver profilmeter. Det ble således fremstilt to prøver, ett fra hver mineralisering. Prøve 202-209 dannet serie B og prøve 303-303 dannet serie C, og de representerer mineraliserings-bredden på henholdsvis 32 og 20 meter.

Flytskjema for oppredningsundersøkelsene er vist i bilag 28.

Prøvene ble nedknust til ± 1.65 mm og deretter splittet i forsøksmengder á 1 kg. Etter et orienterende maleforsøk ble to prøver fra hver serie malt med maletider fra 25 til 35 minutter i en 200 x 100 mm laboratoriemølle med 6 kg kuler og 1 l vann. Nedmalingsgraden er vist i bilag 29-31 og varierer fra 53-78 % ± 200 mesh (0.074 mm). Bilag 29 representerer det første orienterende maleforsøk. Samtlige siktefraksjoner ble samtidig studert i binokular.

Etter nedmaling ble pulpen fortynnet til 25 % fast i en Mortenson flotasjonscelle, gjort sur med H_2SO_4 (pH 5), agitert i 5 min med 40 g/t K-etylksantat (KEX), tildryppet "Aerofroth 65" skummer og flotert. Deretter ble det tilsatt ytterligere 40 g/t KEX og flotert igjen. For serie B-2, C-1 og C-2 ble det flotert ytterligere to ganger med 100 g/t KEX. For serie C-2 ble dessuten de to første konsentrater avflotert fra en basisk pulp (pH 9). På grunn av den lave sulfidmengden ble det ikke gjort forsøk på å trykke bergartsmineraler med Na-silikatopløsning.

De frembrakte bulkkonsentrater utgjorde så små mengder at det var utopisk å tenke på reflatasjon med henblikk på å skille ut medfloterte bergartskorn.

Siden pentlanditten forekom vesentlig som frikorn kunne det derimot tenkes å trekke ut den magnetisk og muligens Ni-fattige magnetkisen. Første flotasjonskonsentrat fra serie C-1 ble som forsøk skilt i et magnetisk og et umagnetisk konsentrat ved hjelp av en Dings magnetseparator. Det ble benyttet en strømstyrke på 1.2 ampère i 10 min og prøver á 1 gram.

Konsentrat C-1-I ble våtsiktet med en Warman Cyclosizer for å fastslå metallfordelingen i fraksjonene.

De fremstilte produkter ble tørket, veid og analysert på S ved forbrenningsmetoden og på Cu, Ni, Co, Fe og Cr ved HNO_3 -oppslutning og atomabsorpsjon. En del av prøvene ble også siktet og studert i binokular. Produktene utgjorde tildels svært små mengder, men med møyssommelig fordeling rakk det til nesten alle undersøkelser.

Det ble også fremstilt polerslip av C-1 og C-2's fire konsentrater samt av de magnetiske og umagnetiske konsentrater. Ved studium av disse var det praktisk talt umulig å skille alle frikorn av magnetkis fra bravoittisert pentlanditt samt svovelkis fra pentlanditt. Andre praktiske grunner var også avgjørende for at det bare ble foretatt enkle kvantitative undersøkelser. Halvkornandelen ble anslått visuelt. Ved søking i slipet ble endel halvkorn talt opp, og det gav et relativt bilde halvkorn typene imellom. På grunn av for lite materiale til slipene ble det for eksempel i ett slip observert bare to halvkorn. Undersøkelsen må derfor betraktes som av kvalitativ art.

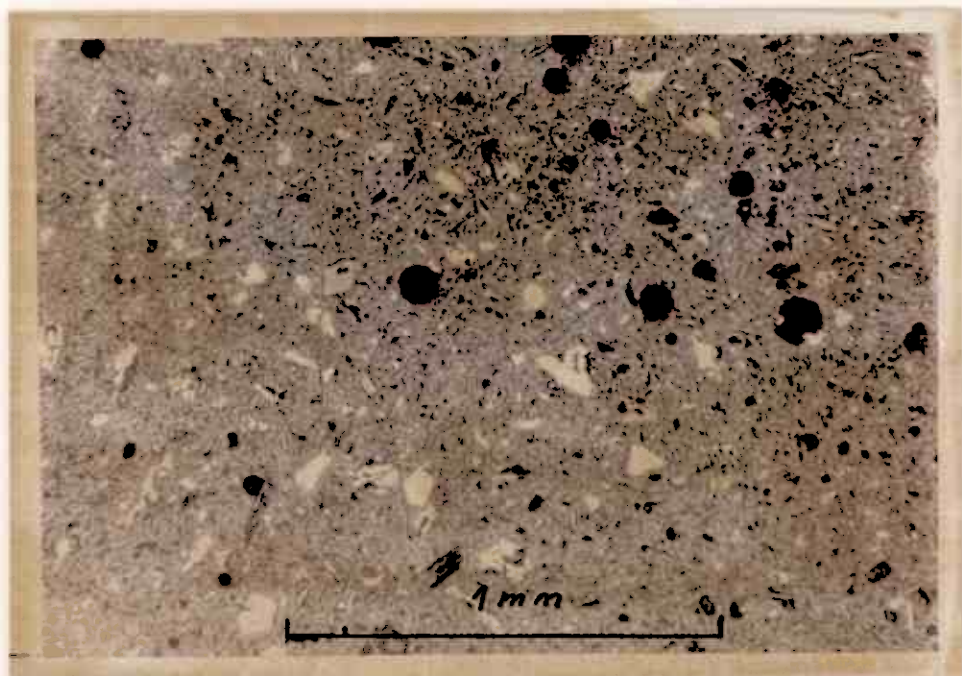


Fig. 34. Pulverslip av flotasjonskonsentrat viser bergartskorn og ca 7.3 areal-% sulfider i en grunnmasse av bakalitt. Det vil for en bergartsprøve av samme visuelle karakter tilsvare rundt 0.3 % Ni og 0.3 % Cu.

5.1.4. Tolkning av resultatene.

Analyseresultater og beregninger finnes i bilagene 32-34. Resultater fra telling av halvkorn i pulverslipene vises i bilag 35.

Utvinningen for Cu ligger rundt 60 %, men ved flotasjon med pH-9 økte utvinningen til 78 %, og en må derav slutte at pH 5 virker trykkende på kobberkisen. Pulverslipstudium viste at den kobberkisen som floterer i de siste konsentrater, vesentlig er halvkorn. De gjenværende ca. 20 % Cu er å finne som finfordelte kobberkiskorn innesluttet i silikate, smittede bergartskorn og slam. Ved binokularstudium av avgangsmaterialet var det ikke mulig å observere noen kobberkiskorn. Mikroskopering (fig.27) viste at endel kobbersulfider var finfordelt i silikat-kornene, og vil neppe la seg opprede. Det er trolig at høyere pH og ytterligere nedkussing vil øke utvinningen. I følge forsøk B-1 og B-2 antas 75% +200 mesh å kunne gi minst 90 % utvinning.

Utvinningsgraden av Ni er derimot svært dårlig, fra ca 40-60 % ved alle forsøk. En rikere pågang gir bedre utvinning av Ni i likhet med Cu. Problemet med utvinning kan skyldes dårlige flotasjonsegenskaper av forvitrede bravoittiserte korn, smittede bergartskorn som ikke floterer trykking av nikkelholdig magnetkis eller pulverisert bravoitt i slammet. Forsøk B-1 og B-2 tyder på at ytterligere nedknusing vil øke utvinningen. Binokularstudium bekrefter dette ved å vise bergartskorn smittet med bravoitt eller magnetkis. Det er mulig at de smittede bergartskorn vil flotere under driftsskala. Delvis basisk pulp ser også ut til å kunne øke utbyttet. Ved den ovennevnte friknusingsgrad antas det mulig å ha en utvinning på 75 % eller 85 % for friske prøver.

Utvinning av S er noe bedre, og den rikere prøven viser utvinning på nesten 80 %. Ytterligere utbytte får en tydelig ved større nedmaling. I likhet med kobberkis finnes noe magnetkis som små korn spredt inne i silikatene og vil neppe la seg opprede.

Da oppredning av et fattig rågods av denne type også fremtvinger refflotasjon, er utvinningen ved første flotasjon en meget viktig faktor. Sulfidgehalten som her varierer fra 30 - 50 %, kommer først i annen rekke. En vil anta at refflotasjon med egnede trykkeragenser kan fjerne det meste av bergartsmineralene uten større tap av Cu og Ni. En kan således ved den antydende nedknusing tro at det rensede konsentrat skal kunne bringes opp i minst 90 % sulfider.

Forsøksresultatene indikerer også at det skulle være mulig å flotere et høyprosentlig Cu-konsentrat ved refflotasjon av Cu- Ni- produktene med egnede trykkere for magnetkis og pentlanditt..

Likeledes skulle det være mulig å fremstille et høyprosentlig Ni-konsentrat, men en vil ved siden av å få et pentlanditt-magnetkiskonsentrat på grunn av intime sammenvoks-

ninger mellom de to sulfider. Forsøk tyder på at ca 30 % av pentlanditten vil havne i dette siste konsentrat.

5.1.5. Konklusjon.

De to forsøksseriene viser tilnærmet lik oppførsel, men utvinningen synes å ligge noe høyere for det "rike" rågodset. For en nedmaling på ca 75 % +200 mesh anslås utvinningen til ca 90% for Cu, ca 85 % for Ni i et uforvitret rågods. Reflotasjon kan derpå gi et konsentrat på 90 % sulfider med anslagsvis 4 % Cu, 3 % Ni og 0.3 % Co.

Om markedssituasjonen gjør det lønnsomt lar det seg gjøre å reflatere bulkkonsentratet med hensyn på et særskilt Cu-konsentrat. Det vesentlige av Ni-innholdet vil konsentreres i avgangen og kan ved senere flotasjon danne et særskilt Ni-konsentrat. En vil derimot samtidig få dannet et pentlanditt-magnetkis-konsentrat i avgangen. Outokumpu's anlegg i Kotolahti benytter en fremgangsmåte hvor en fremstiller et bulkkonsentrat for senere separasjon i et Cu-konsentrat og et pentlanditt-magnetkiskonsentrat.

5.2 Silikatbundet nikkel.

Det ble også foretatt undersøkelser på om det lot seg gjøre å fremstille et olivin-konsentrat rikt på gitterbundet nikkel, da et slikt konsentrat muligens vil ha et marked i fremtiden.

Å anrike gitterbundet nikkel ved oppredning kan teoretisk bare skje dersom Ni-atomene sitter anrikt i bestemte mineraler, partier av mineraler eller andre konsentrerte områder større enn praktisk oppredningsfinhet. Olivin er i dette tilfellet det eneste aktuelle mineral hvor gitterbundet Ni er anrikt i noen grad.

Olivin inneholder maksimalt ca 0.3 % gitterbundet Ni enten mineralet sitter som spredte korn i en pyroksenitt eller utgjør hele bergarten som i en dunitt. Med elektronmikroprobe-analysator ble det fastslått at samtlige korn i en dunittprøve hadde samme Ni-innhold, og i de samme undersøkelser kunne ei heller påvises konsentrasjoner av Ni i noen som helst form innen eller mellom de enkelte olivinkorn. Anrikningsproblemet synes derfor å høre innunder det metallurgiske fagområdet.

6. VURDERING AV ØKONOMISKE PRODUKTER

6.1. Sulfidene.

6.1.1. Generelt.

De fremstilte oppredningskonsentrater er i seg selv lite representative for en vurdering av eventuelle salgbare produkter. En må derfor basere seg på en vurdering av de konsentrater som synes praktisk mulig etter å ha studert mineraliseringens oppredningskarakteristikker.

På grunn av praktiske tidsvansker lot det seg ikke gjøre å fremskaffe analyseresultater for edelmetallene, og den ene platina-analysen som ble utført fra mineraliseringen, var ikke brukbar for kalkulasjoner av denne art. Det har også vært vanskelig å finne ut av Ni-konsentratenes salgsverdier, så det følgende må tas med en klype salt.

6.1.2. Konsentrattyper.

I følge kjemiske analyser og oppredningsforsøk vil det være aktuelt å fremstille følgende produkttyper:

1. Sulfidbulk konsentrat med ca 4 % Cu og 3 % Ni
2. Cu-konsentrat med ca 25 % Cu
3. Ni-konsentrat med ca 25 % Ni
4. Ni-magnetkiskonsentrat med ca 3 % Ni
5. Ni-magnetkiskonsentrat med ca 1 % Ni.

En kan av oppredningstekniske grunner velge mellom følgende kombinasjoner: punkt 1, punkt 2 + 3 + 5 og punkt 2 + 4.

En fremstilling av flere konsentrattyper fordyrer som regel oppredningskostnadene, men konsentratgehalter, marked og priser vil til enhver tid avgjøre hvilke av konsentratkombinasjonene som vil lønne seg.

Cu-konsentratet levert c.i.f. vil på grunn av at frakt og smeltelønn betales etter konsentratmengde, ha en svært gunstig metallpris i de rikere konsentrater. Metallprisen på Ni-rikere konsentrat vil vise lignende trend som Cu, men vil for fattigere konsentrater nesten bare være påvirket av smeltefradraget på 1 %.

6.1.3. Marked og priser.

Metallurgiske anlegg som foredler Ni- og Cu- konsentrater av ovennevnte type drives blant annet av INCO i Canada og Outokumpu i Finland.

I Outokumpu's anlegg i Harjavalta foregår delvis reduksjon av Ni-konsentratet (ca. 6 % Ni og 0.5 % Cu) og Cu-konsentratet (20-26 % Cu) under produksjon av SO₂-gass. Etter smelting fremstilles rent kobber og nikkel ved raffinering. Det er således anledning til å ta vare på anodeslam med Au, Ag, Se, Ni, etc. ved kobberraffinering, og ved nikkelraffinering tas det vare på Cu og Co ved kjemisk utfelling. En kan altså oppnå betaling for Cu, Ni, Co og S foruten de edle metaller som måtte finnes i Cu-konsentratet.

Ni-magnetkiskonsentratene (levert c.i.f.) betales etter metallprisen. Smeltetrekket er på 1 % Ni og smeltelønnen på ca. 7 kr/kg Ni eller minst 300 kr/tonn konsentrat. Det betales indirekte for noe av svovelet gjennom allerede lavere smelteutgifter, og en kan videre få betalt for ca. 10 % av Co-mengdene etter metallpriser.

Cu-konsentratene (levert c.i.f.) betales på tradisjonell måte, dvs. etter LME-kurs med smeltetrekk på ca 1 % Cu, smeltelønn på ca 130 kr/tonn konsentrat, raffineringsslønn på ca 500 kr/tonn Cu , og med betaling for endel av nikkelet samt edelmetaller etter metallpriser.

Ved levering av Cu- eller Ni- konsentrater til anlegg i Canada betales for Cu, Ni samt edelmetaller, og med fratrekk av smeltefradrag, smeltelønn og raffineringslønn.

Prisene på metaller er som følger. (London pr. 11.nov. 1971).

Kobber, katode	£	401,5	pr. tonn	kr. 6.86 pr kg
Nikkel, raffinert	£	1246,5	- " - " -	" 20,13 pr kg
Kobolt	£	2,038	pr. kg.	" 34,85 pr kg
Sølv	£	0,526	pr. troy oz	" 0.29 pr. gr.
Gull	£	17,071	- " - " -	" 9,39 pr. gr.
Palladium	ca £	14	- " - " -	ca " 7.75 pr. gr.
Platina	ca £	44	- " - " -	" 24,- pr. gr.

Likeledes var prisen på sulfider kr.1.18 pr tonn og konsentrat % -svovel.

6.1.4. Produktverdier.

Ved de nedenfor ulike konsentrater og salgsmåter går en ut fra det antatte bulkkonsentrat på ca 4 % Cu, 3 % Ni og 0.3 % Co. Ett tonn bulkkonsentrat har en metallverdi på henholdsvis 275 kr. for Cu, 600 kr for Ni og 100 kr for Co, eller tilsammen kr.975,-. I samtlige kalkulasjoner nedenfor har en regnet tilbake til bulkkonsentrat-verdi.

Ved salg av bulkkonsentratet som et Ni-produkt til Harjevalta, anslås flg. kalkulasjon for ett tonn konsentrat:

Betaling av Ni:	kr.20,13 · (3-1)·10	= kr.400
- " -	Cu: tvilsomt	-
- " -	Co: for lav gehalt	- kr.400
Smeltelønn (minimumspris)		300
c.i.f.		50 kr.350

Bulkkonsentrat-verdi kr. 50

Salg av bulkkonsentrat som et Cu-produkt til Harjevalta, vil avhenge av betaling for Ni:

Betaling av Ni: anslagsvis	kr.200	
- " - " - Cu: $kr.6,86 \cdot (4-1) \cdot 10$	<u>kr 200</u>	kr.400
Smeltelønn	kr.130	
Raffineringslønn $kr.500 \cdot 0,04$	" 20	
c.i.f.	" 50	<u>kr.200</u>
<u>Bulkkonsentrat- verdi kr.200</u>		

Ved salg av et Cu-konsentrat og et Ni-magnetkiskonsentrat til Harjevalta, antas følgende:

Betaling av Ni:	kr.400	
Smeltelønn + c.i.f.: $kr. 50 \cdot \frac{84}{100}$	<u>= kr.295</u>	kr.105
Betaling av Cu: $kr.6,86(25-0.8) \cdot 10 \cdot \frac{16}{100}$	<u>= kr.265,-</u>	
Smeltelønn, raffinering, c.i.f.		
$(130 + 500 \cdot 0.24 + 50) \frac{16}{100}$	<u>= 45</u>	" 220
<u>Bulkkonsentrat-verdi kr.325</u>		

Salg av rike Cu og Ni-konsentrater samt Ni-magnetkiskonsentrat er beregnet etter salg av Cu- og Ni-produkter til Harjevalta og alternativt Ni-magnetkiskonsentratet (1 % Ni, 54 % Fe og 36 % S) på det åpne marked som jernmalm (alt.II) eller som svovelmalm (alt III).

Ni-kons: $kr.20,13 (25-1) \cdot 10 \cdot \frac{8}{100}$	kr.385	
Smeltelønn + c.i.f.: $kr.350 \cdot \frac{8}{100}$	<u>" 30</u>	kr.355
Cu-kons.	" 220	
Magnetkiskons.		
Alt. I Nikkelfratrekket er 1 %	-	
Alt II $kr.60,-kr1,60(60-54) \cdot \frac{80}{100}$	kr. 40	
Alt III $kr.1,18 \cdot 36 \cdot \frac{80}{100}$	(" 35)	
c.i.f: $kr.50 \cdot \frac{80}{100}$	" 40	" 0
<u>Bulkkonsentrat-verdi kr.575</u>		

6.1.5. Diskusjon.

Ved en utvinningsgrad på 90 % for Cu og 85 % for Ni representerer den siste beregning en råmalmverdi på $(395+245)$ kr $\approx$ kr.640,- pr tonn bulkkonsentrat. En oppredningsfaktor på 10 tilsier en råmalmverdi på kr.64,- og med en Cu-, Ni mineralisering på rundt 0.4 % Cu og 0,3 % Ni.

Økonomisk sett skulle dette tilsvare et anlegg med en produksjon på 300.000 tonn råmalm, og med 5 års avskrivning og fortjeneste (Nielsen 1971). Se bilag nr. 36. Dette krever en forekomst på minst 1.7 mill tonn med 10 % malm-tap, og representerer en brutto råmalmverdi på ca. 110 mill kr.

Ved vurdering av de økonomiske produkter på grunnlag av analyser og oppredningsforsøk med tildels oksyderte prøver, er usikkerheten stor. For å få forståelsen av dette kan man gjøre følgende vurdering:

Mikroskopi-studier og flere kjemiske analyser tilsa for mineralisering C et Cu/Cu+Ni-forhold på 0,5. Rågodset til oppredningsforsøkene hadde et Cu/Cu+Ni-forhold på 0.57. Ved bravoittisering lutes ca. 30 vekt-% av Ni ut, noe som gir et Cu/Cu+Ni-forhold på ca 0.60. Det er derfor god grunn til å anta et likt Cu- og Ni-forhold før dagomvandling.

En kan av samme grunn estimere bulkkonsentratet til å holde 4 % Ni mot tidligere antatt 3 %. Dette øker de optimale salgsproduktenes verdier med 20 % eller rågods-verdien med hele 25 %. Malmkvalitet på 0.4% Cu og 0.4 % Ni har således en råmalmverdi på ca 80 kr og fordrer en malm-mengde på 900.000 t ved 10 % brytningstap og 5 års avskrivning. Dersom en ikke tar hensyn til bravoittiseringen, kan en således komme i fare for å postulere den dobbelte malmmengden for at forekomsten skal kunne være drivverdig.

På den annen side viser beregninger at dobbelt så stor forekomst er drivverdig med 0.3 % Cu og 0.3 % Ni.

Nedenfor er beregnet den potensielle råmalmsverdien for mineralisering B og C.

	Pris kr/kg	Gehalt kg/tonn		Metallverdi kr/t	
		Prøve B	Prøve C	Prøve B	Prøve C
Cu	6.86	0.25	0.78	1.72	5.35
Ni	20.13	0.37	0.59	7.42	11.90
Co	34.85	0.039	0.048	1.36	1.67
Potensiell råmalmverdi				10.53	18.92

For en malm med ca 0.3 % Cu, 0.3 % Ni og 0.03 % Co samt en råmalmverdi på kr.64.-, beregnes en potensiell malmverdi på kr. 90.50. Den potensielle malmverdien for mineralisering C er justert til kr.22.62 pga. bravoittisering, og relasjonen tilsier således en praktisk råmalmsverdi på kr.16.10. Dette er langt under hva som er lønnsomt for gruvedrift, og selv dagbrudd med årsproduksjon med 1,5 mill tonn forlanger den dobbelte råmalmsverdi.

6.1.6. Konklusjon.

Vurderingene har vist at det finnes marked for de mulige produktene. Kombinasjonen med separate høyverdige Cu- og Ni konsentrater gir mest gevinst. Dette til tross for at 30 % av pentlanditten inngår i et magnetkiskonsentrat, og som sådan ikke er salgbart som Ni-konsentrat. Derimot kan det til nød selges som jernmalm eller som råstoff for svovelfremstilling dersom frakt etc. kommer under 50 kr/tonn konsentrat.

Ut fra salgsinntekten kan postuleres en industriell minstegehalt til bruk ved estimering av minste økonomiske malm-mengde. Beregninger viser at den estimerte tonnasje vil bli

det dobbelte av hva en får om en justerer Ni-verdiene pga. bravoittisering. Undersøkelser viser nemlig at en slik justering kan være forsvarlig, og et bulkkonsentrat av uomvandlet malm estimeres av den grunn til å holde 4 % Cu, 4 % Ni og 0.3 % Co.

En beregning av praktisk råmalm-verdi for mineralisering C tilsier at den 20 m brede dissiminerte sulfidsonen ikke er drivverdig. For senere undersøkelser bør en heller konsentrere seg om å lokalisere en dissiminert Cu- Ni-forekomst på 900.000 t til en praktisk verdi av 70 mill kr. og med gehaltene 0.4% Cu og 0.4 % Ni, eller en dissiminert forekomst på 1,7 mill tonn til 100 mill kr. og gehaltene 0.3 % Cu og 0.3 % Ni.

6.2. Ni-holdig olivin.

6.2.1. Mineralisering.

Oppe på fjellplatået av Reinfjords ultramafiske kompleks er det blottet store mengder dunittisk peridotitt og rene dunitter. Prøve 20 med Fo₈₇ representerer et parti med grovkrystallinsk smuldrende olivinstein. Tynnslip viser en uforvitret olivinstein, men med et sterkt oppsprukket mønster. Silikatbunden Ni utgjør 0.26 % Ni foruten ca 0.4 % Cr.

6.2.2. Marked.

Olivin til formsand bør være grovkrystallinsk og fri for vannholdige mineraler. Prisen ligger på 240-270 kr/tonn.

God olivinstein er meget etterspurt til fremstilling av høy-ildfast materiale. Kravene som stilles er: hårdeste type olivin, fri for sekundære mineraler, finkrystallinsk

og vannfri. Dessuten må jerninnholdet være så lavt som mulig da dette senker smeltetrykket for den ildfaste steinen. (Sverdrup 1967).

De vanligste oliviner har 5-25 % FeO og 37-52 % MgO.

Ildfast stein fremstilles fra olivin av A/S Olivin på Sunnmøre. Nikkel og krominnholdet av olivin kan være av verdi da det under smelting av olivin skilles ut nikkelholdig jern på bunnen av smelten. Stavanger Stål benytter nikkeljernet til konkurransepris, og nikkelgehaltene i olivinen betaler således hele smelteprosessen samtidig som forsteritten blir mere holdfast. Prisen ligger på 94-111 kr/tonn c.i.f.

7. K O N K L U S J O N

Det fremlagte materiale danner et av de mer grundige og detaljerte malmgeokjemiske arbeider som er foretatt innen det basiske og ultrabasiske massiv i Vest-Finnmark og Nord-Troms. Reinfjords ultramafiske kompleks bestående av lagdelte peridotitter, dunitter og pyroksenitter, er nokså unik for resten av feltet og representerer i seg selv en sjeldenhet hva angår uberørte cumulater og cumulat-teksturer. Det beskrevne vil derfor være av stor interesse for senere geologiske og malmgeologiske arbeider og ikke minst i prospekteringsøyemed; og ikke bare her til lands.

Det er ikke foretatt noen alderdatering av bergartene, men geologiske arbeider av M.C. Bennet (1971) har bragt for dagen en rekke termale soner rundt massivet som beviser dets intrusjon i allerede dannede metasedimenter og lagdelte gabbroer.

Vertikalprofil på tvers av cumulat-seriene viser en rekke petrokjemiske og malmgeokjemiske interessante trekk, og må som således være karakteristisk for hva en måtte finne i et ultramafisk kompleks av denne typen.

Analyse-verdiene viser forholdsvis stabile trender, men med enkelte forstyrrelser som tolkes som spor etter veks-lende strømningsaktivitet i kammeret. Likeledes bekrefter analysene at et par gabbroflak midt i komplekset må være rester av den omliggende gabbro. Bruken av optisk spektro-graf for silikatanalyse må karakteriseres å ha vært en egnet metode for disse undersøkelsene.

Studie av de rapporterte mineraliseringene langs massivets steile kontakt mot metasedimentene, viser at disse er dan-

net på et tidlig stadium i magmaets historie. Segregasjon av avblandede sulfiddråper har skjedd mot en groende avkjølingssone innover i massivet, og denne sone har blitt over 100 meter tykk før cumulater er dannet på tilsvarende nivå inne i magmakammeret. Sulfidenes intensitet veksler, og den rikeste påviste mineralisering ligger anslagsvis 30-40 meter fra magmaets ytterkant og med maksimalt 3 % sulfider.

Mikroskopistudier identifiserer delvis deformerte interstedsielle sulfiddråper med et relativt innhold av 15 % pentlanditt, 15 % kobberkis, 67 % magnetkis og 3 % svovelkis. 20 % av pentlanditten forekommer som innevoksningsringer i magnetkis, og dagforvitring markerte seg ved delvis sterk bravoittisering.

Analyse på sulfidbundne elementer med HNO_3 -oppslutning ga meget tilfredsstillende resultater med henblikk på å fastslå forholdet til gitterbundet Ni. Analyse på elementene Zn, Sr og Zr syntes ikke å vise noen relasjon ved mineraliseringen. Derimot ble det klarlagt en rekke forhold S, Ni, Cu og Co innbyrdes. Herav stakk Cu seg markant ut ved å vise sin overlegne kalkofile karakter og karakteristiske forhold overfor spesielt Ni. Bravoittisering av prøvene kan imidlertid forstyrre resultatene noe, men hovedtendensene er likevel klare.

I alt ble det påvist en rekke indikasjoner på segregasjon av avblandede sulfiddråper i magmaet, og sjansene for at de rapporterte mineraliseringene representeres ved rikere sulfidkonsentrasjoner mot bunnen av intrusivet, synes overbevisende store. Derimot kan det i prospekteringsøyemed ikke fastslås hvilke gehalter og volum en slik dissiminert forekomst vil ha.

For videre prospektering ble et par-tre metoder sett i relasjon til de påviste mineraliseringer. Bekkesediment-analyser av prøver tatt nær den mineraliserte sonen, viste en svært lav kontrast for Ni og delvis Co, mens Cu egnet seg bedre til å definere prøvene som anomale ut fra statistiske kriterier.

I tilfelle innsamling av jordartsmateriale fra interessante, men utilgjengelige strukturer i fjellssidene, syntes forsøk at det ville være gunstig å sikte prøven i to mindre fraksjoner hvorav fraksjonen +40 mikron egnet seg for Cu-analyse og fraksjonen 40-100 mikron for Ni-analyser.

Aeromagnetiske målinger sammenholdt med suseptibilitetsmålinger av prøver fra den ultrabasiske lagpakke og siderbergarter, synes egnet til beregninger med henblikk på å klarlegge massivets dybde.

Oppredningsforsøk av dagprøver fra de rapporterte mineraliseringer, bekrefter antatte karakteristikk ut fra mikroskopering av uknuste malmprøver. Således kreves en relativ høy nedknusningsgrad for utvinning på over 80 % ved flotasjon av sulfider. Tolkning av resultatene skulle tilsi at en ved selektiv refflotasjon av uforvitret materiale, skulle kunne fremstille særskilte Cu- og Ni-konsentrater, men med et totalt tap på ca 40 % Ni-sulfider.

Ved vurdering av marked og priser viste det seg at salg av et bulkkonsentrat estimert til å holde 4 % Cu og 4 % Ni, i følge oppredningskarakteristika og justering for bravotittisering, vil representere en verdi på 200 kr pr. tonn bulkkonsentrat. Det vil således kreve en forekomst på minst 1,7 mill tonn og med å 1,3 % Cu og 1,3 % Ni. Salg av separate Cu- og Ni-konsentrater krever derimot en gehalt på 0,3 % Cu og 0,3 % Ni for en tilsvarende stor malmkropp.

En skal heller ikke se bort fra at komplekset kan bidra til å øke reserven av potensielle olivin-forekomster.

På grunn av Cu- og Ni-mineraliseringens interessante karakter og dets pekepinn om større dissiminerte mineraliseringer mot bunnen av massivet, er det all grunn til å fortsette med videre undersøkelser i området.

Undersøkelsen som her er fremlagt må i sin helhet betraktes som det den er; et hastverksarbeid utført av en person foruten nødvendig analysehjelp, innen en tidsramme på 90 effektive dager.

En rekke av tolkningene med konklusjoner bygger på et til dels dårlig materiale statistisk sett. En har hele tiden forsøkt å overveie sannsynligheten i det frembragte materialet, for således å legge an på bruk av et fornuftig standardavvik ved de videre estimeringer. Inkonsekvens mot dette forekommer enkelte steder med vilje for å demonstrere en eventuell metodikk i detaljundersøkelsen.

Til tross for de delvis usikre tolkningene bør det slås fast at Cu- Ni- mineraliseringene viser svært interessante karakteristika. Dets pekepinn om rikere dissiminerte mineraliseringer mot bunnen av massivet gjør at det er all grunn til å fortsette med videre undersøkelser i området.

8. V I D E R E U N D E R S Ø K E L S E R

8.1. Generelt.

De videre undersøkelserne kan teoretisk deles i to grupper; en i ren prospekteringsøyemed, og en med tanke på mer vitenskapelige malmgeologiske undersøkelser av et såvidt interessant kompleks. Det er her bare foreslått et opplegg med henblikk på å klarlegge data av øyeblikkelig økonomisk interesse, men en må samtidig påpeke at en vitenskapelig undersøkelse etter en godt opplagt plan kan bringe for dagen en motivering for senere intensiv malmleting.

8.2. Motivering og målsetting.

De frembragte resultater her bør motivere til videre studier av materialet og geologiske arbeider i felten. Dette for å få bekreftet de antagelser og konklusjoner en her har kommet frem til.

Det skrevne bør derimot ikke alene lokke til store utlegg i forbindelse med et boringsprogram. Det må heller danne grunnlag for et undersøkelsesprogram som tar sikte på å underbygge en motivering for slike kostbare undersøkelsesmetoder.

Kostnadene ved å underbygge en sådan motivering må i seg selv ikke overstige eventuelle boringskostnader så lenge de ikke samtidig bidrar til å øke sannsynligheten for å påvise malm.

Malmprospektering har generelt den målsetting å finne økonomisk drivbare forekomster, men en bør i hvert enkelt tilfelle klarlegge hva dette egentlig innebærer.

Cu- og Ni- forekomster, med den oppredningskarakteristikk undersøkelsen har bragt for dagen, synes å være drivverdige om de finnes i en størrelse av ca. 1 mill tonn malm med 0.4 % Cu og 0.4 % Ni eller 2 mill tonn med 0.3 % Cu og 0.3 % Ni. En mineralisering på 0.25 % Cu og 0.25 % Ni vil gi en reell råmalmverdi på 50 kr/tonn og må finnes i mer enn 5 mill tonn, men gehalten representerer nesten samtidig en eventuell cut-off-grade.

Målsettingen vil altså være å påvise malmmengder med minst 0.25 % Cu og 0.25 % Ni (se fig. 36 på side 60) og som samtidig viser de oppredningskarakteristikker som antatt for mineraliseringen ved Småvatna. Malmmengden vil avhenge av gehalten i ovennevnte størrelsesorden.

8.3. Investering.

En prospekteringsfilosofi går ut på å kunne anvende 10 % av den søkte malms reelle verdi til malmleting og eventuelle malmundersøkelser. Man må hele tiden avveie forbruk av kapital mot sannsynligheten for å finne malm.

Som en tidligere har sett, vil det være fornuftig å anta at den søkte malm vil representere 70-110 mill kr. Av de aktuelle 7-11 mill kr kan en således bruke 70-110.000 kr om sannsynligheten for å finne malm er 1%, hvilket det i dette tilfellet så absolutt er. Derimot bør en ikke anvende 100.000 kr til boring uten først å ha påvist det mest optimale sted å bore på, eller at en har lagt opp til et boringsprogram som suksessivt tar sikte på å øke sannsynligheten for malmsfunn.

I henhold til kompleksets påviste størrelse og alle omtalte resultater fra undersøkelsen, er sannsynligheten for å finne malm av ovennevnte størrelsesorden langt over 1 %. Det vil likevel være fornuftig å begrense seg til et opp-

legg på 100.000 kr i første omgang, og samtlige midler skal direkte eller indirekte være med på å lokalisere, eventuelt avskrive en dissiminert Cu- og Ni - malm mot bunnen av det ultrabasiske massiv.

8.4. Undersøkelsesprogram.

8.4.1. Sikring:

For å sikre rettighetene anbefales følgende punkter i området mutet i første omgang. Prøvepunkt nr. 7, 21, 26, 29, 31 og 308 (se bilag 3).

8.4.2. Forundersøkelser.

Materiale og innsamlede prøver som ikke er bearbeidet, kan brukes til å bekrefte noen av de viktigste konklusjoner. En kan således spare seg for mye strev ved ytterligere prøveinnsamling, og allerede før feltsesongen setter inn, kan en ha en mye større sikkerhet i viktige tolkninger. Det bør foretas ytterligere beregninger, bl.a. etter Neumanns formular (1948) for å forsøke å beregne totalinnholdet av Cu og Ni i magmaet ved intrusjonen.

Videre kan suseptibilitetsmålingen av de innsamlede prøver bidra til tolkning av NGU's aeromagnetiske profil over massivet, og således bidra til forsøk på å beregne et eventuelt dyp. Dette vil også være av stor betydning for kalkulasjon av eventuelle boringskostnader som anslagsvis vil komme på 300-500 kr pr. meter for større dyp.

8.4.3. Geologisk kartlegging.

Massivets geologiske struktur og tekstur bør undersøkes i detalj for å få et best mulig bilde av dannelsesmåten. Det ville være naturlig å trekke inn Mr. Bennet i denne sammenheng.

8.4.7. Gravimetriske målinger.

Dersom forundersøkelsene av de aeromagnetiske målinger er negative, bør en foreta gravimetriske bakkemålinger, bl.a. langs et par profiler over massivet. Det foreslås i første omgang et profil opp Bonjikdalen og inn over gabbroen ved prøvepunkt 27, og et profil fra Stålvatnet og østover til dalen syd for Svovelfjell. Dette vil således bidra til å fastlegge massivets hovedkonturer mot dypet.

8.4.8. Tolkning.

Analyser og vurdering av det innsamlede materialet vil være på sin plass etter avslutning av de foreslåtte undersøkelser. Denne tolkning vil ventelig kunne underbygge en motivering og fastslå omkostningene ved eventuelle boringsundersøkelser. En vil muligens også få klarlagt de mest optimale steder å plassere et borhull på.

Tolkning må imidlertid foretas fortløpende i felten for eventuelt å kunne optimalisere undersøkelsene eller avslutte disse brått. En må i felten etterhvert også passe på å sikre rettighetene til eventuelle malmfunn.

Det må også utføres ytterligere flotasjonsforsøk for å få bekreftet de antatte karakteristikkene, og med større prøvemengder fastslå om refflotasjon vil føre til de antatte Cu- og Ni-konsentrater.

8.4.9. Boring.

Ved eventuelle boringer av lange hull må det av kostnadsmessige hensyn overveies bruk av slagboring og oppsamling av borslam for analyser. Enkle, men raske kjemiske analyser på stedet vil eventuelt motivere når det blir aktuelt å gå

over til diamantboring.

Alternativt kan en senere benytte de fullførte slagboringshull til å utføre kjerneboring etter avlenkning på det aktuelle dyp, eller å foreta borhullslogging med hensyn på metallanalyser, magnetiske målinger, eller andre aktuelle geofysiske målemetoder.

8.4.10. Budsjett.

De foreslåtte undersøkelsene bør bli gjennomført i en kort, men intensiv periode på sensommeren, dvs. fra medio juli til primo september. Delvis snødekte områder og barskt fjellterreng vurdert sammen med effektivitet i felt, nødvendiggjør et slikt opplegg. Dette for at utbyttet skal bli maksimalt og utgiftene så lave som mulig. (Aeromagnetiske målinger er her unntatt).

Ut fra disse betraktninger samt generelle utgifter for ulike feltarbeider kan en foreslå følgende budsjett for det undersøkelsesprogram en her har gått inn for.

1. Sikring av bergrettighetene	kr. 2.000,-
2. Forundersøkelser, analyser, planlegging etc.	" 6.000,-
3. Malmgeolog/prosjektleder m/assistent, 6 uker a kr.3.500,-	" 21.000,-
4. Geolog m/hjelper, 5 uker a kr.3.000,-	" 15.000,-
5. Malmgeolog m/hjelper, 5 uker a kr.3.000,-	" 15.000,-
6.A. Gravimetrisk målinger, 10 km a kr.1.000,-	" 10.000,-
B. (evt. aeromagnetiske målinger)	
7. Prøvetaking, to assistenter, 3 uker a kr.2.000,-	" 6.000,-
8. Transport, utstyr, div. utg.	" 10.000,-
9. Analyser, studie av materiale, tolking	" 15.000,-
Sum	<u>kr.100.000,-</u>

8.5. Konklusjon.

Ved videre undersøkelser i Reinfjord er målsettingen å finne en dissiminert Cu-Ni-mineralisering som et segregert malmlegeme mot bunnen av det ultramafiske kompleks. Motiveringen er gitt ved presentasjon av dette eksamensarbeide.

En vil stå ovenfor dilemmaet enten å gå rett på sak ved boringer, eller å bruke avanserte geokjemiske studier av komplekset for å øke sannsynligheten for malmfunn. I det siste tilfellet kan en likevel komme til det stadium hvor en må starte boringer mot til dels store og ukjente dyp.

Ved gjennomførelse av de videre undersøkelser tar en derfor sikte på å studere massivets malmgeokjemiske karakter for å underbygge et kostbart boringsprogram. Samtidig må en forsøke med gravimetrisk eller aeromagnetisk målinger å fastlegge det ultrabasiske kompleks's konturer mot dypet. (Seismiske målinger kan også komme på tale). Disse resultater sammenholdt med sulfidgeokjemiske tolkinger, vil dermed kunne påvise et brukbart sted å plassere et borhull.

Et kostnadsoverslag viser at undersøkelsene vil komme på ca. 100.000 kr. og er forsvarlig ut fra sannsynlighetskriterier ved prospektering.

Å starte boringer på det nåværende tidspunkt fra et sted ca 100 m øst for punkt 501, og med boreretning N-45° -Ø samt en hellingsvinkel på 75°, vil bare komme på tale med en oljeprospektørs motivering og pågangsmot.

LITTERATURLISTE

- Barkey, H., 1967. Innføring i fotogeologi.
- Barth, T.F.W., 1953. Layered gabbro series at Seiland. N.G.U. 184, side 191.
- Barth, T.F.W., 1961. Garnet-sillimanite and garnet-spinel bands in the layered gabbro series in Seiland, North Norway. Bull. Geol. Instn. Univ. Uppsala, 40, s 17.
- Barth, T.F.W., 1962. Theoretical Petrology.
- Bennet, P.C., 1971. The Reinfjord ultramafic complex. N.G.U. Nr. 269, side 165-161.
- Brooks, M., 1970. A gravity survey of costal areas of West-Finnmark, northern Norway. Quart. J. Geol. Soc. 125.
- Brooks, M. and Chroston, P.N., Gravity surveys in North Norway. N.G.U. 269, side 161.
- Cameron, E.M., Siddeley, G. and Durham, C.C. Distribution of ore elements in rocks for evaluating ore potential; Nickel, copper, cobalt and sulphur in ultramafic rocks of the canadian shield. Can. Inst. Min., Special volume no. 11. April 1970.
- Craig, J.R. and Kullerud, G. 1969. Phase relations in the Cu-Fe-Ni-S system and their application to magmatic ore deposits. Econ. Geol. Monograph 4 .
- Ekstrand, O.R., 1971. The nickel potential of serpentized ultramafic rocks. Can. Min. Journ., april side 40.
- Goldschmidt, V.M., 1954. Geochemistry; Oxford Univ. Press.
- Greig, J.W., Jensen, E., and Merwin. H.E., 1955, The system Cu-Fe-S, Carn. Inst. Wash. Year Book 54, s 129.
- Hawley, J.E., 1962. The Sudbury ores; Their mineralogy and origin, Can. Miner. v. 3.
- Holtedahl, O., 1953, Norges geologi, N.G.U. Nr. 164.
- Holtedahl, O., 1960, Geology of Norway, N.G.U. Nr. 208.
- Hooper, P.R., 1971, The mafic and ultramafic intrusions of S.W. Finnmark and North Troms. N.G.U., 269. s. 145.
- Jackson, E.D., 1967. Ultramafic cumulates in the Stillwater, Great Dyke and Bushveld Intrusions. Finnes i: P.J. Wyllie. Ultramafic and related rocks.
- Kerr, P.F., 1942. Optical mineralogy.

- Kilburn, L.C., Wilson, H.D.B., Graham, A.R., Ogura, Y., Coats, C.J.A. and Scoates, R.F.J., 1969. Nickel sulfide ores related to ultrabasic intrusions in Canada. Econ. Geol. Monograph 4.
- Krauskopf, K.B., 1953, Igneous and metamorphic rocks of the Öksfjord area, Vest-Finnmark. N.G.U. Nr. 183.
- Krauskopf, K.B., 1967, Introduction to geochemistry.
- Kullerud, G., Yund, R.A., and Moh, G.H., 1969. Phase relations in the Cu-Fe-S, Cu-Ni-S, and Fe-Ni-S systems. Econ. Geol. Monograph 4.
- Lindgren, W., 1933. Mineral deposits.
- Lynch, J.J., 1970. The determination of copper, nickel and cobalt in rocks by atomic absorption spectrometry using a cold leach. Can. Inst. Min. Met, Special volum No 11, s. 313.
- Mason, B., 1966. Principles of geochemistry.
- Mortenson, M. og Digre, M., 1968. Grunnkurs i oppredningsteknikk NTH, del II - Flotasjon. Tapir forl.
- Mining journal, 12-11-1971: Metal markets.
- Neumann, H., 1948. On hydrothermal differentiation. Econ. Geol. vol.43. s.77.
- Nielsen, N.A., 1971. Kriterier ved prosjektering i malm og mineralsektoren. BVLI.publ.
- Oosterom, M.G., 1955. Some notes on the Lille Kuffjord layered gabbro, Seilans, Finnmark, Northern Norway. N.G.U. Arbok 1954 nr. 195, s 73.
- Oosterom, M.G., 1963. The ultramafites and layered gabbro Leidse Geol. Med. Dee 28. s 177.
- Page, C.F., 1969. Factors involved in mineral marketing, finnes i: Modern mineral processing flowsheets.
- Sargent, E.H. et Co. 1964. Table of periodic properties of the elements.
- Schneiderhöhn, H., 1958. Die Erzlagerstätten der Frühkristallisation.
- Schneiderhöhn, H., 1941. Lehrbuch der Erzlagerstättenkunde.
- Smirnova, N.P., Nesterenko, G.V., and Al'mukhamedov, A.I., 1968. The mode of occurrence of nickel and cobalt in mafic rocks. Geochem. Intern., 5, s 363.

- Stumpf, E.F. og Sturt, B.A., 1964. A preliminary account of the geochemistry and ore mineral parageneses of some Caledonian basic igneous rocks from Sörøy, Northern Norway. NGU. Nr.234.
- Sverdrup, T.L., 1967. Oversikt over den norske mineral- og steinindustri. N.G.U. Småskrift nr 8.
- Vokes, F.M., 1968. Forelesninger i malmgeologi, Norges malmgeologi.
- Vogt, J.H.L., 1923. Nickel in igneous rocks. Econ.Geol. vol 18.
- Wager, L.R., Vincent, E.A., and Smales, A.A., 1957. Sulphides in Skaergaard intrusion, East Greenland. Econ. Geol. vol.52, s 855.
- Wager, L.R., 1968. Forsøk på tolkning av cumulater. Funnet i Oftedahl, Chr.: Kompendium i Petrografi.
- Wilson, H.D.B., 1953. Geology and geochemistry of base metal deposits. Econ.Geol., vol 48. s 370.
- Wilson, H.D.B. and Anderson, D.T., 1959. The composition of Canadian sulphide ore deposits. Can.Mining and Met. Bull, vol 52, s 619.
- Wilson, H.D.B., Kilburn, L.C., Graham, A.R. and Ramlal, K. 1969. Geochemistry of some Canadian nickeliferous ultrabasic intrusions. Econ.Geol. Mon.4.
- Wyllie, P.J., 1967. Ultramafic and related rocks.
- Yoder, H.S., and Sahama, Th.G., 1957. Olivine x-ray determinative curve. The Americ. Miner. vol 42.
- Zussman, J., 1967. Physical methods in determinative mineralogy. Academic Press.