

Dannelse av sulfidforekomster i Reinfjord og Lokkarfjord, Seiland magmatiske provins

En svovelisotopstudie av økonomisk interessante sulfid-forekomster dannet i forbindelse med ultramafisk magmatisk aktivitet.

Endre Nerhus Øen

Geologi

Innlevert: Mai 2013

Hovedveileder: Rune Berg Larsen, IGB

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for geologi og bergteknikk

Sammendrag

En systematisk petrografisk-geokjemisk oversikt av sulfidforekomstene i Reinfjord (Troms) og Lokkarfjord (Finnmark) i Nord-Norge blir her gitt. Hensikten med oppgaven er å øke forståelsen for geologien i området, spesielt med tanke på sulfidenes variasjon, tekstur, oppreden og opprinnelse, samt å sammenlikne sulfidforekomstene i Reinfjord med forekomstene i Lokkarfjord. Ved kartlegging og prøvetaking i felt, mikroskopering, kjemiske analyser (XRF, EPMA, ICP-MS/AES) og in situ svovelisotopanalyser (SIMS) er data samlet inn og analysert. Områdene dekket av oppgaven er begge innenfor Seiland Magmatiske Provins (Seiland Igneous Province (SIP)), en 5500 km² stor geologisk provins bestående av omtrent 50% mafiske, 35 % ultramafiske, 10 % felsiske og 5 % alkaline bergarter. Sulfidforekomstene i Reinfjord er i forbindelse med et ultramafisk lagdelt kompleks (25 km²), mens de i Lokkarfjord er i forbindelse med en hornblendeperidotitt (2 km²). Alderen på bergartene er datert til å være 560 - 570 millioner år gamle. Tidligere undersøkelser har vist at Reinfjord består av flere lagdelte serier med tilhørende marginale soner. De lagdelte seriene viser progressivt høyere MgO-innhold fra eldst til yngst, hvor yngste intruderte serie (dunit) sitter sentralt i komplekset. Sulfidmineraliseringene i de marginale sonene er undersøkt tidligere, men uten at det har vært utført svovelisotopstudier.

Økonomisk interessante sulfider er chalcoprytt (Cu) og pentlanditt (Ni) samt Pt, Pd og Au (i ukjente mineraler). I tillegg opptrer pyrrhotitt og pyritt, samt omvandlingsmineralene markasitt og bravoittisert pentlanditt. Sulfidene sitter interstitielt og opptrer ofte i grupper bestående av pyrrhotitt (65 %), chalcoprytt (25 %) og pentlanditt (10 %). Svovelisotopanalysen viser at gjennomsnittlig $\delta^{34}\text{S}$ (VCDT) for Reinfjord ultramafiske kompleks (RUK) er -1,16 ‰ (variasjon fra -5,74 til 3,65) hvor tilsvarende gjennomsnitt for Lokkarfjord er 0,63 ‰ (variasjon fra -1,26 til 1,62). Dette er innenfor intervallet for typiske verdier fra mantelen (0 ‰ \pm 2) og tyder på at svovel har sitt opphav her. Ved å kun se på tallene for de marginale sonene i Reinfjord (1,89 ‰ (VCDT)), som er det høyeste gjennomsnittet av prøvene fra RUK, tyder det på noe forurensing fra sidebergartene.

De mest interessante funnene er gjort i forbindelse med kjerneboring (Nordic Mining, mai 2012) hvor en Ni+Cu-horisont og en PGE-horisont ble påvist i Reinfjord. Disse horisontene, sammen med sulfidmineraliseringen i Lokkarfjord, peker seg ut som mulig lovende forekomster fra et økonomisk synspunkt.

Abstract

A systematically petrography-geochemistry overview of the sulphide mineralizations in Reinfjord and Lokkarfjord in Troms and Finnmark municipal, Northern-Norway is given here. The intention with this study is to increase the understanding of the geology in the area, specifically the sulphides variations, textures, occurrence and origin, and a comparison between the sulphides mineralizations in Reinfjord and Lokkarfjord. Data are collected by field mapping, sampling, microscopy studies, chemical analysis (XRF, EPMA, ICP-MS/AES) and in situ sulfur isotope analysis (SIMS). Both areas are located in the Seiland Igneous Province (SIP), a 5500 km² geological province comprising 50 % mafic, 35% ultramafic, 10 % felsic and 5 % alkaline rocks. In Reinfjord the sulphide mineralizations are associated with an ultramafic layered complex (25 km²), and in Lokkarfjord it is associated with a hornblende peridotite (2 km²). The age of the rocks are 560 - 570 ma. Previous studies of Reinfjord has divided the pluton into three different series and marginal zones. The layered series shows progressively higher MgO-value from the oldest to youngest, where the youngest series (dunite) are in the central part of the complex. There has been some earlier studies of the sulphide mineralizations, but the current study is the first that includes S-isotopes.

The ore minerals are chalcopyrite (Cu) and pentlandite (Ni) + Pt, Pd and Au (in unknown minerals). Pyrrhotite and pyrite, together with the alteration minerals marcasite and bravoitized pentlandite also appear. All sulphides occur as interstetiell sulphides and in aggregates, dominated by pyrrhotite (65 %), chalcopyrite (25 %) and pentlandite (10 %). Sulphur isotope data from the central part of the Reinfjord Ultramafic Complex (RUK) indicate mantel values ($\delta^{34}\text{S} = -1,16 \text{ ‰ (VCDT)}$, variations from -5,74 to 3,65). From the marginal zone in RUK, in the adjacent zone to the wall rock, the sulphur isotope data are higher ($\delta^{34}\text{S} = 1,89 \text{ ‰ (VCDT)}$), indicating some contamination from the gabbros. In Lokkarfjord $\delta^{34}\text{S} = 0,63\text{‰ (VCDT)}$ (variations from -1,26 to 1,62), also indicating mantel values.

The most interesting discovery were done in connection with core drillings (Nordic Mining, may 2012), when a Ni+Cu-horizon and a PGE-horizon was proven in Reinfjord. These horizons, together with the sulphide mineralizations in Lokkarfjord, approach economic tonnages and grades.

Innhold

Sammendrag.....	I
Abstract	II
Innhold	III
Figurliste.....	VII
Tabelliste	XI
Avklaringer.....	XIII
Forord	XV
1 Kapittel 1: Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven	1
1.2 Hensikt og problemstilling	1
1.3 Det geografiske området.....	2
1.4 Tidligere geologiske arbeider i Seiland magmatiske provins.....	3
1.5 Regionalgeologi.....	5
1.6 Reinfjord ultramafiske kompleks (RUK)	8
1.6.1 Geologien i Reinfjord.....	8
1.7 Lokkarfjord.....	12
2 Kapittel 2: Teori	15
2.1 Lagdelte mafiske og ultramafiske intrusjoner samt tilhørende sulfidforekomster	15
2.1.1 Klassifikasjon av mafiske og ultramafiske bergarter	15
2.1.2 Magmatiske malmforekomster.....	17
2.1.3 Partiell oppsmeltning og dannelse av magma	18
2.1.4 Krystallisasjon.....	20
2.1.5 Malmdannende faktorer	21
2.2 Generelle betraktninger omkring mafisk/ultramafiske kompleks	25
2.2.1 Sulfid- og PGE-forekomster i mafisk/ultramafiske kompleks.....	25
2.3 Se/S forholdet	26
2.4 Svovelisotoper	27
2.4.1 Svovelisotopanalyse	27
2.4.2 Fraksjonering av svovelisotoper.....	28
3 Kapittel 3: Metode.....	29
3.1 Feltarbeid	29

Innhold

3.1.1	Feltutstyr.....	29
3.1.2	Kartlegging.....	30
3.1.3	Strukturgeologiske målinger	30
3.1.4	Prøvetaking.....	30
3.2	Preparering.....	31
3.2.1	Tynnslip.....	31
3.2.2	Nedknusing.....	31
3.2.3	Preparering sporelement, XRF	32
3.2.4	Preparering hovedelement, XRF	32
3.2.5	Preparering, svovelisotopanalyse	33
3.2.6	Preparering, mikrosonde	34
3.3	Petrografiske undersøkelser.....	34
3.4	Geokjemiske analyser.....	34
3.4.1	XRF, sporelement.....	35
3.4.2	XRF, hovedelement.....	35
3.4.3	Kjemiske analyser ved andre laboratorier	35
3.4.4	Svovelisotop analyse (SIMS)	36
3.4.5	Mikrosonde (EPMA).....	36
3.5	Feilkilder.....	37
3.6	Helse, miljø og sikkerhet (HMS).....	37
3.7	Litteratursøk.....	37
4	Kapittel 4: Resultater.....	39
4.1	Feltarbeid	39
4.1.1	Kartlegging.....	39
4.1.2	Makroskopiske bergartsbeskrivelser	41
4.1.3	Strukturgeologiske målinger	54
4.2	Petrografiske undersøkelser, mikroskopiske bergartsbeskrivelser	59
4.2.1	Bergartsmineraler og andre mineraler	60
4.2.2	Teksturer.....	63
4.2.3	Sulfidmineraler, teksturer og opptreden	64
4.2.4	Bergarter/serier.....	70
4.3	Mikrosonde	73
4.3.1	Silikater og oksider.....	73

Innhold

4.3.2	Sulfider	81
4.4	Geokjemiske analyser	91
4.4.1	Hovedelement	91
4.4.2	Sporelement	95
4.5	Svovelisotopanalyse	101
4.5.1	Standardene	101
4.5.2	Ukjente prøver	104
5	Kapittel 5: Diskusjon	111
5.1	Reinfjord ultramafiske kompleks	111
5.2	Sulfidforekomstene	113
5.2.1	Oppsummering av sulfidforekomstene	113
5.2.2	Opptreden til sulfidene	118
5.3	Opphavet til svovel	118
5.3.1	Kvaliteten på svovelisotopdataene	120
5.3.2	Tolkning av svovelisotopdataene basert på pyrrhotitt	120
5.3.3	Sammenligning med andre kjente sulfidforekomster i UM-kompleks	122
5.3.4	Se/S-forholdet	123
5.4	Modell for dannelsen av sulfidforekomstene	124
6	Kapittel 6: Konklusjon og forslag til videre arbeid	127
6.1	Konklusjon	127
6.2	Conclusions	127
6.3	Forslag til videre arbeid	128
	Referanser	129
	Vedlegg A: Kart med prøvepunkter, Reinfjord	133
	Vedlegg B: Prøveliste	135
	Vedlegg C: Strukturdata	145
	Vedlegg D: Mikrosonderesultater, silikater	149
	Vedlegg E: Mikrosonderesultater, sulfider	155
	Vedlegg F: Hoved- og sporelementsanalyser for 2011-prøver, utført ved ALS i Sverige	159
	Vedlegg G: Hoved- og sporelementsanalyser for 2012-prøver, utført ved NTNU	163
	Vedlegg H: Svovelisotopdata	167

Figurliste

Figur 1.1 Topografisk kart over området som inngår i masteroppgaven. Venstre: Reinfjord med Lake District (rød ring). Høyre: Lokkarfjord (rød ring rundt det mest interessante området) Kartkilde: (Statens Kartverk, 2006).....	3
Figur 1.2 a) Tektonisk kart over de Skandinaviske Kaledonidene. b) Skjematisk profil som viser plassering av SIP i forhold til skyvedekkene (Roberts et al. 2010).	5
Figur 1.3 Geologisk kart over SIP. Ultramafiske intrusjoner: Melkevann (1), Nordre Bumannsfjord (2), Kvalfjord (3) og Reinfjord (4). Kartdata: NGU (2012).	7
Figur 1.4 Kart laget av Hansen (1971) over sulfidmineraliseringer i forbindelse med den marginale sonen i Reinfjord. Legg merke til at kartet er opp ned, nord er mot bunnen av figuren.	11
Figur 1.5 Geologisk kart over Lokkarfjord. Rød ring viser Svovelberget (Ofte and Schiellerup, 2008). Lilla: Hornblenditt. Brun: Metagabbro.	13
Figur 2.1 Klassifiserings diagram for gabbroiske bergarter som inneholder plagioklas, pyroksen og olivin. (Blatt et al., 2006).....	15
Figur 2.2 Klassifiserings diagram for gabbroiske bergarter som inneholder plagioklas, pyroksen og hornblende (Blatt et al., 2006).	16
Figur 2.3 Klassifiserings diagram for ultramafiske bergarter som inneholder olivin, ortopyroksen og klinopyroksen (Blatt et al., 2006).	16
Figur 2.4 Klassifiserings diagram for ultramafiske bergarter som inneholder olivin, pyroksen og hornblende (McBirney, 2007).	16
Figur 2.5 Tenkt snitt gjennom den oseanske og kontinentale litosfæren og skorpen samt relativ plassering av magmatiske malmforekomster (Robb, 2008).	17
Figur 2.6 Relativt innhold av utvalgte metaller i magma med basaltisk, andesittisk og rhyolittisk sammensetning (Robb, 2008).....	18
Figur 2.7 Smelting av basaltisk magma ved 20 kbar. Klinopyroksen (cpx) er det første mineralet som smelter, etterfulgt av ortopyroksen (opx) og olivin (ol) (Robb, 2008).	19
Figur 2.8 Forenklet, ideelt snitt gjennom en lagdelt mafisk/ultramafisk intrusjon.....	21
Figur 2.9 Generalisert kurve for fraksjonert krystallisasjon av Bushveldtype mafisk magma, som viser løselighet av svovel som funksjon av progressiv krystallisasjon (Robb, 2008).	22
Figur 2.10 To situasjoner ved tilførsel av ny magma i et eksisterende magmakammer (Robb, 2008).	24
Figur 2.11 $\delta^{34}\text{S}$ variasjoner i forskjellige geologiske settinger, alle verdier i ‰ (VCDT) (Seal, 2006).	28
Figur 3.1 Venstre: Lars slår løs prøve. Høyre: Kompass og GPS som ble benyttet.	29
Figur 3.2 Nedknusingen ble foretatt i tre trinn. Fra venstre: kjefteknuser, skiveknuser og skivesvingmølle.....	32
Figur 3.3 Preparering til XRF. Venstre: Herzog pillepresse benyttet til pressing av pulverpiller for sporelementanalyser. Høyre: Claisse Fluxy smelteapparat benyttet til smelting av glasspiller for hovedelementanalyse.	33
Figur 3.4 Skisse av prøvebeholder for svovelisotop analyse (diameter blått omriss ca. 20mm) (Nordsim hjemmeside, besøkt 30.11.12), og tre prøver ferdig preparert, klar for analyse.	34
Figur 4.1 Revidert geologisk kart over Reinfjord UM-kompleks.	40
Figur 4.2 Geologisk kart over Reinfjord UM-kompleks med påviste sulfidmineraliseringer indikert (røde diamanter). Tettheten på diamanterne er omtrent proporsjonal med tetthet på sulfidmineraliseringer.	41
Figur 4.3 Langstrandgabbroen med lagdeling, sees mørk ut fra avstand grunnet forvitring og vegetasjon. CS er det brunlige partiet sentralt i bildet, mens ULS er området hvor det blir mørkere i overkant av CS. UMZ strekker seg som en sone ved foten av fjellveggen.	42
Figur 4.4 Sulfidmineralisering i Langstrandgabbro. Venstre: Sulfider som opptrer i lag (ved NEMZ). Høyre: massiv rustforvitring i gabbro ved Lake District (EØ11004).	42
Figur 4.5 Bilde tatt fra helikopter mot øst og viser vestvendt fjellvegg med LLS sentralt i bildet. Granatgneisen ligger nederst, med LMZ (delvis skjult av ur) som en sone i overgangen mot LLS. Over LLS sees Langstrandgabbroen som et lyst lag, med ULS på topp. Høyden på fjellveggen er omtrent 700 meter.	43

Figurliste

Figur 4.6 Lake District. Bildet er tatt mot sørvest fra en apofyse fra UMZ som går inn i Langstrandgabbroen. ULS ser fra denne vinkelen spesielt mørk ut, dette på grunn av at lagdelingen i ULS faller svakt mot nordøst og pyroksen er mineralet som er mest resistent mot forvitring og bevares derfor best i overflaten.	44
Figur 4.7 Ultramafisk pegmatitt (EØ12007) fra ULS. Stedvis med veldig store pyroksenminerale. Blotningene er normalt sett < 5 m ² , og det er mulig å se sulfider uten bruk av lupe.	45
Figur 4.8. Venstre: Modal lagdeling i ULS. Høyre: Modal lagdeling som har vært utsatt for lengre tids forvitring. Mer olivin er forvitret bort, og pyroksenrike lag er mer resistent.	46
Figur 4.9 Venstre: Et lag med pyroksen er brutt opp eller assimilert gjennom infiltrasjon av den varmere smelten som dannet CS, som har avsatt olivin der det tidligere var pyroksen. Høyre: Intrusivbreksje, hvor pyroksenblokkene (mørkest) er breksjefragmenter i en dunit. Fra ULS i Lake District.	47
Figur 4.10. Bilde tatt mot nord fra grensen mellom ULS og CS i Lake District.	48
Figur 4.11 Bilde tatt mot nord i UMZ, Lake District. Den marginale sonen er vanskelig å definere eksakt på bildet, men går som en sone parallelt med grensen til Langstrandgabbroen.	49
Figur 4.12 Detaljbilde av LMZ (EØ11014). Et typisk eksempel den marginale sone. Bergarten er en gabbro som ligger som en tynn sekvens mellom granatgneisen og det ultramafiske komplekset.	49
Figur 4.13 Venstre: To generasjoner av ganger i ca. NØ-SV retning i CS. Høyre: Gang (EØ12001) i ULS med retning NØ-SV. Legg merke til vegetasjon som opptrer presist over gangen, den inneholder blant annet noe apatitt.	50
Figur 4.14. Sverm av ganger i CS nord for Lake District. Retningene til gangene er fortrinnsvis NØ-SV.	51
Figur 4.15. Bilde tatt mot vest fra ULS sør i Lake District. Bildet viser dalen ned mot Reinfjord hvor man ser to "tunger" av CS som strekker seg inn i Langstrandgabbroen. ULS er åpne til høyre. Stiplet linje viser omtrentlig forløp til en forkastning.	52
Figur 4.16. Bilde tatt fra innsjø like sør for NEMZ mot nord. Xenolitter av Langstrandgabbro i NEMZ.	52
Figur 4.17. Bildet tatt mot øst, på grensen mellom RUK og Langstrandgabbro sør i Lake District. Skarpt skille i grusen, og få meter mellom blotninger på hver side av forkastningen.	53
Figur 4.18. Grensen mellom CS og ULS i Lake District. CS kutter diskordant inn i ULS og sprer seg utover. Venstre: Situasjonen sett fra CS mot nord. Høyre: Samme situasjon sett fra ULS mot sør.	54
Figur 4.19. Detaljkart med strøk og fall i Reinfjord.	55
Figur 4.20 Strukturdata for Langstrandgabbroen. Venstre: Plottet i stereonett, som poler med konturlinjer. Høyre: Rosediagram. 15 målinger.	55
Figur 4.21 Strukturdata for granatgneisen. Venstre: Plottet i stereonett som pol og storsirkel. Høyre: Rosediagram. Kun en måling.	56
Figur 4.22 Strukturdata for LLS og LMZ. Venstre: Plottet i stereonett som poler og storsirkler. Høyre: Rosediagram. To målinger.	57
Figur 4.23 Strukturdata for ULS vestlige del. Venstre: Plottet i stereonett som pol og konturer. Høyre: Rosediagram. 16 målinger.	57
Figur 4.24 Strukturdata for ULS østlig del. Til venstre plottet i stereonett som pol og konturer, til høyre som rosedigram. 44 målinger.	58
Figur 4.25 Stereonettet med strøk og fall til gjennomsnittet for planene til de respektive bergarter/serier, plottet som poler og storsirkler. Langstrandgabbro: Rød. Granatgneis: Blå. LLS og LMZ: Grønn. ULS vestlig del: Oransje. ULS østlig del: Rosa.	59
Figur 4.26 Bilder av de viktigste silikatmineralene. Øverst til venstre: Olivin med høye interferensfarger og typisk oppsprekking. Bergarten er en wehrilit (EØ11002). Kryssete nicols.	61
Figur 4.27 Apatitt i en dyke (EØ12001) i ULS. Normalt lys.	62
Figur 4.28 Venstre: Pentlanditt i en overflateprøve (EØ11013). Bredde bilde: ca. 0,15 mm. Høyre: Pentlanditt i en prøve fra borekjerne 2 (2-12243-12258). Bredde bilde ca. 0,4 mm. Begge bilder er tatt i pålys.	65
Figur 4.29 Typisk overflate for bravoittisert pentlanditt. Bildet er fra Lokkarfjord (L1). Bredden av bildet er ca. 1,0 mm og tatt i pålys.	66
Figur 4.30 Gedigent Cu og pyrrhotitt fra kjerne 2 (2-12603-12622). Bergart: Lherzolitt. Bildet er tatt i pålys.	66
Figur 4.31 Interstetielle sulfider i en gabbronoritt (EØ11004). Bildet er tatt i pålys.	67
Figur 4.32 Sulfidgruppe sitter innesluttet i klinopyroksen i en harzburgitt (EØ11008). Bildet av klinopyroksen: Kryssete nicols. Sulfidgruppen: Pålys.	68

Figurliste

Figur 4.33 Typisk sulfidgruppe bestående av pyrrhotitt (po), chalcopyritt (cp) og pentlanditt (pn) med flammetekstur inn i pyrrhotitt. Bergarten er en gabbronoritt (EØ11006). Bildet er tatt i pålys.....	68
Figur 4.34 Sulfidgruppe bestående av marcasitt (mrc), chalcopyritt (cp) og bravoittisert pentlanditt (pn). Bergarten er lherzolitt (EØ12004). Bildet er tatt i pålys.....	69
Figur 4.35 Pyrrhotitt (po) delvis omvandlet til marcasitt (mrc). Omvandlingen er kraftigst nær sprekker og korngrenser og avtar innover i mineralet. Eksempelet her er fra en harzburgitt (EØ11008). Bildet er tatt i pålys.....	69
Figur 4.36 Typisk opptreden av sulfider i Lokkarfjord (L1). Bildet er tatt i pålys.....	73
Figur 4.37 BEI bilde med to faser Cr-holdig magnetitt / kromitt. Bergarten er en lherzolitt (2-12243-12258.	79
Figur 4.38 Plott med resultatene av pyrrhotitt, markasitt og pyritt.	83
Figur 4.39 Markasittanalysene er fra punktene s12 og s13. Teksturen på bildet er et godt eksempel på utseende til markasittmineralene. s10 og s11 er pyrrhotitt, og s7, s8 og s9 er chalcopyritt. Bergarten er en hornblendeperidotitt fra Lokkarfjord (L1). Bildet er tatt i pålys.....	83
Figur 4.40 Symplektittisk tekstur mellom chalcopyritt (cp) og pyritt (py). Eksempelet er fra en plagioklasførende ultramafisk bergart (EØ11013). Bildet til venstre: Pålys. Bildet til høyre: BEI.	84
Figur 4.41. Triplot med mol % S, Cu og Fe som viser analysene av chalcopyritt. Totalt 22 analyser, og det er lite variasjon mellom prøvene.	85
Figur 4.42. Plott i mol% med S, Cu og Fe for cubanitt analyser (to analyser).....	86
Figur 4.43 Plott i mol% med S, Ni og Fe. 23 analyser av pentlanditt (nederste samling) og 11 analyser av bravoittisert pentlanditt (øverste samling).	88
Figur 4.44. BEI bilde av bravoittisert pentlanditt sammen med chalcopyritt i en hornblendeperidotitt fra Lokkarfjord (L1).....	88
Figur 4.45 BEI bilde av pentlanditt (pn), chalcopyritt (cp) og pyrrhotitt (po) i en plagioklasførende ultramafisk bergart, LMZ (EØ11013). Ingen oppsprekking i pentlanditt kornene.	89
Figur 4.46 BEI bilder av gedigent Cu, alle bildene er fra en lherzolitt (2-12243-12258) fra CS. Øverst: Pyrrhotitt (po), pentlanditt (pn) og gedigent Cu samlet i gruppe, merk at Cu følger visse retninger (oppe til venstre på kornet), 100x forstørrelse.	90
Figur 4.47 Plott av hovedelementer som oksider (SiO ₂ , Na ₂ O, Al ₂ O ₃ , K ₂ O) mot MgO.	92
Figur 4.48 Plott av hovedelementer som oksider (CaO, Fe ₂ O ₃ , TiO ₂ og Cr ₂ O ₃) mot MgO.	93
Figur 4.49 Plott av sporelementer (ppm) mot MgO (wt %). Y-aksen for Ni, Cu og Co er logaritmisk.	96
Figur 4.50 Øverste plott: S mot MgO. De tre nederste: Sporelementer (ppm) mot S (wt %). Alle y-akser (og x-akser for S-plottene) er logaritmisk.	97
Figur 4.51 Pt, Pd og Au (ppb) plott mot MgO (wt %). Granatgneisen, Langstrandgabbro, LMZ og UMZ har stort sett verdier som ligger på deteksjonsgrensen. PGE-horisonten og Lokkarfjord skiller seg ut med høyest innhold av PGE + Au.	100
Figur 4.52 Gjennomsnittelig Ni/Cu-forhold for sulfidforekomstene.	101
Figur 4.53 Resultatene fra analysene av Ruttan (pyritt)-standard, som ble benyttet som standard gjennom hele analysen.	102
Figur 4.54 Resultatene fra analysene av Norilsk (pentlanditt)-standard.....	103
Figur 4.55 Resultatene fra analysene av Morro Valho (pyrrhotitt)-standard.....	103
Figur 4.56 Resultatene fra analysene av Trout Lake (chalcopyritt)-standard.....	104
Figur 4.57 Korrigert data: CS, PGE-horisont (1-10945-10955).....	105
Figur 4.58 Korrigert data: CS, omtrent Ni+Cu-horisont (1-8600-8619).....	105
Figur 4.59 Korrigert data: CS (2-12243-12558).	106
Figur 4.60 Korrigert data: UMZ (EØ12012).....	106
Figur 4.61 Korrigert data: Lokkarfjord (L1).	107
Figur 4.62 Korrigert data: Granatgneis (EØ11009).	107
Figur 4.63 Korrigert data: Langstrandgabbro (EØ11005).....	108
Figur 4.64 Frekvensdiagram med δ ³⁴ S-verdier for pyrrhotitt, chalcopyritt og pentlanditt i RUK.	109
Figur 5.1 Geologisk kart over Reinfjord med profillinjer.	112
Figur 5.2 V-Ø profil gjennom sentrale deler av RUK. Profilet er tegnet på grunnlag av kartlegging, observasjoner, Bennett (1974) og fri tolkning av geofysiske data (Johnson, 2011).	112

Figurliste

Figur 5.3 S-N profil gjennom sentrale deler av RUK. Profilet er tegnet på grunnlag av kartlegging, observasjoner og fri tolkning av geofysiske data (Johnson, 2011).	113
Figur 5.4 $\delta^{34}\text{S}$ sammenligning for pyrrhotitt.	119
Figur 5.5 $\delta^{34}\text{S}$ sammenligning for chalcopyritt.	119
Figur 5.6 Sammenligning av $\delta^{34}\text{S}$ i kjente sulfidforekomster i UM-kompleks (tall hentet fra Ripley and Li (2003)) med Reinfjord (gjennomsnitt av pyrrhotitt, chalcopyritt og pentlanditt, CS og UMZ, se Figur 4.64 for detaljer).	123

Tabelliste

Tabell 2.1 Estimert av sulfid-silikat forholds-koeffisienten. Forholdstallet viser økning i innhold av element i sulfidmelte i forhold til silikatsmelten (basalt), etter Robb (2008).	23
Tabell 2.2 Typisk gehalt for sulfidrik Ni-Cu (PGE) forekomst, tall fra Naldrett (2004).	26
Tabell 2.3 Typisk gehalt for sulfidfattig Ni-Cu (PGE) forekomst, tall fra Naldrett (2004).	26
Tabell 3.1 System benyttet for navnsetting av bergarter i felt.....	30
Tabell 3.2 Knusertrinn/malettrinn som ble benyttet under nedknusning før kjemiske analyser.	31
Tabell 3.3 Oversikt over analysemetoder benyttet for 2011-prøvene analysert ved ALS i Sverige.....	36
Tabell 4.1 Olivinanalyser.	74
Tabell 4.2 Klinopyroksenanalyser.	75
Tabell 4.3 Ortopyroksen, enstatitt fra LMZ (EØ11013). Gjennomsnitt av to analyser.	76
Tabell 4.4 Plagioklas fra LMZ (EØ11013). Gjennomsnitt av syv analyser.	76
Tabell 4.5 Amfibolanalyser.....	77
Tabell 4.6 Cr-holdig magnetitt / kromitt i to prøver fra CS (2-12243-12258 og 1-8600-86199). Det finnes to varianter, en rik på Al og en som er fattigere på Al.	78
Tabell 4.7 Magnetittanalyse fra Lokkarfjord (L1). Gjennomsnitt av to analyser.	79
Tabell 4.8. Spinell (magnesioferrite) fra Lokkarfjord (L1). Gjennomsnitt av seks analyser.	80
Tabell 4.9. Ilmenittanalyser.....	80
Tabell 4.10 Pyrrhotitt, markasitt og pyritt-analyser.	82
Tabell 4.11 Chalcopyritt analyser.	84
Tabell 4.12 Cubanitt analyser (to analyser).	85
Tabell 4.13 Pentlanditt og bravoittisert pentlanditt analyser.....	87
Tabell 4.14 Gjennomsnittlige Se/S · 10 ⁶ -verdier for noen av sulfidforekomstene. Sulfidforekomster, som ikke er med i tabellen, er utelatt på grunn av data utenfor deteksjonsgrense, eller ingen data.	101
Tabell 4.15 Tabell som viser beregning av korreksjonsverdi for respektive mineraler. Korreksjonsverdiene er benyttet ved korrigerende av resultatene fra de ukjente prøvene.	104
Tabell 4.16 Gjennomsnittsverdier av δ ³⁴ S for pyrrhotitt og chalcopyritt (samt pentlanditt) i de respektive prøvene. Alle tall er oppgitt i δ ³⁴ S ‰ (VCDT).	108
Tabell 5.1 Sammenligning av sulfidforekomstene. Analysene for innhold av metall i sulfider er hentet fra Iljina (2013) ¹ , Iljina (2011) ² og Nordic Mining (2013) ³	117

Avklaringer

PGE: Platina gruppen elementer: Ruthenium (Ru), Rhodium (Rh), Palladium (Pd), Osmium (Os), Iridium (Ir) og Platina (Pt)

Hovedelementer (som oksider): Fe_2O_3 , TiO_2 , CaO , K_2O , P_2O_5 , SiO_2 , Al_2O_3 , MgO , Na_2O , MnO

Sporelementer: Alt som ikke er hovedelementer.

ppm: g/t

ppb: mg/t

Mineralforkortelser (Naldrett, 2004):

po: pyrrhotitt

cp: chalcopyritt

pn: pentlanditt

pn (bravo): bravoittisert pentlanditt

mrc: markasitt

py: pyritt

cub: cubanitt

ol: olivin

pl: plagioklas

hbl: hornblende

cpx: klinopyroksen

opx: ortopyroksen

ilm: ilmenitt

mag: magnetitt

Forord

Våren 2011 bestemte jeg meg for å fortsette med en master innenfor retningen Berggrunn og ressursgeologi. Da jeg spurte Rune om han hadde forslag til en masteroppgave, og et par forskjellige alternativer kom på bordet, var det ikke vanskelig å bestemme seg. En oppgave med spennende geologi og feltarbeid i kystfjellene i Nord-Norge passet meg perfekt.

Mange personer har vært behjelpelig i dette arbeidet og fortjener en takk. Veileder Rune Berg Larsen har gitt god og motiverende veiledning, blant annet via Skype det siste året. Samarbeidet med Lars har vært bra, og spesielt i forbindelse med feltarbeidet var det kjekt å være flere. Mona Schanche og Nordic Mining fortjener også en takk, uten deres økonomiske interesse i området og vilje til å investere i prospekteringsvirksomhet, hadde nok ikke oppgaven blitt en realitet. Lokalbefolkningen i Reinfjord var også hyggelige, og den nordnorske gjestfriheten var absolutt tilstede. I den første feltsesongen, da vi bodde i Reinfjord, hendte det at de hadde middagen klar da vi kom ned fra fjellet...

Også takk til: Markku Iljina, Torill Sørøkk, Steinar Ellefmo, Suzanne McEnroe, Bjørn Eske Sørensen, Gunnar Vistnes, tynnsliplaboratoriet ved NTNU og medstudentene på lesesalen.

Tilslutt vil jeg få takke Mamma og Martin for gjennomlesning og kommentarer generelt på oppgaven, og min samboer Silje, både for å ha vist interesse for arbeidet og ikke minst tålmodighet!

Endre Nerhus Øen

Trondheim 14.05.2013

For non-Scandinavian readers: Abstract, conclusion, figure and table legends are in English.

Forsidebilde: Utsikt mot vest fra Lake District, se også Figur 4.15.

1 Kapittel 1: Innledning

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Denne masteroppgaven omhandler sulfidforekomstene og deres tilhørende geologi i Reinfjord (Troms) og i Lokkarfjord (Finnmark). Arbeidet med oppgaven startet sommeren 2011 og har pågått fram til våren 2013. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Nordic Mining (NM), hvor NM har stått for finansiering av feltarbeidet og deler av analysene. NM har økonomiske interesser i området og er per dags dato innehaver av leterettighetene i det aktuelle området, hvor de har drevet prospektering de siste årene. NM har gjennomført flere geofysiske og elektromagnetiske målinger og startet i 2012 opp et boreprogram med boring av to kjerner (Nordic Mining, 2012).

Sammen med masteroppgaven til Lars Anker-Rasch er denne oppgaven en del av arbeidet med å øke forståelsen om geologien i området, spesielt med tanke på økonomisk interessante mineral- og metallforekomster. Arbeidet har vært utført i tett samarbeid med Lars, spesielt i forbindelse med feltarbeid, preparering og analysering av prøver. Denne oppgaven har fokus på sulfidene og hvordan de opptrer, mens oppgaven til Lars har fokus på olivin og variasjoner innenfor silikatene. Veileder har vært Professor Rune Berg Larsen ved Norges teknisk-naturvitenskapelige Universitet (NTNU).

1.2 Hensikt og problemstilling

Hensikten med denne oppgaven er å øke forståelsen for geologien i Reinfjord, spesielt med hensyn på sulfidenes variasjon, teksturer, opptreden og opprinnelse. Økt innsikt om sulfidene, samt hvordan de er dannet og opptrer, kan nyttes i forbindelse med prospektering etter økonomisk interessante sulfidforekomster. For å øke denne forståelsen, er følgende problemstillinger for masteroppgaven valgt:

- *En systematisk petrografisk-geokjemisk analyse av sulfidforekomstene for å bestemme likheter og forskjeller mellom forekomstene i Reinfjord, og en sammenligning av forekomstene i Reinfjord og i Lokkarfjord. Spesielt ønskes kilden til svovel avdekket.*
- *Geologisk kartlegging og strukturgeologiske målinger, med bearbeiding av geologiske data i geografisk informasjons systemer (GIS).*

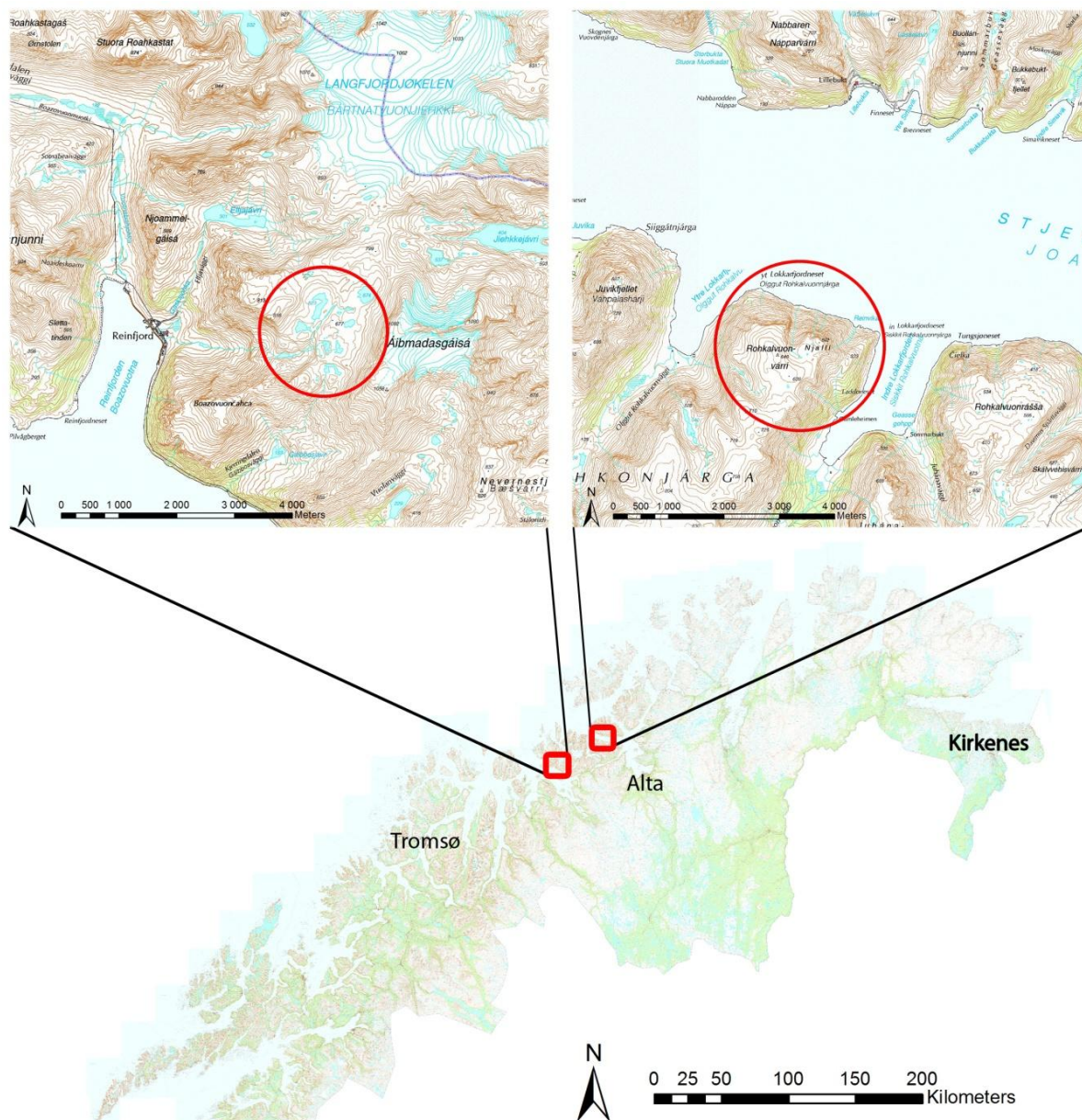
- *Litteraturstudie og sammenligning med teori/lignende geologiske settinger.*

1.3 Det geografiske området

Reinfjord, hvor feltarbeidet har foregått, befinner seg på Øksfjordhalvøya i Kvænangen kommune i Troms fylke, Figur 1.1. Bygden Reinfjord er en veiløs bygd uten permanent bosetting, bortsett fra i sommermånedene. Lokkarfjord befinner seg lengre øst på Øksfjordhalvøya i Alta kommune i Finnmark fylke. Lokkarfjord er ikke besøkt i forbindelse med feltarbeidet, og prøvene som er studert derfra er tatt av Markku Iljina i 2011 (Iljina, 2011).

Topografien i Reinfjord er preget av bratte fjell og steinur, men store deler av området er likevel tilgjengelig til fots på grunn av at steinuren ligger på rasvinkelen. Over 200 - 300 m.o.h. er det lite eller ingen vegetasjon, og blotningene er veldig gode der hvor de ikke er dekket av steinur, innsjø, snø eller isbre. Klimaet er typisk høyfjellsklima med skiftende vær og tidvis mye vind.

Kapittel 1: Innledning



Figur 1.1 Topografisk kart over området som inngår i masteroppgaven. Venstre: Rein fjord med Lake District (rød ring). Høyre: Lokkarfjord (rød ring rundt det mest interessante området) Kartkilde: (Statens Kartverk, 2006).

Figure 1.1 Topographic map of the area covered by the master thesis. Left: Rein fjord and the Lake District (red circle). Right: Lokkarfjord (red circle is the most interesting area). Map source: (Statens Kartverk, 2006).

1.4 Tidligere geologiske arbeider i Seiland magmatiske provins

Interessen og diskusjonene rundt Seiland magmatiske provins (Seiland Igneous Province, SIP) har vart lenge, og teoriene har vært mange. De første undersøkelsene ble gjennomført på 1800-tallet, da Pettersen (1875) var på reise i Nord-Norge og startet geologisk kartlegging av landsdelen. Siden den gang er det gjort en rekke geologiske arbeider i provinsen, blant annet av Barth i 1928 og av Kvale og Neuman i 1938 (Oosterom, 1963). I 1952 startet Norges

Kapittel 1: Innledning

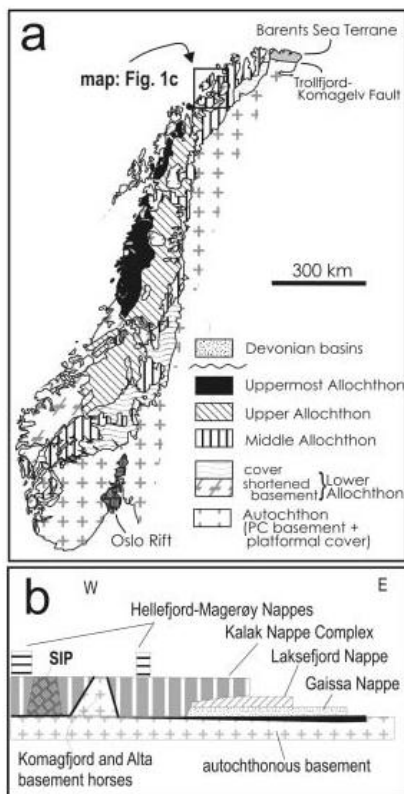
Geologiske Undersøkelse (NGU) undersøkelser for å finne kommersielle albitt-nefelin pegmatitter (Barth, 1952). De første undersøkelsene ble da gjort på Seiland, mens Krauskopf (1954) gir en beskrivelse av bergartene på fastlandsdelen av SIP, i området øst for Øksfjorden. Blant annet hornblenditten i Lokkarfjord ble den gang kartlagt. Flere arbeider ble gjort de påfølgende årene, med etter hvert størst fokus på nefelinsyenitter på Stjernøy. Der ble det i 1961 startet opp gruvedrift på en nefelinsyenitt i Lillebukt, og som fremdeles er i drift (snl.no, 2012).

En oversikt over bergartene på Stjernøy, med fokus på mafiske og ultramafiske bergarter er gitt av Oosterom (1963). En oversikt over mafiske og ultramafiske intrusjoner i den vestlige delen av Øksfjordhalvøya er gitt av Hooper (1971), og de første beskrivelsene av Reinfjord ultramafiske kompleks (RUK) er gitt av Bennett (1971). Masteroppgaven til Søyland Hansen (1971) fokuserer på sulfidforekomstene i forbindelse med RUK, med tilhørende kartlegging av påviste sulfidmineraliseringer. De første grundige beskrivelsene av RUK og dens utvikling er gitt av Bennett (1974). Han innfører soneinndeling av komplekset, som senere er revidert av Emblin (1985). Arbeidet til Emblin (1985) er en grundig gjennomgang av kompleksets geologi og danner grunnlaget for den forståelsen man har av RUK i dag. Robins and Gardner (1974) og Yeo (1984) gir en beskrivelse av andre ultramafiske kompleks i SIP, hvor Bennett et al. (1986) gir en oversikt og sammenligning av de fire større ultramafiske kompleksene i SIP. En innføring i geologien i Reinfjord blir her gitt i avsnitt 1.6.

Robins and Gardner (1975) tolket SIP til å være dannet i relasjon til en subduksjonssone, hvor en havbunnsplate ble subduert mot øst under Baltika. Krill og Zwaan (1987) påpekte imidlertid at bergartene i SIP er karakteristiske for en region styrt av ekstensjonstektonikk, og at det er lite trolig at de er dannet i forbindelse med subduksjon eller kollisjon. De lanserte teorien om at SIP er dannet i forbindelse med kontinental riftning og en tidlig utvikling av Iapetushavet, og det er denne teorien det er bygget videre på i dag. Flere nyere arbeider, blant annet av Roberts (2007), støtter opp under dette. De nyeste dateringene av bergarter fra SIP, gjennomført av Roberts et al. (2006) på mafiske og ultramafiske bergarter, anslår en alder på 560 - 570 millioner år, og som tyder på dannelse i løpet av et relativt kort tidsrom. Disse nye dateringene gir et tidsintervall på plasseringen av SIP på ca. 10 millioner år, i motsetning til tidligere, da et betydelig lengre tidsintervall var antatt (opptil flere hundre millioner år). Dette kortere tidsintervallet medfører en mer tilfredsstillende modell for opprinnelsen til SIP. Siste innspill i diskusjonen om opphavet til SIP er gitt i Griffin et al. (2013), som blant annet mener at magmaet som dannet de ultramafiske intrusjonene hadde en dunittisk sammensetning.

1.5 Regionalgeologi

Geologien i Finnmark er kompleks og representerer et stort tidsspenn. Sentralt og sør på Finnmarksvidden, i grensetraktene mot Finland, er det grønnsteinsbelter og gneiser av arkeisk (2900-2500 millioner år) til paleoproterozoisk (2500-1750 millioner år) alder, som representerer grunnfjellet i området. Lengre nord på vidden kommer de kaledonske skyvedekkene inn med en betydelig yngre alder (Solli and Nordgulen, 2007, Ramberg et al., 2007). De kaledonske skyvedekkene er del av et belte som strekker seg fra Newfoundland, gjennom Irland og Skottland til Norge og Sverige (Roberts et al. 2006). Restene etter den kaledonske orogenesisen i Norge strekker seg fra Rogaland i sør til Finnmark i nord (Figur 1.2 a), og dette setter sitt preg på den norske geologien. De kaledonske skyvedekkene er et resultat etter orogenesisen da kontinentene Laurentia og Baltika kolliderte ved lukkingen av Iapetushavet i sen kambrium til tidlig silur, med et klimaks for ca. 420 mill år siden (Ramberg et al., 2007).



Figur 1.2 a) Tektonisk kart over de Skandinaviske Kaledonidene. b) Skjematiske profil som viser plassering av SIP i forhold til skyvedekkene (Roberts et al. 2010).

Figure 1.2 a) Tectonic map of the Scandinavia Caledonides. b) Schematic profile including SIP and the relations to the allochthons.

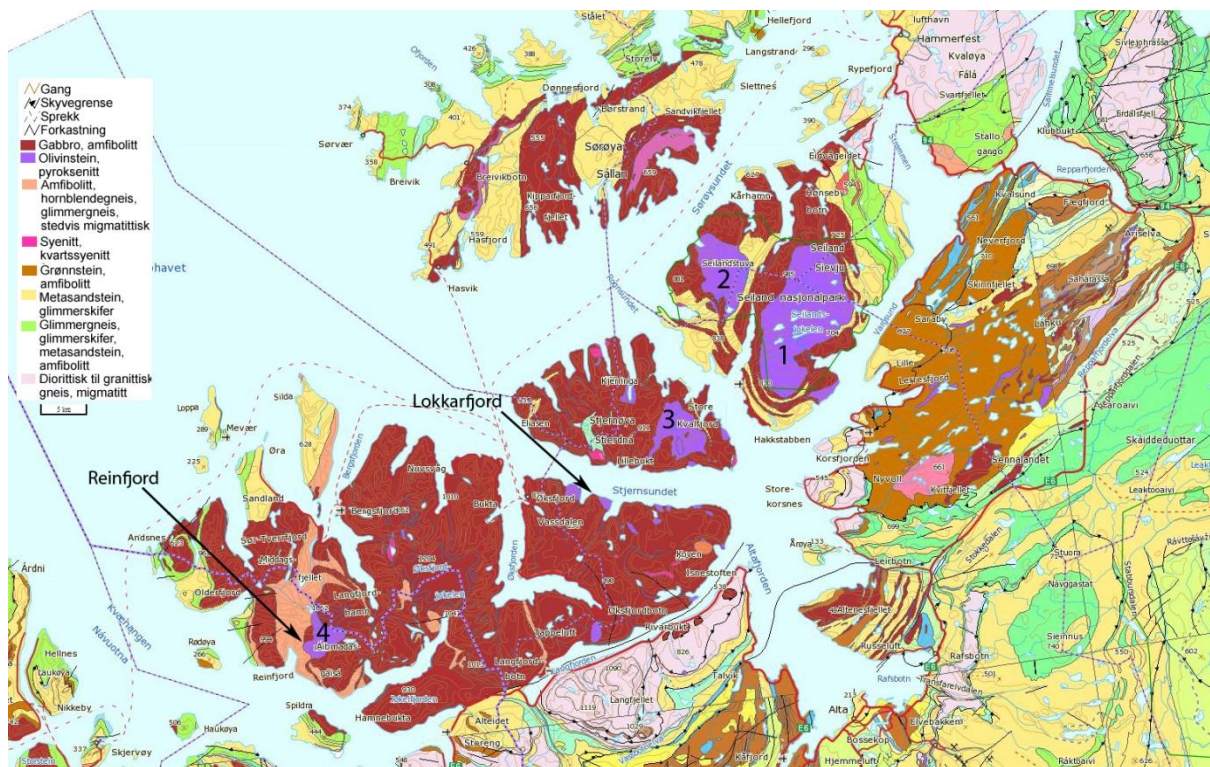
Den tradisjonelle, typiske inndelingen av de kaledonske enhetene i Norge er i fire alloktoner: nedre, midtre, øvre og øverste allokton. Nedre og midtre allokton består av bergarter med

Kapittel 1: Innledning

opprinnelse fra Baltika, øvre allokton fra havbunnsplaten i Iapetushavet og øverste allokton av bergarter med opprinnelse fra Laurentia (Ramberg et al., 2007). I Finnmark er de tre nederste alloktonene representert som følger (fra øst mot vest og nedenfra og opp): Gaissa dekkekompleks (nedre allokton, neoproterozoisk til tidlig ordovisiske sedimentære bergarter), Laksefjord dekkekompleks (midtre allokton, klastiske sedimentære bergarter av neoproterozoisk alder), Kalak dekkekompleks (midtre allokton, neoproterozoiske sedimentære og magmatiske bergarter) og Hellefjord-Magerøy dekkekompleks (øvre allokton, tidlig silur sedimentære, vulkanske og magmatiske bergarter). SIP ligger innenfor Sørøy dekket (Roberts, 2007), den øverste tektoniske enheten i Kalak dekkekompleks i midtre allokton, Figur 1.2 b (Roberts et al., 2010).

SIP er en ca. 5500 km² stor geologisk provins som dekker øyene Seiland, Stjernøy, Sørøya og Øksfjordhalvøya i Troms og Finnmark, Figur 1.3. Provinsen består ca. av 50 % mafiske, 35 % ultramafiske, 10 % felsiske og 5 % alkaline bergarter (Roberts et al., 2006). Nyere undersøkelser har datert alderen på de mafiske intrusjonene ved hjelp av U-Pb zirkon og monasittanalyser til en alder på mellom 560 - 570 millioner år (Roberts et al., 2006). De alkaline bergartene er datert til å være mellom 560 - 580 millioner år gamle (Roberts et al., 2010), mens nefelinsyenitt pegmatitter er tidligere datert til å være 520 - 530 millioner år gamle (Pedersen et al., 1989).

Kapittel 1: Innledning



Figur 1.3 Geologisk kart over SIP. Ultramafiske intrusjoner: Melkevann (1), Nordre Bumannsfjord (2), Kvalfjord (3) og Reinfjord (4). Kartdata: NGU (2012).

Figure 1.3 Geologic map of SIP. Ultramafic intrusions: Melkevann (1), Nordre Bumannsfjord (2), Kvalfjord (3) and Reinfjord (4). Map source: NGU (2012).

SIP er tolket til å representere roten av et tilførselssystem for magma for et større interkontinentalt riftssystem og kan sammenlignes med store magmatiske sentre som Bushveld, Stillwater og Kangerdlugssuaq (Larsen, 2011). Den store andelen alkaline bergarter gir spesielt store likhetstrekk med Kangerdlugssuaq og deler av den Østafrikanske riften. Spesielt de relativt sjeldne bergartene som nefelinsyenitter og karbonatitter er vanligvis assosiert med kontinentale riftsystemer (Roberts et al., 2006). På grunn av stor andel ultramafiske bergarter, større enn for de andre magmatiske sentre nevnt her, er det stor sannsynlighet for at SIP representerer de mer dyptliggende deler av et magmatisk senter assosiert med flood basalt vulkanisme (Larsen, 2011). Selve systemet var nok større da det ble dannet, men mesteparten er i dag erodert vekk. Lokaliseringen av SIP på det tidspunktet da den ble dannet er også usikker. En plassering i Kalakdekket, og en alder eldre enn den kaledonske orogesen, kan tyde på at SIP er transportert over en viss distanse under orogesen. Men opprinnelig plassering av SIP er stadig omdiskutert, og en forflytning av skyvedekken på opptil 400 km er foreslått. Det er også diskutert om en signifikant positiv Bouguer anomali, den største som er kjent på det Baltiske skjoldet, som ligger VNV for SIP

på kontinentalsokkelen, har en sammenheng med den opprinnelige plasseringen (Brooks, 1969).

Innad i SIP er det fire større (25 - 100 km²) ultramafiske intrusjoner i tillegg til flere mindre (Bennett et al. 1986): (1) Melkevann, (2) Nordre Bumannsfjord, (3) Kvalfjord og (4) Reinfjord, Figur 1.3. Melkevann, Nordre Bumannsfjord og Kvalfjord ligger samlet i en gruppe på øyene Seiland og Stjernøy. Disse intrusjonene er i hovedsak intrudert diskordant inn i lagdelte olivin gabbro kropper, hvor de også delvis kutter gabbroen og kommer i kontakt med eldre bergarter. Hovedbergarten av de ultramafiske bergartene er grovkornet olivin klinopyroksenitt med varierende innhold av plagioklas og amfibol. Det finnes i tillegg ultramafiske bergarter som wehrlitt, dunitt, pyroksen-hornblende peridotitt, amfibolrike ultramafiske bergarter, olivin melagabbro og hornblende gabbro. Det er petrografiske variasjoner innad i intrusjonene, og det er også vanlig med mafiske ganger inn i gabbroen. Det er antatt at alle intrusjonene har samme alder (Bennett et al., 1986). Reinfjordkomplekset, hvor wehrlitt og dunitt er de dominerende ultramafiske bergartene, ligger for seg selv vest på Øksfjordhalvøya og har intrudert inn i en lagdelt gabbronoritt (Bennett et al., 1986).

1.6 Reinfjord ultramafiske kompleks (RUK)

RUK befinner seg i Kvænangen kommune i Troms fylke og dekker et område på ca. 25 km². Komplekset består av tre ultramafiske serier (Lower layered series (LLS), Upper layered series (ULS) og Central series (CS)), som i øst grenser til en gabbro og i vest mot en granatgneis. Nomenklaturen innført av Bennett (1971) og revidert av Emblin (1985) er valgt videreført for lettere å kunne diskutere og sammenligne geologien. Gjennomgangen av geologien er basert på Emblin (1985), Bennett (1974), Bennett (1971) og Hansen (1971).

1.6.1 Geologien i Reinfjord

Granatgneisen (Garnet gneiss)

Sidebergarten vest for RUK er en granatgneis, som er den eldste av bergartene i området. Granatgneisen er metasedimentær og har gjennomgått metamorfose til øvre amfibolitt facies. I granatgneisen finnes en kontaktmetamorf sone som ble dannet da først Langstrandgabbroen og deretter RUK intruderte. Sonen strekker seg ca. 2 km fra kontakten mot RUK og er karakterisert av sillimanitt og K-feltspat. Overvoksninger av kyanitt over sillimanitt i ytre deler av den kontaktmetamorfe sonen tyder på at det ultramafiske komplekset oppstod under trykk på minst 6 kbar. Stedvis mellom granatgneisen og Lower Marginal Zone (LMZ)

Kapittel 1: Innledning

opptrer en 1-3 meter tykk sekvens av gabbro, noe som kan tyde på at RUK følger grensen til den noe eldre gabbroen.

Langstrandgabbroen

Langstrandgabbroen er betegnelsen på bergartene som RUK intruderte inn i. Den er antatt å være noe eldre enn RUK, men var fortsatt varm da RUK intruderte. Det er mulig å anta at Langstrandgabbroen fortsatt var varm, blant annet på grunn av høytemperatur rekrytallisasjon og remobilisering av gabbrobergarter under intrusjon av RUK. Mangel på en krystallisert sone langs de tidligste ultramafiske gangene støtter også opp under at temperaturen i gabbroen ikke var blitt senket signifikant før RUK intruderte (Bennett et al., 1986). Langstrandgabbroen skiller ULS og LLS fra hverandre og grenser også stedvis til granatgneisen vest for RUK. Langstrandgabbroen består av både gabbro og gabbronoritt med et varierende innhold av olivin, plagioklas og pyroksen.

Lower layered series (LLS)

LLS består hovedsakelig av lherzolitt, wehrlitt og olivin klinopyroksenitt, med olivinsammensetning: $FO_{79,9}$ - $FO_{82,9}$. LLS befinner seg på et nivå under gabbrotungen, som skiller LLS fra ULS, og er kun blottlagt i det sørvestre hjørnet av komplekset. LLS representerer den tidligste fasen av intrusjonen og består av 4 sykliske enheter, som igjen består av olivin kumulater etterfulgt av klinopyroksen-olivin kumulater. Total tykkelse er ca. 300 meter. Mot grensen til granatgneisen opptrer en marginal sone kalt "Lower marginal zone" (LMZ), som består av bergartene olivin websteritt, websteritt og olivin melagabbro hvor olivinsammensetninger er: $FO_{76,7}$ - $FO_{81,6}$. Det er flere sulfidmineraliseringer langs LMZ.

Upper layered series (ULS)

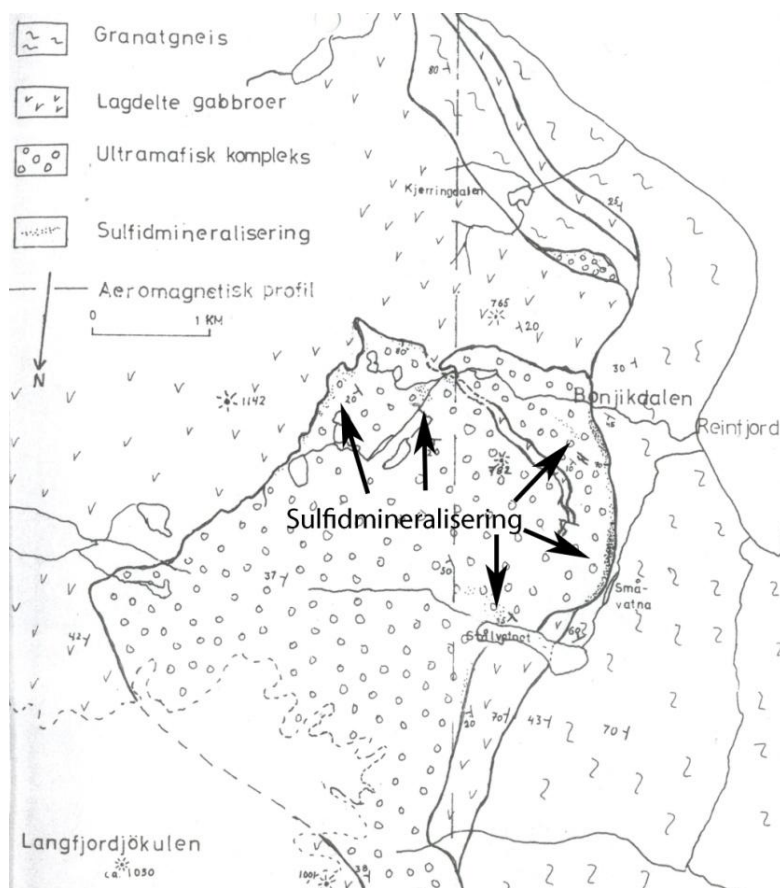
ULS består for det meste av wehrlitt og olivin klinopyroksenitt og er blottlagt på et nivå over gabbroen som skiller LLS fra ULS. Olivinsammensetningen er $FO_{81,0}$ - $FO_{85,3}$. ULS er den nest eldste fasen av intrusjonen og består av syv sykliske enheter, som igjen består av olivin kumulater etterfulgt av klinopyroksen-olivin kumulater. Total tykkelse er ca. 250 meter. Xenolitter av gabbro finnes også innenfor ULS. Mot grensen til Langstrandgabbroen er det en marginal sone kalt "Upper marginal zone" (UMZ), som for det meste består av bergartene olivin websteritt, websteritt og olivin gabbro, med olivinsammensetning $FO_{74,0}$ - $FO_{80,9}$. Det er flere sulfidmineraliseringer langs UMZ.

Central series (CS)

CS befinner seg sentralt i RUK og har intrudert diskordant inn i de lagdelte seriene. CS representerer den siste fasen av intrusjonen og er dermed yngst. Olivin er eneste kumulus fase, og bergartene er stort sett dunitt og websteritt. Olivinsammensetningen er $Fe_{83,6}-Fe_{85,9}$. Det er imidlertid variasjoner innenfor olivinsammensetningene i CS, noe som tyder på at det er mer enn en magmapuls som har dannet den. CS kutter inn mellom lagene i ULS, og som er et bevis for at CS er en yngre del av RUK enn ULS. Assosiert med CS er "Northeast marginal zone" (NEMZ), som består av dunitt, wehrlitt, olivin websteritt, websteritt, troctolitt og olivin melagabbro, med olivinsammensetning $Fe_{78,1}-Fe_{83,5}$.

Marginal sone

Ved ytterkantene av RUK befinner det seg en marginal sone dominert av websteritt og olivin websteritt, men der det også opptrer olivin melagabbro og troctolitt, samt xenolitter av gabbro og grovkornede blokker av pyroksenitt. Det opptrer sulfider flere steder i forbindelse med de marginale sonene, noe som var fokus for Hansen (1971). Sulfidmineraler som han identifiserte var pyrrhotitt, markasitt, pentlanditt, bravoitt (bravoittisert pentlanditt), chalcopyritt og pyritt. Hvor markasitt og bravoitt opptrer utelukkende som omvandlingsmineraler. Figur 1.4 viser kart fra 1971 der påviste sulfidmineraliseringer i overflaten er inntegnet.



Figur 1.4 Kart laget av Hansen (1971) over sulfidmineraliseringer i forbindelse med den marginale sonen i Reinfjord. Legg merke til at kartet er opp ned, nord er mot bunnen av figuren.

Figure 1.4 Map by Hansen (1971) of the sulfide mineralization occurring in marginal zone in Reinfjord. Note that the map is upside down with north towards the bottom of the figure.

Ultramafiske og mafiske ganger

Ganger < 15 cm i tykkelse finnes både i de lagdelte seriene og CS. Sammensetningen varierer fra dunittiske til gabbroiske bergarter, og det forekommer mye krysskutting mellom gangene. Opphavet til gangene er ukjent, men Bennett (1974) har foreslått en teori om at de tidligste gangene er dannet ved remobilisering av intercumulus smelte, mens de gabbroiske gangene er dannet fra restsmelte.

Deformasjon

Det har foregått noe deformasjon i komplekset. Det er flere steder forkastinger med forkastningsplan i en Ø-V-retning, hvor serpentinisering har foregått. En form for NØ-SV duktil deformasjon har også funnet sted.

Orientering

Mye tyder på at RUK er orientert med riktig vei opp. De lagdelte seriene viser sykliske variasjoner hvor dunitt og poikilittisk wehrmitt opptrer nederst, med påfølgende olivin

Kapittel 1: Innledning

klinopyroksen kumulerer. Dette tyder på at lagdelingen etter intrusjonene av magmapulsene er mer eller mindre bevart, med riktig vei opp, og med svak helning mot NØ.

Utvikling

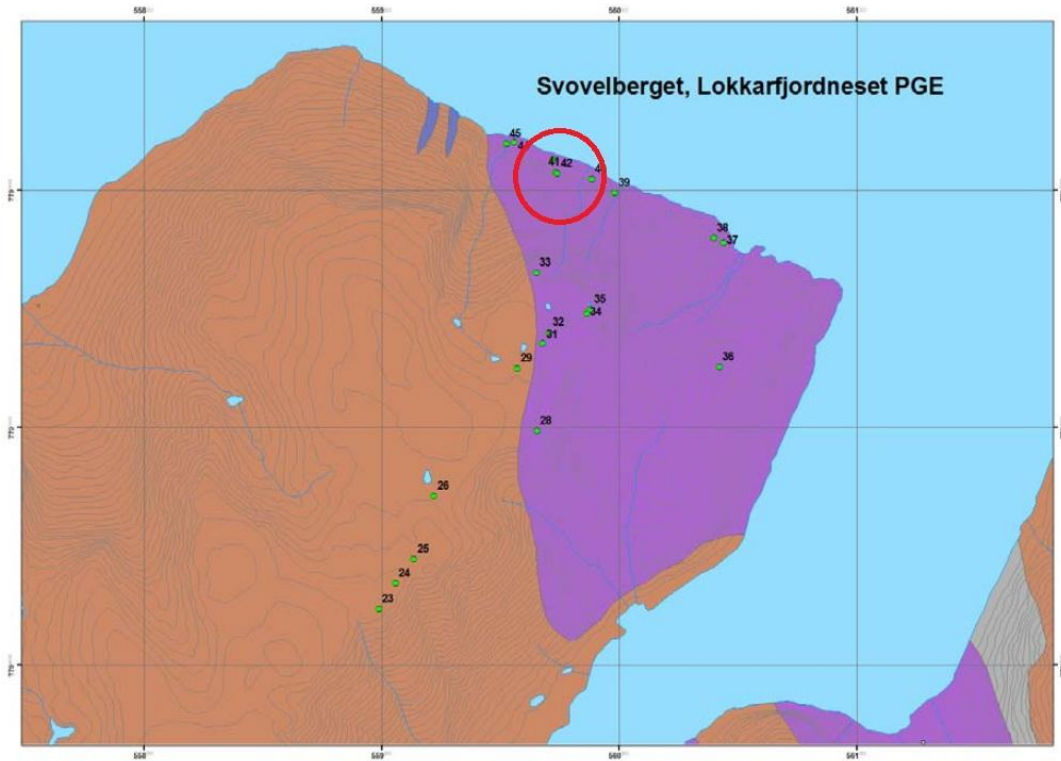
Opprinnelig dybde for plassering er antatt å være 22-28 km dybde (6-8 kb). Utviklingen av RUK går fra Mg-fattige til mer Mg-rike bergarter, hvor CS er mest Mg-rik. Dette er motsatt av hva man skulle anta ved vanlig fraksjonert krystallisasjon. Det har vært tilførsel av magma i flere runder, noe som har ført til sykliske serier. Temperaturen for magmaet som dannet ULS er estimert til 1350 - 1400 °C, mens tilsvarende temperatur for CS er estimert til 1400-1450 °C (Emblin, 1985).

1.7 Lokkarfjord

Hornblenditten i Lokkarfjord ble første gang kartlagt av Krauskopf (1954) og vurdert i prospekteringsøyemed på 1970-tallet, blant annet i et dokument om feltarbeid i Alta-området i 1971 av ukjent forfatter og i 1977 av Vrålstad. I 2008 utførte NGU oppfølging av PGE-anomale prøver i Finnmarksprogrammet og besøkte da Lokkarfjord. Videre tekst er basert på rapporten skrevet i etterkant av dette arbeidet, utført av Often and Schiellerup (2008).

I Lokkarfjord, hvor sulfidforekomsten er kjent under navnet Svovelberget, er vertsbergarten for mineraliseringen en hornblenditt, se Figur 1.5. Total blotning av hornblenditten er ca. 2 km², og det er store variasjoner innad i hornblenditten, spesielt med tanke på kornstørrelse. Liknende bergart er ikke observert andre steder i området. Sidebergarten er metagabbro og området som er kraftigst mineralisert (Svovelberget med semimassive sulfider) befinner seg i en steil fjellvegg. Analyser gjort av prøver fra løsblokker i rasuren under mineraliseringen viser økonomiske gehalter på 0,8 % Ni, 0,72 % Cu, 0,05 % Co og 0,8 ppm PGE.

Kapittel 1: Innledning



Figur 1.5 Geologiskkart over Lokkarfjord. Rød ring viser Svovelberget (Often and Schiellerup, 2008). Lilla: Hornblenditt. Brunt: Metagabbro.

Figure 1.5 Geological map showing Lokkarfjord. Red circle is Svovelberget (Often and Schiellerup, 2008). Purple: Hornblendite. Brown: Metagabbro.

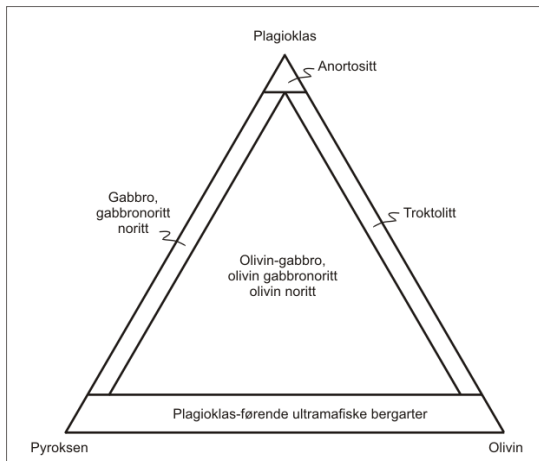
2 Kapittel 2: Teori

2.1 Lagdelte mafiske og ultramafiske intrusjoner samt tilhørende sulfidforekomster

Malmforekomster kan klassifiseres ut fra mange parametere, blant annet fra prosessene som har dannet forekomstene. I det store, forenklede bildet er det tre prosesser som står bak, og lik som for inndelingen av bergarter, er disse prosessene magmatiske, hydrotermale (metamorfe) og sedimentære/overflate prosesser (Robb, 2008). Denne oppgave tar for seg en magmatisk malmforekomst og konsentrerer seg derfor på malmforekomster og bergarter med et magmatisk opphav.

2.1.1 Klassifikasjon av mafiske og ultramafiske bergarter

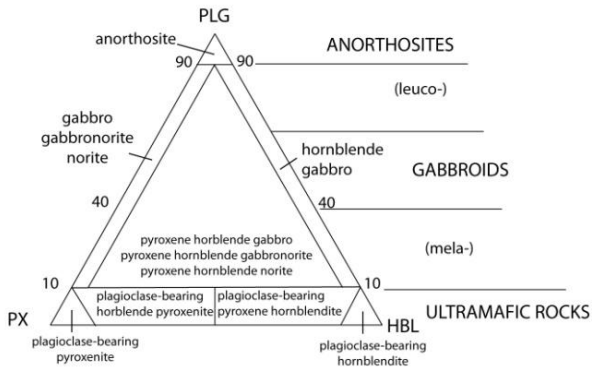
Klassifikasjon av mafiske og ultramafiske bergarter basert på innhold av respektive mineraler og følger systemet som er vist i Figur 2.1 til Figur 2.4. Gabbrobergartene klassifiseres som en gabbro om den inneholder klinopyroksen, noritt om den inneholder ortopyroksen, og gabbronoritt om innholdet av klinopyroksen og ortopyroksen er omtrent likt (Blatt et al., 2006).



Figur 2.1 Klassifiserings diagram for gabbroiske bergarter som inneholder plagioklas, pyroksen og olivin. (Blatt et al., 2006).

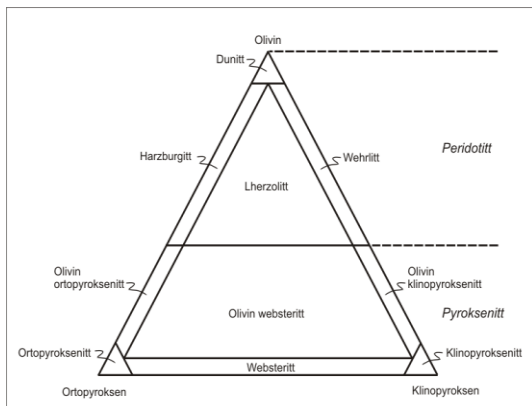
Figure 2.1 Classification diagram of gabbroic rock containing plagioclase, pyroxene and olivine (Blatt et al., 2006).

Kapittel 2: Teori



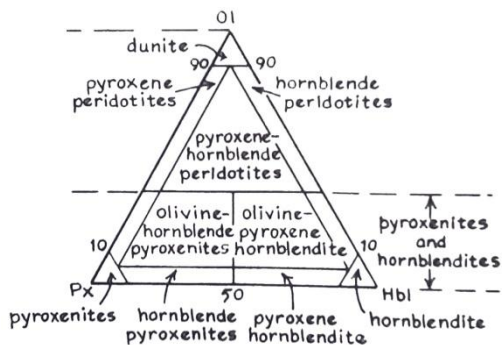
Figur 2.2 Klassifiserings diagram for gabbroiske bergarter som inneholder plagioklas, pyroksen og hornblende (Blatt et al., 2006).

Figure 2.2 Classification diagram of gabbroic rock containing plagioclase, pyroxene and hornblende (Blatt et al., 2006).



Figur 2.3 Klassifiserings diagram for ultramafiske bergarter som inneholder olivin, ortopyroksen og klinopyroksen (Blatt et al., 2006).

Figure 2.3 Classification diagram of ultramafic rocks containing orthopyroxene, clinopyroxene and olivine (Blatt et al., 2006).

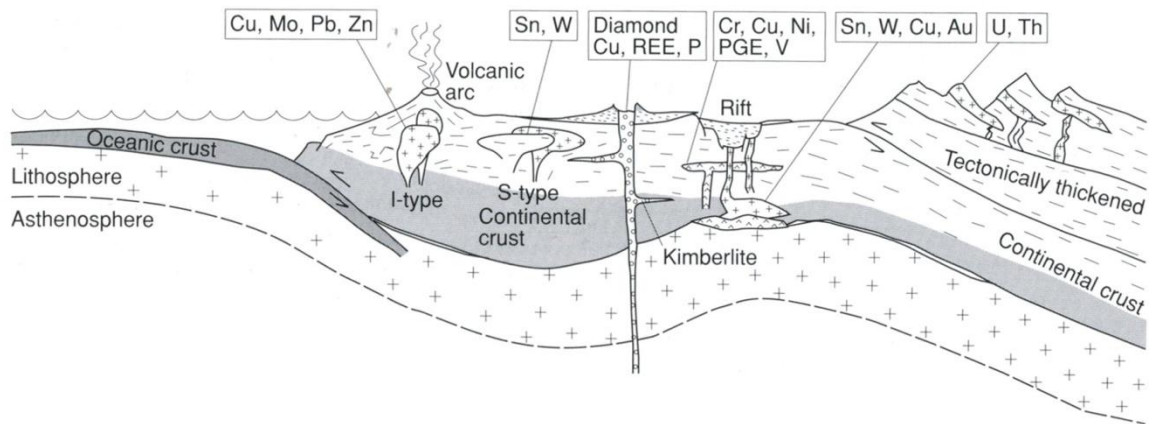


Figur 2.4 Klassifiserings diagram for ultramafiske bergarter som inneholder olivin, pyroksen og hornblende (McBirney, 2007).

Figure 2.4 Classification diagram of ultramafic rocks containing olivine, pyroxene and hornblende (McBirney, 2007).

2.1.2 Magmatiske malmforekomster

Det er en rekke elementer som er assosiert med magmatiske malmforekomster. Figur 2.5 viser et tenkt snitt gjennom jordskorpen og gir et eksempel på den relative plasseringen forskjellige magmatiske malmforekomster kan ha i forhold til hverandre. Lithofile elementer som Li, Sn, F, Nb, REE, P, Zr, U og W er assosiert med felsiske og alkaline bergarter. Chalcofile og siderofile elementer som Cr, V, Pt, Pd, Au, Cu, og Ni er imidlertid mer assosiert med mafiske og ultramafiske bergarter. Opphavet til magmaet, som har dannet de respektive forekomstene, har en sammenheng med den tektoniske situasjonen. Granittiske smelter kan dannes i forbindelse med subduksjonssoner, mens for eksempel diamantførende kimberlitter har sitt opphav dypt nede i mantelen under tykkere kontinentalskorpe. Opprinnelse til magmaet som fører til mafiske og ultramafiske lagdelte intrusjoner kan ha sitt opphav i rift-situasjoner, hvor en delvis oppsmelting av mantelen foregår (Robb, 2008).

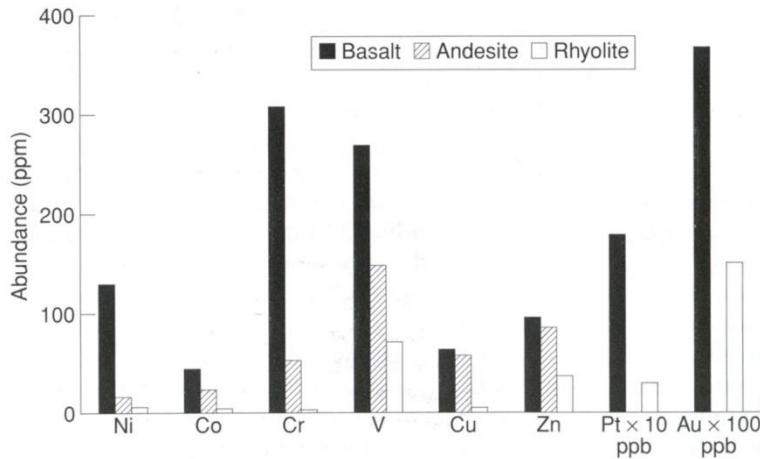


Figur 2.5 Tenkt snitt gjennom den oseanske og kontinentale litosfæren og skorpen samt relativ plassering av magmatiske malmforekomster (Robb, 2008).

Figure 2.5 Theoretical profile through the oceanic and continental lithospheres and relative position of different igneous ore types (Robb, 2008).

Ved delvis oppsmelting av mantelen kan dannelse av basaltisk magma foregå, bestemt ut fra graden av oppsmelting. Denne type magma har et naturlig anrikt innhold av siderofile og chalcofile elementer, sett i forhold til magma fra et subduksjonssonemiljø med for eksempel andesittisk sammensetning. Figur 2.6 viser en sammenligning av innholdet av utvalgte metaller i magma med forskjellig sammensetning, hvor magma med basaltisk sammensetning har det høyeste innholdet av de utvalgte elementer. Det at magma er anrikt på forskjellige elementer, henger sammen med den kjemiske affiniteten som er bestemt av elementenes egenskaper (ionepotensialet). I basaltisk magma, hvor overgangsmetaller som for eksempel Ni, Co, Cr, V, Cu, Zn, Pt og Au er anrikt og finnes som sporelementer, har de en kjemisk

affinitet til hovedelementene i basaltisk magma som er Fe og Mg. Det vil si at sporelementene som finnes i for liten konsentrasjon til å danne egne mineraler, kan substituere for hovedelementene og binde seg i selve mineralgitteret eller i defekter i krystallgitteret. For at et sporelement skal kunne substituere for et hovedelement, må ioneradiusen være innenfor ca. 15 %, og ladningen kan ikke variere med mer enn et oksidasjonstrinn (Robb, 2008).



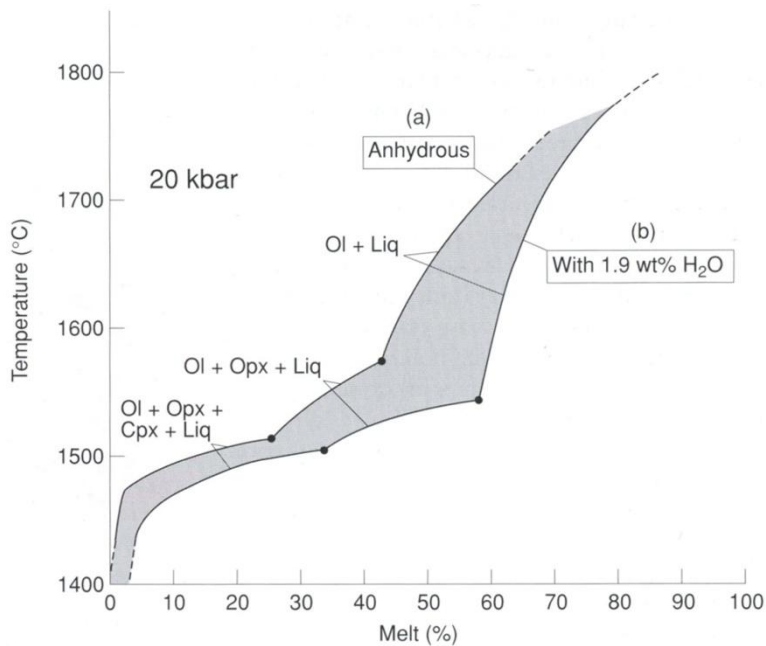
Figur 2.6 Relativt innhold av utvalgte metaller i magma med basaltisk, andesittisk og rhyolittisk sammensetning (Robb, 2008).

Figure 2.6 Relative abundance of metals in basalt, andesite and rhyolite (Robb, 2008).

2.1.3 Partiell oppsmeltning og dannelselse av magma

Basaltiske magma dannes fortrinnsvis i den oseanske litosfæren, langs de midt-oseanske spredningssonene. Partiell oppsmeltning av den astenosfæriske og litosfæriske mantelen i dette området fører til produksjon av basaltiske smelter. Smelteprosessen starter ved ca. 1400 °C hvor klinopyroksen, mineralet med lavest smeltetemperatur i mantelen, begynner å smelte. Når smelteprosessen starter, vil også sporelementene kunne gå inn i smelten. Noen sporelementer blir fortrinnsvis værende i den faste fasen og kalles kompatible elementer, mens andre sporelementer fortrinnsvis går inn i smeltefasen og kalles inkompatible elementer. I tillegg til klinopyroksen består mantelen av ortopyroksen og olivin. Figur 2.7 viser forløpet av smelteprosessen ved et trykk på 20 kbar. Figuren viser at etter hvert som ortopyroksen også smelter, består den faste fasen til slutt av ren olivin. For at et magma bestående av alle de tre mineralene skal dannes, må smeltetemperaturen nå omtrent 1580 °C (Robb, 2008).

Kapittel 2: Teori



Figur 2.7 Smelting av basaltisk magma ved 20 kbar. Klinopyroksen (cpx) er det første mineralet som smelter, etterfulgt av ortopyroksen (opx) og olivin (ol) (Robb, 2008).

Figure 2.7 Melting of basaltic magma at 20 kbar. Clinopyroxene (cpx) is the first mineral to melt, followed by orthopyroxene (opx) and olivine (ol) (Robb, 2008).

Ved dannelsen av basaltiske magma er fraksjonert smelting vanlig. Det vil si at smelten som produseres fjernes kontinuerlig fra kildeområdet. Dette er mulig fordi basaltisk magma har lav viskositet og dermed er svært mobil. De inkompatible elementene befinner seg da i en ny magmakropp høyere oppe i litosfæren. Denne nye magmakroppen vil da være anriktet på inkompatible elementer sammenliknet med kildebergartene (mantelen), mens den resterende faste fasen vil være utarmet, men anriktet på kompatible elementer. Ved lav grad av oppsmelting kan anrikningen av inkompatible elementer bli særdeles høy. Total oppsmelting eller "batch melting" kan også skje ved dannelsen av basaltisk magma, men har lettere for å forekomme ved oppsmelting og dannelsen av viskøse granittiske smelter (Robb, 2008).

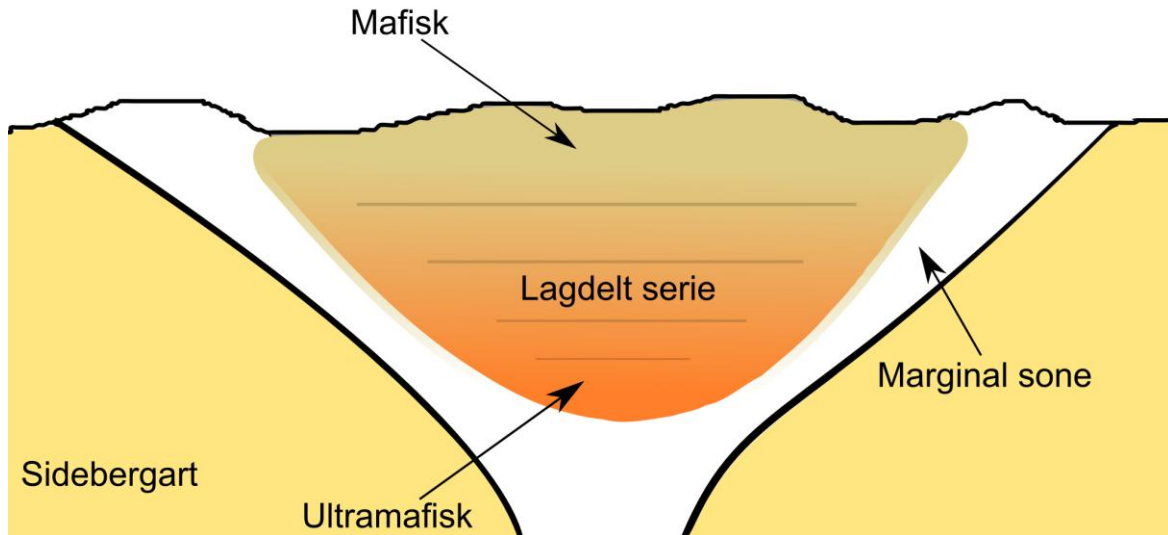
For SIP er situasjonen annerledes, da det er oppsmelting av mantelen under den kontinentale litosfære som har foregått. Beskrivelse av opphavet til SIP er her gitt i avsnitt 1.5. En situasjon hvor både ekstensjon og hot spot aktivitet har foregått, kan ha gitt opphav til magmaet som har dannet de mafiske og ultramafiske kompleksene. For eksempel er magmaet som har krystallisert til CS i Reinfjord, beregnet til å ha en særdeles høy krystallasjonstemperatur. For å muliggjøre en slik høy temperatur er flere teorier foreslått. Blant annet at magmaet ble tilført langs et tilførselssystem som allerede var oppvarmet på

grunn av de tidligere mafiske intrusjonene, samt at magmaet var dannet på progressivt større og større dyp og ble dermed mer og mer ultramafisk. Diskusjoner rundt opphavet til magmaet er gitt i Yeo (1984), Emblin (1985), Bennett et al. (1986), og med de nyeste teoriene i Griffin et al. (2013).

2.1.4 Krystallisasjon

Prinsippet for krystallisasjonsforløpet til et basaltisk magma kan også vises ut fra Figur 2.7, hvor krystallisasjonsforløpet går fra høy mot lavere temperatur og på et høyere nivå i jordskorpen (lavere trykk) enn figuren viser. Når temperaturen synker er olivin som oftest det første mineralet som krystalliserer. På grunn av at olivin har høyere tetthet enn smelten, synker olivin til bunns i magmakammeret. Tettheten til et mafisk magma er typisk rundt $2,6 \text{ g/cm}^3$, mens mafiske mineraler typisk har en tetthet $> 3 \text{ g/cm}^3$. Denne tetthetsforskjellen, sammen med lav viskositet, kan forklare at krystalliserte mineraler kan synke til bunns i et magmakammer og danne lag som kumulater. Denne prosessen kalles fraksjonert krystallisasjon eller Rayleigh fraksjonering. Dette fører til en lagdeling av kumulat bergarter, som er typisk for mafiske og ultramafiske intrusjoner. Mineralkornene som krystalliseres og blir avsatt på bunnen av magmakammeret fører til at magmaet, som til enhver tid finnes høyere oppe, endrer sammensetning under krystallisasjonsforløpet.

Figur 2.8 viser et forenklet, ideelt snitt gjennom et magmakammer, hvor de mest ultramafiske bergartene vil være å finne på bunnen, mens bergartene over er mer og mer mafiske. Det er typisk at et lag med kumulat dunitt danner bunnen av magmakammeret, etterfulgt av lag med kumulater av ortopyroksen og klinopyroksen, før mer gabbroiske bergarter med innhold av plagioklas krystalliserer ut. For eksempel et plagioklasmineral, som har en tetthet $< 2,5 \text{ g/cm}^3$, vil flyte i basaltisk magma så lenge trykket er over 5 kbar. Langs sidene av magmakammeret mot sidebergartene kan en marginal sone dannes (Robb, 2008).



Figur 2.8 Forenklet, ideelt snitt gjennom en lagdelt mafisk/ultramafisk intrusjon.

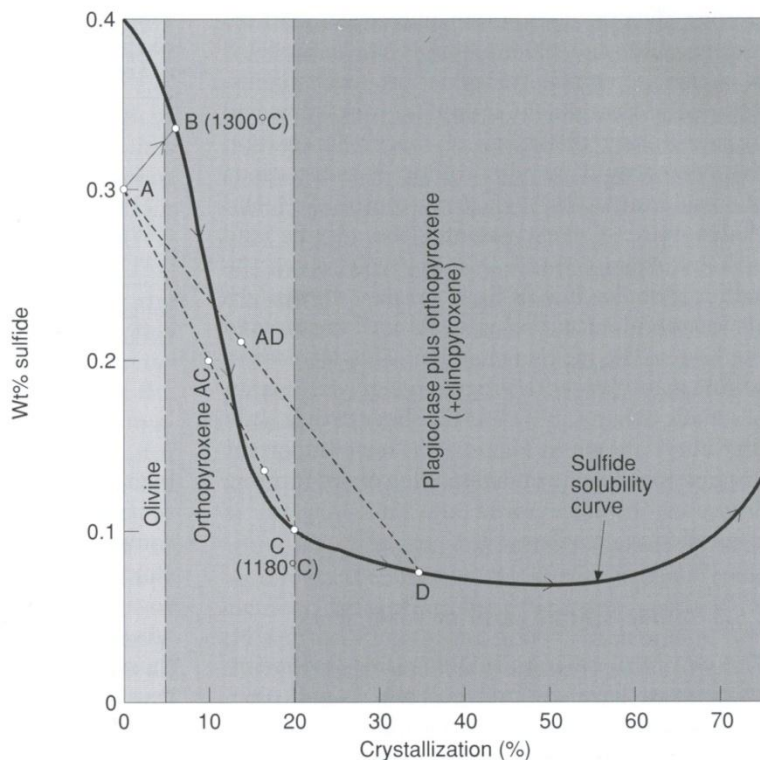
Figure 2.8 Simplified, ideal profile through a layered mafic/ultramafic intrusion.

2.1.5 Malmdannende faktorer

For at en malmsforekomst skal dannes, må noe uvanlig skje. En bestemt faktor må påvirke krystallisasjonen, slik at forholdene endres og legges til rette for at verdifulle elementer anrikes og blir lokalisert til økonomiske gehalter. Det er flere muligheter for hvordan dette kan skje, og de viktigste momentene blir gjennomgått her.

Løselighet av svovel

Løselighet av svovel øker som en funksjon av økende temperatur og FeO-innhold i et magma, men reduseres ved økende trykk og SiO₂-innhold. I Figur 2.9 er det tegnet inn en generalisert kurve over løselighet av svovel som funksjon av progressiv krystallisasjon. Ved 0 % krystallisasjon er løseligheten av svovel ca. 0,4 wt %, mens den synker til ca. 0,1 wt % ved 20 % krystallisasjon. Et magma med originalt 0,3 wt % svovel (Figur 2.9, A) vil ikke være mettet på svovel, og en del magma må krystallisere før metning av svovel kan forekomme. Når metning forekommer vil svovelet kunne danne en egen fase. Hvis svovel som egen fase blir avsatt på grunn av gravitativ utfelling, kan et eget lag med svovel (sulfider) dannes på bunnen av magmakammeret. Nærmest alle de rikeste Ni-Cu forekomstene i verden finnes ved bunnen av sine tilhørende magmatiske intrusjoner (Naldrett, 2004). Størrelsen av dette laget vil bli bestemt av mengden svovel (antall wt %) som blir avsatt som egen fase, før magmaet igjen blir undermettet (Figur 2.9, C). Hvis krystallisasjonen fortsetter til for eksempel situasjon (Figur 2.9, D) i Figur 2.9, og en ny magmapuls med sammensetning (Figur 2.9, A) blir tilført, kan på nytt overmetning av svovel forekomme. En slik situasjon kan føre til mer svovel i egen fase, og eventuell større avsetning av sulfider (Robb, 2008).

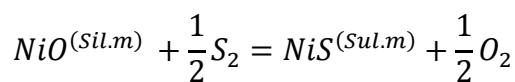


Figur 2.9 Generalisert kurve for fraksjonert krystallisasjon av Bushveldtype mafisk magma, som viser løselighet av svovel som funksjon av progressiv krystallisasjon (Robb, 2008).

Figure 2.9 Generalized curve of fractional crystallization of the Bushveldtype mafic magma, with solubility of sulfur as a function of progressive crystallization (Robb, 2008).

Sulfid-silikat forholds-koeffisienten

For at en sulfidforekomst skal oppnå økonomiske gehalter, er det viktig at svovel opptrer i egen fase for å ha mulighet til å bli mest mulig anriket på økonomisk viktige elementer. I et silikatmagma er gjeldende teori at Fe, Ni, Cu og Co er bundet til oksygen. Men disse chalcophile elementene, elementer med sterk affinitet til svovel, vil bli kraftig anriket i en sulfidsmelte i forhold til silikatsmelten. For Ni kan dette vises ved reaksjonen nedenfor (Naldrett, 2004):



Tabell 2.1 viser et estimat på økningen det kan være av respektive elementer i en sulfidsmelte, sett i forhold til en silikatsmelte. Både for basemetaller og spesielt edelmetaller viser dette forholdstallet at opptreden av svovel i egen fase er en viktig faktor for dannelse av økonomiske forekomster (Robb, 2008).

Tabell 2.1 Estimert av sulfid-silikat forholds-koeffisienten. Forholdstallet viser økning i innhold av element i sulfidmelte i forhold til silikatsmelten (basalt), etter Robb (2008).

Table 2.1 Estimate of sulfide-silicate partition coefficient. The ratio give us the increase in abundance of a element in the sulfide melt, in comparison to the silicate melt (basalt), after Robb (2008).

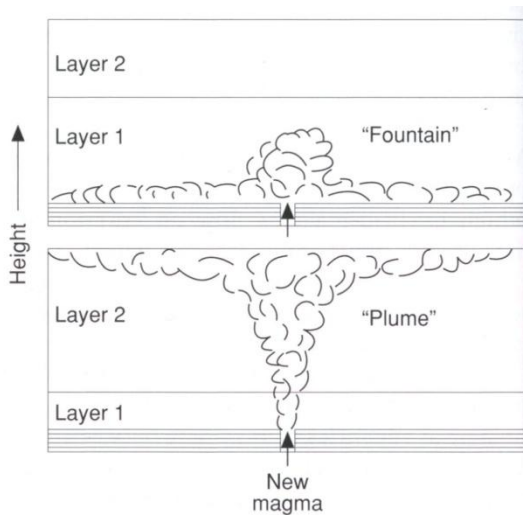
	Ni	Cu	Co	Pt	Pd
Basalt	275	250-2000	80	10^4-10^5	10^4-10^5

R-faktoren

For å oppnå stor grad av anrikning i en sulfidmelte, er sulfidmelten avhengig av å komme i kontakt med mest mulig magma. R-faktoren er et masseforhold som forteller hvor mye svovel som har vært i kontakt med hvor mye smelte og er dermed en parameter som forteller om sulfidmelte og silikatmagma har påvirket hverandre. En høy R-faktor betyr at sulfidmelten har vært i kontakt med mye silikatsmelte, og dermed hatt mulighet til å ha blitt kraftig anrikt på chalcophile elementer. En slik situasjon kan tenkes å oppstå hvis en sulfiddråpe har mulighet til å synke gjennom en høy kolonne av magma (et helt magmakammer), eller at ny magma blir tilført og god blanding oppstår på grunn av strømminger i magmakammeret, som vist i Figur 2.10, hvor spesielt en magma "plume" gir god mulighet for blanding (Robb, 2008).

Tilførsel av ny magma/magma miksing

Hvis en ny magmapuls tilføres i et magmakammer som alt har startet å krystallisere, er det to situasjoner som kan forekomme. Hvis den nye magmapulsen har en tetthet som er høyere enn tettheten til originalmagmaet, vil magmaet synke til bunns i magmakammeret straks den tilføres. Denne situasjonen er vist øverst i Figur 2.10. Da vil blanding av de to magmaene fortrinnsvis tilfalle de nederste delene av magmakammeret. Hvis derimot det nye magmaet som tilføres har lavere tetthet enn originalmagmaet, vil magmaet stige til sin egen tetthetshøyde eller til topps i kammeret (Robb, 2008). Dette er vist nederst i Figur 2.10. Sannsynligheten for god blanding mellom magmaene er da større, noe som kan være en god malmdannende faktor, jamfør R-faktoren.



Figur 2.10 To situasjoner ved tilførsel av ny magma i et eksisterende magmakammer (Robb, 2008).

Figure 2.10 Two situations where new magma arrives in an existing magma chamber.

Tilførsel av svovel fra sidebergarter

Tilførsel av svovel ved delvis oppsmelting av sidebergarter, er også en mulighet for å oppnå overmetning av svovel, og dermed svovel i egen fase. Spesielt kan dette ha stor betydning hvis sidebergartene er svovelrike. Typisk for sulfidforekomster med tilførsel av svovel fra sidebergarter er at den mest massive sulfidmineraliseringen er i nærheten til sidebergartene (Robb, 2008).

Forurensing av magma

Overmetning av svovel kan også forekomme på grunn av at magmaet blir forurenset og dermed endrer sammensetning. Tilførsel av SiO₂-rikt materiale til et mafisk/ultramafisk magma vil senke løseligheten til svovel og dermed øke sannsynligheten for overmetning og svovel som egen fase.

Temperatur for krystallisasjon av sulfidmalm

Temperaturen for krystallisasjon av sulfidmalm er viktig med tanke på hvor langt sulfidene kan bevege seg fra sitt opprinnelsessted til de avsettes, men også med tanke på eventuell oppførsel under høygrads metamorfose. De fleste sulfidsmelter vil starte å krystallisere mellom 1160 - 1120 °C, men er fortsatt mobil ved lavere temperaturer, men da som en blanding av krystaller og smelte. De første krystallene som dannes er rik på Fe og fattig på Ni, sett i forhold til silikatsmelten. Pyrrhotitt er det første mineralet som krystalliseres før pentlanditt (krystallisasjonstemperatur for pentlanditt polymorf: 865 °C) for så å etterfølges av chalcopyritt (krystallisasjonstemperatur: 850 °C) (Naldrett, 2004).

De malmdannende faktorene er mange og ofte er det en kombinasjon av flere faktorer som ligger bak dannelsen av en økonomisk sulfidforekomst. For eksempel kan det tenkes at overmetning av svovel oppnås som en kombinasjon av krystallisasjon av magma og delvis oppsmelting av sidebergarter, samtidig som magmaet blir forurenset av SiO₂-rikt materiale.

2.2 Generelle betraktninger omkring mafisk/ultramafiske kompleks

Det finnes en rekke kjente mafisk/ultramafiske kompleks som er studert for å forstå hvordan denne type geologi er bygget opp. Eksempler på slike kompleks er: Bushveld (Sør Afrika), Stillwater (Montana, USA) og Skaergaard (Grønland) (Naldrett, 2004). Ved studier av mafisk/ultramafiske kompleks er det ikke mulig å komme utenom Bushveld-komplekset. Dette er verdens største, kjente mafisk/ultramafiske kompleks og dekker et område på omtrent 65000 km². Komplekset består av flere lagdelte serier og har stor økonomisk verdi med blant annet store kjente reserver av platina, krom og vanadium i tillegg til flere andre metaller. Den mest kjente enheten i Bushveld er Merensky Reef som består av ortopyroksen, olivin, kromitt og sulfider, hvor størsteparten av verdens platina blir drevet ut. Horisonten er 1 - 5 meter tykk, og med en utbredelse på mer enn 300 km (McBirney, 2007). Dette forteller noe om størrelsen og viktigheten slike kompleks kan ha.

2.2.1 Sulfid- og PGE-forekomster i mafisk/ultramafiske kompleks

Det finnes flere forskjellige typer mafisk/ultramafiske kompleks som inneholder sulfidforekomster. Disse sulfidforekomstene kan deles opp i fire undertyper, basert på opprinnelsen til kompleksene: 1) Meteoritt nedslagsrelaterte, 2) rift og kontinental flood basalt vulkanisme, 3) komatitter og 4) andre forekomster relatert til mafisk/ultramafiske intrusjoner (Eckstrand and Hulbert, 2007). SIP er tolket til å representere roten av et tilførselssystem for magma for et større interkontinentalt riftssystem, og faller derfor under kategori 3) rift og kontinental flood basalt vulkanisme. Eksempler på andre slike forekomster er: Noril'sk (Russland) og Duluth Complex (Minnesota, USA) (Eckstrand and Hulbert, 2007). Disse forekomstene skiller seg imidlertid fra SIP ved at de representerer de mer øvre delene av flood basalt vulkanisme (Naldrett, 2004).

PGE-forekomster er også assosiert med mafisk/ultramafiske kompleks, men er assosiert med forekomster med lavere innhold av sulfider. Det er i hovedsak to undertyper: 1) Reef-type (stratiform) og 2) magmatisk breksje type. Reef-type eller horisont forekomster, er den viktigste typen, hvor det beste eksempelet er Merensky Reef i Bushveld-komplekset (Eckstrand and Hulbert, 2007).

Kapittel 2: Teori

Malmer som blir utvunnet på grunn av sitt innhold av Ni og Cu inneholder typisk 20 - 90 % sulfider, mens malmer som blir utvunnet på grunn av sitt innhold av PGE typisk inneholder 0,5 - 5 % sulfider (Naldrett, 2004). Tabell 2.2 og Tabell 2.3 gir en oversikt over variasjon i gehalt innenfor de to nevnte typer av forekomster, i den grad det er mulig å generalisere forekomstene. Tabellene gir en idé om hvilke størrelsesorden av gehalter det er snakk om. Forekomstene rike på Ni og Cu blir i størst grad utvunnet på grunn av verdien av Ni, mens forekomstene rike på PGE blir utvunnet på grunn av verdien av PGE. Den relative verdien av Cu er til sammenligning for de fleste forekomstene i størrelsesorden 0 - 20 % (Naldrett, 2004).

Tabell 2.2 Typisk gehalt for sulfidrik Ni-Cu (PGE) forekomst, tall fra Naldrett (2004).

Table 2.2 Typical grades for a sulphide rich Ni-Cu (PGE) ore, numbers from Naldrett (2004).

Sulfidrik Ni-Cu forekomst:	
Ni	0,2 - 2,9 wt %
Cu	0,01 - 1,08 (3,57) wt %
Co	0,014 - 0,207 wt %
Total PGE (Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Os)	0 - 3,76 (9,5) ppm

Tabell 2.3 Typisk gehalt for sulfidfattig Ni-Cu (PGE) forekomst, tall fra Naldrett (2004).

Table 2.3 Typical grades for a sulphide poor Ni-Cu (PGE) ore, numbers from Naldrett (2004).

Sulfattig PGE-forekomst (Naldrett, 2004):	
Ni	0,05 - 0,41 wt %
Cu	0,02 - 0,2 wt %
Total PGE (Pt, Pd, Rh, Ru, Ir, Os)	1,85 - 24,91 ppm

2.3 Se/S forholdet

Se/S $\cdot 10^6$ forholdet er blitt benyttet for å estimere opphavet til svovel i magmatiske sulfidforekomster siden midten av 1980-tallet. Men forholdstallet er omdiskutert med tanke på hva det forteller om opphavet og kan ikke alene gi et presist svar. Den kan imidlertid gi et hint om opphavet og benyttes sammen med svovelisotopanalyser for å gi et bilde av situasjonen. Forholdstallet baserer seg på at de fleste magmatiske bergarter har likt forholdstall som mantelen, typisk Se/S mellom $230 \cdot 10^6$ og $350 \cdot 10^6$ (Ripley and Li, 2002). Verdier utenfor dette intervallet kan imidlertid indikere forurensing fra sidebergartene.

Queffurus and Barnes (2010) påpeker en rekke faktorer som kan påvirke konsentrasjonen av Se og S: 1) Den opprinnelige konsentrasjonen av S og Se i magmaet, 2) konsentrasjonen av S og Se i sidebergartene, 3) separasjon av svovel i egen fase, 4) påvirkning av R-faktoren (Se er et chalcofilt element) og 5) remobilisering av S ved metamorfose. Ut fra dette ser man at først avsatte sulfider siden kan bli endret, for eksempel ved metamorfose eller påvirkning av hydrotermale væsker, noe som kan føre til at konsentrasjonene endres og dermed også forholdstallet. Forholdstallet må derfor brukes med omhu, men kan støtte opp under et estimat basert på svovelisotopanalyser.

2.4 Svovelisotoper

På grunn av at svovelisotopanalyser er nokså lite anvendte analysemetode i forhold til for eksempel XRF og mikrosonde, tas det med et avsnitt for å forklare teorien bak denne type analyser.

2.4.1 Svovelisotopanalyse

Svovelisotopanalyse baserer seg på at forskjellige isotoper av samme grunnstoff har forskjellige masser som det er mulig å måle, og at de forskjellige isotopene er typiske for forskjellige miljøer.

Et atom består av protoner og nøytroner. Antallet protoner gir atomnummeret til grunnstoffet, mens summen av protoner og nøytroner forteller hvilket isotop av grunnstoffet det er. Antallet nøytroner varierer, og ulike isotoper av et grunnstoff har derfor ulik masse (Brady, 2004). For svovel, som har element nummer 16 i det periodiske system, er det 16 protoner og enten 16, 17, 18, 19 eller 20 nøytroner, noe som gir en atommasse på ca. 32 (^{32}S), 33 (^{33}S), 34 (^{34}S), 35 (^{35}S) eller 36 (^{36}S). Av disse er ^{32}S , ^{33}S , ^{34}S og ^{36}S stabile (Seal, 2006).

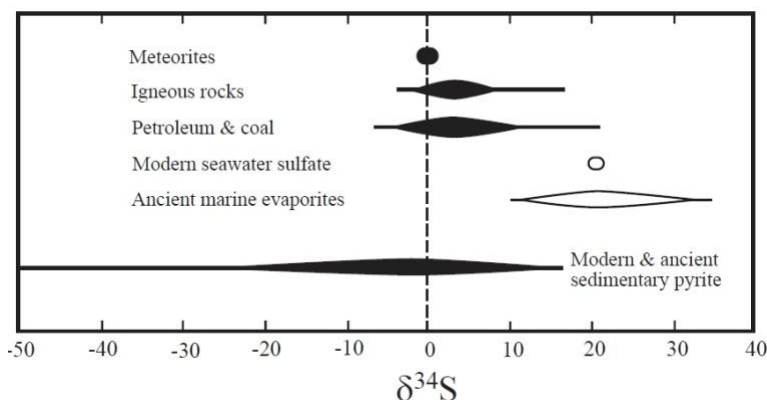
Av de fire stabile svovelisotopene ^{32}S , ^{33}S , ^{34}S og ^{36}S er det gjennomsnittlige innholdet på jorden fordelt henholdsvis slik: 95,02%, 0,75%, 4,21% og 0,02%. Men ved svovelisotopanalyser er det forholdet mellom dem som er interessant og ikke den eksakte verdien. Det relative innholdet av de forskjellige isotopene varierer fra miljø til miljø, som en funksjon av mange forskjellige forhold, for eksempel oksidasjonspotensialet, pH og temperatur. Ved studier av isotoper er det altså vanlig å sammenligne forholdstall mellom to isotoper, hvor det vanligste forholdstallet som blir studert for svovel, er $^{34}\text{S}/^{32}\text{S}$. Dette forholdstallet betegnes $\delta^{34}\text{S}$, og siden forandringene i det prosentvise innholdet av isotopene er lave, beregnes forholdstallet i promille (‰). Som absolutt definisjon brukes Vienna Canyon Diablo Troilite (VCDT), en meteoritt som per definisjon gir $\delta^{34}\text{S} = 0,0$ ‰. En

meteoritt benyttes som standard, fordi denne meteoritten er tolket til å representere den opprinnelige svovelisotopsammensetningen til jorden (Seal, 2006). $\delta^{34}\text{S}$ beregnes ved å bruke følgende formel (Seal, 2006):

$$\delta^{34}\text{S} = \left(\frac{\left(\frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}}\right)_{\text{prøve}} - \left(\frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}}\right)_{\text{referanse}}}{\left(\frac{^{34}\text{S}}{^{32}\text{S}}\right)_{\text{referanse}}} \right) \times 1000$$

2.4.2 Fraksjonering av svovelisotoper

Svovel er det 14. mest vanlige elementet i jordens skorpe og den viktigste bestanddelen i mineralgruppen sulfider. Variasjoner i isotopverdi i sulfidmineralene henger sammen med hvordan svovelisotoper fordeler seg mellom forskjellige typer geologiske miljøer på jorden. Variasjonene opptrer på grunn av forskjellig temperatur, kjemisk sammensetning, krystallstruktur og trykk. Videre kan isotopfordelingen forklares ved de kjemiske variablene som oksidasjonstrinn, ioneladning, atommasse og elektron konfigurasjonen av isotopet og elementet det sitter bundet til. Tyngden av isotopet, gitt den kjemiske sammensetningen, følger den generelle trenden: $\text{SO}_4^{2-} > \text{SO}_3^{2-} > \text{S}_x^0 > \text{S}^{2-}$. Denne trenden gir at sulfatmineraler (SO_4^{2-}) generelt sett har høyere isotopverdi enn sulfider (for eksempel S^{2-}), dette er også vist i Figur 2.11, hvor for eksempel historiske marine evaporitter viser høy $\delta^{34}\text{S}$ -verdi. Den generelle trenden kan også forklare hvorfor sulfidmineraler innenfor en og samme forekomst kan vise forskjellig svovelisotopverdi (Seal, 2006).



Figur 2.11 $\delta^{34}\text{S}$ variasjoner i forskjellige geologiske settinger, alle verdier i ‰ (VCDT) (Seal, 2006).

Figure 2.11 $\delta^{34}\text{S}$ variations in different geological settings, all values in ‰ (VCDT) (Seal, 2006).

3 Kapittel 3: Metode

I dette kapittelet vil aktuelle metoder som er benyttet gjennomgås.

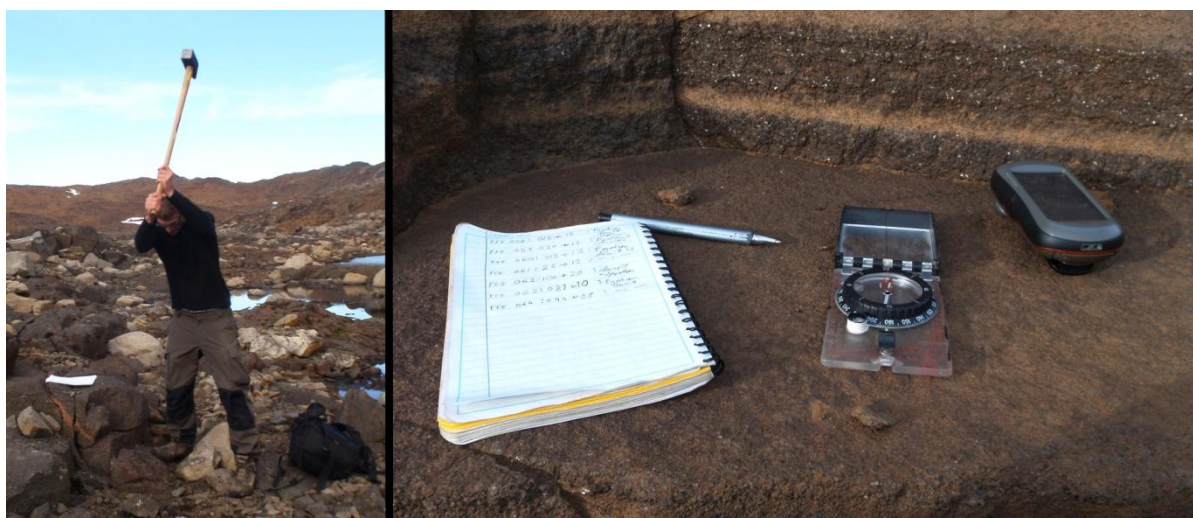
3.1 Feltarbeid

Feltarbeidet ble utført i to omganger: 22.august til 2. september 2011 med totalt 10 dager i felt og 27. august til 3. september 2012 med totalt 6 dager i felt. I 2011 ble helikopter benyttet to dager, mens de resterende åtte dagene ble gjort til fots fra overnatting i bygden Reinfjord. I 2012 ble helikopter benyttet for å fly inn utstyr og etablering av camp ved Lake District. Mye tid gikk med til vandring i til dels bratt steinur, spesielt i 2011, noe som var begrensende. Derfor gjorde etablering av camp i Lake District feltarbeidet mer effektivt.

Feltarbeidet er utført sammen med Lars og mye av innsamlet data, som kartlegging og strukturgeologiske målinger, er felles. Prøvetakingen har imidlertid vært mer rettet mot hver vår problemstilling.

3.1.1 Feltutstyr

Feltarbeidet ble utført med standard geologisk utstyr som hammer, kompass, kamera, GPS osv. Kompasset som ble benyttet var et Silva Ranger (med klinometer og libelle), GPSen var en håndholdt Garmin Oregon 450, med en nøyaktighet på 3-10 meter. Av hammere ble det benyttet både en hammer med hode på ett kg og en slegge med hode på fire kg, se Figur 3.1.



Figur 3.1 Venstre: Lars slår løs prøve. Høyre: Kompass og GPS som ble benyttet.

Figure 3.1 Left: Lars taking a sample. Right: Compass and GPS that was used.

3.1.2 Kartlegging

Esri programvaren ArcGis er benyttet for kartlegging og geografisk plassering av observasjoner, prøvepunkter, målinger og lignende. Før feltarbeidet startet ble kart fra Emblins Phd fra 1985 georeferert i Microstation og overført til ArcGis. Ved endt dag i felt/feltarbeid ble data lastet over i ArcGis, hvor det geologiske kartet ble oppdatert og endret der vi fant det nødvendig. Navnsetting av bergarter i felt ble gjort etter oppsett i Tabell 3.1. Mer korrekte bergartsnavn er siden blitt gitt under de petrografiske undersøkelsene.

Kartet er prosjektert i datum EUREF89 (WGS84), UTM Sone 34N.

Tabell 3.1 System benyttet for navnsetting av bergarter i felt.

Table 3.1 System used in the field for naming of rocks.

Feltnavn	Kommentar
Granat gneis	Gneis m/ granat
Gabbro	Sidebergart, ikke ultramafisk
Dyke	Gangbergart/dyke
Pegmatitt	Svært grovkornet bergart, både gabbroisk og ultramafisk
Dunitt	> 90 % olivin
Pyroksen dunitt	40 - 90 % olivin, ellers pyroksen
Pyroksenitt	< 40% olivin, ellers pyroksen
Um-bergart	Ultramafisk bergart, ikke spesifisert

3.1.3 Strukturgeologiske målinger

Strukturgeologiske målinger ble utført både i den ultramafiske lagdelte serien hvor modal lagdeling ble benyttet for måling, men også i den lagdelte Langstrandgabbroen og den folierte granatgneisen. Programvaren OpenStereo er benyttet for plotting av målingene (Grohmann and Campanha, 2010).

3.1.4 Prøvetaking

Prøvetakingen var selektiv og det ble stort sett tatt prøver der sulfider ble observert i overflaten. Fra avstand ble sulfidrike områder observert ut fra rustforvitring i terrenget og/eller fra kart over sulfidmineraliseringer laget av Søyland Hansen i 1971. Til tider var det vanskelig å få tatt prøver uten forvitring/oksidasjon, men det ble tilstrebet å få så gode prøver

som mulig. Det ble kun tatt prøver fra løsblokker to ganger. Alle prøver ble merket (direkte på prøven med sprittusj og på prøvepose), fotografert og beskrevet i felt.

3.2 Preparering

Preparering av prøver er en tidkrevende, men viktig prosess for god kvalitet på analyseresultatene. All nedknusning og preparering til XRF ble utført i Trondheim under veiledning av Torill Sørlokk. Videre preparering til analysene ble utført ved ALS i Sverige av ansatte ved deres laboratorium (vi sendte dem 20 - 30 gram per prøve, av ferdig nedknust materiale).

3.2.1 Tynnslip

Oppkutting av "skiver" av håndprøvene til tynnslipproduksjon ble utført med diamantsag. Prøvene ble kuttet, og om det var spesielt ønske med henhold til plassering av slipet på "skiven" ble dette merket inn. Produksjonen av tynnslip ble gjort på tynnsliplaboratoriet ved instituttet. Alle prøvene ble laget som polerte tynnslip.

3.2.2 Nedknusing

Nedknusingen foregikk i tre knuse/male trinn med wolframcarbidelementer i alle ledd, se Figur 3.2. Før nedknusingen startet ble det benyttet slegge for oppdeling av håndprøvene. Rekkefølgen og utstyr som ble benyttet er vist i Tabell 3.2. I trinnet mellom mellomknuser og finmaling ble det benyttet splitter for å redusere og tilpasse mengden materiale til finmaling (ca. 40 gram materiale etter finmaletrinn). Alt utstyr ble grundig rengjort mellom hver prøve, trykkluft ble benyttet for kjefteknuser og skiveknuser, mens kvartssand (kjørt et par minutter), varmt vann og sprit ble benyttet for rengjøring av skivesvingmøllen.

Tabell 3.2 Knusertrinn/maletrinn som ble benyttet under nedknusning før kjemiske analyser.

Table 3.2 Crushing and milling stage used in preparation of rock before chemical analysis.

Knusertrinn/maletrinn	Utstyr benyttet
Grovknuser	Retsch kjefteknuser
Mellomknuser	Skiveknuser
Finmaling	Siebtechnik skivesvingmølle



Figur 3.2 Nedknusingen ble foretatt i tre trinn. Fra venstre: kjefteknuser, skiveknuser og skivesvingmølle.

Figure 3.2 The size reduction was done in three stages. From left: Jaw crusher, disc crusher and vibratory disc mill.

3.2.3 Preparering sporelement, XRF

Sporelementsanalysene på XRF ble utført på pulverpiller. En blanding av 9,6 gram materiale ($< 40\mu\text{m}$) og 2,4 gram voks (Licowax) ble blandet. Blandingen av prøvene fra 2011 ble gjort ved risting for hånd, mens prøvene fra 2012 ble blandet ved hjelp av et FLUXANA risteapparat. Alle prøvene ble ristet til det var en homogen blanding. Pillene ble presset på en Herzog pillepresse, ca. 1 min ved 200 kN, se Figur 3.3. Alt av redskaper som ble benyttet ble rengjort med sprit mellom hver prøve. På grunn av fullstendige analyser av prøvene ved ALS i Sverige, ble kun et utvalg av prøvene fra 2011 analysert for sporelementer. Utvalget ble brukt som kontroll for analysene gjort ved ALS. Alle prøver fra 2012 ble analysert for sporelementer.

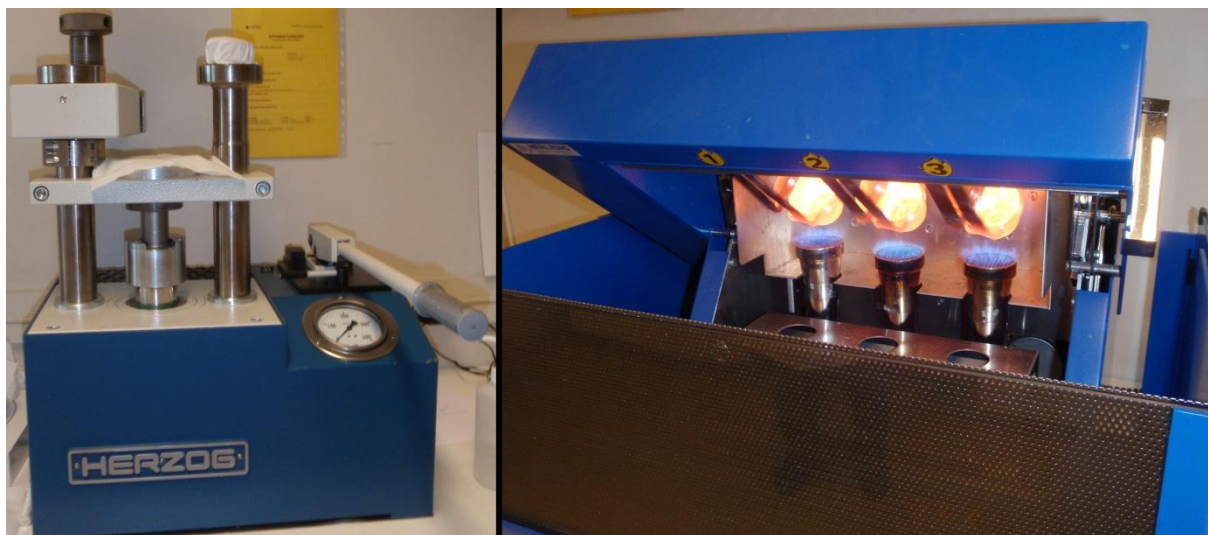
3.2.4 Preparering hovedelement, XRF

Hovedelementsanalysene på XRF ble utført på glasspiller. Prosedyren som ble fulgt for produksjon av glasspiller kan forklares ved åtte steg:

1. Nedmalt prøve ($< 40\mu\text{m}$) tørket i varmeskap, ca. 1 døgn ved $105\text{ }^\circ\text{C}$.
2. Plassert i eksikator (med silikagel, $\text{SiO}_2 \cdot x \text{H}_2\text{O}$) for fuktstabilisering, minst et par timer.
3. Veieing før gløding: vekt digel og vekt digel + prøve (ca. 2 gram prøvemateriale)
4. Gløding ved $850\text{ }^\circ\text{C}$, ca. 4 timer.
5. Veieing av vekt digel + prøve. Beregning av glødetap i prosent.
6. Oppveieing av 5,0000 gram (gjennomført i veierom) Litiumtetraborat/metaborat (forhold: 66/34) og 0,5000 gram glødet prøve.

7. Tilsetting av 60 mikroliter med Lithiumiodid. For at prøven skal slette bunnen i formen lettere og hindrer konkav overflate.
8. Smeltes til glasspille i en platina/gull digel i en Claisse Fluxy smelteapparat, med propangass, Figur 3.3.

Prosedyren for preparering av glasspiller er mer omstendig enn preparering av pulverpiller, så kun et utvalg på 11 prøver (fra 2012-prøvene) ble preparert til glasspiller.



Figur 3.3 Preparering til XRF. Venstre: Herzog pillepresse benyttet til pressing av pulverpiller for sporelementanalyser. Høyre: Claisse Fluxy smelteapparat benyttet til smelting av glasspiller for hovedelementanalyse.

Figure 3.3 Preparation for XRF. Left: Herzog pill press, used to press powder pills for trace element analysis. Right: Claisse Fluxy melting device, used to fuse glass pills for major element analysis.

3.2.5 Preparering, svovelisotopanalyse

Svovelisotopanalysene ble utført på polerte tynnslip. Prøvene som ble analysert var på forhånd undersøkt petrografisk og valgt ut på grunnlag av sin kvalitet av sulfider og hvilken bergart/mineralisering de representerte. På grunn av usikkerhet i hvor lang tid analyseringen ville ta, ble det laget en prioriteringsliste for å sikre at minst en prøve fra hvert av de aktuelle områdene ble analysert, men hvor alle prøvene på listen ble klargjort for analyse (21 prøver).

Prøvene til svovelisotopanalysen ble preparert ved Nordsims prepareringslaboratorium i Stockholm, under veiledning av Kerstin Lindèn. Prøveholderen var formet som en sirkel med en total diameter på 25 mm, men med en effektiv diameter på ca. 20 mm grunnet en kant for å holde prøven på plass. Inni prøveholderen var det også avsatt plass til en standard, så de polerte tynnslipene måtte kuttes slik at de fikk en form slik som det blå omrisset vist på Figur 3.4. Alle kornene som skulle analyseres måtte derfor befinne seg innenfor en effektiv

diameter på ca. 20 mm, i tillegg til å holde en viss avstand til kanten av prøvebeholderen, da dette kunne innvirke på analysen. Tynnslipene ble kuttet med en diamantsag med fint blad for å få den tilpassede formen. Til slutt ble prøvene coated med et 20 nm tykt lag med gull, i en Balt-tec SCD 005 Sputter Coater.



Figur 3.4 Skisse av prøvebeholder for svovelisotop analyse (diameter blått omriss ca. 20mm) (Nordsim hjemmeside, besøkt 30.11.12), og tre prøver ferdig preparert, klar for analyse.

Figure 3.4 Sketch of sample holder for sulfur isotope analysis (diameter blue outline approximately 20 mm) (Nordsim webpage, visited 30.11.12), and three samples ready for analysis.

3.2.6 Preparering, mikrosonde

Analysene på mikrosonden ble utført på polerte tynnslip. Prøvene som ble analysert var på forhånd undersøkt petrografisk og valgt ut på grunnlag av sine sulfider og hvilken bergart/mineralisering de representerte. Noen av prøvene som ble analysert på mikrosonden var de samme som ble analysert under svovelisotopanalysen. Dette var blant annet for å avklare noen usikkerheter angående mineralidentifikasjon og dermed forbedre svovelisotop resultatene som skilte seg ut.

Prøvene som først var analysert for svovelisotop ble derfor polert på nytt ved tynnsliplaboratoriet ved NTNU for fjerning av gullbelegget som var lagt på til analyseringen av svovelisotop. Deretter ble alle prøvene "coated" med karbon for å øke ledningsevnen før analyseringen på mikrosonden.

3.3 Petrografiske undersøkelser

De petrografiske undersøkelsene ble utført i polarisasjonsmikroskop med både gjennomlys og pålys, med 50 - 500x forstørrelse. Fotograferingen er foretatt med et Leica DM2500P mikroskop med ProgRes CT3 kamera.

3.4 Geokjemiske analyser

De geokjemiske analysene er utført ved flere forskjellige laboratorier. XRF, sporelement og hovedelement (prøvene fra 2012), er utført ved røntgenlaboratoriet til instituttet i Trondheim under veiledning av Torill Sørlokk. Mikrosondeanalysene ble utført ved

elektronmikroskoplaboratoriet til instituttet i Trondheim, under veiledning av Morten Raanes. Svovelisotopanalyseringen er utført ved Nordsim laboratorium i Stockholm under veiledning av Martin Whitehouse. Geokjemiske analyser av 2011-prøvene ble foretatt ved ALS i Sverige. Kjemiske data fra Lokkarfjord er mottatt fra Nordic Mining. For borekjernene er kjemiske data hentet fra Iljina (2013) og er analysert ved Labtium laboratoriet i Finland, med tilsvarende metoder som oppgitt i Tabell 3.3.

3.4.1 XRF, sporelement

Alle analyser på XRF ble utført på en Bruker S8 Tiger XRF. For sporelementer ble programmet GEO-QUANT benyttet. Dette er et semikvantitativt analyseprogram laget spesielt for geologisk materiale. Programmet gir data om 24 sporelementer (og tre hovedelementer), innenfor et intervall mellom minste deteksjonsgrense og en maksimumsverdi, som varierer fra element til element (Bruker, 2007). Resultatene fra GEO-QUANT er ikke normalisert, da det ikke er analysert for hovedelementer, men kun sporelementer. Fem kjente standarder ble analysert som kontroll.

Programmet QUANT-EXPRESS ble også benyttet. Dette er et semikvantitativt analyseprogram som gir informasjon om alle elementer (fra Na til U) som befinner seg i prøven. Programmet ble benyttet som kontroll når analyseverdiene var over maksimumsgrensen i GEO-QUANT. Det er viktig å presisere at resultatene må sees på som veiledende. Resultatene fra QUANT-EXPRESS er normalisert.

3.4.2 XRF, hovedelement

For hovedelementer ble programmet "kalibrert program for hovedelementer" benyttet. Dette er et analyseprogram laget ved instituttet, basert på 30 geologiske standarder. Det ble analysert på glasspiller, og resultatene er å se på som kvantitative. Det ble også analysert fem standarder for kontroll av resultatene. I de tilfellene hvor prøvene hadde innhold av et element, som var over det maksimale innholdet i en av standardene, ble ny analyse gjort med analyseprogrammet QUANT-EXPRESS som kontroll.

3.4.3 Kjemiske analyser ved andre laboratorier

2011-prøvene som ble analysert ved ALS laboratoriet i Sverige er analysert ved flere forskjellige metoder. Kodene, som er listet opp i Tabell 3.3, forteller hvilke analysemetode som er benyttet. Disse er også å finne igjen i vedlegg F, som viser resultatene fra 2011-prøvene.

Tabell 3.3 Oversikt over analysemetoder benyttet for 2011-prøvene analysert ved ALS i Sverige.

Table 3.3 Overview of analytical methods used for 2011-samples analyzed at ALS in Sweden.

ME-ICP06	Analysert av hovedelementer (oksid) med ICP-AES.
C-IR07	Beregning av totalt innhold av karbon ved forbrenning i ovn.
S-IR08	Svovel. Leco.
OA-GRA05	Loss of ignition. Prøve plassert i ovn ved 1000°C i en time, %-vis tap i vekt beregnet.
ME-MS81	Sporelement. Lithium Metaborat Fusion, ICP-MS.
ME-4ACD81	Sporelement. Lithium Metaborat Fusion, ICP-MS.
PGM-ICP23	Edelmetaller Au, Pd og Pt. Analysert med ICP-MS etter prekonsentrering.

3.4.4 Svovelisotop analyse (SIMS)

For svovelisotop analysen ble det benyttet en Cameca 1280 ion mikrosonde (SIMS - secondary ion mass spectrometer). Det er et avansert massespektrometer som gjør det mulig med in-situ målinger av isotoper i mikrometerskala på prøvene (Nordsim, 2012). Selve analysemetoden går ut på at ione-mikrosonden bombarderer prøveoverflaten med en stråle av ioner (Cs), som genererer sekundære ioner fra prøven, og måles av et massespektrometer. Metoden er destruktiv i den forstand at den bruker "opp" prøvemateriale, men metoden kan brukes på et stort antall materialer, så lenge materialet har mulighet for å settes under vakuum (Cameca, 2012).

Under analyseringen ble det analysert flere standarder. Pyritt ble brukt som standard for å kontrollere stabiliteten til maskinen underveis, og alle analysepunkter ble i første omgang korrigert i forhold til denne standarden. Pyrrhotitt, pentlanditt og chalcopyritt ble også analysert som standarder, og en gjennomsnittsverdi av disse ble beregnet og sammenlignet med litteraturverdien. Differansen mellom disse verdiene ble benyttet som korrigeringsverdi for de respektive mineralene.

3.4.5 Mikrosonde (EPMA)

Mikrosonden som ble benyttet var en JEOL JXA-8500F Electron Probe Micro Analyzer (EPMA). Den kombinerer oppløsningen til et sveipeelektronmikroskop (SEM) med mulighet

for røntgenanalyser av punkt (Jeol, 2012). Både EDS (energy dispersive X-ray spectrometer) og WDS (wavelength dispersive X-ray spectrometer) ble benyttet. EDS ble benyttet ved utplassering av punkter og forberedelser, mens WDS ble benyttet under selve analyseringen. Tilbakesprett elektronbilder (BEI - Backscattered electron image) ble også tatt og forstørrelser fra 40 - 1000x ble da benyttet. Elektronstrålespenningen ble satt til 15,0 kV.

Av standarder ble det benyttet ett sett for silikatanalyser og ett sett for sulfidanalyser. Silikatene ble oppgitt som oksider, mens sulfidene ble oppgitt som elementer. Bakgrunnsinformasjon om standardene er gitt i Astimexs standard-hefte.

3.5 Feilkilder

Det er mange potensielle feilkilder knyttet til prøvetaking, preparering, analysering og tolkning av resultater. I felt kan prøver byttes om, feilmerkes osv. Under preparering er det også mulig med tilsvarende feil, i tillegg til mulighet for forurensing fra apparater og annet utstyr. Analysefeil kan oppstå under analysering og tolkningen av resultatene kan være gal. Det er under hele arbeidet jobbet for å minimere risikoen for feil i alle ledd. For eksempel er det under alle analyseringer også analysert et utvalg standarder sammen med de ukjente prøvene, for å kontrollere at utstyret fungerer som det skal og at resultatene er så korrekte som de kan bli.

3.6 Helse, miljø og sikkerhet (HMS)

HMS ble under alle deler av arbeidet ivaretatt etter beste evne. Vi to studentene som utførte feltarbeidet sammen oppholdt oss stort sett i nærheten til hverandre under prøvetaking osv., spesielt i utsatte områder som steinur og annet bratt terreng. Satellittelefon, mobiltelefon, topografisk kart, kompass og GPS samt førstehjelpsutstyr var til en hver tid med i sekken. Under prøvetaking ble vernebriller benyttet.

Før arbeidet på laboratoriene ved NTNU ble det obligatoriske kurset "sikkerhet ved arbeid på laboratorier ved NTNU" gjennomført. I tillegg ble det for hver enkelt maskin gitt opplæring og gjennomgang av rutiner. Vernebriller, vernesko, hørselsvern, hansker, støvmaske, frakk, kjeledress og luftavsug ble benyttet ut fra behov.

3.7 Litteratursøk

Universitetsbiblioteket ved NTNU sine hjemmesider ble benyttet for litteratursøk. Via deres søkemotorer ble det gitt tilgang til BIBSYS for søk etter masteroppgaver, bøker o.l. i tillegg til søk i vitenskapelige databaser. Artikler ble hovedsakelig funnet gjennom databasen

Kapittel 3: Metode

Scopus. Litteratur som ikke var tilgjengelig digitalt ble funnet på instituttets lokale bibliotek. En del litteratur ble også utlevert av veileder og Nordic Mining.

4 Kapittel 4: Resultater

I dette kapitlet vil resultatene fra alle undersøkelsene som er foretatt bli presentert. Først legges resultatene fra feltarbeidet fram, og så resultatene fra de petrografiske og geokjemiske undersøkelsene.

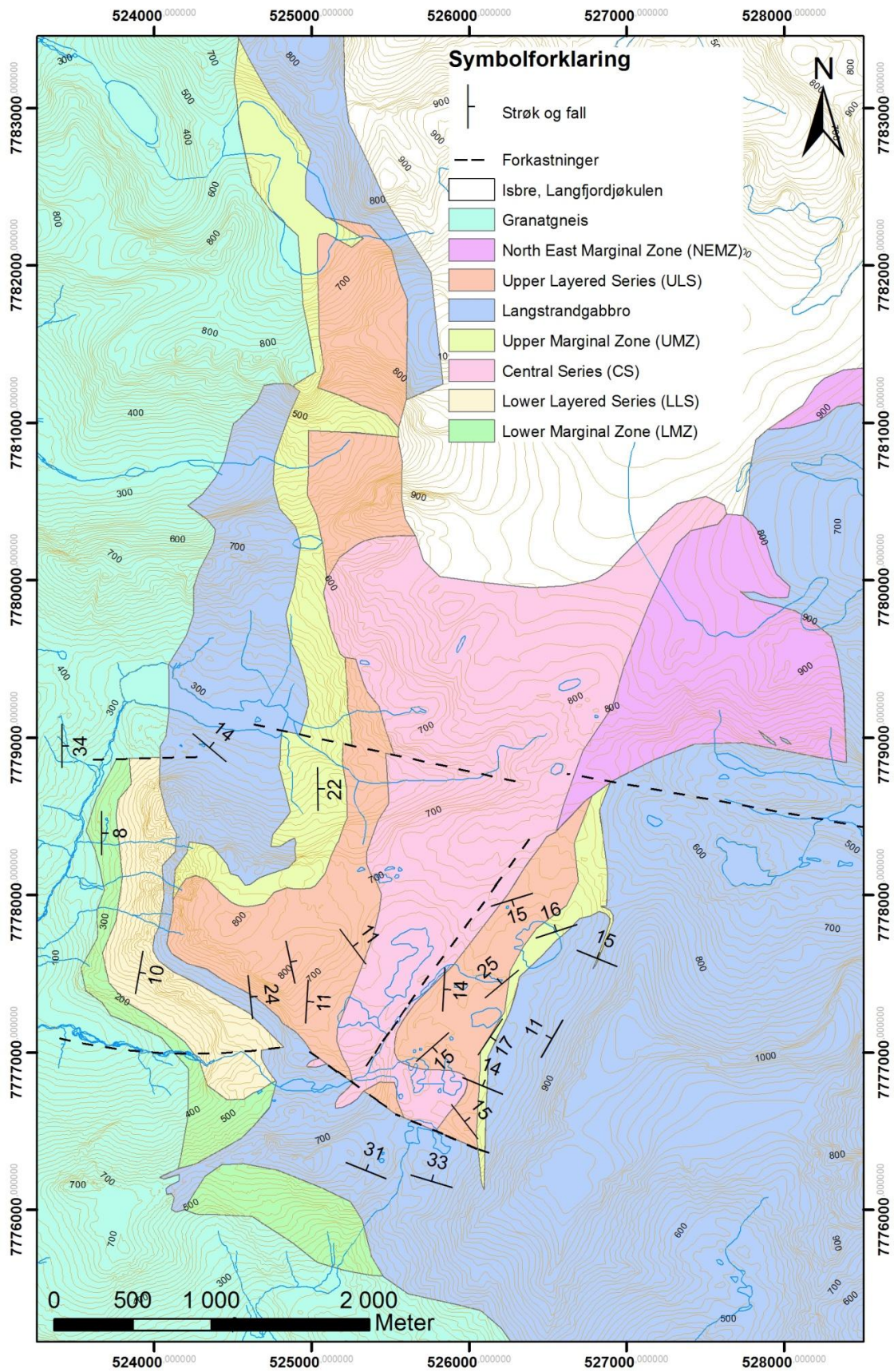
4.1 Feltarbeid

Feltarbeidet danner grunnlaget for hele oppgaven og forståelsen av geologien.

4.1.1 Kartlegging

Kartleggingen er basert på kart lagd av Emblin i 1985. Denne kartleggingen var gjennomført før GPS`ens tid. Holdepunkter som ble benyttet den gangen for plassering av bergartsgrenser og lignende, var topografiske variasjoner som innsjøer, daler osv. Denne unøyaktigheten, samt "strekking/sammenpressing" av det opprinnelige kartet for at det skulle passe med topografien under georeferering, medførte en del feil og unøyaktigheter i den digitale versjonen. Kartet har derfor stadig blitt revidert i løpet av vårt arbeid, etter hvert som vi har fått stadig flere eksakte punkter (koordinater) å forholde oss til og forståelsen for geologien har økt. Kartet er derfor "mest korrekt" i området rundt "Lake District" hvor vi arbeidet mest. En profil nord for "Lake District", laget av Markku Iljina (Iljina, 2011), er også benyttet under revidering av kartet. Men som en hovedregel blir kartet mer unøyaktig dess lengre vekk fra "Lake District" man befinner seg. Ofte er overgangene mellom bergartene gradvise og vanskelig å definere eksakt, og må sees på mer som en sone enn en eksakt grense. Men vi har, etter beste evne, plassert grensene der vi mener det er riktig. Kartet er vist i Figur 4.1, og kart med påviste sulfidmineraliseringer er vist i Figur 4.2. Kart med prøvepunkter er vedlagt i vedlegg A.

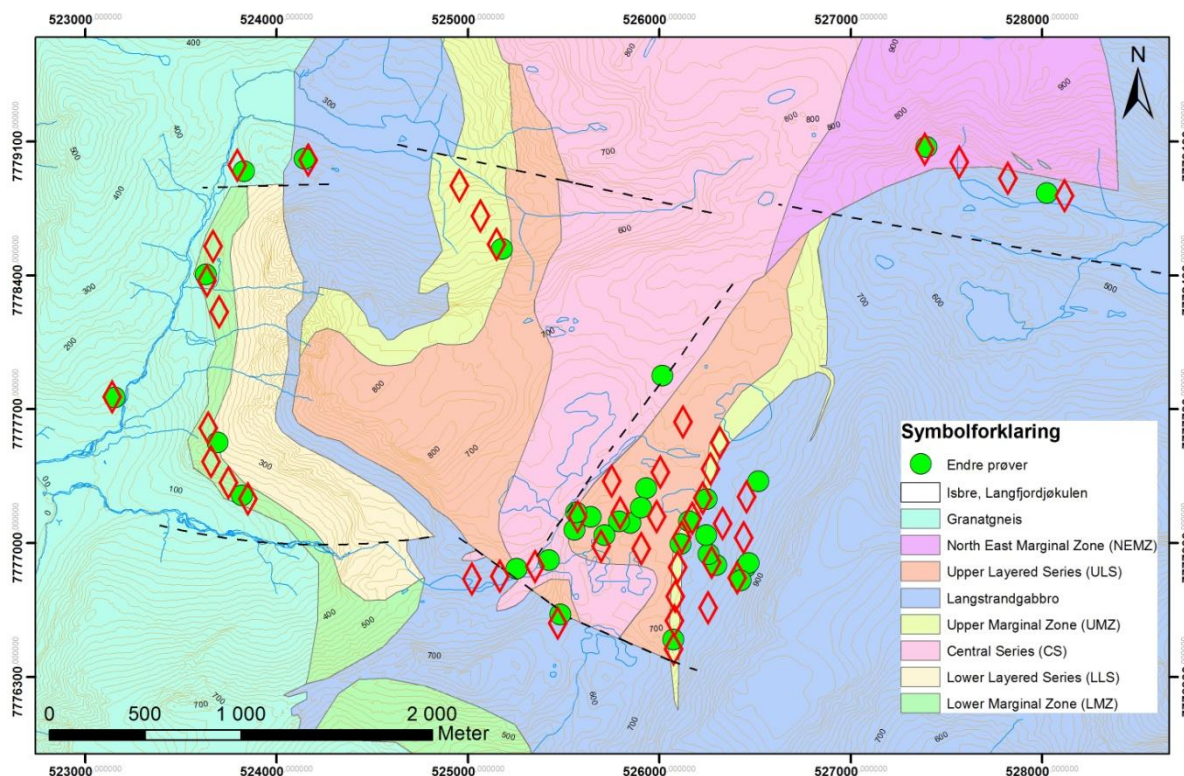
Kapittel 4: Resultater



Figur 4.1 Revidert geologisk kart over Rein fjord UM-kompleks.

Figure 4.1 Revised geological map of Rein fjord UM-complex.

Kapittel 4: Resultater



Figur 4.2 Geologisk kart over Reinfjord UM-kompleks med påviste sulfidmineraliseringer indikert (røde diamanter). Tettheten på diamanterne er omtrent proporsjonal med tetthet på sulfidmineraliseringer.

Figure 4.2 Geological map of Reinfjord UM-complex with sulfide mineralization indicated (red diamonds). Density of red diamonds is almost proportional with the density of sulfide mineralizations.

4.1.2 Makroskopiske bergartsbeskrivelser

Her følger beskrivelser og observasjoner av bergartene, strukturer og kontakter slik de opptrer i felt.

Granatgneis

Granatgneisen sees som en foliert, relativt lys bergart med tydelig røde granater. Inneholder få og små sulfider.

Langstrandgabbro

Langstrandgabbroen er en samling av flere typer gabbrobergarter, der man ser en klar lagdeling med helning, spesielt fra avstand. Langstrandgabbroen er orientert med riktig vei opp, noe interfingering med RUK (som er orientert med riktig vei opp, se avsnitt 1.6.1) tyder på, og lagdeling til begge enheter passer delvis overens. Langstrandgabbroen opptrer med litt forskjellige fargetoner, fra grålig til mer gul, og det er betydelig mer vegetasjon på gabbrobergartene enn de ultramafiske bergartene, se Figur 4.3. Stedvis innad i langstrandgabbroen opptrer lommer med ultramafiske bergarter. Det finnes sulfider i langstrandgabbroen, spesielt i områdene som grenser opp mot det ultramafiske komplekset og

Kapittel 4: Resultater

den marginale sonen. Enkelte steder er sulfidmineralene sentrert i lag, mens de andre steder opptrer jevnt fordelt i bergarten. Kraftig rustforvitring forekommer, og det er dermed mulig å se sulfidmineraliseringene fra avstand, se Figur 4.4.



Figur 4.3 Langstrandgabbroen med lagdeling, sees mørk ut fra avstand grunnet forvitring og vegetasjon. CS er det brunlige partiet sentralt i bildet, mens ULS er området hvor det blir mørkere i overkant av CS. UMZ strekker seg som en sone ved foten av fjellveggen.

Figure 4.3 Langstrandgabbro with layering. From a distance the gabbro look dark because of weathering and vegetation. CS is the brown area in the center of the picture, ULS is the area a bit darker at the top of CS. UMZ is a zone along the foot of the mountain wall.

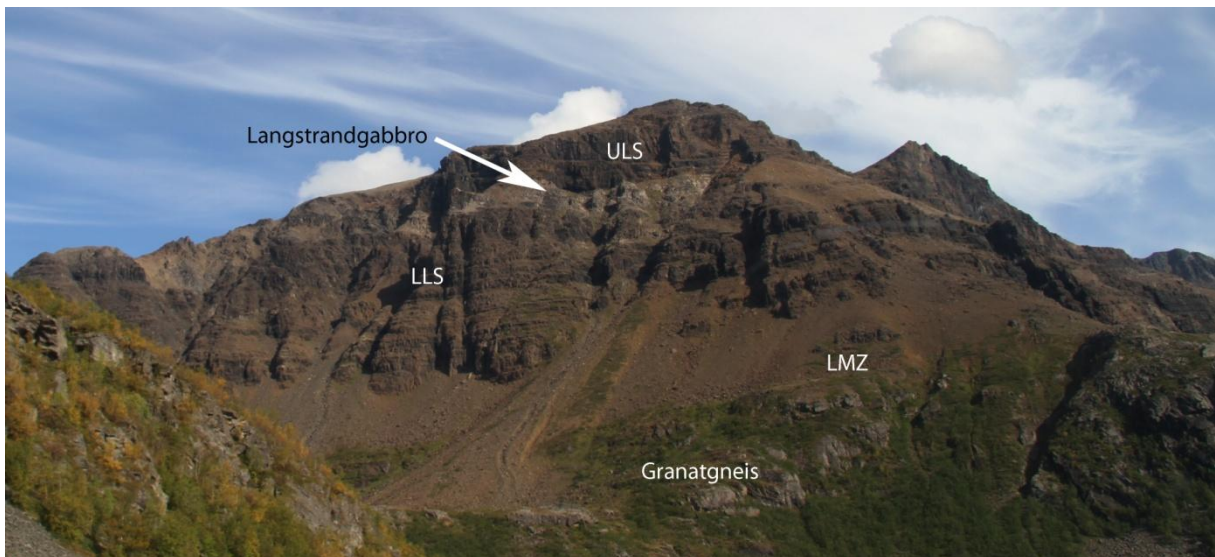


Figur 4.4 Sulfidmineralisering i Langstrandgabbro. Venstre: Sulfider som opptrer i lag (ved NEMZ). Høyre: massiv rustforvitring i gabbro ved Lake District (EØ11004).

Figure 4.4 Sulphide mineralizations in Langstrandgabbro. Left: Sulphide in layers (NEMZ). Right: Massive rust weathering in gabbro, Lake District (EØ11004).

Lower layered series (LLS)

LLS er blottet i nedre deler av komplekset og sees i hovedsak som et snitt i en fjellvegg, se Figur 4.5. De lagdelte seriene består av olivin og pyroksen, hvor det er variabel forskjell på innholdet av mineralene mellom de forskjellige lagene. Olivin/dunitt har en oransje til brunlig farge på grunn av forvitring, mens pyroksen har en mørk, svart farge. Variasjoner i innholdet av olivin og pyroksen kan sees i Figur 4.5. I enkelte områder av de lagdelte seriene ser det tilsynelatende ut til at de kun består av pyroksen, men det skyldes at olivin delvis har forvitret helt vekk i overflaten på grunn av lavere resistens mot forvitring og derfor kun er synlig i ferskt brudd. Det er en svak helning på LLS, og den er orientert med riktig vei opp (se avsnitt 1.6.1).



Figur 4.5 Bilde tatt fra helikopter mot øst og viser vestvendt fjellvegg med LLS sentralt i bildet. Granatgneisen ligger nederst, med LMZ (delvis skjult av ur) som en sone i overgangen mot LLS. Over LLS sees Langstrandgabbroen som et lyst lag, med ULS på topp. Høyden på fjellveggen er omtrent 700 meter.

Figure 4.5 Picture taken from helicopter looking east showing a west facing rock face with LLS in the central part. The garnet gneiss is in the bottom, LMZ partly hidden under talus and then LLS. Langstrandgabbro is the bright area below ULS. The height of the mountain wall is approximately 700 meters.

Upper layered series (ULS)

ULS ser i utgangspunktet lik ut som LLS, men skiller seg fra LLS i den grad at den blant annet er blottet som et platå i områdene rundt Lake District, se Figur 4.6. Dette gjør at store deler av ULS er lett tilgjengelig sammenlignet med LLS. Modal lagdeling sees overalt i ULS, og mange interessante strukturer kan observeres. ULS har en svak helning mot NØ og er orientert med riktig vei opp (se avsnitt 1.6.1). Ultramafiske pegmatitter er blottet over store deler av ULS øst for CS i Lake District. Pegmatittene opptrer som mindre ganger av et par

Kapittel 4: Resultater

kvadratmeters størrelse og kutter den modale lagdelingen. De inneholder sulfider opp til et par mm i størrelse, og alle sulfider som er observert på overflaten i ULS er i forbindelse med pegmatitter, se Figur 4.7. Borehull 1 er plassert i ULS.



Figur 4.6 Lake District. Bildet er tatt mot sørvest fra en apofyse fra UMZ som går inn i Langstrandgabbroen. ULS ser fra denne vinkelen spesielt mørk ut, dette på grunn av at lagdelingen i ULS faller svakt mot nordøst og pyroksen er mineralet som er mest resistent mot forvitring og bevares derfor best i overflaten.

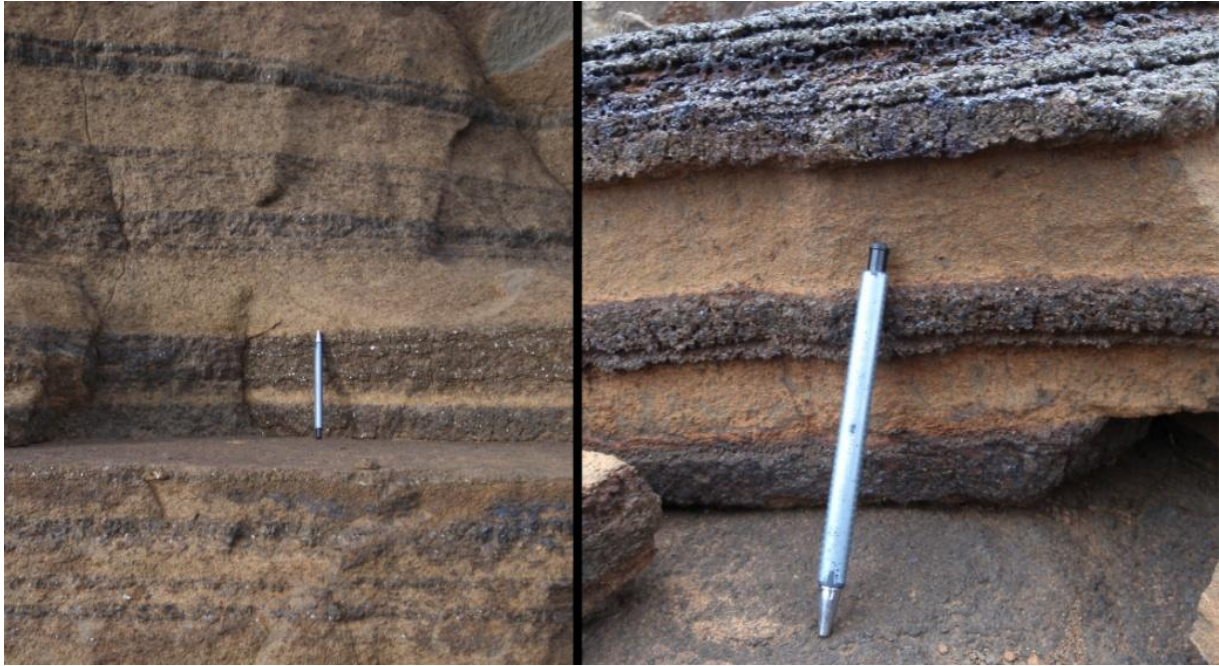
Figure 4.6 Lake District. Picture looking south west from an apofyse from UMZ into Langstrandgabbroen. From this angle ULS looks especially dark because of the layering falling toward north east, and the pyroxene has more resistance to weathering than olivine.



Figur 4.7 Ultramafisk pegmatitt (EØ12007) fra ULS. Stedvis med veldig store pyroksenminerale. Blotningene er normalt sett $< 5 \text{ m}^2$, og det er mulig å se sulfider uten bruk av lupe.

Figure 4.7 Ultramafic pegmatite (EØ12007) from ULS with some really big pyroxene crystals. The outcrops are normally $< 5 \text{ m}^2$, and it is possible to see sulphides without hand lens.

Den modale lagdelingen i ULS sees som mørke lag av pyroksen, som gjerne stikker ut i forhold til lysere og brunlige lag av olivin som forvitrer lettere enn pyroksen. Tykkelsen på lagene varierer fra typisk $< 1 \text{ cm}$ til ca. 15 cm , Figur 4.8. Lagdelingen sees også som store svarte flater i terrenget som består av pyroksen, Figur 4.6.



Figur 4.8. Venstre: Modal lagdeling i ULS. Høyre: Modal lagdeling som har vært utsatt for lengre tids forvitring. Mer olivin er forvitret bort, og pyroksenrike lag er mer resistente.

Figure 4.8 Left: Modal layering in ULS. Right: Modal layering that is weathered out, more olivine is lost, whereas pyroxene rich layers are more resistant.

Den modale lagdelingen har enkelte steder vært i bevegelse mens lagene fortsatt var en ukonsolidert krystallgrøt. Dette har ført til at foldestrukturer (slumping) er blitt dannet, for eksempel på grunn av glidning mellom lagene, muligens på grunn av konveksjon eller annen bevegelse i magmakammeret. Kryssjikt i den modale lagdelingen er også blitt observert og tyder på strømming i magmakammeret.

Det er flere eksempler på tilførsel av ny magma og forstyrrelser av lagene i større og mindre skala. Figur 4.9 viser et eksempel på et lag av pyroksen som er brutt som følge av tilførsel av ny magma eller bevegelse innad mellom lagene. Figur 4.9 viser også et bilde av intrusivbreksje, som har kommet til etter at mer pyroksenrikt lag har krystallisert, og dermed er blitt brutt opp og sees i dag som kantete blokker i en sammenhengende bergart bestående av olivinrikt materiale. I forbindelse med disse breksjene finnes det også xenolitter av Langstrandgabbro. Xenolittene varierer i størrelse fra dm til meter.



Figur 4.9 Venstre: Et lag med pyroksen er brutt opp eller assimilert gjennom infiltrasjon av den varmere smelten som dannet CS, som har avsatt olivin der det tidligere var pyroksen. **Høyre:** Intrusivbreksje, hvor pyroksenblokkene (mørkest) er breksjefragmenter i en dunitt. Fra ULS i Lake District.

Figure 4.9 Left: A layer with pyroxene is broken or assimilated during infiltration with the hot melts forming CS, olivine are deposited at the expense of pyroxene. **Right:** Intrusive breccia, where the pyroxene boulders (darkest) are fragments in a dunite. From ULS in Lake District.

Central series (CS)

Sentralserien består stort sett av dunitt og sees i felt som en brunlig bergart på grunn av forvitningsfargen, se Figur 4.10. I ferskt brudd er bergarten mørk grønn. Det er tilsynelatende lite pyroksen i bergarten, bortsett fra i noen områder. Det er også soner hvor det er relativt tett med ganger som går i en NØ-SV retning. Det er funnet noen få sulfidmineraliseringer på overflaten i CS, på grensen mot Langstrandgabbroen i sør. Borehull 2 er plassert i CS.



Figur 4.10. Bilde tatt mot nord fra grensen mellom ULS og CS i Lake District.

Figure 4.10 Picture looking north at the border between ULS and CS in Lake District.

Marginal sone

Den marginale sone består av både ultramafiske og gabbroiske bergarter, og de opptrer tilsynelatende om hverandre. Sonene befinner seg i overgangen mellom de ultramafiske bergartene og Langstrandgabbroen/Granatgneisen, se Figur 4.11. Sonene er karakteriserte av sitt relative store innhold av sulfider, og er på kartet delt opp i flere forskjellige soner etter hvilken del av det ultramafiske komplekset de grenser opp mot. Bredden til sonene varierer fra et 10-talls til flere 100-meter. Sulfider opptrer over hele sonen og sees i første øyekast som rustforvitring i overflaten. De marginale sonene er uryddige og komplekse og er stedvis kraftig forvitret i overflaten, se Figur 4.12. Det opptrer også noe ultramafisk pegmatitt i den marginale sonen i Lake District. Mellom granatgneisen og LLS opptrer stedvis en tynn sekvens med gabbro, som utgjør deler av LMZ.

Kapittel 4: Resultater



Figur 4.11 Bilde tatt mot nord i UMZ, Lake District. Den marginale sonen er vanskelig å definere eksakt på bildet, men går som en sone parallelt med grensen til Langstrandgabbroen.

Figure 4.11 Picture looking north in UMZ, Lake District. The marginal zone is hard to define exactly on the picture, but it is a zone running parallel to the border of the Langstrandgabbro.



Figur 4.12 Detaljbilde av LMZ (EØ11014). Et typisk eksempel den marginale sone. Bergarten er en gabbro som ligger som en tynn sekvens mellom granatgneisen og det ultramafiske komplekset.

Figure 4.12 Detail of LMZ (EØ11014), a typically example of the marginal zone. The exposure shows a gabbro lying like a thin sliver between the garnet gneiss and the ultramafic complex.

Ultramafiske- og mafiske ganger

Det er flere forskjellige typer ultramafiske og mafiske ganger, hvor det også finnes forskjellige generasjoner som vist i Figur 4.13. Like nord for Lake District i CS finnes en større sverm av ganger, hvor mange generasjoner opptrer, se Figur 4.14. Der er det også småskala sprø forkastninger. Det er påvist mindre mengder sulfider i flere av gangene.



Figur 4.13 Venstre: To generasjoner av ganger i ca. NØ-SV retning i CS. Høyre: Gang (EØ12001) i ULS med retning NØ-SV. Legg merke til vegetasjon som opptrer presist over gangen, den inneholder blant annet noe apatitt.

Figure 4.13 Left: Two generations of dykes in CS, approximate direction NE-SW. Right: Dyke (EØ12001) in ULS, direction NE-SW. Observe the vegetation precisely over the dyke, that contain apatite and other more fertile minerals.



Figur 4.14. Sverm av ganger i CS nord for Lake District. Retningene til gangene er fortrinnsvis NØ-SV.

Figure 4.14 Swarm of dykes in CS north of Lake District. Directions are mostly NE-SW.

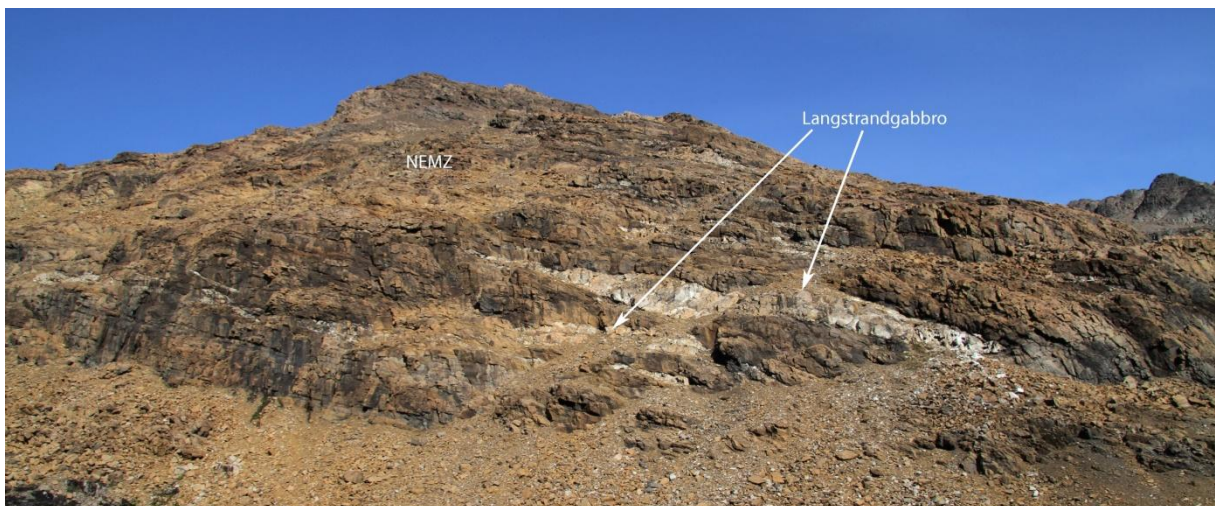
Kontakter mellom bergartene/seriene

Kontaktene mellom bergartene/seriene er enkelte steder å betrakte som gradvise soner, men andre steder er kontakten mer diskret. Det er imidlertid mulig å observere strukturer som forteller noe om hvordan kontaktene er. Det er blant annet flere eksempler på interfingering mellom RUK og Langstrandgabbroen, se Figur 4.15. Det opptrer også lommer med ultramafiske bergarter blant annet et stykke opp i Langstrandgabbroen i fjellsidene øst og sør for Lake District. I fjellsiden øst for Lake District er det også en flere meter tykk apofyse fra UMZ som stikker inn i Langstrandgabbroen. Det finnes også eksempler på at det er xenolitter av gabbro i det ultramafiske komplekset, hvor det beste eksempelet er å finne i NEMZ, Figur 4.16.



Figur 4.15. Bilde tatt mot vest fra ULS sør i Lake District. Bildet viser dalen ned mot Reinfjord hvor man ser to "tunger" av CS som strekker seg inn i Langstrandgabbroen. ULS er oppe til høyre. Stiplet linje viser omtrentlig forløp til en forkastning.

Figure 4.15 Picture looking West from ULS, in Lake District. The valley is going down towards Reinfjord, and it is possible to see tongues of CS in Langstrandgabbro. Dotted line is the approximate outline of a fault.



Figur 4.16. Bilde tatt fra innsjø like sør for NEMZ mot nord. Xenolitter av Langstrandgabbro i NEMZ.

Figure 4.16 Picture taken from a lake south of NEMZ looking north. Xenoliths of Langstrandgabbro in NEMZ.

Kapittel 4: Resultater

På grensen mellom Langstrandgabbroen og RUK sør i Lake District er det en forkastning. Selve forkastningsplanet og grensen mellom bergartene er dekket av ur og grus, men det er mulig å se et skarpt skille i grusen. Avstanden mellom blotninger av bergartene er på det minste tre til fire meter, se Figur 4.17.



Figur 4.17. Bildet tatt mot øst, på grensen mellom RUK og Langstrandgabbroen sør i Lake District. Skarpt skille i grusen, og få meter mellom blotninger på hver side av forkastningen.

Figure 4.17 Picture looking east, from the border between RUK and Langstrandgabbro, south in Lake District. Sharp contact marked by gravel, and only a few meters from outcrops on the boundary of the fault.

Kontakten mellom CS og ULS viser at CS har intrudert diskordant inn i ULS, og at CS dermed har kommet til etter ULS. CS sprer seg også som sills som har intrudert ULS, se Figur 4.18. Sillsene av CS er mulig å observere over store deler av ULS, ikke bare i nærheten til kontakten. I forbindelse med sillsene finnes det også intrusivbreksje som vist i Figur 4.9.



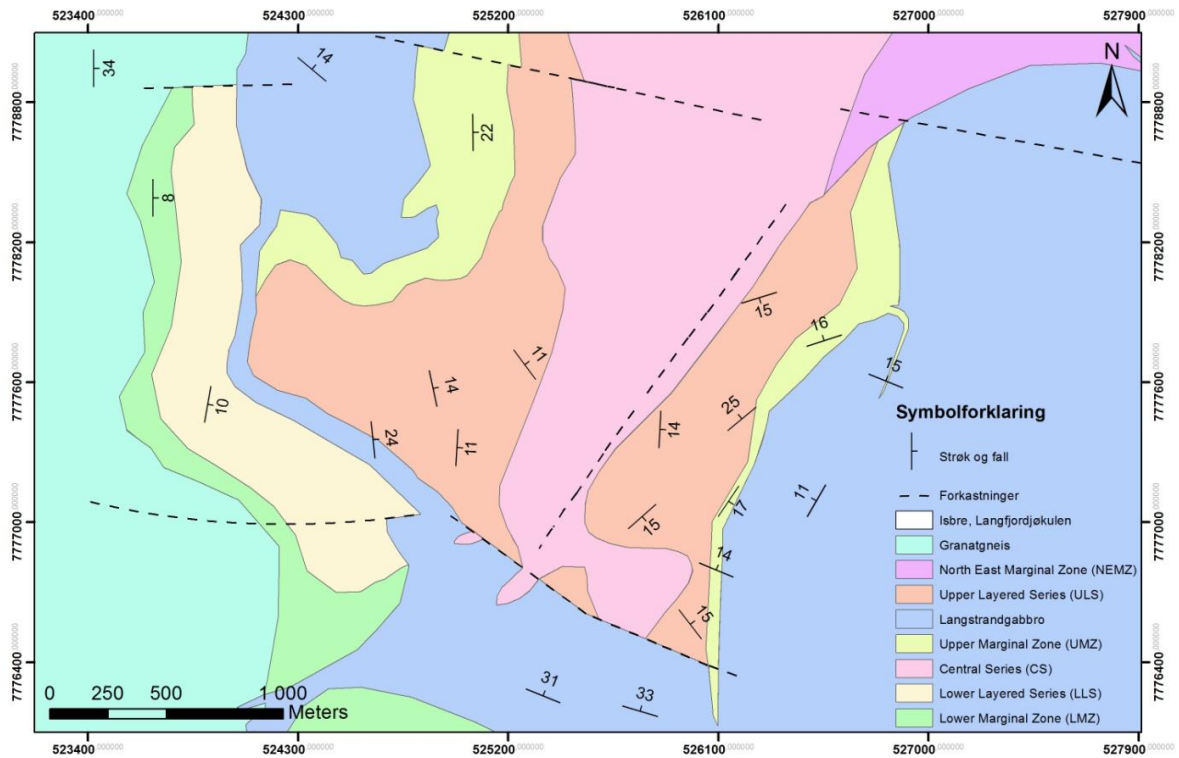
Figur 4.18. Grensen mellom CS og ULS i Lake District. CS kutter diskordant inn i ULS og sprer seg utover. Venstre: Situasjonen sett fra CS mot nord. Høyre: Samme situasjon sett fra ULS mot sør.

Figure 4.18 The border between CS and ULS in Lake District. CS is cutting discordantly into ULS, and spreading out like a sill above. Left: The situation seen from CS toward north. Right: The same situation seen from ULS toward south.

4.1.3 Struktureologiske målinger

Alle strukturdata ligger vedlagt i vedlegg C. Detaljkart med strøk og fall-målinger er vist i Figur 4.19. Dataene er videre sortert i Langstrandgabbro, granatgneis, LLS-LMZ, ULS-vest og ULS-øst. ULS er delt i en vestlig og østlig del på grunn av at den østlige delen viser et mer komplisert mønster med fall i flere retninger, noe som kommer bedre fram ved å plote disse dataene for seg selv. Plottene viser dataene i stereonett, som poler og konturer (evt. pol og storsirkel hvor det er få målinger), i tillegg til rosedigram for å illustrere retningen til fallet.

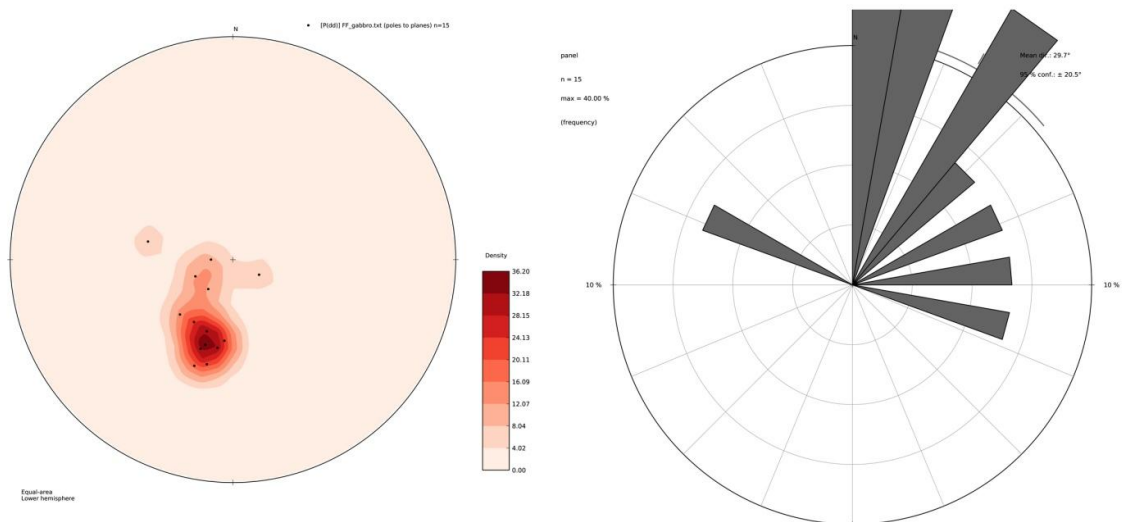
Kapittel 4: Resultater



Figur 4.19. Detaljkart med strøk og fall i Rein fjord.

Figure 4.19 Detail map with strike and dip in Rein fjord.

Strukturdata for Langstrandgabbroen er vist i Figur 4.20. Totalt 15 målinger ble foretatt av gabbroen, og fall og fallvinkel for gjennomsnittsplanet er 026 --> 24. Altså en lagdeling som faller mot N-NØ med et fall på 24°.

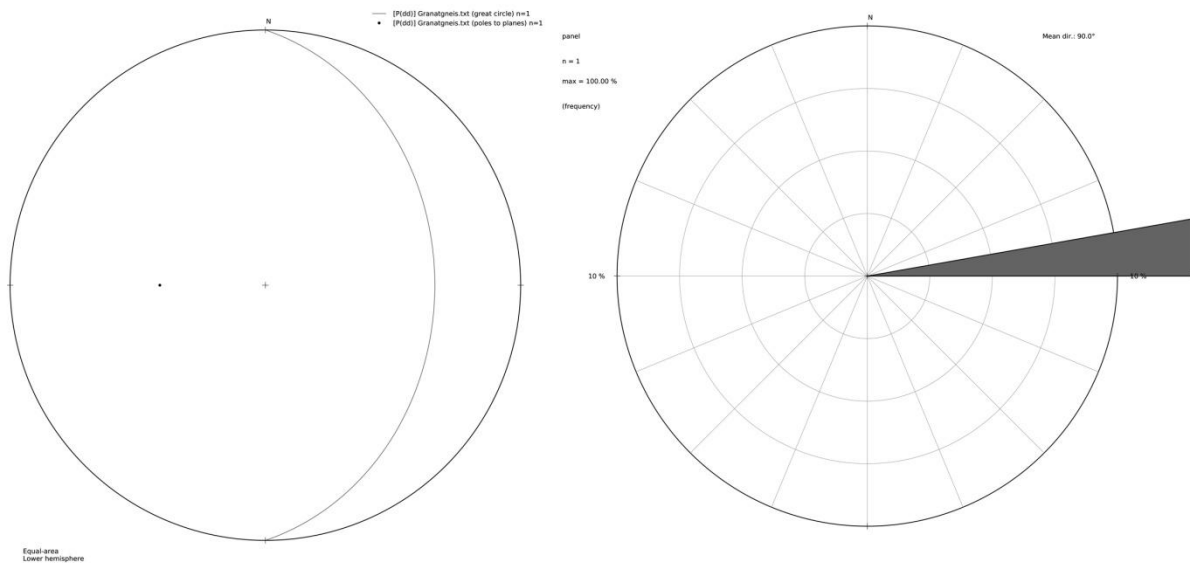


Figur 4.20 Strukturdata for Langstrandgabbroen. Venstre: Plottet i stereonett, som poler med konturlinjer. Høyre: Rosediagram. 15 målinger.

Figure 4.20 Structural data from Langstrandgabbro. Left: Plotted in stereo net, as poles and contours. Right: Rose diagram. 15 measurements.

Kapittel 4: Resultater

Strukturdata for granatgneisen er vist i Figur 4.21. Kun en måling ble foretatt av granatgneisen, og fall og fallvinkel for målingen er 090 --> 34. Altså en foliasjon som faller mot Ø med et fall på 34°.

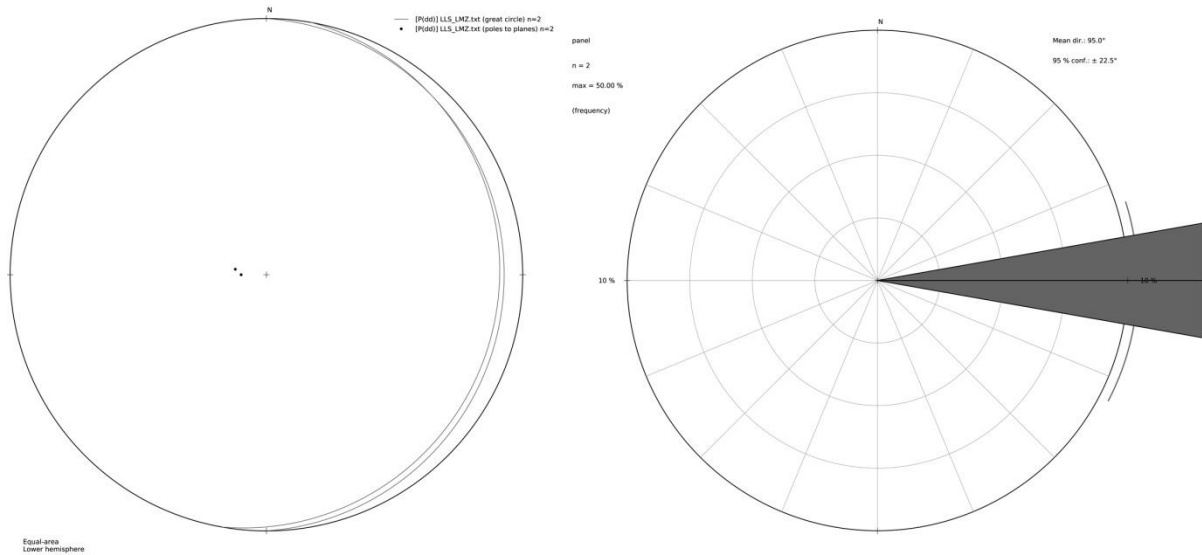


Figur 4.21 Strukturdata for granatgneisen. Venstre: Plottet i stereonett som pol og storsirkel. Høyre: Rosediagram. Kun en måling.

Figure 4.21 Structural data from the garnet gneiss. Left: Plotted in stereo net, as pole and great circle. Right: Rose diagram. Only one measurement.

Strukturdata for LLS og LMZ er vist i Figur 4.22. Kun to målinger ble foretatt av LLS og LMZ, og gjennomsnitt for fall- og fallvinkelmålingene er 095 --> 9. Altså en lagdeling som faller mot Ø med et fall på 9°.

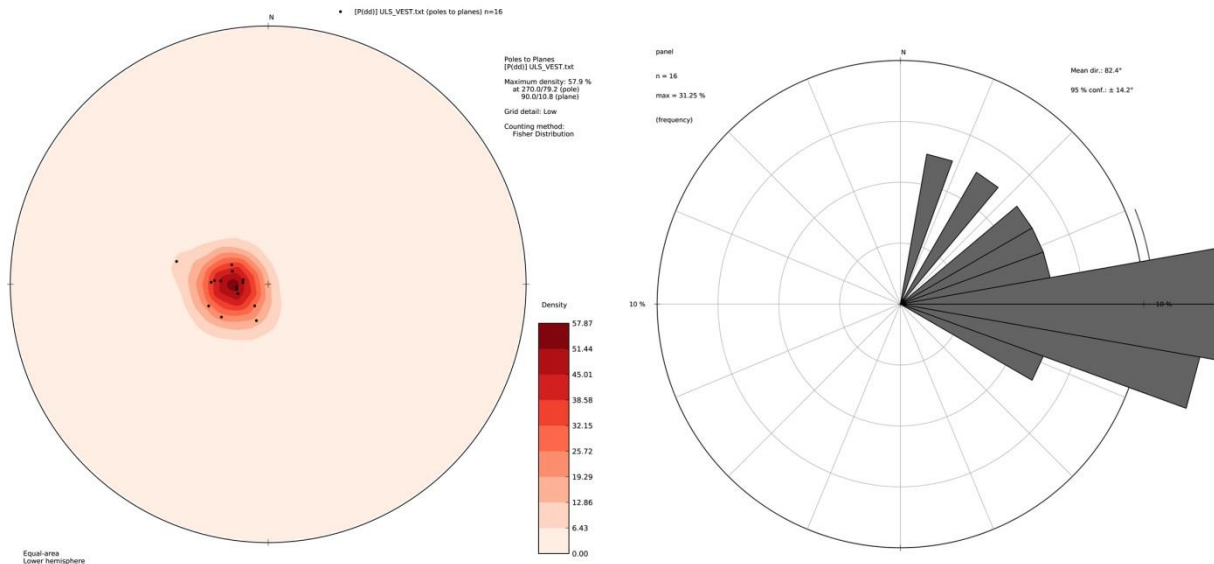
Kapittel 4: Resultater



Figur 4.22 Strukturdata for LLS og LMZ. Venstre: Plottet i stereonett som poler og storsirkler. Høyre: Rosediagram. To målinger.

Figure 4.22 Structural data from LLS and LMZ. Left: Plotted in stereo net, as poles and great circles. Right: Rose diagram. To measurements.

Strukturdata for ULS vestlig del er vist i Figur 4.23. 15 målinger ble utført i ULS vestlige del, hvor gjennomsnittet for fall og fallvinkel målingene er 084 --> 12. Altså en lagdeling som faller mot Ø-NØ med et fall på 12°.

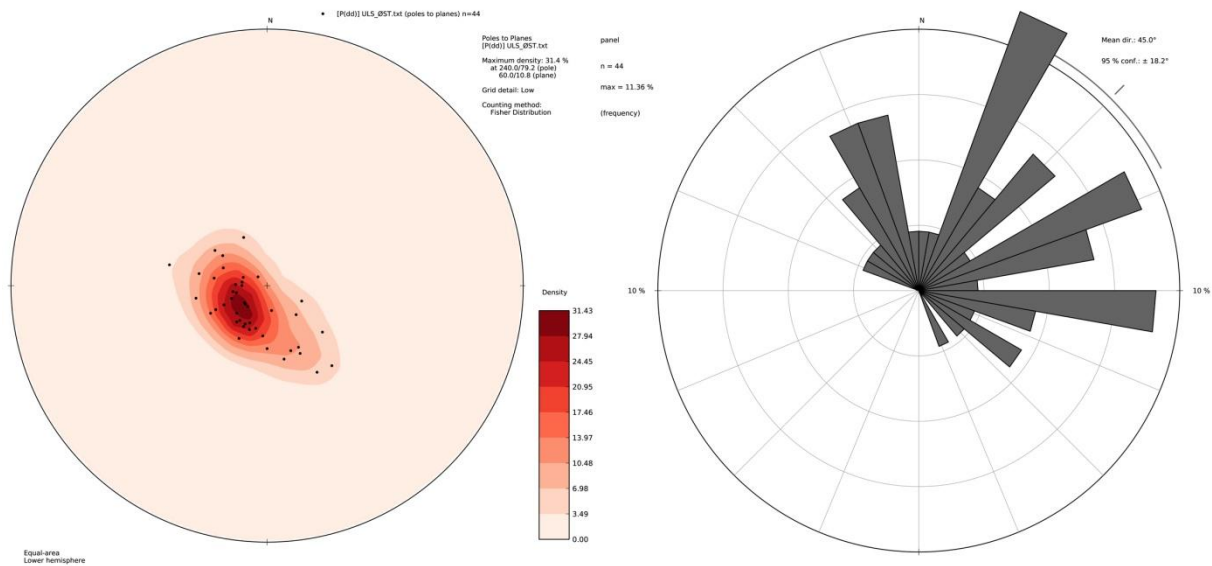


Figur 4.23 Strukturdata for ULS vestlige del. Venstre: Plottet i stereonett som pol og konturer. Høyre: Rosediagram. 16 målinger.

Figure 4.23 Structural data from ULS western part. Left: Plotted in stereo net, as poles and contours. Right: Rose diagram. 16 measurements.

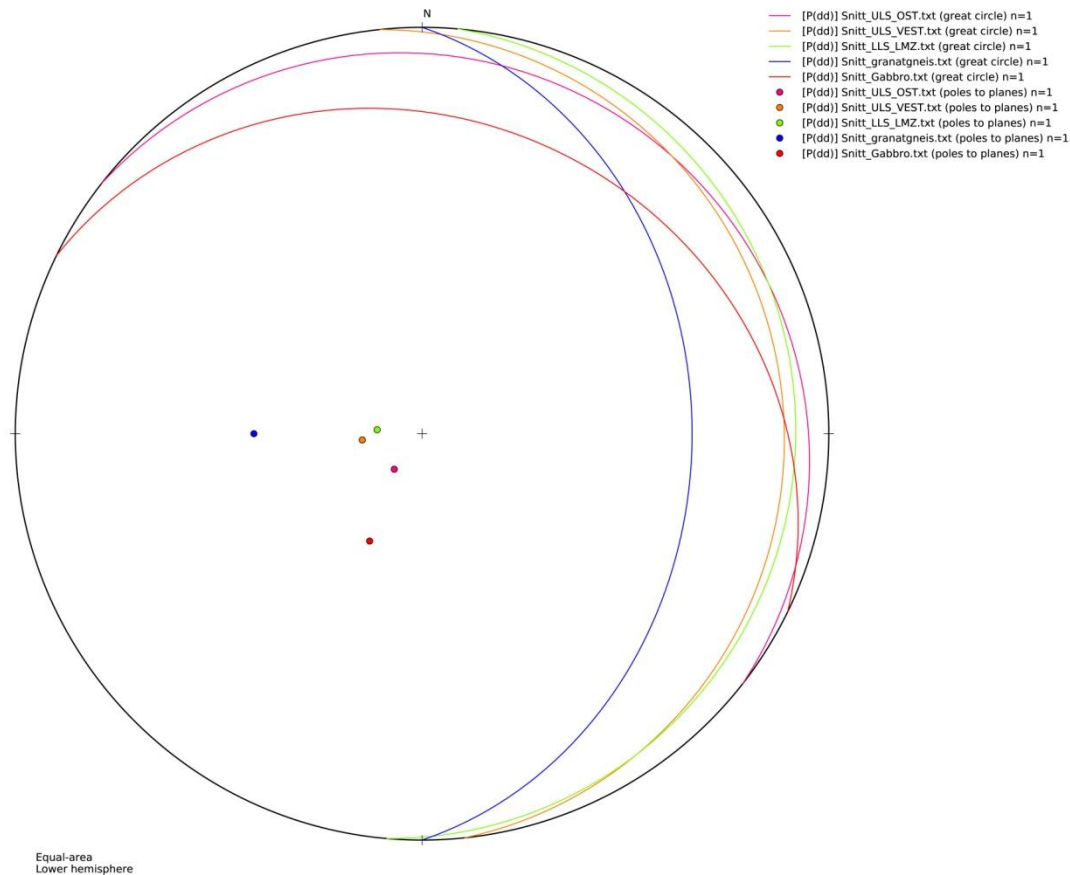
Kapittel 4: Resultater

Strukturdata for ULS østlig del er vist i Figur 4.24. 44 målinger ble utført i ULS østlig del, hvor gjennomsnittet for fall- og fallvinkelmålingene er 038 --> 9. Altså en lagdeling som faller mot NØ med et fall på 9°. Lagdelingen i ULS østlig del er svakt undulerende (fleksur fold, >130° mellom foldeflankene) med fall fra 14° til 25° fra en NØ til en N-NV retning. Hvor et fall mot N-NV spesielt er representert i grenseområdet mot Langstrandgabbroen, se Figur 4.19.



Figur 4.24 Strukturdata for ULS østlig del. Til venstre plottet i stereonett som pol og konturer, til høyre som rosedigram. 44 målinger.

Figure 4.24 Structural data from ULS eastern part. Left: Plotted in stereo net, as poles and contours. Right: Rose diagram. 44 measurements.



Figur 4.25 Stereonettet med strøk og fall til gjennomsnittet for planene til de respektive bergarter/serier, plottet som poler og storsirkler. Langstrandgabbro: Rød. Granatgneiss: Blå. LLS og LMZ: Grønn. ULS vestlig del: Oransje. ULS østlig del: Rosa.

Figure 4.25 Stereo net with strike and dip for the average plane to the respective rock types/series, plotted as poles and great circles. Langstrandgabbro: Red. Garnet gneiss: Blue. LLS and LMZ: Green. ULS western part: Orange. ULS eastern part: Pink.

4.2 Petrografiske undersøkelser, mikroskopiske bergartsbeskrivelser

Tidligere petrografiske studier av Reinfjord ultramafiske kompleks er blant annet utført av Hansen (1971) og Emblin (1985). Hansen fokuserte på sulfider og sulfidmineraliseringer, mens Emblin fokuserte på bergartsmineralene og studier av selve magmakammeret. I mine undersøkelser har fokus vært på sulfidene, men bergartsmineralene har også blitt identifisert for klassifisering av bergartene. Litteratur som er benyttet under identifisering og beskrivelse av prøvene er Philpotts: *Petrography of Igneous and Metamorphic Rock* for bergartsmineraler og teksturer, og Marshall et al.: *Ore Minerals Atlas* for sulfider og oksider.

Totalt er det mikroskopert 60 slip: 32 polerte tynnslip fra mine prøver, fire polerte tynnslip fra tre prøver fra Lokkarfjord, 17 polerte tynnslip fra borekjerner boret i mai 2012 og syv polerslip fra 1971 (Søyland Hansen), som befant seg i arkivet ved instituttet. Fullstendig prøveliste med beskrivelser finnes i vedlegg B. De petrografiske undersøkelsene dannet

Kapittel 4: Resultater

grunnlag for utvalg av prøver til svovelisotopanalysene og ble derfor stort sett utført i forkant av disse analysene.

Gjennomgang av resultatene fra mikroskoperingen gir først en beskrivelse av bergartsmineralene og andre mineraler i tillegg til teksturer. Deretter følger en gjennomgang av sulfidene, før en beskrivelse av bergartene/seriene og hvordan sulfidene/mineralene opptrer i dem.

4.2.1 Bergartsmineraler og andre mineraler

Et omtrentlig prosentvis innhold av bergartsmineralene er anslått og benyttet for klassifisering av bergart ut fra diagrammer gjennomgått i kapittel 2.1.1. En enkel beskrivelse av hvordan silikatmineralene opptrer i tynnslipene, og de viktigste kjennetegnene for identifikasjon blir gitt her.

Silikater

Bilder av de viktigste silikatmineralene er vist i Figur 4.26.

Olivin (ol): Identifisert ut fra sin karakteristiske oppsprekking og høye interferensfarger.

Plagioklas (pl): Opptrer stort sett som lite omvandlede mineraler med karakteristisk tvillingdannelse.

Klinopyroksen (cpx): Identifisert ut fra høyere interferensfarger (andreordens interferensfarger) enn ortopyroksen og skeiv utsløkking.

Ortopyroksen (opx): Identifisert ut fra lave interferensfarger (førsteordens interferensfarger) og rett utsløkking.

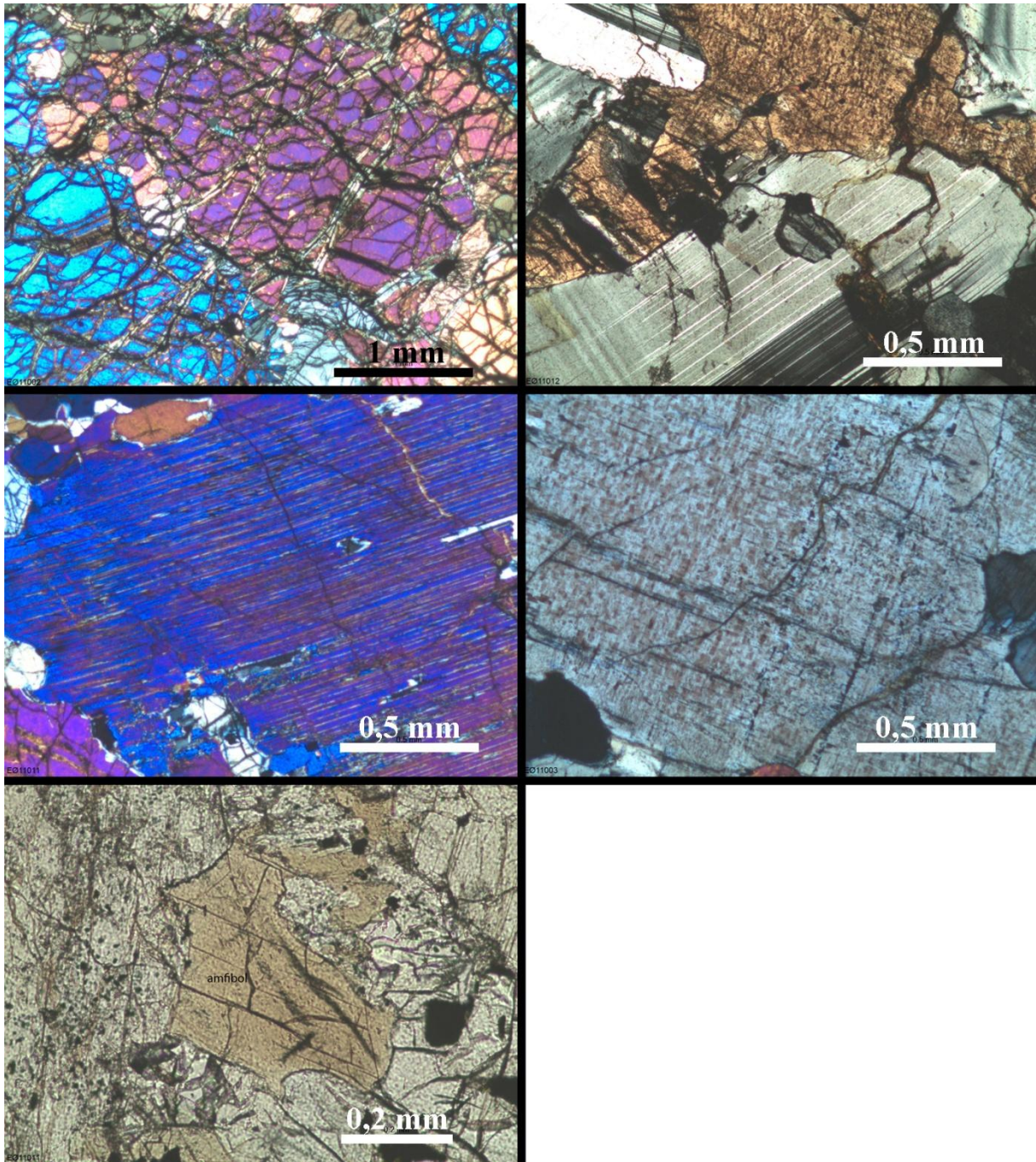
Amfibol (hornblende): Identifisert ut fra typisk 60/120 kløv og grønnbrun farge i normalt lys.

Granat: Den typiske 6/8 kantede krystallformen, og isotropi ligger til grunn for identifisering.

Kvarts: Den undulerende utsløkkingen, kornform og grålige farge er benyttet ved identifisering.

Biotitt: Identifisert ut fra sin brune egenfarge, pleokroisme og stenglige form.

Kapittel 4: Resultater



Figur 4.26 Bilder av de viktigste silikatmineralene. Øverst til venstre: Olivin med høye interferensfarger og typisk oppsprekking. Bergarten er en wehrlitt (EØ11002). Kryssete nicols.

Øverst til høyre: Plagioklas med typiske tvillingstriper og ortopyroksen i en gabbro (EØ11012). Kryssete nicols.

I midten, til venstre: Klinopyroksen med avblandingslameller av ortopyroksen i en plagioklasførende hornblende pyroksenitt (EØ11011). Kryssete nicols.

I midten, til høyre: Ortopyroksen i en noritt (EØ11003). Kryssete nicols.

Kapittel 4: Resultater

Nederst til venstre: Amfibol (hornblende), med typisk 60/120 kløv. Bergarten er en plagioklasførende hornblende pyroksenitt (EØ11011). Normalt lys.

Figure 4.26 Pictures of the most important silicate minerals. Upper left: Olivine, high interference color and typically joint pattern. Rock type: Wehrlitt (EØ11002). Crossed nicols.

Upper right: Plagioclase with typically twins and orthopyroxene in a gabbro (EØ11012). Crossed nicols.

Middle left: Clinopyroxene with exsolution lamellas of orthopyroxene in a plagioclase-bearing hornblende pyroxenite (EØ11003). Crossed nicols.

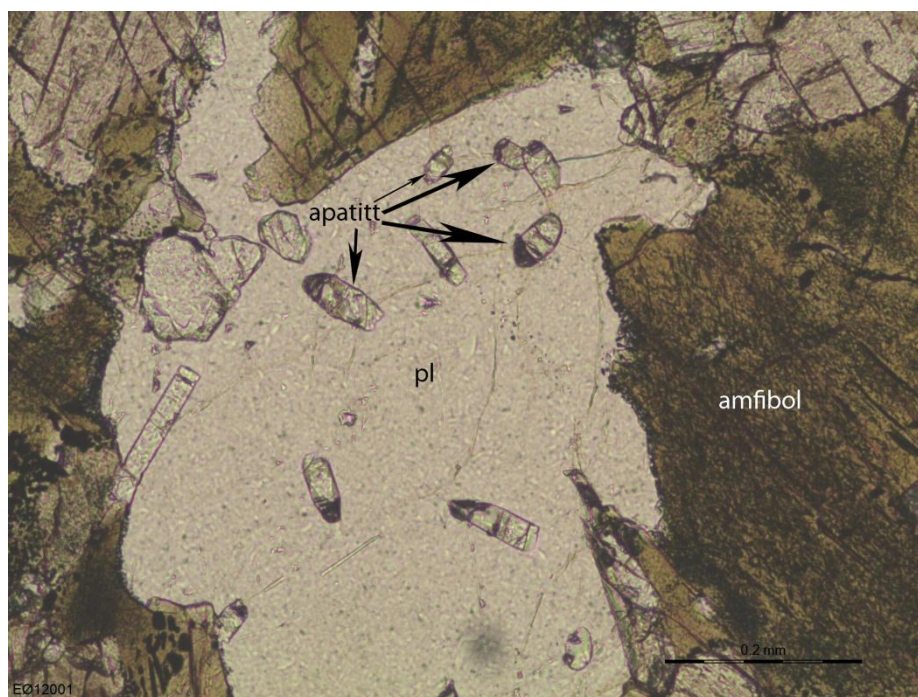
Middle right: Orthopyroxene in a norite (EØ11003). Crossed nicols.

Lower left: Amphibole (hornblende), with typically 60/120 cleavage. Rock type: plagioclase-bearing hornblende pyroxenite (EØ11011). Normal light.

Andre mineraler

Andre mineraler er mineraler som opptrer i små mengder i tynnslipene (typisk < 3%) og påvirker ikke navnsetting av bergartene. Det er gitt en mindre kommentar til enkelte av mineralene.

Apatitt: Delvis sekskantede, fargeløse korn er identifisert i en dyke fra ULS (EØ12001), Figur 4.27.



Figur 4.27 Apatitt i en dyke (EØ12001) i ULS. Normalt lys.

Figure 4.27 Apatite in a dyke (EØ12001) in ULS. Normal light.

Grafitt: Grafitt er observert i tre prøver, to fra granatgneisen og en fra Langstrandgabbroen. Er identifisert ut fra sin farge og kraftige anisotropi og pleokroisme. De kjemiske analysene viser også et høyere innhold av C i de tre prøvene hvor grafitt er observert.

Kapittel 4: Resultater

Rutil: Delvis avrundet korn med brun egenfarge, pleokroisme (grønnlig farge) og anisotropi.

Spinell: Identifisert ut fra sin karakteristiske grønnfarge. Sitter stedvis innesluttet i olivin, som tyder på at spinell var tilstede når olivin krystalliserte. Alle prøvene fra Lokkarfjord inneholder spinell.

Ilmenitt (ilm): Opptrer som korn med en brunlig grå farge. Den kraftige anisotropien skiller ilmenitt fra magnetitt.

Magnetitt (mag): Opptrer som en grå fase, kan til tider være ganske lik ilmenitt, men isotropi hos magnetitt skiller magnetitt fra ilmenitt. Et eksempel på magnetitt er vist i Figur 4.34.

Limonitt: Langs sprekker i en rekke prøver opptrer et mineral som i normalt lys er tydelig rustfarget og i pålys har en grålig farge. Det er tydelig et sekundært mineral dannet ved et senere tidspunkt enn bergartsmineralene.

4.2.2 Teksturer

Kornstørrelse

Kornstørrelsen på bergartskornene varierer sterkt. De fleste prøver viser phanerittisk kornstørrelse, men med variasjoner innad i tynnslipene. Enkelte korn er $< 1\text{ mm}$ og ikke mulig å identifisere med bare øyet, mens alle prøvene har korn mellom $1 - > 5\text{ mm}$ som er mulig å se uten hjelpemidler. Pegmatittiske bergarter opptrer også, hvor pyroksenminerale på opptil 10 cm er observert i felt. I tynnslip viser de pegmatittiske bergartene mer moderat kornstørrelse, dette på grunn av et tynnslips begrensede størrelse. Men korn opp til 15 mm er observert i tynnslip.

Kornform

Kornformen på bergartsmineralene varierer. Cumulusminerale viser ofte en viss utviklet krystallform, mens intercumulus minerale viser en anhedral kornform, bortsett fra kromitt.

Teksturer-strukturer

Det er flere former for mineralrelasjoner representert i bergartene. En typisk setting i de ultramafiske bergartene er cumulus og intercumulusminerale. Olivin og pyroksen viser en tendens til å være cumulusminerale hvor plagioklas og delvis pyroksen opptrer som intercumulusminerale.

Det er observert ofittisk tekstur hvor for eksempel tilfeldig orienterte plagioklaskorn er stengt inne mellom større korn av ortopyroksen, klinopyroksen eller olivin. I andre bergarter er det vanlig at ofittisk pyroksen inneslutter olivin.

Reaksjons teksturer

Det er observert korona tekstur rundt olivinkorn, og i tillegg forekommer det serpentinisert olivin. En del prøver inneholder tydelig rustforvitring med limonitt.

4.2.3 Sulfidmineraler, teksturer og opptreden

Sulfider er opake faser i de polerte tynnslipene og har vært hovedfokus under mikroskoperingen. Disse mineralene opptrer i små mengder i slipene (< 5%) og er ikke lagt til grunn for klassifisering av bergartene. Her følger først en beskrivelse av hvert enkelt sulfidmineral før det blir gjort greie for teksturer og opptreden. Gedigent kobber blir tatt med her på grunn av sin nære relasjon til sulfidmineralene.

Sulfider

Pyrrhotitt (po): Opptrer som store, lyse, brunaktige/hvite korn, med svak bireflektans og kraftig anisotropi. Er ofte delvis eller helt omvandlet til markasitt. Opptrer ofte i kombinasjon med andre sulfider som chalcopyritt, markasitt, pentlanditt og bravoittisert pentlanditt. Pyrrhotitt er det vanligste observerte sulfidet, og utgjør omtrent 50 % av sulfidenes samlede areal.

Marcasitt (mrc): Ofte er pyrrhotitt observert helt eller delvis omvandlet til markasitt. Markasitt opptrer derfor som et sekundært mineral, ofte i kombinasjon med pyrrhotitt. Er ofte som en omvandlingsfase fra korngrænse eller sprekk og innover i mineralet. Karakteristiske egenskaper er en tydelig omvandlet grå-hvit overflate, med kraftig anisotropi med blålige farger.

Chalcopyritt (cp): Opptrer som gule anhedrale krystaller, alltid i kombinasjon med andre sulfider som pyrrhotitt, markasitt, pentlanditt og pyritt. Chalcopyritt blir først og fremst identifisert ut fra sin klare gulfarge som skiller seg ut, i tillegg til svak anisotropi.

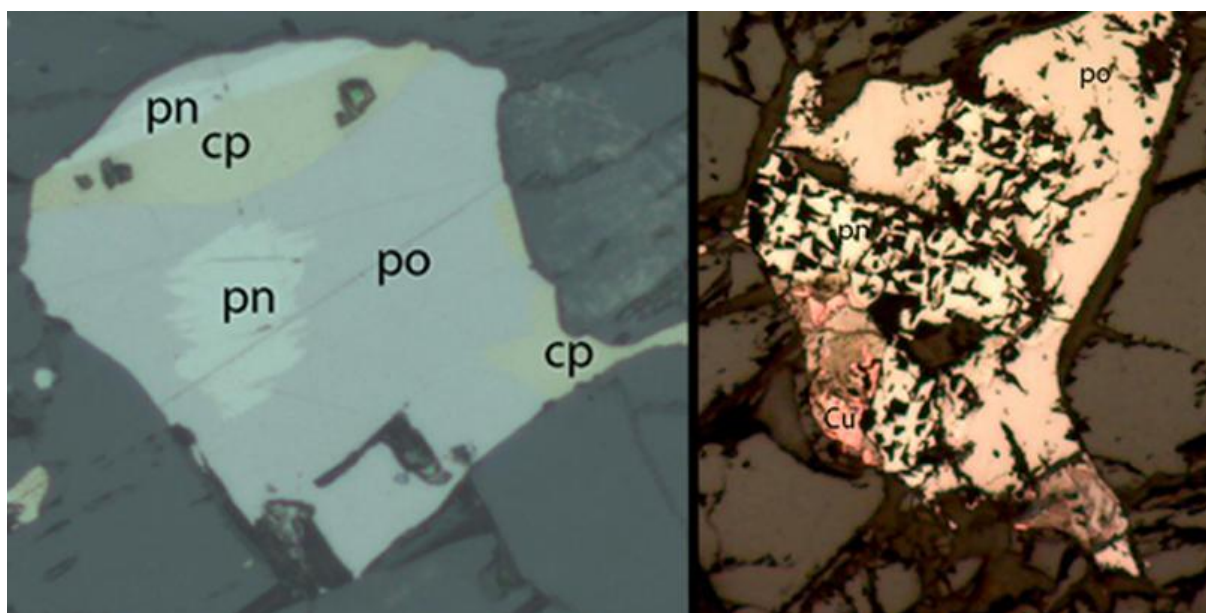
Pentlanditt (pn): Opptrer som isotrope, lyse og hvite kremaktige, anhedrale krystaller, ofte i kombinasjon med andre sulfider som pyrrhotitt, markasitt og chalcopyritt. En typisk situasjon er flammestruktur av pentlanditt i pyrrhotitt og/eller markasitt. Det er forskjell på utseende til pentlanditt fra overflateprøvene og prøvene fra kjernene, se Figur 4.28. Men ut fra analyseresultatene fra mikrosonden, viser begge mineralene lik sammensetning.

Kapittel 4: Resultater

Bravoittisert pentlanditt (pn (bravo)): I en del prøver er pentlanditt blitt bravoittisert. Bravoittisert pentlanditt har en karakteristisk oppsprekking og en uren overflate, som vist i Figur 4.29 og Figur 4.34.

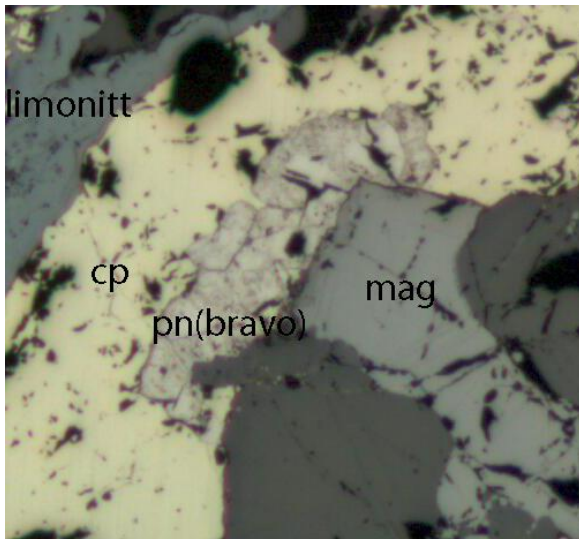
Pyritt (py): Pyritt er kun observert i symplektitt med chalcopyritt. Er identifisert som pyritt med mikrosonden, og det er videre antatt at all symplektitt består av chalcopyritt og pyritt.

Gedigent kobber: Opptrer som årer med kraftig, rødlig farge og sammenvoksninger med pyrrhotitt. Befinner seg alltid i en sulfidgruppe med for eksempel pyrrhotitt, chalcopyritt, pentlanditt og/eller cubanitt, se Figur 4.30.



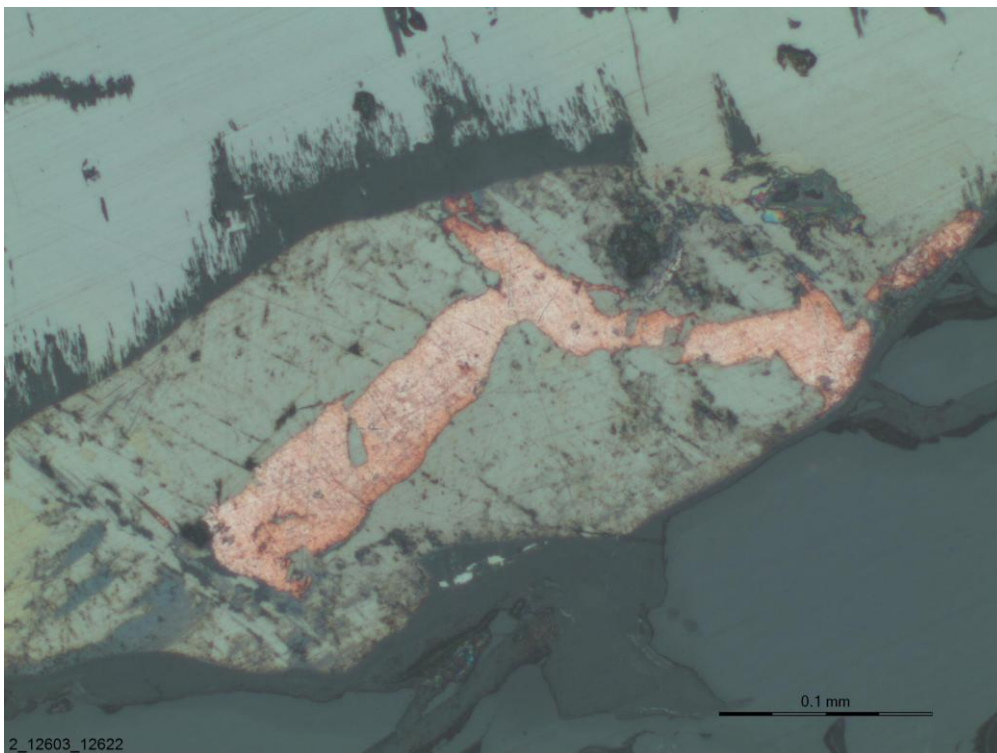
Figur 4.28 Venstre: Pentlanditt i en overflateprøve (EØ11013). Bredde bilde: ca. 0,15 mm. Høyre: Pentlanditt i en prøve fra borekjerne 2 (2-12243-12258). Bredde bilde ca. 0,4 mm. Begge bilder er tatt i pålys.

Figure 4.28 Left: Pentlandite from surface sample (EØ11013). Width of picture: approx. 0,15 mm. Right: Pentlandite from drill core 2 (2-12243-12258). Width of picture 0,4 mm. Both pictures taken in reflected light.



Figur 4.29 Typisk overflate for bravoittisert pentlanditt. Bildet er fra Lokkarfjord (L1). Bredden av bildet er ca. 1,0 mm og tatt i pålys.

Figure 4.29 Typical surface of bravoitized pentlandite. Picture from Lokkarfjord (L1). Width of picture approx. 1,0 mm, reflected light.

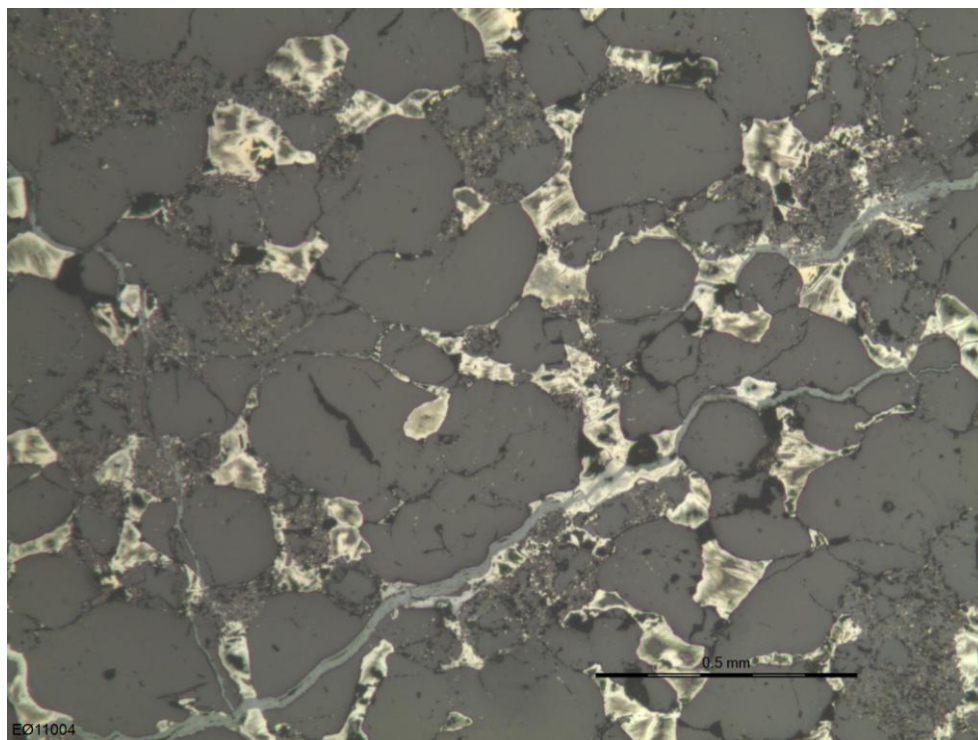


Figur 4.30 Gedigent Cu og pyrrhotitt fra kjerne 2 (2-12603-12622). Bergart: Lherzolitt. Bildet er tatt i pålys.

Figure 4.30 Massive Cu and pyrrhotite from drill core 2 (2-12603-12622). Rock type: Lherzolite. Picture taken in reflected light.

Teksturer og oppteden til sulfidene

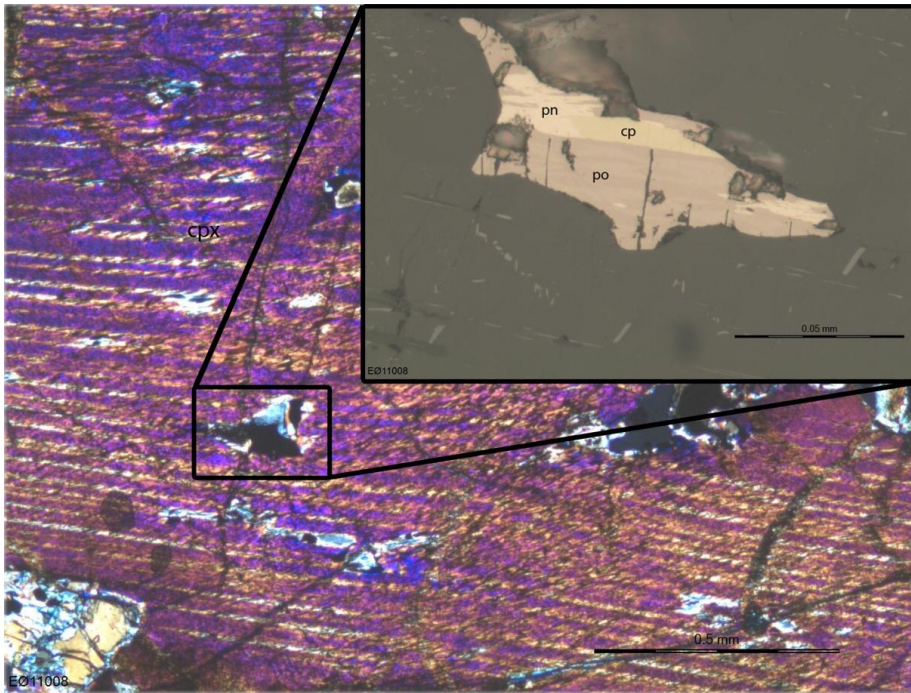
Sulfidene opptrer oftest i grupper bestående av flere sulfider som sitter interstitielt mellom primokrystene. Et eksempel på dette er vist i Figur 4.31. Sulfider kan også opptre som inneslutninger i klinopyroksen oikokryst. Figur 4.32 viser et eksempel på dette. På steder hvor en poikilittisk tekstur er observert, sitter det innesluttede sulfidmineralet langs mikrosprekker, der de kan ha blitt mobilisert inn. En typisk sulfidgruppe er 0,1 - 3,0 mm stor, men opp til 5 mm i et fåtalls tilfeller. Størrelsen på selve sulfidmineralene varierer, med kornstørrelser fra ca. 0,01 mm til ca. 2,0 mm. Det vanligste mineralet er pyrrhotitt, som dekker det største arealet av sulfidenes samlede areal med ca. 50 %. Pyrrhotitt opptrer ofte sammen med chalcopyritt og stedvis også med pentlanditt. Flammestruktur mellom pentlanditt inn i pyrrhotitt er ikke uvanlig og er observert mange steder. To eksempler på representative sulfidgrupper er gitt i Figur 4.33 og Figur 4.34. Figur 4.34 viser også et eksempel på sulfidgruppe hvor pyrrhotitt er omvandlet til markasitt, men hvor det også er mulig å observere flammestruktur med pentlanditt. Enkelte pyrrhotitt mineraler viser en helt eller delvis omvandling til markasitt, som vist i Figur 4.35. Symplektitt mellom pyritt og chalcopyritt er også observert, se Figur 4.40. Oksidene viser ofte en viss tilknytning til sulfidgruppene og opptrer ofte i samme gruppe, som vist i Figur 4.34.



Figur 4.31 Interstetielle sulfider i en gabbronoritt (EØ11004). Bildet er tatt i pålys.

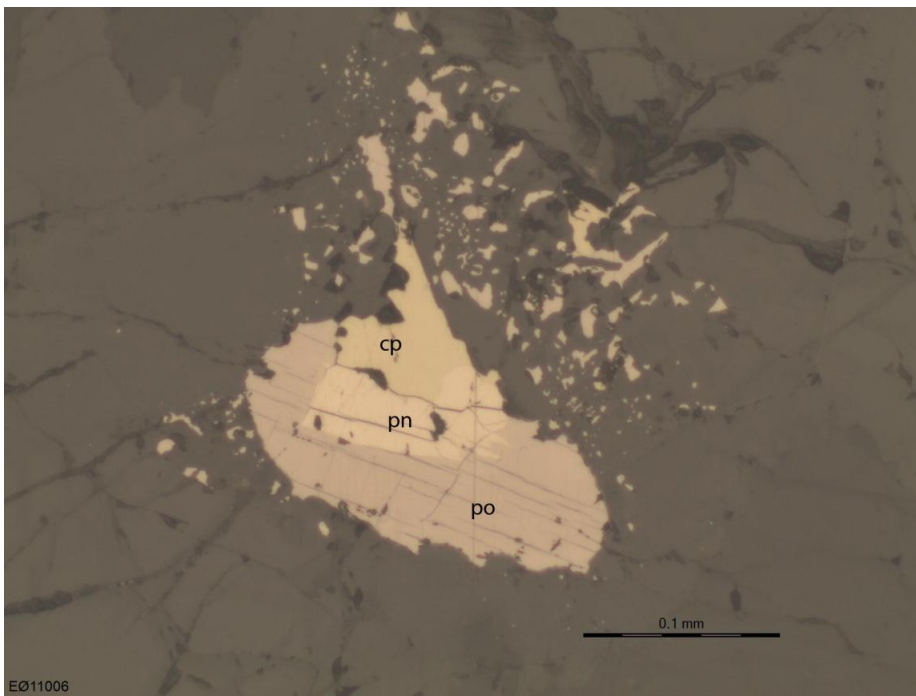
Figure 4.31 Interstitial sulphides in a gabbronorite (EØ11004). Reflected light.

Kapittel 4: Resultater



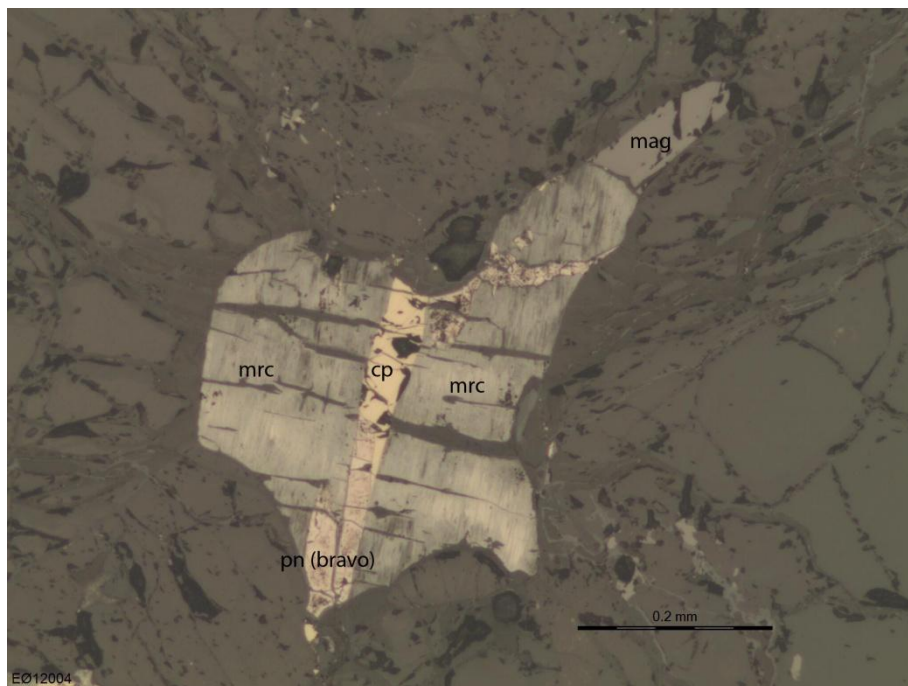
Figur 4.32 Sulfidgruppe sitter innesluttet i klinopyroksen i en harzburgitt (EØ11008). Bildet av klinopyroksen: Kryssete nicols. Sulfidgruppen: Pålys.

Figure 4.32 Group of sulphides enclosed by clinopyroxene in a harzburgite (EØ11008). The picture of clinopyroxene: Crossed nicols. Sulphide group: Reflected light.



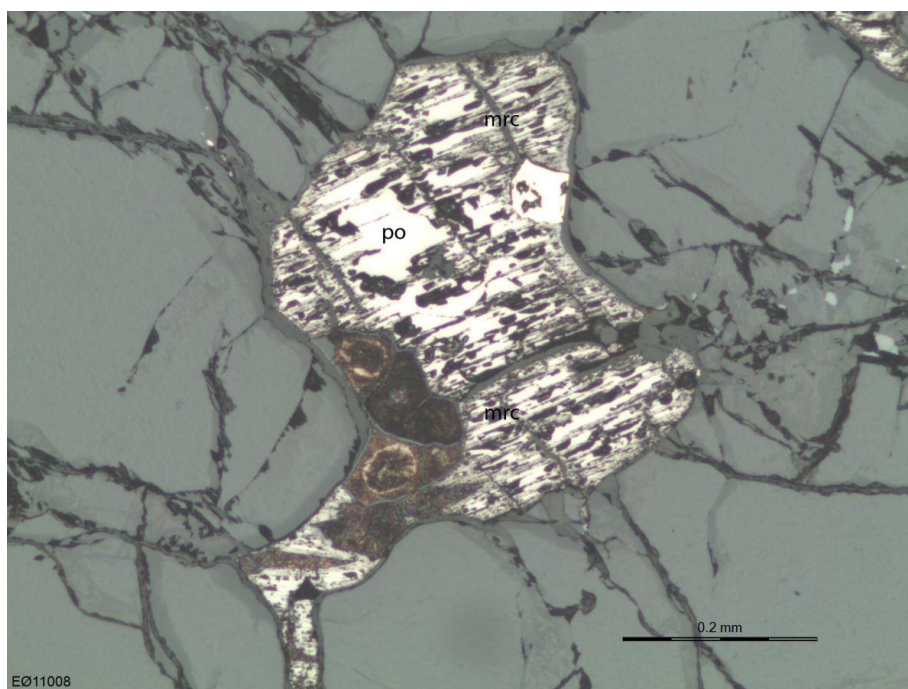
Figur 4.33 Typisk sulfidgruppe bestående av pyrrhotitt (po), chalcopyritt (cp) og pentlanditt (pn) med flammetekstur inn i pyrrhotitt. Bergarten er en gabbronoritt (EØ11006). Bildet er tatt i pålys.

Figure 4.33 Typical sulphide group of pyrrhotite (po), chalcopyrite (cp) and pentlandite (pn) with flame texture. Rock type: Gabbronorite (EØ11006). Picture taken in reflected light.



Figur 4.34 Sulfidgruppe bestående av marcasitt (mrc), chalcopyritt (cp) og bravoittisert pentlanditt (pn). Bergarten er lherzolitt (EØ12004). Bildet er tatt i pålys.

Figure 4.34 Sulphide group of marcasite (mrc), chalcopyrite (cp) and bravoitized pentlandite ((pn) bravo). Rock type: Lherzolitt (EØ12004). Picture taken in reflected light.



Figur 4.35 Pyrrhotitt (po) delvis omvandlet til marcasitt (mrc). Omvandlingen er kraftigst nær sprekker og korn grenser og avtar innover i mineralet. Eksempelet her er fra en harzburgitt (EØ11008). Bildet er tatt i pålys.

Figure 4.35 Pyrrhotite (po) partly transformed into marcasite (mrc). The transformation is most progresses close to cracks and grain borders, and decline towards the center of the mineral. This example is from a harzburgite (EØ11008). Picture taken in reflected light.

4.2.4 Bergarter/serier

Det er viktig å understreke at prøvetakingen har vært selektiv etter sulfider og at resultatene som blir presentert her ikke nødvendigvis dekker alle bergartene i seriene, men representerer resultatene fra feltarbeidet som ble gjennomført i forbindelse med denne oppgaven. Spesielt i de lagdelte seriene hvor bergarten er lagdelt med skarpe grenser i den modale lagdelingen, er plassering av tynnslipene spesielt utslagsgivende for hvilken bergart det blir klassifisert som. Derfor kan det opptre en rekke forskjellige bergarter innenfor et forholdsvis lite område.

Granatgneis

Granatgneisen består av granat, plagioklas, kvarts og biotitt i tillegg til grafitt, rutil, ilmenitt og magnetitt. Av sulfider finnes chalcopyritt, pyrrhotitt og pentlanditt, gjerne samlet i gruppe, hvor pyrrhotitt opptrer hyppigst. Bergarten er tydelig foliært, som sees spesielt godt på grunn av biotitt. Granatgneisen er tidligere tolket til å være metasedimentær, noe grafitten som kan være dannet fra organisk materiale, støtter opp om. Kornstørrelsen for bergartsmineralene er < 1 mm og sulfidene $< 0,1$ mm.

Langstrandgabbro

Langstrandgabbroen består av bergarter som i tynnslip er klassifisert som gabbro, noritt, gabbro-noritt, olivin noritt og olivin gabbro-noritt. Altså er en rekke forskjellige gabbrobergarter representert, og de består stort sett av et varierende innhold av mineralene plagioklas, ortopyroksen, klinopyroksen og olivin i tillegg til mindre mengder biotitt, amfibol, grafitt, spinell, ilmenitt og magnetitt. Kornstørrelsen for bergartsmineralene er i tynnslip < 4 mm. Sulfider som opptrer i langstrandgabbroen er pyrrhotitt, markasitt, pentlanditt og chalcopyritt. I tillegg er det observert bravoittisert pentlanditt i mer ultramafiske bergarter som ligger innesluttet i Langstrandgabbroen (EØ12015). Sulfidene sitter interstitielt og er ofte samlet i grupper, med en kornstørrelse $< 0,5$ mm. En del pyrrhotitt er helt eller delvis omvandlet til markasitt.

Lower layered series

Ingen prøver er tatt fra LLS, for makroskopisk beskrivelse se avsnitt 4.1.2.

Upper layered series

I ULS er en rekke bergarter representert: Lherzolitt, harzburgitt, dunitt, olivin ortopyroksenitt og olivin websteritt. En tendens i ULS er at bergartene blir progressivt rikere på pyroksen, fra sentrum mot den marginale sonen. Det er også gangbergarter innad i ULS hvor blant annet apatitt forekommer (EØ12001), og som er nærmere beskrevet under "gangbergarter".

Kapittel 4: Resultater

Identifiserte sulfider er chalcopyritt, pyritt, pyrrhotitt, markasitt, pentlanditt og bravoittisert pentlanditt.

Ultramafisk pegmatitt

Innad i ULS finnes det flere ultramafiske pegmatittganger/kropper som består av bergarter som olivin ortopyroksenitt, klinopyroksenitt og lherzolitt. I felt er kornstørrelse opp til 10 cm observert, mens det i tynnslip er observert korn opp til 15 mm. En del olivin er helt eller delvis serpentinisert. Identifiserte sulfider er chalcopyritt, pyrrhotitt, pentlanditt og bravoittisert pentlanditt. Det er flere eksempler på at oksidene og sulfidene er godt sammenblandet i en større gruppe (EØ12010), noe som kan tyde på at de har oppstått samtidig, men krystallisert ut i hver sin fase under krystallisasjonen.

Central series

Bergartene er dunitt, lherzolitt og harzburgitt. Innholdet av ol i kjernene er mellom 80 % og ca. 100 %, mens overflateprøvene viser større innhold av pyroksen. Identifikasjon basert på primokrystene gir en dunitt, hvor oikokrystene er pyroksen. Enkelte steder er olivinen serpentinisert, spesielt i prøvene fra bunnen av kjerne 1. På overflaten er det kun observert sulfider i området rundt prøvene EØ11008 og EØ11016, mens det i kjernen er sulfider i stort sett alle prøvene. Det er definert to horisonter i kjernene, en Ni + Cu horisont fra 88 - 95 meters dybde og en PGE-horisont fra 107 - 115 meters dybde (Iljina, 2013).

I overflateprøvene er det identifisert sulfidene chalcopyritt, pyrrhotitt, markasitt, pentlanditt og bravoittisert pentlanditt. Mens det i kjernen er identifisert chalcopyritt, pyrrhotitt, pentlanditt, cubanitt og gedigent Cu. Gedigent Cu opptrer kun i prøver fra borekjerne 2.

Marginal sone

De marginale sonene er her delt opp i tre forskjellige soner etter hvilken serie de grenser til.

North East Marginal Zone

Prøvene fra NEMZ består av wehrlitt og gabbroisk olivin noritt, med et varierende innhold av plagioklas, olivin, ortopyroksen og klinopyroksen. I tillegg er det mindre mengder amfibol, serpentin, ilmenitt og magnetitt. Prøvene var i felt relativt grovkornet, mens kornstørrelsen i tynnslipene er < 4 mm. Av sulfider er det både chalcopyritt, pyrrhotitt, markasitt, pentlanditt og bravoittisert pentlanditt med kornstørrelse < 1,0 mm.

Kapittel 4: Resultater

Upper Marginal Zone

Prøvene fra UMZ består av bergarter som websteritt, lherzolitt, plagioklasførende hornblende pyroksenitt og olivin gabbonoritt. Kornstørrelsen på bergartmineralene er $< 0,1 - 6$ mm. Mineralselskapet varierer fra ultramafisk til gabbroisk, hvor sulfider opptrer uavhengig av bergart. Av sulfider er chalcopyritt, pyrrhotitt, markasitt, pentlanditt og bravoittisert pentlanditt observert. Kornstørrelsen til sulfidene varierer kraftig, hvor største observerte sulfid er 3 mm. Alle sulfidene sitter interstitielt og innhold av sulfider opptil omtrent 10 % er observert.

Lower Marginal Zone

Bergartene i nedre marginale sone er plagioklasførende ultramafiske bergarter og plagioklasførende hornblende pyroksenitter. Av sulfider er det chalcopyritt, pyrrhotitt, markasitt, pentlanditt, bravoittisert pentlanditt og pyritt. Kornstørrelsen på sulfidene er < 1 mm.

Gangbergarter

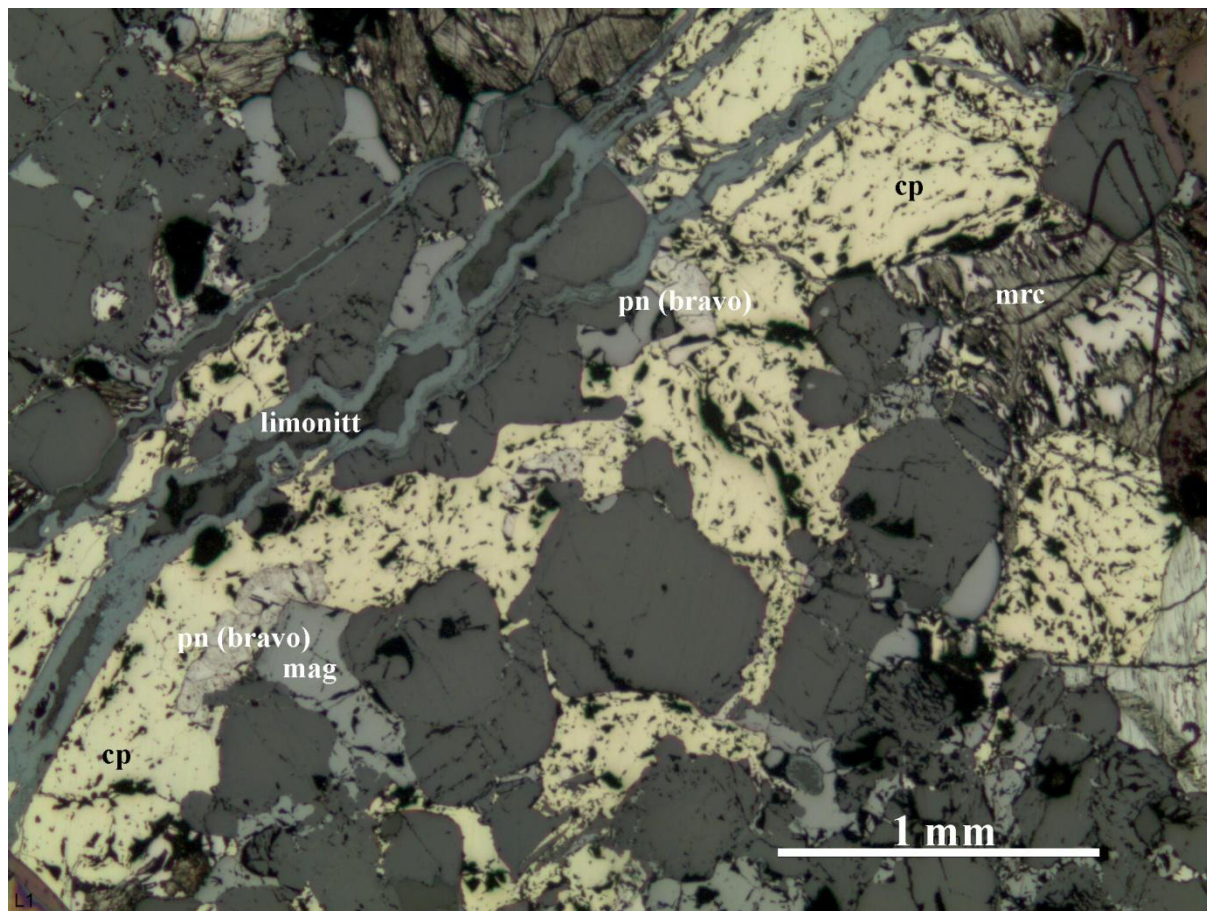
Det er en rekke forskjellige typer gangbergarter observert i det ultramafiske komplekset. Men i dette arbeidet er det kun tatt prøver av to gangbergarter, en i ULS og en i CS. Prøven fra ULS (EØ12001, Figur 4.13) er en pyroksen hornblende gabbonoritt med ca. 5 % innhold av apatitt. Av sulfider er chalcopyritt, pyrrhotitt og pentlanditt identifisert med kornstørrelse $< 0,2$ mm.

Prøven fra gangen i CS (EØ12002) er en 100% opak bergart, bestående av noe ilmenitt og magnetitt, og mye kromitt. Et fåtall små ($< 0,1$ mm) sulfider av chalcopyritt og pyrrhotitt er observert.

Lokkarfjord

I Lokkarfjord er vertsbergarten en hornblendeperidotitt og olivin-pyroksen hornblenditt med opp til 50 % innhold av hornblende. Av andre bergartsmineraler finnes olivin og ortopyroksen, og av tilleggsmaterialer er det spinell, ilmenitt, magnetitt og limonitt. Kornstørrelsen på bergartsmineralene er opptil 3 mm, hvor olivin kornene er de største. Enkelte av spinellkornene sitter innesluttet i olivinkorn, som kan tyde på at disse ble dannet på samme tidspunkt. Limonitt opptrer som ganger/sprekkemineral og er et sekundært mineral. Prøvene som ble undersøkt fra Lokkarfjord er de mest sulfidrike prøvene som ble undersøkt i dette arbeidet, med opp til 15 % sulfider. Sulfidene identifisert i mikroskop er pyrrhotitt, markasitt, chalcopyritt og bravoittisert pentlanditt. Sulfidene er relativt grovkornet

med kornstørrelse opp til 3 mm og sitter interstitielt. De opptrer i grupper, hvor alle identifiserte sulfider kan sitte samlet. Pyrrhotitt er stedvis kraftig omvandlet til markasitt. All pentlanditt er delvis bravoittisert og har en karakteristisk oppsprekking. Typisk sulfidgruppe fra Lokkarfjord er vist i Figur 4.36.



Figur 4.36 Typisk opptreden av sulfider i Lokkarfjord (L1). Bildet er tatt i pålys.

Figure 4.36 Typical sulphides from Lokkarfjord (L1). Picture taken in reflected light.

4.3 Mikrosonde

Empirisk formel for identifiserte mineraler er beregnet på grunnlag av resultatene fra mikrosonden, hvor alle resultatene opprinnelig er oppgitt som wt %. Gjennomgangen av resultatene fra mikrosonden er sortert på mineraler og deretter serier/bergarter. Dette på grunn av at kun et fåtall prøver er analysert på mikrosonden og at alle mineraler fra alle serier/bergarter ikke er analyserte.

4.3.1 Silikater og oksider

Eget sett med standarder er benyttet for silikat- og oksidanalysen, og alle elementer ble oppgitt som oksider. Omregning er gjennomført i eget Excel ark basert på metoden

Kapittel 4: Resultater

gjennomgått i Deer et al. (1992). For Fe er resultatene oppgitt som FeO, og det er ikke skilt mellom Fe²⁺ og Fe³⁺. Rådata fra silikatanalysene ligger vedlagt i vedlegg D.

Olivin

Resultatene for olivin er oppgitt i Tabell 4.1.

Tabell 4.1 Olivinanalyser.

Table 4.1 Olivine analyses.

Oksid (wt %)	A	B	C	D
SiO ₂	40,10	40,30	41,58	39,56
TiO ₂	0,01	0,01	0,01	0,01
Al ₂ O ₃	0,01	0,01	0,06	0,02
Cr ₂ O ₃	0,01	0,01	0,02	0,02
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,00	0,00
FeO	15,69	14,50	16,62	21,08
MnO	0,20	0,18	0,25	0,29
MgO	42,31	43,37	38,76	38,64
CaO	0,00	0,01	0,03	0,00
total	98,32	98,38	97,32	99,62
Kation (antall atomer)				
Si	1,033	1,031	1,098	1,031
Ti	0,000	0,000	0,000	0,000
Al	0,000	0,000	0,002	0,001
Cr	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ₃	0,000	0,000	0,000	0,000
Fe ₂	0,338	0,310	0,367	0,460
Mn	0,004	0,004	0,006	0,006
Mg	1,624	1,654	1,526	1,502
Ca	0,000	0,000	0,001	0,000
tot. cat.	3,000	3,000	3,000	3,000
tot. oxy.	4,033	4,031	4,099	4,032
Atomprosent				
Endeledd (mol %)				
Te (Mn)	0,22	0,20	0,29	0,33
Fo (Mg)	82,60	84,03	80,33	76,31
Fa (Fe)	17,18	15,76	19,33	23,36
Ca-Ol	0,00	0,01	0,05	0,00
sum	100,00	100,00	100,00	100,00

A Olivin primokryst i en lherzolitt fra CS, kjerne 2 (2-12243-12558). Gjennomsnitt av 6 analyser.

B Olivin primokryst i en dunitt fra CS, kjerne 1 (1-8600-8619). Gjennomsnitt av 11 analyser.

C Olivin primokryst i en dunitt fra CS, kjerne 1 (1-11682-11692). Gjennomsnitt av 14 analyser.

D Olivin i en plagioklasførende UM-bergart fra LMZ (EØ11013). Gjennomsnitt av 2 analyser.

Klinopyroksen

Resultatene for klinopyroksen er oppgitt i Tabell 4.2.

Tabell 4.2 Klinopyroksenanalyser.

Table 4.2 Clinopyroxene analyses.

Oksid (wt %)	A	B	C
SiO ₂	52,36	51,30	43,42
TiO ₂	0,66	0,99	2,41
Al ₂ O ₃	3,76	4,46	10,80
Cr ₂ O ₃	0,47	0,36	0,00
Fe ₂ O ₃	0,00	0,00	0,78
FeO	3,64	5,59	7,47
MnO	0,08	0,13	0,20
MgO	15,40	13,75	9,11
CaO	19,86	20,41	21,79
Na ₂ O	0,96	0,64	0,49
total	97,18	97,63	96,46

Kation (antall atomer)			
Si	1,960	1,936	1,689
Ti	0,019	0,028	0,071
Al	0,166	0,198	0,495
Cr	0,014	0,011	0,000
Fe ₃	0,000	0,000	0,023
Fe ₂	0,114	0,176	0,243
Mn	0,003	0,004	0,007
Mg	0,859	0,774	0,528
Ca	0,796	0,825	0,908
Na	0,070	0,047	0,037
tot. cat.	4,000	4,000	4,000
tot. oxy.	6,033	6,045	6,000

Atomprosent

Endeledd (mol %)			
XWo = Ca/Ca+Mg+FeT	45,00	46,49	53,34
XEn = Mg/Ca+Mg+FeT	48,56	43,58	31,04
XF _s = FeT/Ca+Mg+FeT	6,44	9,932	15,62
total	100,00	100,00	100,00

A Cpx fra CS (1-11680-11692). Gjennomsnitt av to analyser.

B Cpx fra LMZ (EØ11013). Gjennomsnitt av 11 analyser.

C Cpx fra Lokkarfjord (L1). Gjennomsnitt av to analyser.

Kapittel 4: Resultater

Ortopyrosken

Resultatene for ortopyrosken er oppgitt i Tabell 4.3.

Tabell 4.3 Ortopyrosken, enstatitt fra LMZ (EØ11013). Gjennomsnitt av to analyser.

Table 4.3 Orthopyroxene analysis, enstatite from LMZ (EØ11013). Average from two analyses.

Oksid (wt%)		Kation (antall atomer)	
Al ₂ O ₃	1,82	Al	0,038
MgO	27,77	Mg	0,740
Cl	0,02	Cl	0,001
Cr ₂ O ₃	0,07	Cr	0,001
SiO ₂	55,53	Si	0,993
Na ₂ O	0,00	Na	0,000
P ₂ O ₅	0,02	P	0,000
MnO	0,28	Mn	0,004
K ₂ O	0,02	K	0,000
FeO	13,47	Fe	0,201
CaO	0,31	Ca	0,006
NiO	0,03	Ni	0,000
TiO ₂	0,10	Ti	0,001
CuO	0,00	Cu	0,000
ZrO ₂	0,02	Zr	0,000
Total	99,46	Totalt	1,986
		O	3,000

Plagioklas

Resultatene for plagioklas er oppgitt i Tabell 4.4.

Tabell 4.4 Plagioklas fra LMZ (EØ11013). Gjennomsnitt av syv analyser.

Table 4.4 Plagioclase from LMZ (EØ11013). Average from seven analyses.

Oksid (wt%)		Kation (antall atomer)		Endeledd (mol %)	
SiO ₂	54,96	Si	2,517	An	54,26
TiO ₂	0,00	Ti	0,000	Ab	45,40
Al ₂ O ₃	28,30	Al	1,528	Or	0,34
Cr ₂ O ₃	0,00	Cr	0,000		
Fe ₂ O ₃	0,00	Fe ₃	0,000		
FeO	0,09	Fe ₂	0,003		
MnO	0,01	Mn	0,000		
MgO	0,02	Mg	0,001		
CaO	10,50	Ca	0,515		
BaO	0,00	Ba	0,000		
Na ₂ O	4,86	Na	0,431		
K ₂ O	0,05	K	0,003		
total	98,7947	tot. cat.	5,000		
		tot. oxy.	8,064		

Amfibol

Resultatene for amfibol er oppgitt i Tabell 4.5.

Tabell 4.5 Amfibolanalyser.

Table 4.5 Amphibole analyses.

Oksid (wt %)	A	B	Kation (antall atomer)	A	B
SiO ₂	39,23	43,37	Si	5,957	6,585
TiO ₂	1,98	2,74	Ti	0,226	0,313
Al ₂ O ₃	16,65	13,20	Al	2,980	2,362
Fe ₂ O ₃	-	-	Fe ⁺³	0,000	0,000
FeO	12,17	9,62	Fe ⁺²	1,546	1,221
MnO	0,13	0,07	Mn	0,017	0,010
MgO	10,77	12,74	Mg	2,438	2,884
CaO	11,14	10,99	Ca	1,812	1,788
Na ₂ O	2,96	2,45	Na	0,870	0,722
K ₂ O	0,80	0,60	K	0,155	0,117
H ₂ O	-	-	H	2,000	2,000
Total	95,83	95,78	Total	18,000	18,000
			Oksygen	23,000	23,000

A Amfibol, alumino-ferroan paragasite fra Lokkarfjord (L1). Gjennomsnitt av fire analyser.

B Amfibol, titanian-alumino-edenitic hornblende fra LMZ (EØ11013). Gjennomsnitt av fire analyser.

Cr-holdig magnetitt / Kromitt

Det er analysert Cr-holdig magnetitt / kromitt i to prøver (2-12243-12258 og 1-8600-86199), begge fra CS. I prøve 2-12243-12258 finnes det to typer, hvor en type inneholder mindre Al og Cr, men mer Fe og Ti enn den andre (se Figur 4.37 og Tabell 4.6).

Tabell 4.6 Cr-holdig magnetitt / kromitt i to prøver fra CS (2-12243-12258 og 1-8600-86199). Det finnes to varianter, en rik på Al og en som er fattigere på Al.

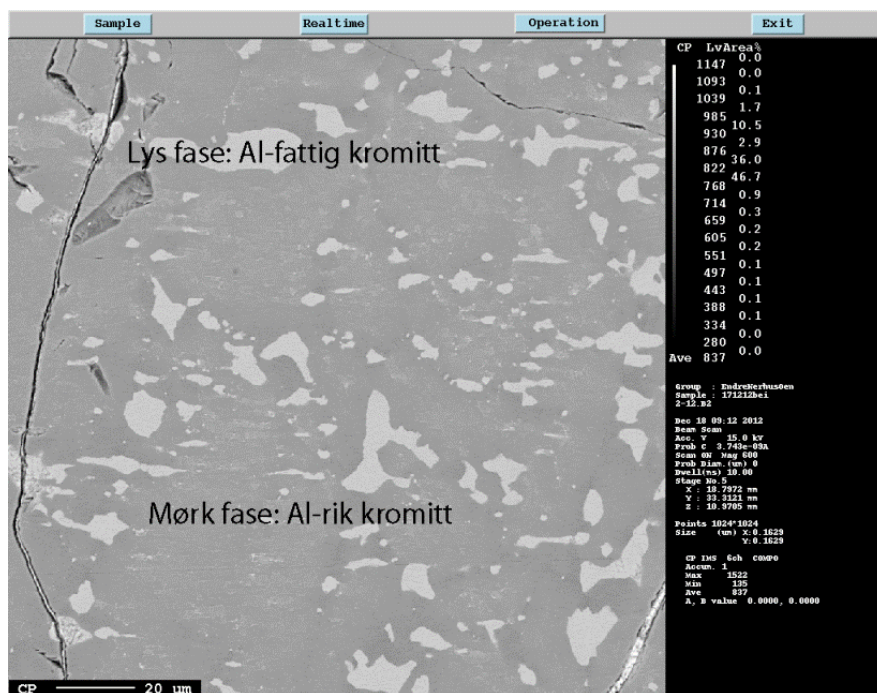
Table 4.6 Cr-magnetite/cromite from two samples from CS (2-12243-12258 and 1-8600-86199). Two different variants, one rich in Al and one poor in Al.

Oksid (wt %)	A	B	Kation (antall atomer)	A	B
Al ₂ O ₃	22,40	5,34	Al	0,907	0,260
MgO	5,80	2,00	Mg	0,297	0,123
Cl	0,00	0,00	Cl	0,000	0,000
Cr ₂ O ₃	27,09	18,85	Cr	0,736	0,616
SiO ₂	0,00	0,05	Si	0,000	0,002
Na ₂ O	0,03	0,00	Na	0,001	0,000
P ₂ O ₅	0,00	0,02	P	0,000	0,000
MnO	0,35	0,37	Mn	0,010	0,013
K ₂ O	0,00	0,00	K	0,000	0,000
FeO	41,30	67,79	Fe	1,187	2,342
CaO	0,00	0,00	Ca	0,000	0,000
NiO	0,11	0,29	Ni	0,003	0,010
TiO ₂	0,67	3,12	Ti	0,017	0,097
CuO	0,03	0,02	Cu	0,001	0,001
ZrO ₂	0,02	0,00	Zr	0,000	0,000
Total	97,79	97,86	Totalt	3,160	3,462
			O	4,000	4,000

A Al-rik kromitt. Gjennomsnitt av 10 analyser.

B Al-fattig kromitt. Gjennomsnitt av tre analyser.

Kapittel 4: Resultater



Figur 4.37 BEI bilde med to faser Cr-holdig magnetitt / kromitt. Bergarten er en lherzolitt (2-12243-12258).

Figure 4.37 BEI image with two phases Cr magnetite / chromite. Rock type: Lherzolite (2-12243-12258).

Magnetitt

Resultatene for magnetitt er oppgitt i Tabell 4.7.

Tabell 4.7 Magnetittanalyse fra Lokkarfjord (L1). Gjennomsnitt av to analyser.

Table 4.7 Magnetite analysis from Lokkarfjord (L1). Average from two analyses.

Oksid (wt %)		Kation (antall atomer)	
Al ₂ O ₃	0,73	Al	0,043
MgO	0,13	Mg	0,009
Cl	0,00	Cl	0,000
Cr ₂ O ₃	0,03	Cr	0,001
SiO ₂	0,07	Si	0,003
Na ₂ O	0,00	Na	0,000
P ₂ O ₅	0,02	P	0,000
MnO	0,03	Mn	0,001
K ₂ O	0,00	K	0,000
FeO	93,94	Fe	3,893
CaO	0,00	Ca	0,000
NiO	0,04	Ni	0,002
TiO ₂	0,29	Ti	0,011
CuO	0,01	Cu	0,000
ZrO ₂	0,00	Zr	0,000
Total	95,29	Totalt	3,964
		O	4,000

Kapittel 4: Resultater

Spinell

Resultatene for spinell er oppgitt i Tabell 4.8.

Tabell 4.8. Spinell (magnesioferrite) fra Lokkarfjord (L1). Gjennomsnitt av seks analyser.

Table 4.8 Spinel (magnesioferrite) from Lokkarfjord (L1). Average from six analyses.

Oksid (wt %)		Kation (antall atomer)	
SiO ₂	0,05	Si	0,001
TiO ₂	0,01	Ti	0,000
Al ₂ O ₃	58,80	Al	1,933
Cr ₂ O ₃	0,03	Cr	0,001
Fe ₂ O ₃	2,98	Fe ₃	0,063
FeO	24,88	Fe ₂	0,581
MnO	0,25	Mn	0,006
MgO	9,98	Mg	0,415
total	96,98	tot. cat.	3,000
		tot. oxy.	4,000

Ilmenitt

Resultatene for ilmenitt er oppgitt i Tabell 4.9.

Tabell 4.9. Ilmenittanalyser.

Table 4.9 Ilmenite analysis.

Oksid (wt %)			Kation (antall atomer)		
	A	B		A	B
Al ₂ O ₃	0,05	0,05	Al	0,002	0,002
MgO	1,66	5,22	Mg	0,063	0,191
Cl	0,01	0,00	Cl	0,000	0,000
Cr ₂ O ₃	0,01	0,34	Cr	0,000	0,007
SiO ₂	0,00	0,03	Si	0,000	0,001
Na ₂ O	0,01	0,02	Na	0,000	0,000
P ₂ O ₅	0,03	0,01	P	0,000	0,000
MnO	1,18	0,55	Mn	0,025	0,012
K ₂ O	0,01	0,00	K	0,000	0,000
FeO	47,99	42,43	Fe	1,023	0,871
CaO	0,00	0,00	Ca	0,000	0,000
NiO	0,01	0,05	Ni	0,000	0,001
TiO ₂	49,10	51,75	Ti	0,942	0,955
CuO	0,03	0,02	Cu	0,001	0,000
ZrO ₂	0,04	0,04	Zr	0,001	0,000
Total	100,13	100,51	Totalt	2,056	2,039
			O	3,000	3,000

A Interstetiell ilmenitt fra Lokkarfjord (L1). Gjennomsnitt av seks analyser.

B Interstetiell ilmenitt fra CS, kjerne 1 (1-8600-8619). Gjennomsnitt av syv analyser.

4.3.2 Sulfider

Eget sett med standarder er benyttet for sulfidanalysen. Resultatene er opprinnelig oppgitt i wt%, hvor hvert element er oppgitt i elementform. Resultatene er regnet om til mol% for beregning av formel. Rådata fra sulfidanalysene ligger vedlagt i vedlegg E, mens det i tabellene presentert her, kun er tatt med de viktigste elementene.

Pyrrhotitt, markasitt og pyritt

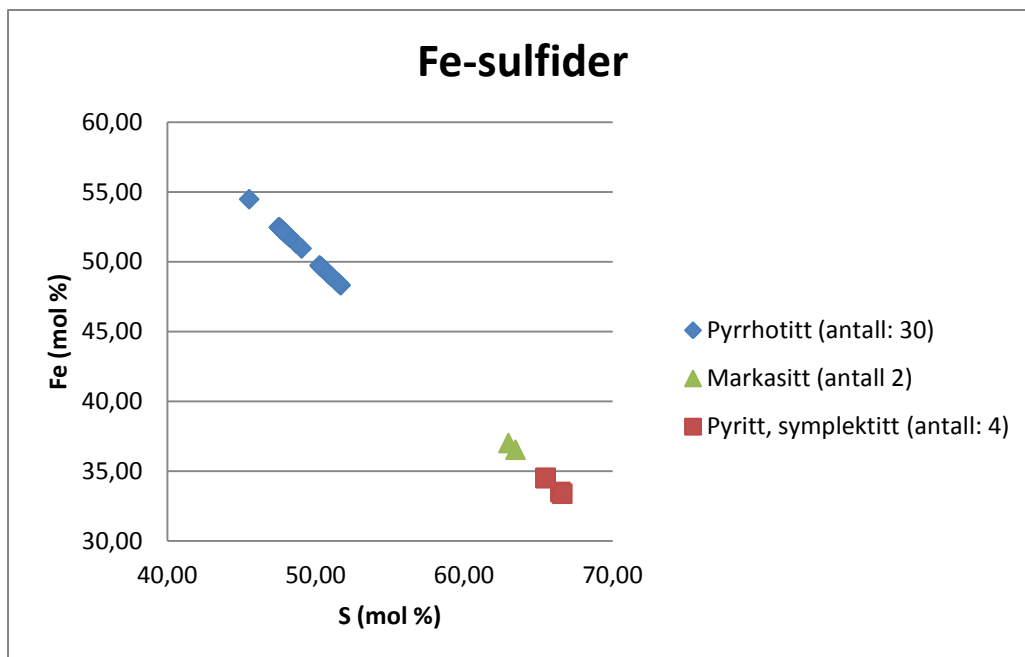
Pyrrhotitt (Fe_{1-x}S), markasitt (FeS_2) og pyritt (FeS_2) plottet som mol% med Fe mot S viser at det er tre forskjellige faser, se Figur 4.38. Tabell 4.10 viser resultatet i tabellform. Den empiriske formelen for pyrrhotitt beregnet på et gjennomsnitt av alle pyrrhotitt analysene gir $\text{Fe}_{1,04}\text{S}$. Tilsvarende for markasitt er $\text{Fe}_{1,16}\text{S}_2$ og for pyritt $\text{Fe}_{1,03}\text{S}_2$. Pyritt opptrer kun i symplektittisk tekstur sammen med chalcopyritt, vist i Figur 4.40.

Kapittel 4: Resultater

Tabell 4.10 Pyrrhotitt, markasitt og pyritt-analyser.

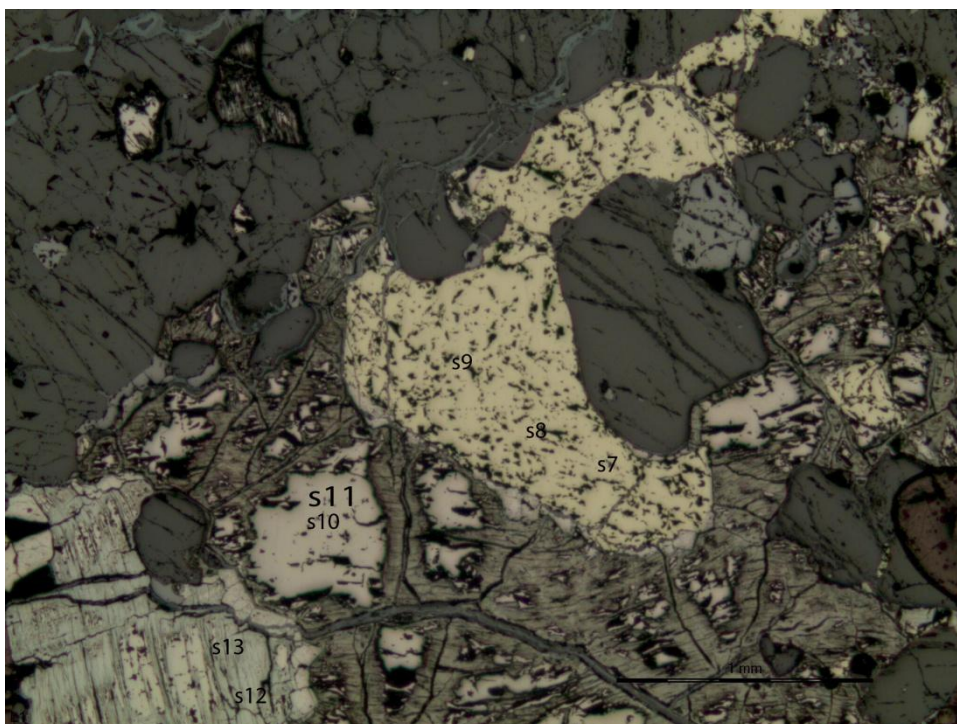
Table 4.10 Pyrrhotite, marcasite and pyrite analysis.

Po		S		Fe	
		wt %	mol %	wt %	mol %
Lokkarfjord (L1) 3 analyser	Gjennomsnitt	39,74	51,57	65,00	48,43
	Minimum	39,54	51,45	64,80	48,32
	Maksimum	39,89	51,68	65,24	48,55
CS (2-12243-12558) 12 analyser	Gjennomsnitt	35,18	48,00	66,40	52,00
	Minimum	32,12	45,51	59,72	49,03
	Maksimum	36,18	50,97	68,85	54,49
CS (1-8600-8619) 4 analyser	Gjennomsnitt	36,75	49,06	66,44	50,94
	Minimum	35,36	47,58	64,68	49,41
	Maksimum	38,03	50,59	68,29	52,42
CS (1-11680-11692) 6 analyser	Gjennomsnitt	36,66	48,52	67,73	51,48
	Minimum	36,09	47,78	64,19	48,95
	Maksimum	38,44	51,05	68,70	52,22
LMZ (EØ11013) 5 analyser	Gjennomsnitt	38,61	50,52	65,85	65,85
	Minimum	38,31	50,25	64,71	64,71
	Maksimum	39,02	50,87	66,68	66,68
Totalt 30 analyser	Gjennomsnitt	36,71	49,02	66,44	50,98
	Minimum	32,12	45,51	59,72	48,32
	Maksimum	39,89	51,68	68,85	54,49
Mrc					
Lokkarfjord (L1) 2 analyser	Gjennomsnitt	49,84	63,22	50,50	36,78
	Minimum	48,91	62,98	50,07	36,54
	Maksimum	50,77	63,46	50,92	37,02
Py					
CS (1-8600-8619) 2 analyser	Gjennomsnitt	53,87	66,54	47,17	33,46
	Minimum	53,69	66,48	46,88	33,39
	Maksimum	54,06	66,61	47,46	33,52
LMZ (EØ11013) 2 analyser	Gjennomsnitt	53,39	65,48	49,02	34,52
	Minimum	53,38	65,47	49,01	34,51
	Maksimum	53,41	65,49	49,03	34,53
Totalt 4 analyser	Gjennomsnitt	53,63	66,01	48,10	33,99
	Minimum	53,38	65,47	46,88	33,39
	Maksimum	54,06	66,61	49,03	34,53



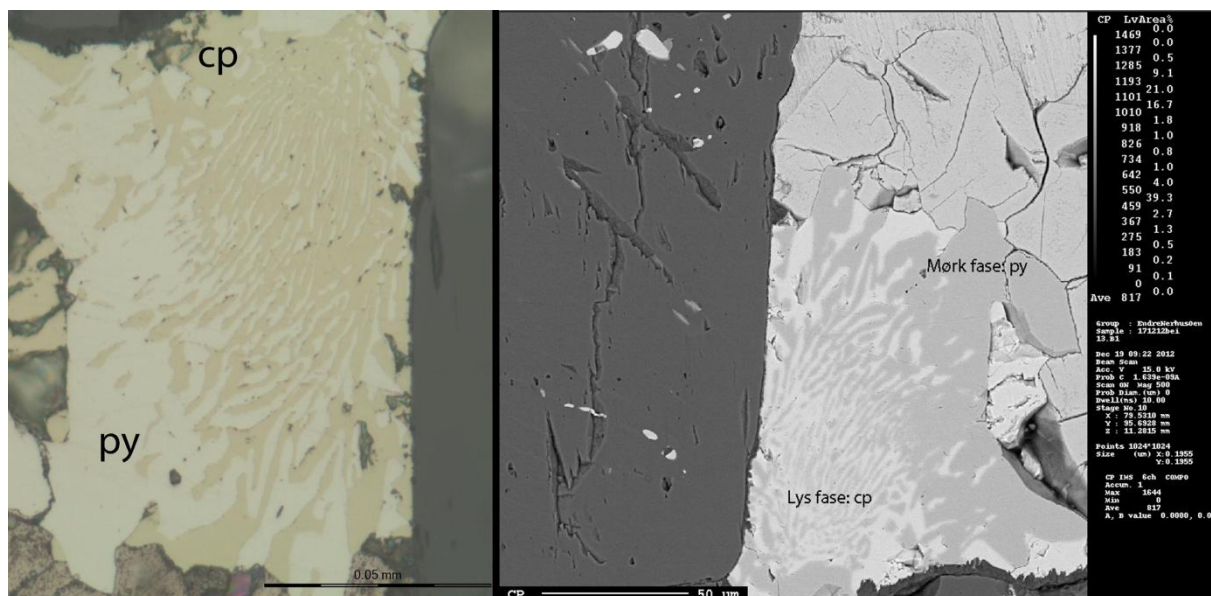
Figur 4.38 Plott med resultatene av pyrrhotitt, markasitt og pyritt.

Figure 4.38 Plot of pyrrhotite, marcasite and pyrite analysis.



Figur 4.39 Markasittanalysene er fra punktene s12 og s13. Teksturen på bildet er et godt eksempel på utseende til markasittmineralene. s10 og s11 er pyrrhotitt, og s7, s8 og s9 er chalcopyritt. Bergarten er en hornblendeperidotitt fra Lokkarfjord (L1). Bildet er tatt i pålys.

Figure 4.39 Marcasite analysis are from the points s12 and s13. The texture on the picture is an example of marcasite from the samples. s10 and s11 are pyrrhotite, and s7, s8 and s9 are chalcopyrite. The rock type is a hornblendeperidotite from Lokkarfjord (L1). Picture taken in reflected light.



Figur 4.40 Symplektittisk tekstur mellom chalcopyritt (cp) og pyritt (py). Eksempelet er fra en plagioklasførende ultramafisk bergart (EØ11013). Bildet til venstre: Pålvs. Bildet til høyre: BEI.

Figure 4.40 Symplectite texture between chalcopyrite (cp) and pyrite (py). The example is from a plagioclase-bearing ultramafic rock (EØ11013). Picture, left: Reflected light. Picture, right: BEI.

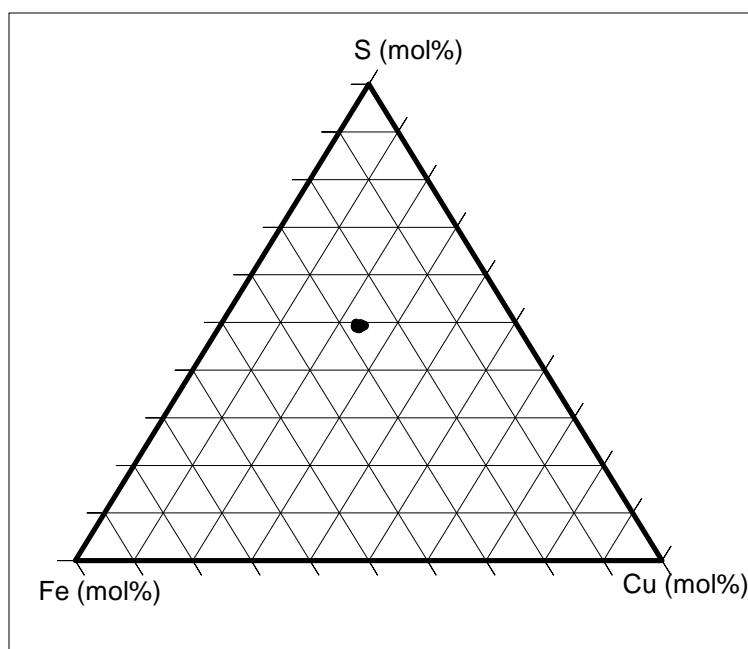
Chalcopyritt og cubanitt

Analysene av chalcopyritt på mikrosonden viser liten variasjon, se Tabell 4.11, og gir en empirisk formel $\text{Cu}_{0,966}\text{Fe}_{1,098}\text{S}_2$ for gjennomsnittet av alle målingene, se Figur 4.41.

Tabell 4.11 Chalcopyritt analyser.

Table 4.11 Chalcopyrite analysis.

		S		Cu		Fe	
		wt %	mol %	wt %	mol %	wt %	mol %
Lokkarfjord (L1)	Gjennomsnitt	34,72	49,29	33,59	24,06	32,70	26,65
	Minimum	34,53	48,81	32,98	23,79	31,77	26,09
	8 analyser	Maksimum	35,07	49,67	34,00	24,51	33,65
CS (1-8600-8619)	Gjennomsnitt	34,71	49,07	33,18	23,66	33,60	27,27
	Minimum	34,64	48,90	32,31	23,17	33,42	27,06
	3 analyser	Maksimum	34,78	49,25	33,67	23,93	33,78
CS (1-11680-11692)	Gjennomsnitt	34,79	49,22	33,15	23,66	33,39	27,12
	Minimum	34,69	49,11	33,01	23,60	33,05	26,94
	4 analyser	Maksimum	34,89	49,32	33,33	23,75	33,67
LMZ (EØ11013)	Gjennomsnitt	34,83	49,17	33,07	23,56	33,63	27,26
	Minimum	34,53	48,98	32,27	22,97	32,97	26,91
	7 analyser	Maksimum	35,29	49,77	33,72	24,00	34,13
Totalt 22 analyser	Gjennomsnitt	34,77	49,21	33,26	23,77	33,26	27,03
	Minimum	34,53	48,81	32,27	22,97	31,77	26,09
	Maksimum	35,29	49,77	34,00	24,51	34,13	27,61



Figur 4.41. Triplot med mol % S, Cu og Fe som viser analysene av chalcopyritt. Totalt 22 analyser, og det er lite variasjon mellom prøvene.

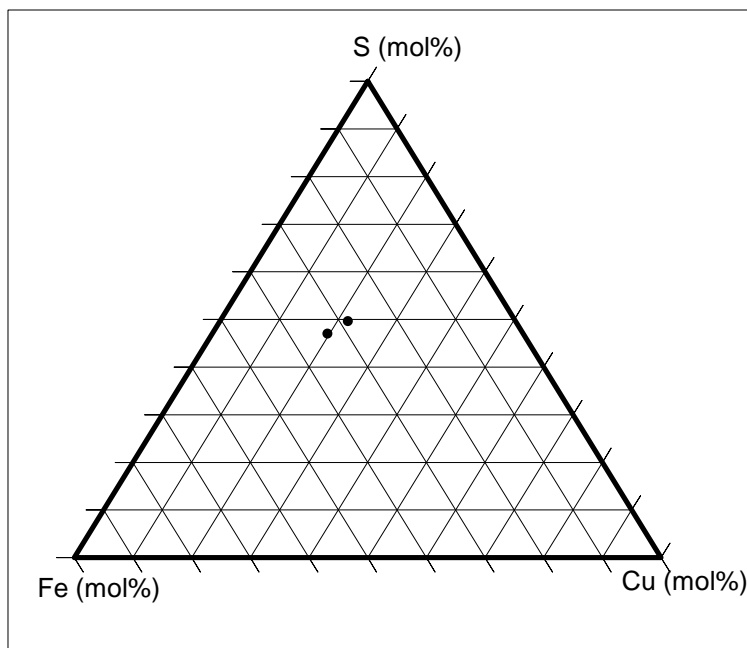
Figure 4.41 Plot of mol % S, Cu and Fe. 22 analyses of chalcopyrite, and little variation between the samples.

Det ble også identifisert cubanitt hvor det er beregnet to empiriske formler på grunn av variasjon, se Figur 4.42. For cubanitt i kjerne 1 (en analyse) gjelder $\text{Cu}_{1,315}\text{Fe}_{1,722}\text{S}_3$, og for cubanitt i kjerne 2 (en analyse) $\text{Cu}_{1,250}\text{Fe}_{2,124}\text{S}_3$.

Tabell 4.12 Cubanitt analyser (to analyser).

Table 4.12 Cubanite analyses (two analyses).

	S		Cu		Fe	
	wt %	mol %	wt %	mol %	wt %	mol %
CS, Kjerne 1 (1-11680-11692)	34,52	49,69	29,98	21,78	34,51	28,53
CS, kjerne 2 (2-12243-12558)	32,99	47,07	27,24	19,61	40,67	33,32



Figur 4.42. Plott i mol% med S, Cu og Fe for cubanitt analyser (to analyser).

Figure 4.42 Plot in mol % with S, Cu and Fe from cubanite analyses (two analyses).

Pentlanditt og bravoittisert pentlanditt

Analysene av pentlanditt og bravoittisert pentlanditt viser at det er en kjemisk forskjell mellom dem, og resultatene er oppsummert i Tabell 4.13. I Figur 4.43, som viser et plott i mol % med S, Ni og Fe, kommer to forskjellige samlinger fram, som viser henholdsvis hvordan pentlanditt og bravoittisert pentlanditt plotter.

Beregnet formel for pentlanditt, gjennomsnitt alle analyser: $(\text{Fe}_{4,67}\text{Ni}_{4,57})\text{S}_8$

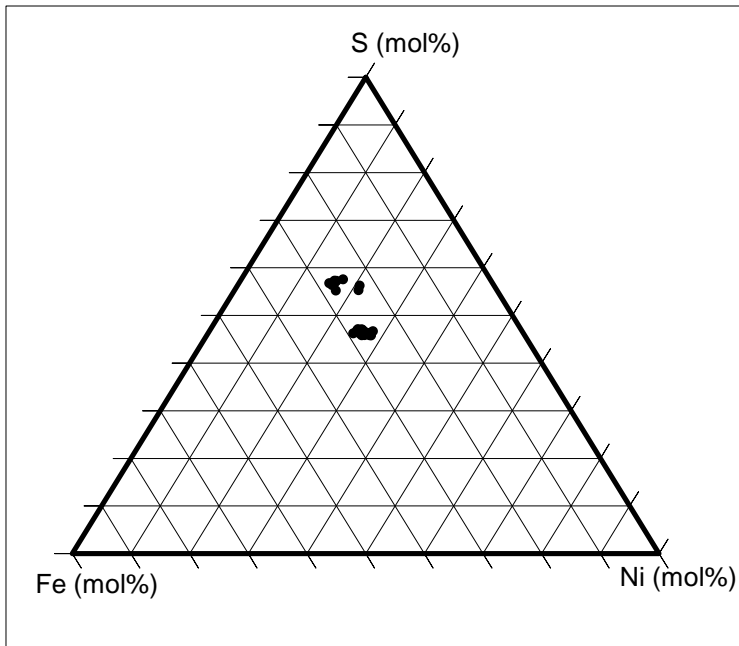
Beregnet formel for bravoittisert pentlanditt, gjennomsnitt alle analyser: $(\text{Fe}_{0,92}\text{Ni}_{0,61})\text{S}_2$

Kapittel 4: Resultater

Tabell 4.13 Pentlanditt og bravoittisert pentlanditt analyser.

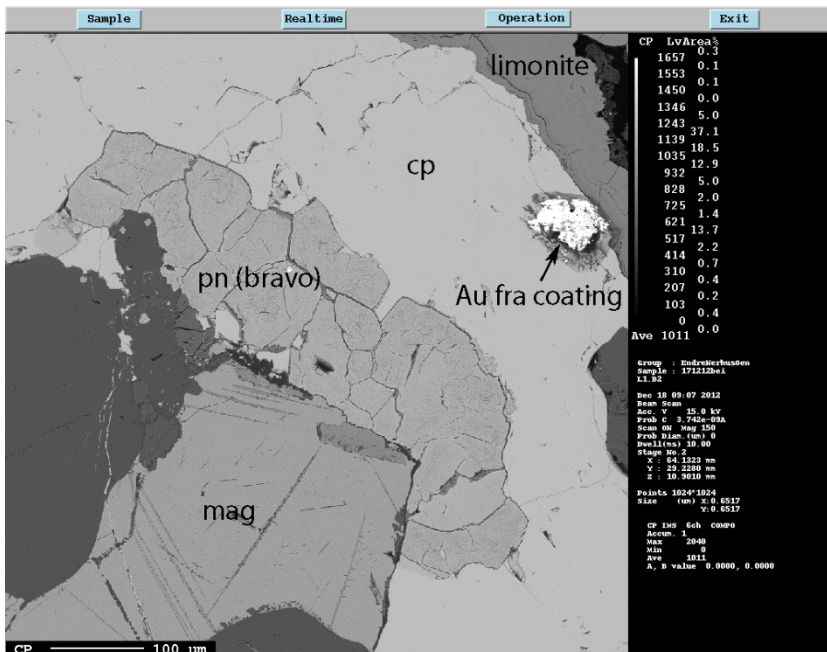
Table 4.13 Pentlandite and bravoitized pentlandite analyses

Pn		S		Fe		Ni	
		wt %	mol %	wt %	mol %	wt %	mol %
CS (2-12243-12558) 7 analyser	Gjennomsnitt	32,30	46,07	33,49	27,42	34,01	26,51
	Minimum	31,77	45,84	31,58	26,17	31,79	24,74
	Maksimum	32,67	46,31	35,43	28,98	35,50	27,99
CS (1-8600-8619) 6 analyser	Gjennomsnitt	33,22	46,63	33,70	27,16	34,17	26,20
	Minimum	32,78	46,23	33,17	26,70	33,15	25,76
	Maksimum	33,66	47,13	34,23	27,45	35,02	26,83
CS (1-11680-11692) 7 analyser	Gjennomsnitt	32,81	46,31	32,50	26,35	35,46	27,34
	Minimum	32,19	45,91	31,56	25,39	32,98	25,97
	Maksimum	33,35	46,73	33,28	27,42	36,42	27,88
LMZ (EØ11013) 3 analyser	Gjennomsnitt	33,00	46,98	34,16	27,92	32,28	25,11
	Minimum	32,89	46,87	33,84	27,73	32,19	25,10
	Maksimum	33,09	47,16	34,46	28,03	32,43	25,11
Totalt 23 analyser	Gjennomsnitt	32,79	46,41	33,33	27,09	34,27	26,50
	Minimum	31,77	45,84	31,56	25,39	31,79	24,74
	Maksimum	33,66	47,16	35,43	28,98	36,42	27,99
Pn (bravo)							
Lokkarfjord (L1) 8 analyser	Gjennomsnitt	39,94	56,51	32,15	26,10	22,48	17,39
	Minimum	38,94	55,27	27,54	22,87	20,05	15,39
	Maksimum	41,60	57,34	34,50	27,79	27,20	21,11
LMZ (EØ11013) 3 analyser	Gjennomsnitt	42,02	57,22	33,45	26,16	22,35	16,63
	Minimum	41,45	56,80	32,07	25,04	21,72	16,26
	Maksimum	42,37	57,62	34,24	26,94	23,33	17,34
Totalt 11 analyser	Gjennomsnitt	40,50	56,70	32,50	26,12	22,44	17,18
	Minimum	38,94	55,27	27,54	22,87	20,05	15,39
	Maksimum	42,37	57,62	34,50	27,79	27,20	21,11



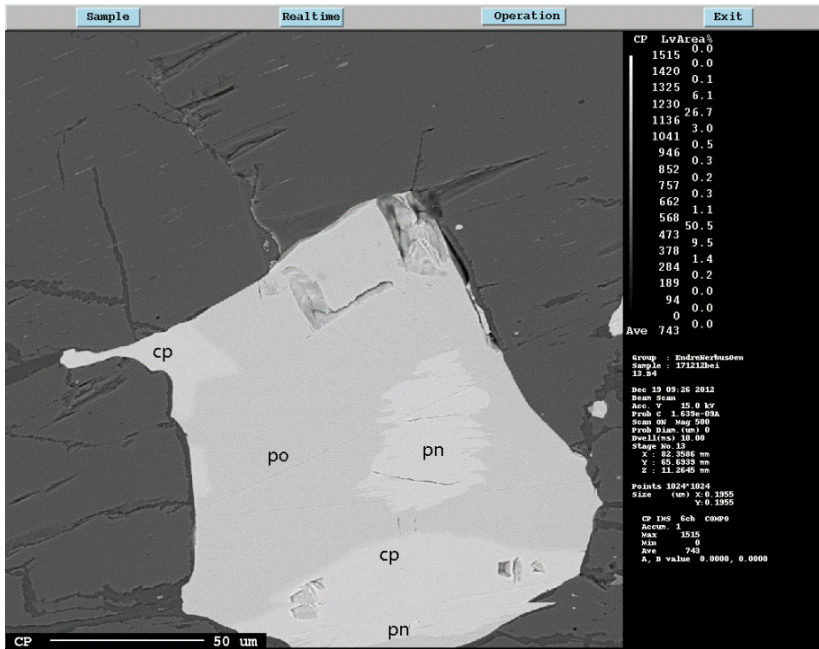
Figur 4.43 Plott i mol% med S, Ni og Fe. 23 analyser av pentlanditt (nederste samling) og 11 analyser av bravoittisert pentlanditt (øverste samling).

Figure 4.43 Plot in mol % with S, Ni and Fe. 23 analyses of pentlandite (lower grouping) and 11 analyses of bravoitized pentlandite (upper grouping).



Figur 4.44. BEI bilde av bravoittisert pentlanditt sammen med chalcopyritt i en hornblendeperidotitt fra Lokkarfjord (L1).

Figure 4.44 BEI picture of bravoitized pentlandite together with chalcopyrite in a hornblende peridotite from Lokkarfjord (L1).



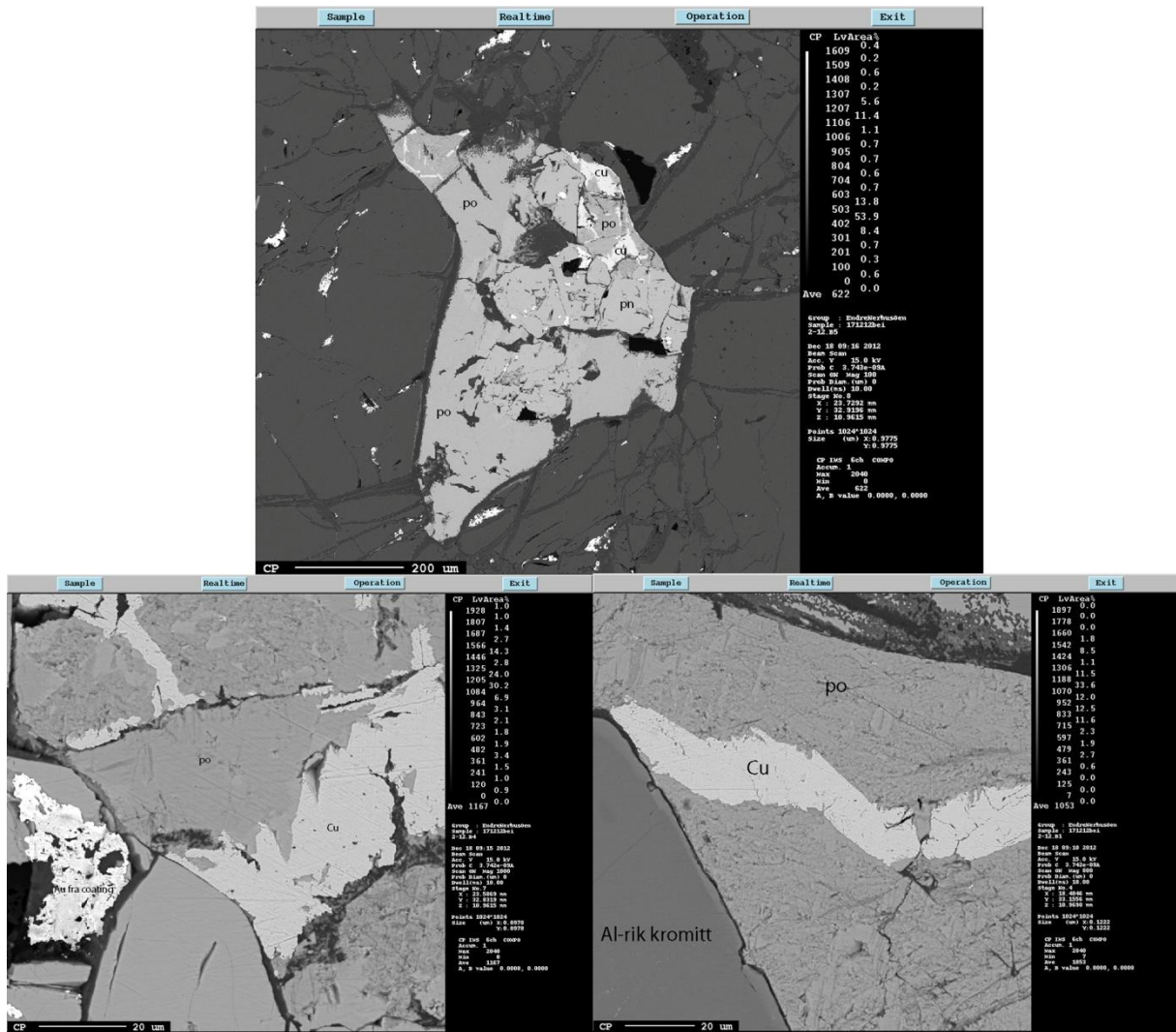
Figur 4.45 BEI bilde av pentlanditt (pn), chalcopyritt (cp) og pyrrhotitt (po) i en plagioklasførende ultramafisk bergart, LMZ (EØ11013). Ingen oppsprekking i pentlanditt kornene.

Figure 4.45 BEI picture of pentlandite (pn), chalcopyrite (cp) and pyrrhotite (po) in a plagioclase-bearing ultramafic rock, LMZ (EØ11013). No cracking in pentlandite.

Gedigent Cu

I kjerne 2, boret i CS, er det funnet gedigent Cu i forbindelse med sulfider, se Figur 4.46. Gedigent Cu opptrer sammen med pyrrhotitt, men fasen som er identifisert som pyrrhotitt består mest sannsynlig av flere faser, noe som er mulig å se på bildet nederst til høyre i Figur 4.46. En analyse viser for eksempel at også cubanitt opptrer sammen med gedigent Cu. I bildet øverst i Figur 4.46, oppe til venstre, er det mulig å se at Cu følger klare linjer. Dette kan vise at Cu opptrer i spesifikke krystallografiske plan i pyrrhotitt og/eller cubanitt.

Kapittel 4: Resultater



Figur 4.46 BEI bilder av gedigent Cu, alle bildene er fra en Lherzolitt (2-12243-12258) fra CS. Øverst: Pyrrhotitt (po), pentlanditt (pn) og gedigent Cu samlet i gruppe, merk at Cu følger visse retninger (oppe til venstre på kornet), 100x forstørrelse.

Figure 4.46 BEI pictures of massive Cu, all pictures from a Lherzolite (2-12243-12258), from CS. Uppermost: Pyrrhotite (po), pentlandite (pn) and massive Cu together in a group, note the directions to the Cu (upper left on the grain).

4.4 Geokjemiske analyser

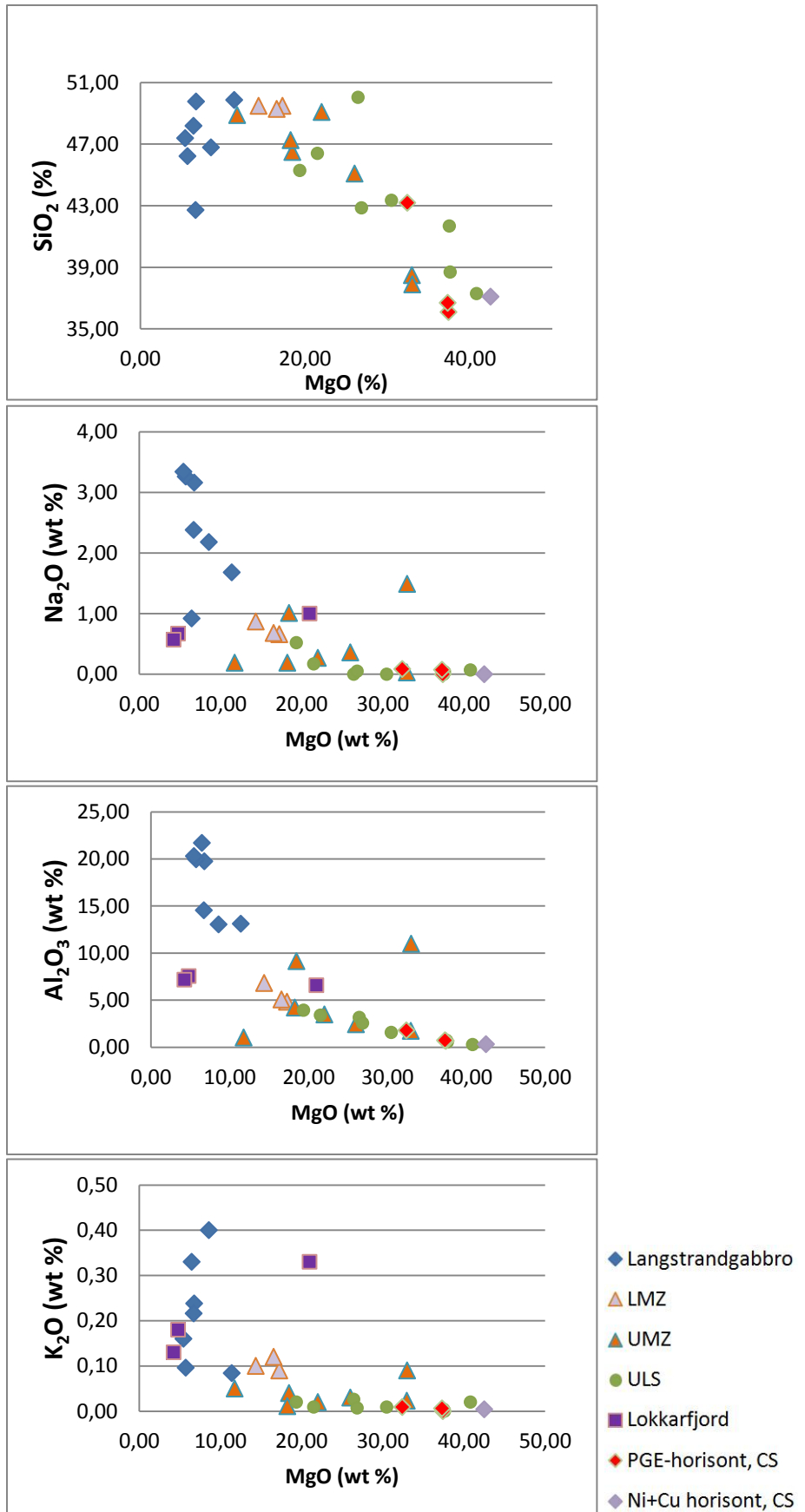
I vedlegg F og G ligger alle geokjemiske data i tabellform. I plottene med geokjemisk data er forekomstene delt opp i åtte, dette på grunn av geografisk plassering, bergart og hvordan de kjemiske dataene plottes. Inndelingen følger nomenklaturen tidligere benyttet, men med små modifikasjoner. Denne inndelingen av sulfidforekomstene er også benyttet videre under diskusjonen i kapittel 5. De åtte definerte sulfidforekomstene er:

- Granatgneisen (definert som sulfidforekomst på grunn av svovelisotop analysene)
- Langstrandgabbroen
- Lower Marginal Zone (LMZ)
- Upper Marginal Zone (UMZ), som også inkluderer NEMZ (overlappende plotting)
- Upper Layered Series (ULS)
- Ni+Cu-horisonten (Iljina, 2013)
- PGE-horisonten (Iljina, 2013)
- Lokkarfjord

4.4.1 Hovedelement

De geokjemiske analysene er for hovedelementene presentert i Figur 4.47 og Figur 4.48, for å vise kjemisk variasjon mellom forekomstene. Hovedelementene, som oksider, er alle plottet mot MgO. Data for granatgneisen er ikke med i hovedelementplottene, på grunn av at den skiller seg markant ut fra de andre bergartene.

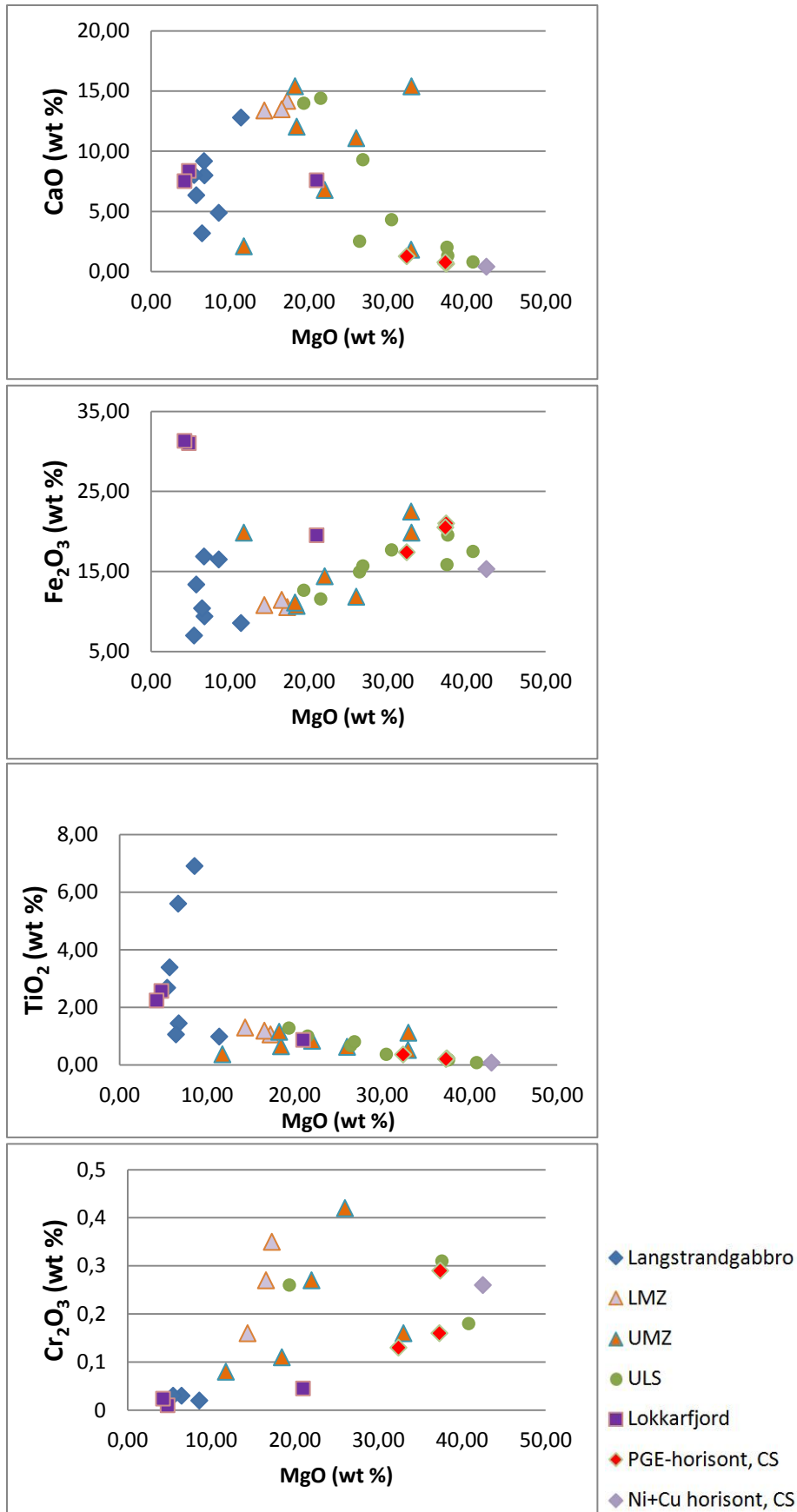
Kapittel 4: Resultater



Figur 4.47 Plott av hovedelementer som oksider (SiO₂, Na₂O, Al₂O₃, K₂O) mot MgO.

Figure 4.47 Plot of major elements as oxides (SiO₂, Na₂O, Al₂O₃, K₂O) against MgO.

Kapittel 4: Resultater



Figur 4.48 Plott av hovedelementer som oksider (CaO, Fe₂O₃, TiO₂ og Cr₂O₃) mot MgO.

Figure 4.48 Plot of major elements as oxides (CaO, Fe₂O₃, TiO₂ and Cr₂O₃) against MgO.

Kapittel 4: Resultater

MgO: MgO varierer fra ca. 5 - 42 wt %. Langstrandgabbroen viser de laveste MgO-verdiene, mens prøvene fra CS viser de høyeste. UMZ og ULS viser stor variasjon i MgO-verdier, og LMZ viser de laveste MgO-verdiene i RUK. Innholdet av MgO har en stor sammenheng med innholdet av Fe-Mg silikater som olivin, og alle hovedelementene er videre plottet mot MgO.

SiO₂: SiO₂ varierer fra ca. 36 - 50 wt %, hvor prøvene fra CS viser de laveste verdiene. Det er en negativ korrelasjon med MgO, og prøvene fra Langstrandgabbroen og de marginale sonene, spesielt LMZ viser de høyeste SiO₂-verdiene. Innenfor ULS og UMZ er det stor variasjon i innhold av SiO₂.

Na₂O: Alkalimetallet Na₂O varierer fra ca. 0 - 3 wt % og har en svak korrelasjon med MgO. Langstrandgabbroen har stor variasjon i innhold av Na₂O, mens ULS og CS viser lave verdier som går mot 0 ved økende MgO. De marginale sonene har også stor variasjon i Na₂O innholdet.

K₂O: Alkalimetallet K₂O varierer fra ca. 0 - 0,4 wt %, og har en svak negativ korrelasjon med MgO. Langstrandgabbroen har stor variasjon i innhold av K₂O, mens ULS og CS viser lave verdier som går mot 0 ved økende MgO. De marginale sonene har også stor variasjon i K₂O-innholdet.

Al₂O₃: Al₂O₃ varierer fra ca. 0 - 22 wt %, med en negativ korrelasjon med MgO. Langstrandgabbroen viser de høyeste verdiene av Al₂O₃, og innholdet henger sammen med økende innhold av plagioklas, noe prøvene fra de marginale sonene også viser.

CaO: CaO varierer fra ca. 0 - 16 wt %, med en negativ korrelasjon med MgO, om kun prøvene fra RUK legges til grunn. De marginale sonene har de høyeste verdiene av CaO, mens CS og ULS har de laveste.

Fe₂O₃: Fe₂O₃ varierer fra 7 - 31 wt %, med en positiv korrelasjon med MgO om prøvene fra RUK legges til grunn. Prøvene fra Lokkarfjord skiller seg markant ut, med verdier opptil 10 wt % høyere enn høyeste verdi fra RUK.

TiO₂: TiO₂ varierer fra ca. 0 - 7 wt %, med en negativ korrelasjon med MgO. Langstrandgabbroen viser den største variasjonen fra ca. 1 - 7 wt %. CS og ULS viser de laveste verdiene av TiO₂, hvor de marginale sonene viser verdier opp mot Langstrandgabbroen. Innholdet av TiO₂ henger sammen med innholdet av ilmenitt.

Cr_2O_3 : Cr_2O_3 varierer fra ca. 0 - 0,4 wt %, og viser ingen klar korrelasjon med MgO. Prøvene fra Lokkarfjord og Langstrandgabbroen viser de klart laveste verdiene, hvor alle prøver har innhold av $\text{Cr}_2\text{O}_3 < 0,05$ wt %.

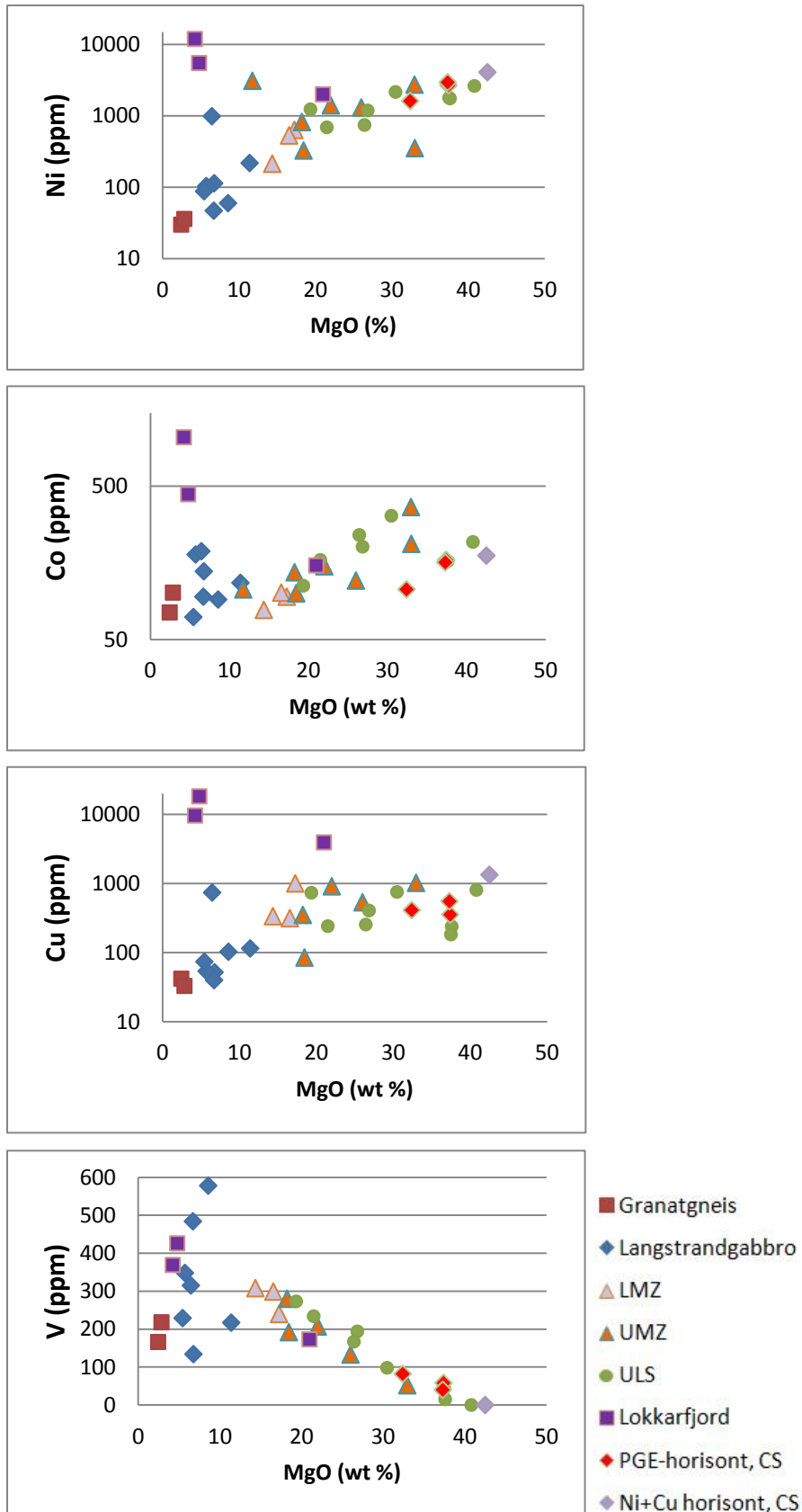
4.4.2 Sporelement

I Figur 4.49 er sporelementer plottet mot MgO. Ni, Cu og Co viser en positiv korrelasjon med MgO, men negativ korrelasjon for V.

Øverst i Figur 4.50 er MgO plottet mot S, hvor de mest svovelrike prøvene har et relativt lavt innhold av MgO. Prøvene som er rikest på svovel er Lokkarfjordprøvene (opptil 12 wt % S), som skiller seg ut i forhold til prøvene fra Reinfjord, som alle inneholder betydelig mindre S. De mest svovelrike prøvene i Reinfjord er fra Langstrandgabbroen (ca. 5 wt % S) og UMZ (ca. 1,2 wt % S). De tre nederste plottene i Figur 4.50, viser S mot henholdsvis Ni, Cu og Co. Alle viser en positiv korrelasjon, men fortsatt skiller Lokkarfjordprøvene seg markant ut med de høyeste verdiene.

Det er benyttet logaritmisk y-akse (og x-akse) for flere av sporelementplottene. Dette er på grunn av stor variasjon i innholdet av sporelementer mellom de forskjellige sulfidforekomstene.

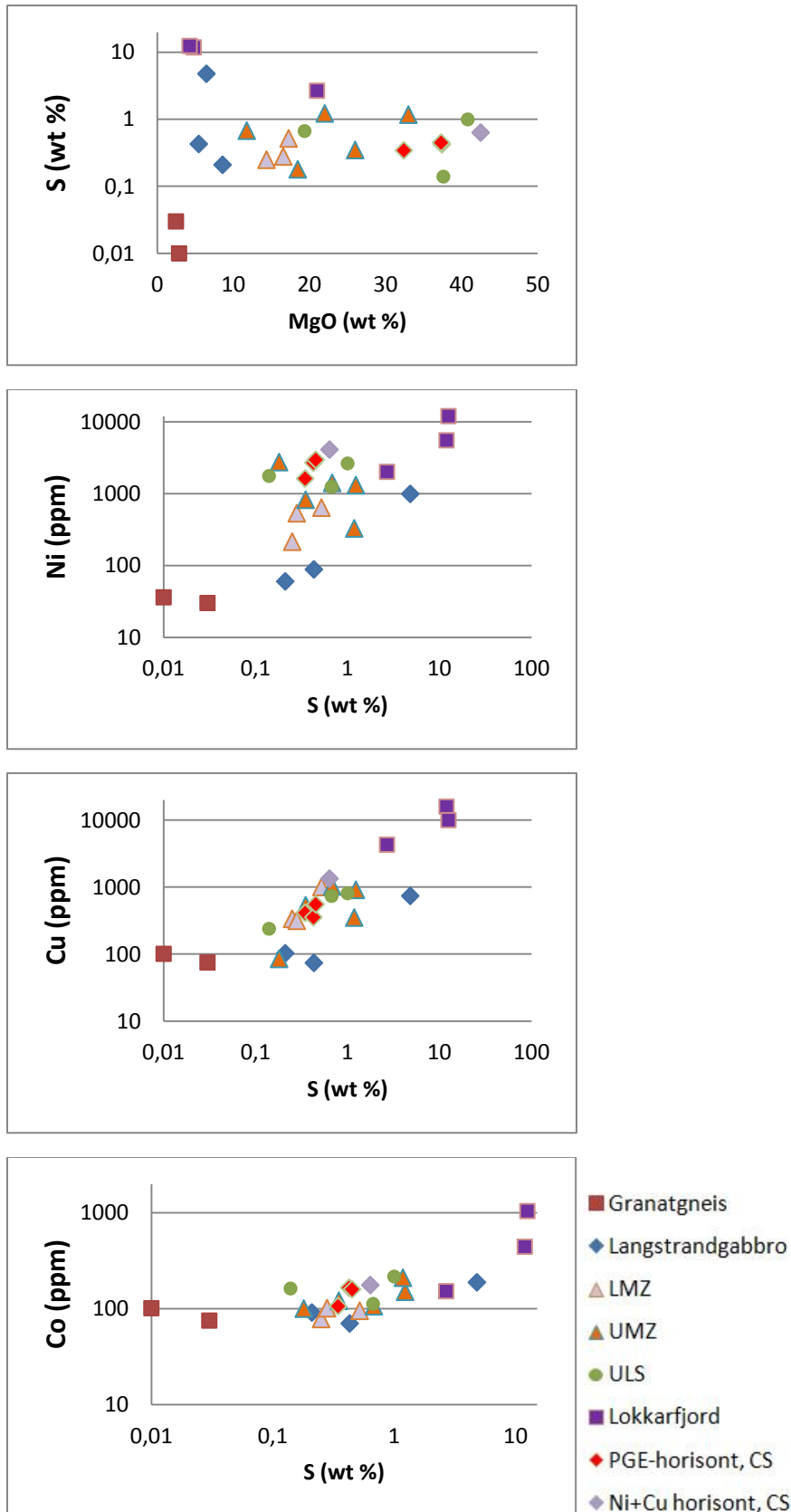
Kapittel 4: Resultater



Figur 4.49 Plott av sporelementer (ppm) mot MgO (wt %). Y-aksen for Ni, Cu og Co er logaritmisk.

Figure 4.49 Plot of trace elements (ppm) against MgO (wt %). Y-axis for Ni, Cu and Co is logarithmic.

Kapittel 4: Resultater



Figur 4.50 Øverste plott: S mot MgO. De tre nederste: Sporelementer (ppm) mot S (wt %). Alle y-akser (og x-akser for S-plottene) er logaritmisk.

Figure 4.50 Uppermost diagram: S against MgO. Three lowermost: Trace elements (ppm) against S (wt %). All y-axis (and x-axis for S-plots) is logarithmic.

Kapittel 4: Resultater

Ni (MgO-plott): Ni varierer fra ca. 30 - 12 000 ppm og viser en positiv korrelasjon med MgO når prøvene fra RUK legges til grunn. Granatgneisen viser de laveste verdiene, deretter fulgt av Langstrandgabbroen. Det at høyt innhold av MgO gir høyt innhold av Ni, tyder på at noen Ni kan ha substituert for Mg. Ni kan substituere for Mg, og som betyr at en del Ni kan sitte bundet i krystallgitteret til MgO-rike mineraler som olivin. For Lokkarfjord, som viser det høyeste innholdet av Ni, men lave MgO-verdier, tyder dette på at Ni sitter bundet i andre mineraler.

Cu (MgO-plott): Cu varierer fra ca. 30 til 18 000 ppm og viser en positiv korrelasjon med MgO når prøvene fra RUK legges til grunn. Granatgneisen viser de laveste verdiene, deretter fulgt av Langstrandgabbroen. Lokkarfjord skiller seg klart ut, med det høyeste innholdet av Cu. Sett bort fra Lokkarfjord er det prøven fra Ni+Cu-horisonten i CS, som viser høyeste Cu-innhold.

Co (MgO-plott): Co varierer fra ca. 70 - 1000 ppm og viser en positiv korrelasjon med MgO, når prøvene fra RUK legges til grunn. Granatgneisen og Langstrandgabbroen viser de laveste verdiene, og Lokkarfjord de høyeste.

V (MgO-plott): V varierer fra ca. 0 - 580 ppm og viser en negativ korrelasjon med MgO. Innholdet av V henger sammen med innholdet av magnetitt, da V blir anriket når magnetitt krystalliserer. Magnetitt er et mineral som krystalliserer sent ut fra et ultramafisk magma. Siden Mg krystalliserer først, gir høyt innhold av Mg derfor lavt innhold av V.

Cr (MgO-plott): Cr varierer fra ca. 0 - 3500 ppm og viser ingen korrelasjon med MgO. Granatgneisen, Langstrandgabbroen og Lokkarfjord viser de laveste verdiene (< 500 ppm), sammen med Ni+Cu-horisonten og PGE-horisonten.

S (MgO-plott): S varierer fra ca. 0,01 - 12,5 wt % og viser ingen korrelasjon mot MgO. S er kun assosiert med sulfider. Granatgneisen skiller seg ut med lavest innhold av S, mens Lokkarfjord viser høyest. S-innholdet for RUK varierer fra ca. 0,1 - 1,2 wt %, mens Langstrandgabbroen viser variasjoner fra 0,2 - 4,8 wt % S.

Ni (S-plott): Ni varierer fra ca. 30 - 12 000 ppm og viser en positiv korrelasjon med S. Prøvene fra Lokkarfjord viser verdier med høyest Ni og S, og en kan anta at mye Ni sitter bundet i sulfider. For RUK viser LMZ og UMZ lavest innhold av Ni, men med samme variasjon som CS og ULS for S. Høyere innhold av Ni i CS og ULS kan delvis henge sammen med at en del av Ni er bundet i olivin, men også at sulfidene inneholder en del Ni.

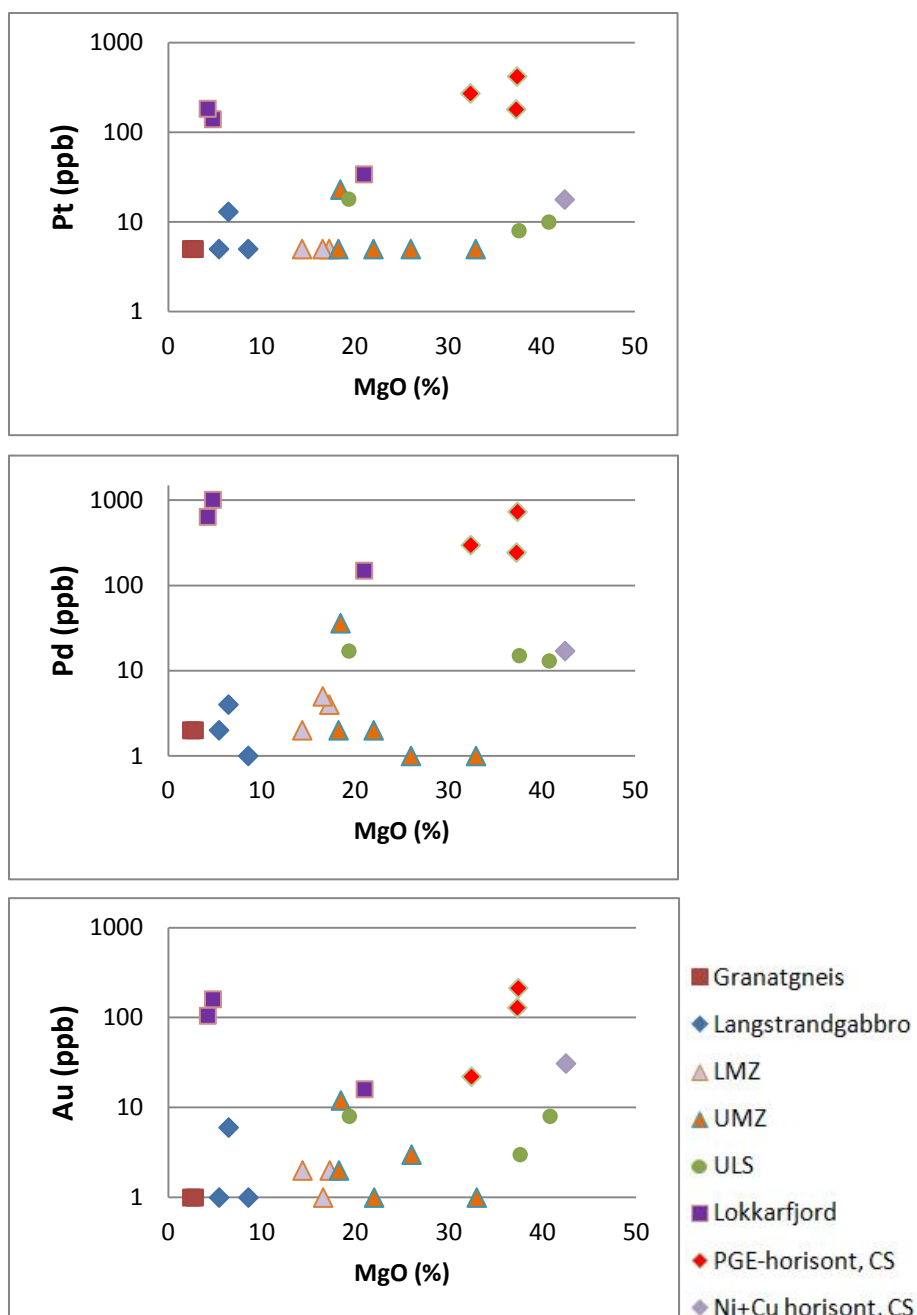
Kapittel 4: Resultater

Cu (S-plott): Cu varierer fra ca. 30 til 18 000 ppm, og viser en positiv korrelasjon med S. Prøvene fra Lokkarfjord viser høyest innhold av Cu og S, og en kan anta at mesteparten av Cu sitter bundet i sulfider. Det er ingen signifikante forskjeller for LMZ og UMZ sammenlignet med CS og ULS, bortsett fra at Ni+Cu-horisonten viser høyest Cu-innhold av prøvene fra RUK.

Co (S-plott): Co varierer fra ca. 70 - 1000 ppm og viser en positiv korrelasjon med S. Prøvene fra Lokkarfjord viser de høyeste verdiene, mens prøvene fra Langstrandgabbroen (stor variasjon), granatgneisen og LMZ viser de laveste. Det er ingen signifikant forskjell mellom prøvene fra CS, ULS og UMZ.

PGE-plott: PGE-plottene, Figur 4.51, viser ingen korrelasjon med MgO, men viser at granatgneisen, Langstrandgabbroen, LMZ og UMZ stort sett har verdier som ligger på deteksjonsgrensen, de inneholder altså ikke PGE + Au. ULS, CS og Lokkarfjord viser et signifikant innhold av PGE. PGE-horisonten og Lokkarfjord viser imidlertid det høyeste innholdet av PGE + Au.

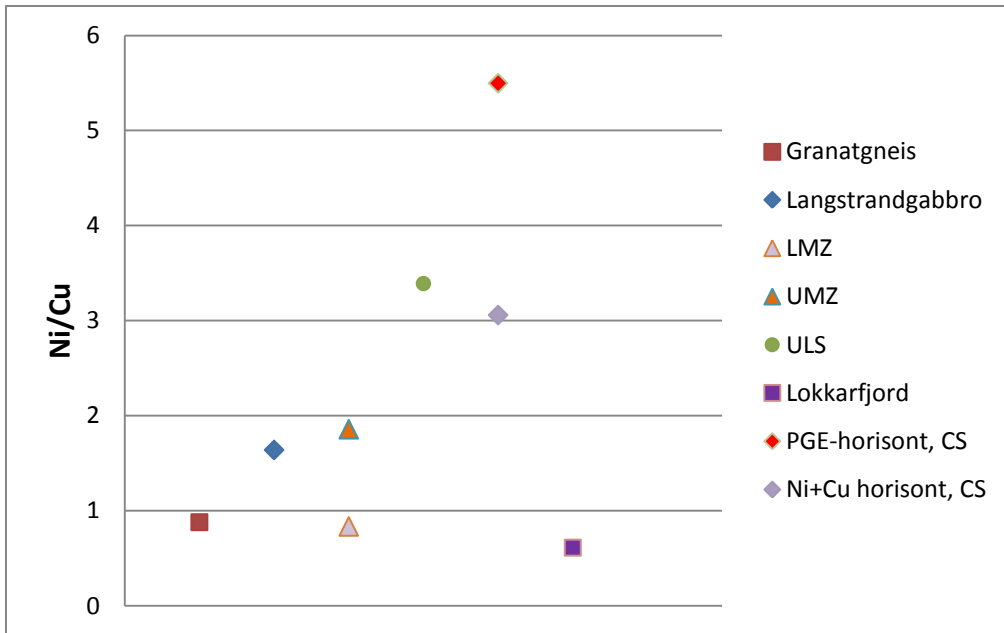
Kapittel 4: Resultater



Figur 4.51 Pt, Pd og Au (ppb) plott mot MgO (wt %). Granatgneisen, Langstrandgabbro, LMZ og UMZ har stort sett verdier som ligger på deteksjonsgrensen. PGE-horisonten og Lokkarfjord skiller seg ut med høyest innhold av PGE + Au.

Figure 4.51 Plot with Pt, Pd and Au (ppb) against MgO (wt %). Garnet gneiss, Langstrandgabbro, LMZ and UMZ have value at the detection limit. PGE-horizon and Lokkarfjord stand out with highest value of PGE + Au.

Ni/Cu: Et gjennomsnittlig Ni/Cu-forhold for sulfidforekomstene er vist i Figur 4.52. Granatgneisen, LMZ og Lokkarfjord viser et forhold < 1 . De høyeste forholdstallene viser PGE-horisonten, ULS og Ni+Cu-horisonten. Analysene her er utført på bulkprøver. PGE-horisonten, ULS og Ni+Cu-horisonten inneholder alle mye olivin, hvor en del Ni kan sitte, og dermed forårsake et høyt forholdstall.



Figur 4.52 Gjennomsnittelig Ni/Cu-forhold for sulfidforekomstene.

Figure 4.52 Average Ni/Cu ratio for the sulphides mineralization's.

Forholdet $Se/S \cdot 10^6$ kan benyttes som en indikator for opphavet til svovel, og Tabell 4.14 viser $Se/S \cdot 10^6$ forholdet for de sulfidforekomstene hvor slik data finnes.

Tabell 4.14 Gjennomsnittelige $Se/S \cdot 10^6$ -verdier for noen av sulfidforekomstene. Sulfidforekomster, som ikke er med i tabellen, er utelatt på grunn av data utenfor deteksjonsgrense, eller ingen data.

Table 4.14 Average $Se/S \cdot 10^6$ value for some sulphides mineralizations. Some sulphides mineralizations are not in the table because they are below the limit of detection.

Enhet	S (wt %)	Se (ppm)	$Se/S \cdot 10^6$
UMZ	0,59	1,23	210,23
LMZ	0,35	1,57	447,62
ULS	0,60	1,40	232,04
Langstrandgabbro	1,81	0,60	33,09

4.5 Svovelisotopanalyse

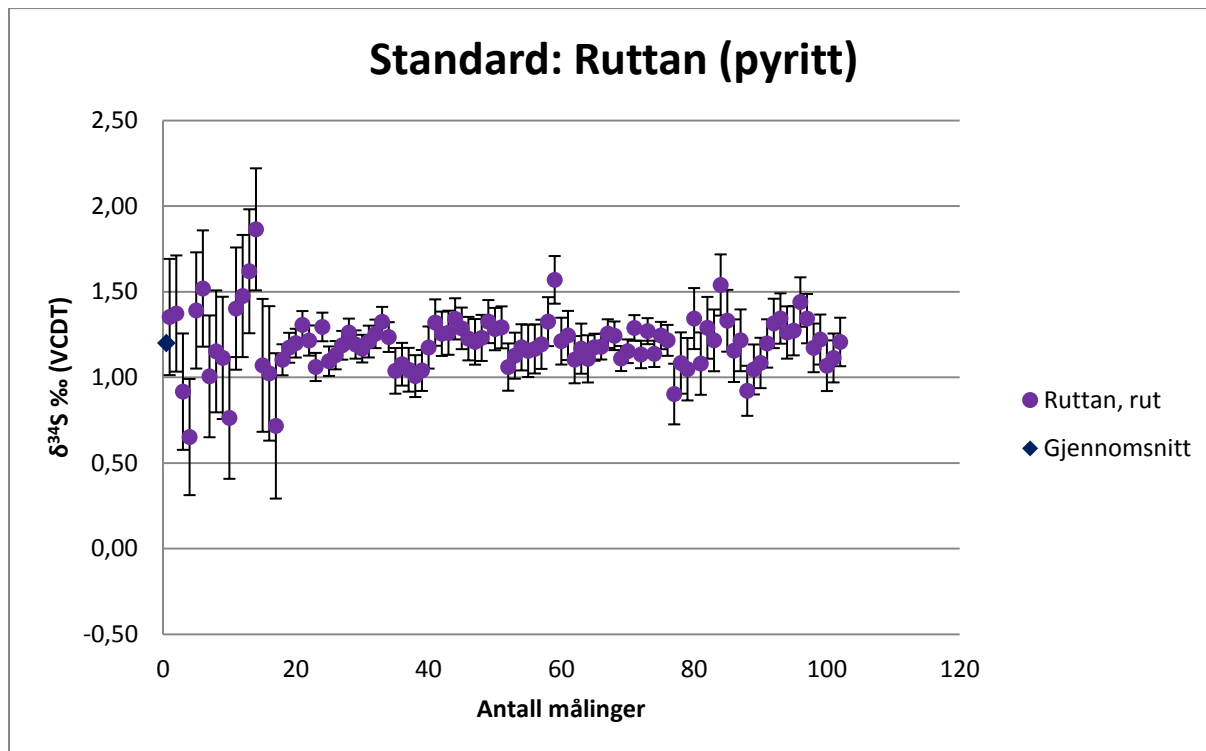
Alle rådata fra svovelisotopanalysen ligger vedlagt i vedlegg H.

4.5.1 Standardene

Det ble analysert fire standarder under analysen, hvor Ruttan (pyritt) Figur 4.53, ble benyttet som standard under hele analysen. Norilsk (pentlanditt) Figur 4.54, Morro Valho (pyrrhotitt) Figur 4.55, og Trout Lake (chalcopyritt) Figur 4.56 ble brukt som standarder for å korrigere de respektive mineralene. Et gjennomsnitt av resultatene fra analysering av standardene ble beregnet, for deretter å bli sammenlignet med litteraturverdien. Ut fra differansen mellom

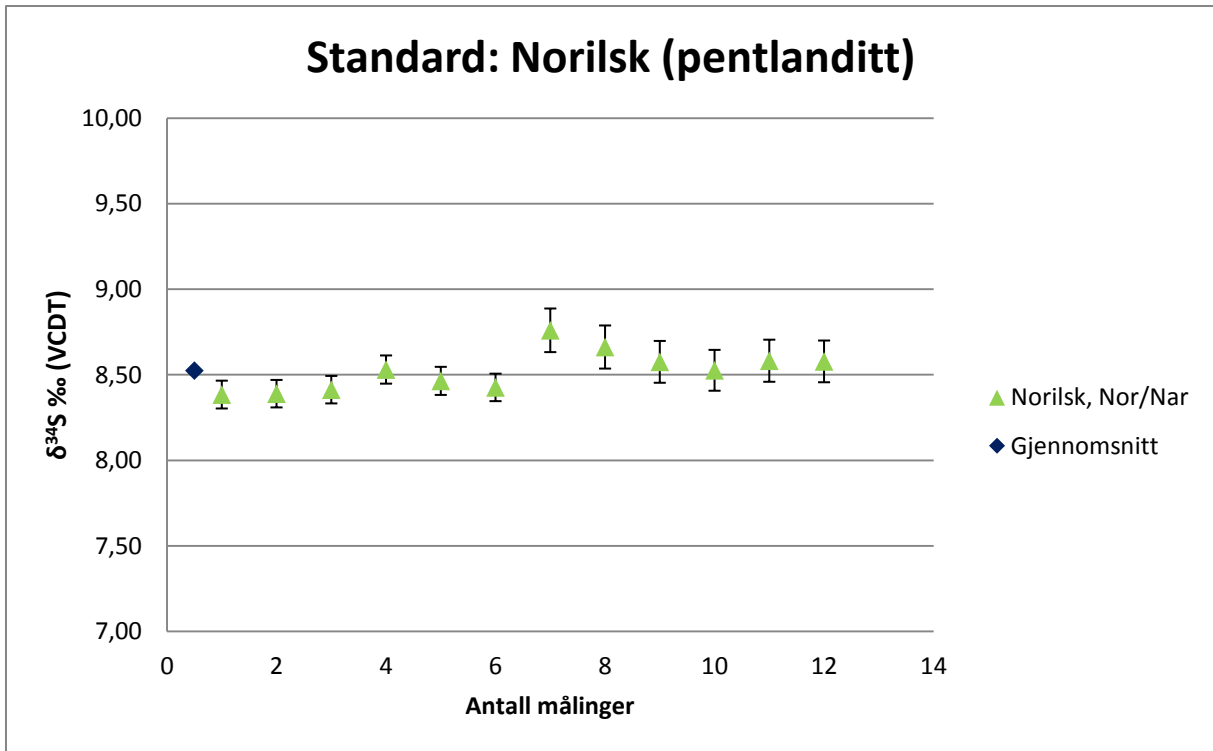
Kapittel 4: Resultater

beregnet gjennomsnitt og litteraturverdien, ble en korreksjonsverdi funnet, se Tabell 4.15. Denne verdien ble benyttet for korrigering av resultatene fra de ukjente prøvene.



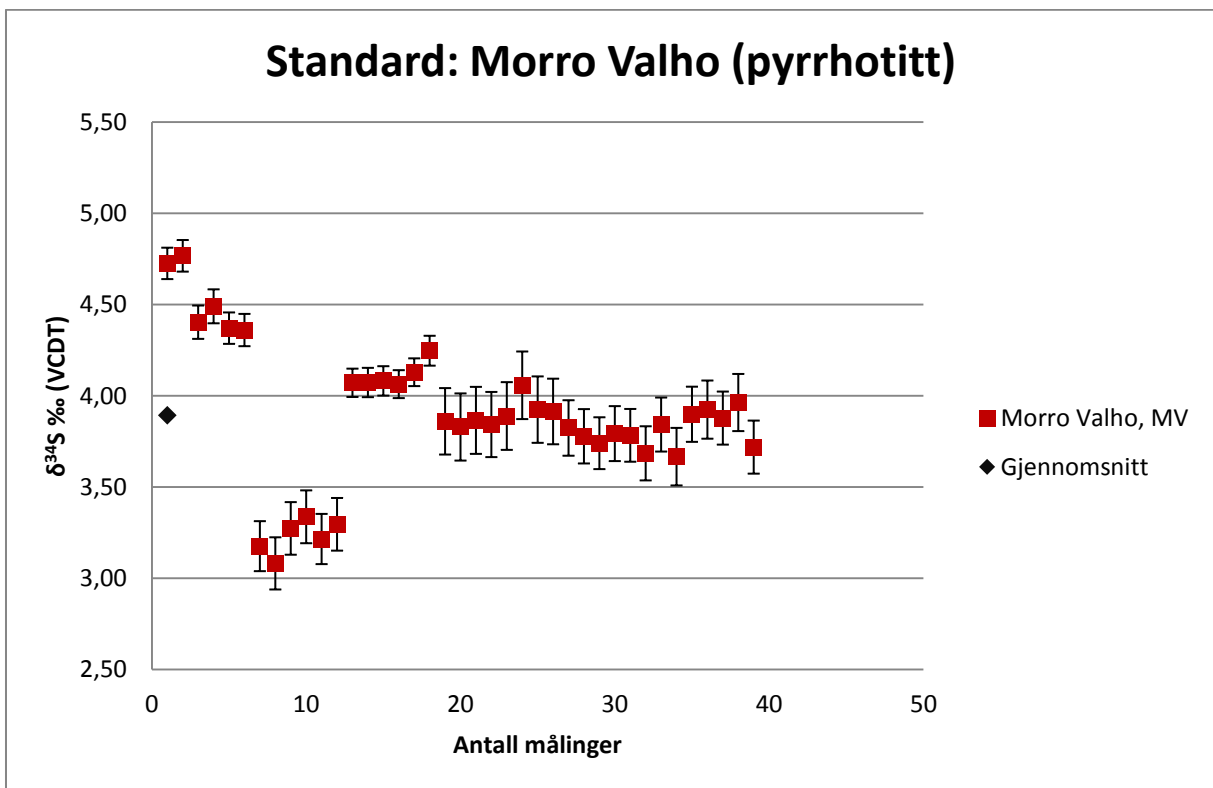
Figur 4.53 Resultatene fra analysene av Ruttan (pyritt)-standarden, som ble benyttet som standard gjennom hele analysen.

Figure 4.53 Results from analysis of Ruttan (pyrite) standard, which was used as a standard through all the sulfur isotope analysis.



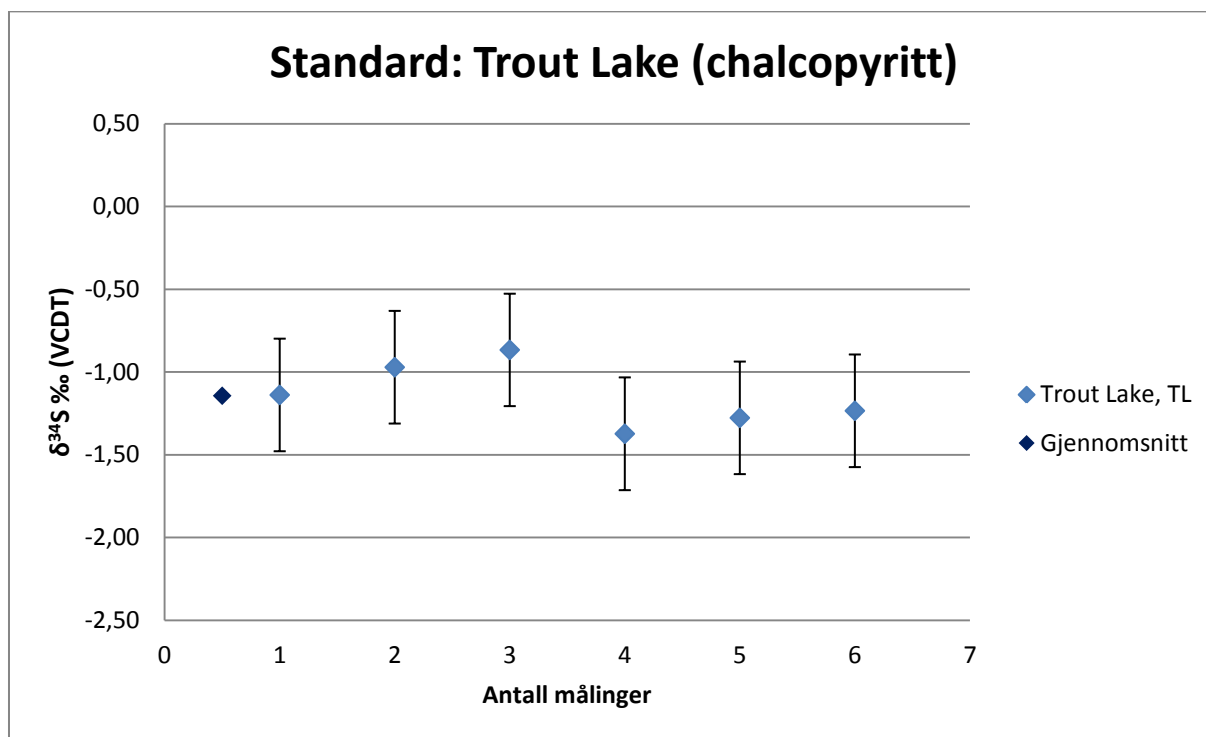
Figur 4.54 Resultatene fra analysene av Norilsk (pentlanditt)-standarden.

Figure 4.54 Results from the analysis of Norilsk (pentlandite) standard.



Figur 4.55 Resultatene fra analysene av Morro Valho (pyrrhotitt)-standarden.

Figure 4.55 Results from the analysis of Morro Valho (pyrrhotite) standard.



Figur 4.56 Resultatene fra analysene av Trout Lake (chalcopyritt)-standarden.

Figure 4.56 Results from the analysis of Trout Lake (chalcopyrite) standard.

Tabell 4.15 Tabell som viser beregning av korreksjonsverdi for respektive mineraler. Korreksjonsverdiene er benyttet ved korrigerings av resultatene fra de ukjente prøvene.

Table 4.15 Table with correction values for respective minerals. The corrections values are used for correcting the results from the unknown samples.

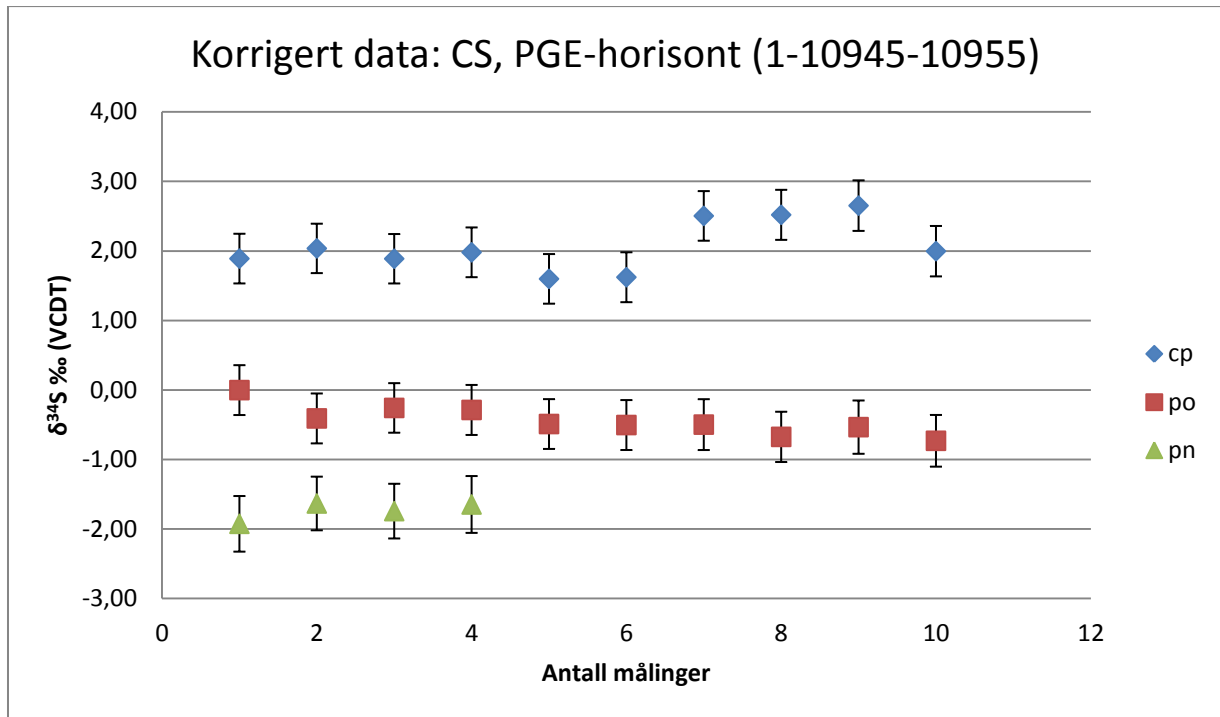
Mineral	Navn	Kommentar	$\delta^{34}\text{S}$ (lit.verdi)	$\pm 1\sigma$	$\delta^{34}\text{S}$ (gjennomsnitt)	Korreksjons verdi
Pentlanditt	Norilsk, Nor/Nar	Litteratur verdi fra: (Crowe and Vaughan, 1996)	7,9	0,2	8,53	-0,63
Pyritt	Ruttan, rut	Litteratur verdi fra: (Crowe and Vaughan, 1996)	1,2	0,1	1,20	0,00
Chalcopyritt	Trout Lake, TL	Litteratur verdi fra: (Crowe and Vaughan, 1996)	0,3	0,2	-1,14	1,44
Pyrrhotitt	Morro Valho, MV	Litteratur verdi fra: (Whithouse, 2012)	6,15	0,36	3,89	2,26

4.5.2 Ukjente prøver

Kun korrigerede resultater fra analysene av de ukjente prøvene vil bli presentert. Figur 4.57 til Figur 4.63 viser diagrammer med resultatene fra analysene av de ukjente prøvene. Bravoittisert pentlanditt og markasitt er ikke lagt til grunn for Tabell 4.16 og Figur 4.64, da

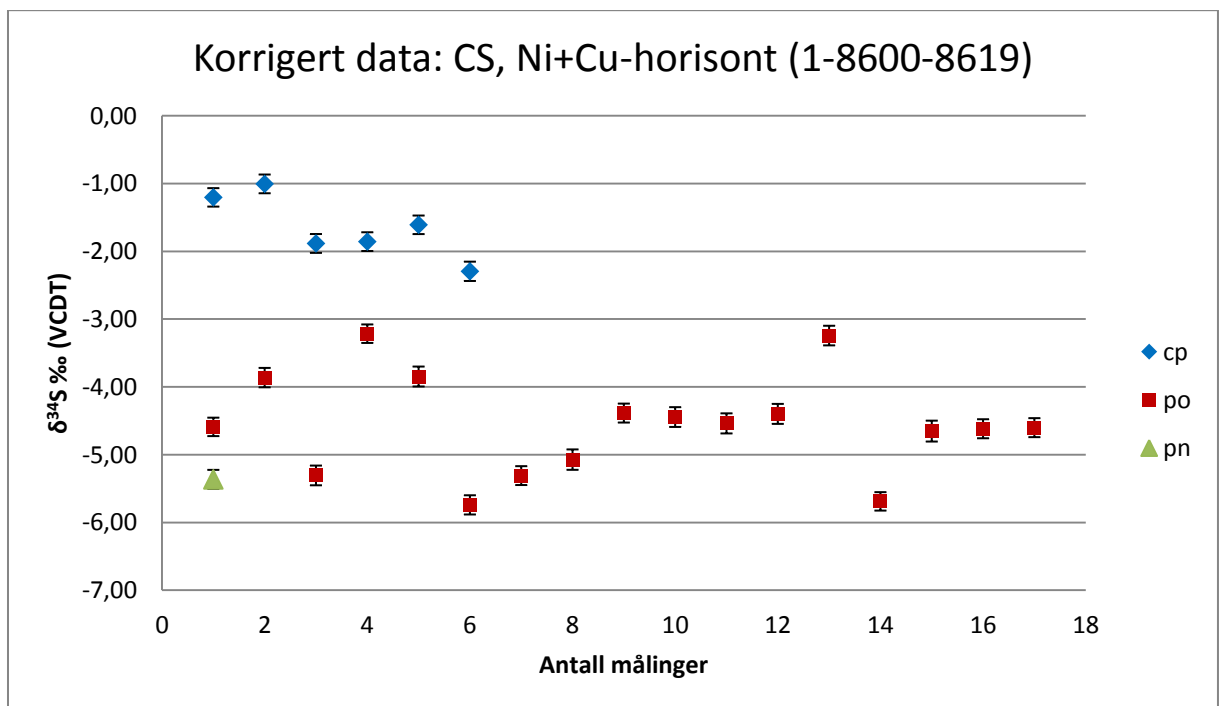
Kapittel 4: Resultater

det er antatt av begge disse mineralene er et forvittringsfenomen og dermed ikke nødvendigvis har korrekt svovelisotopverdi.



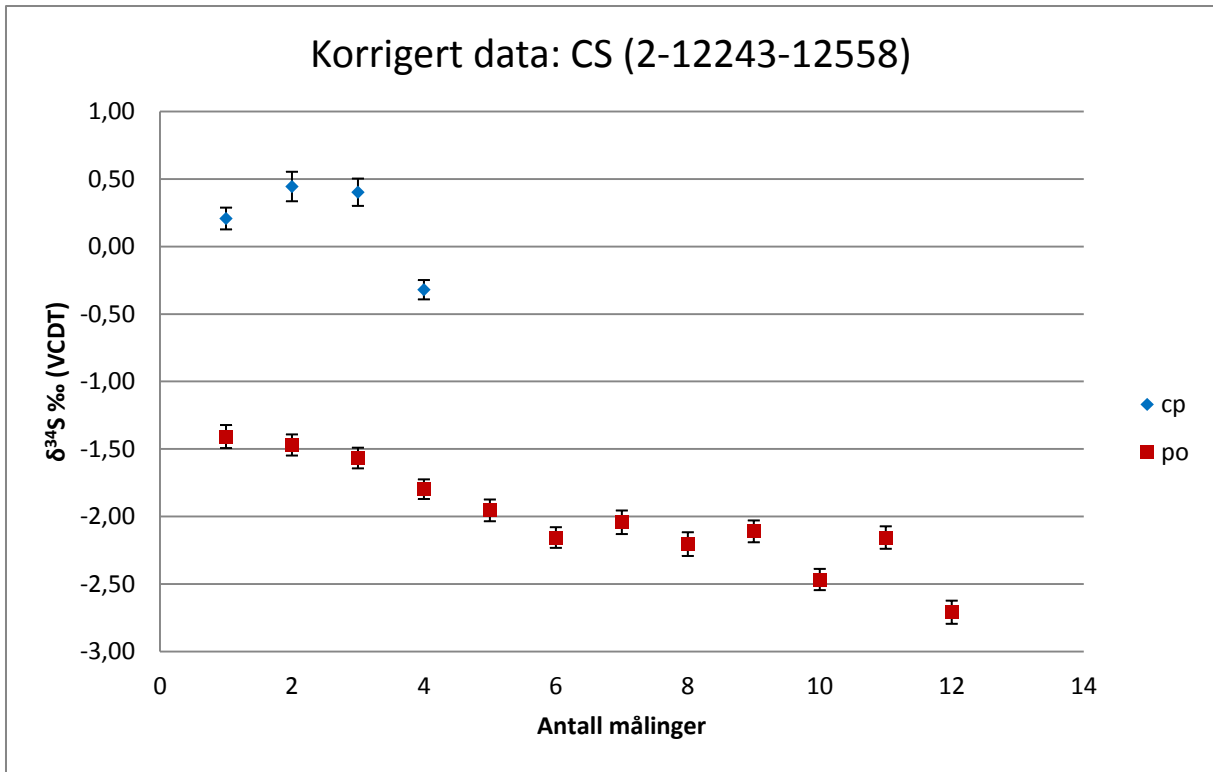
Figur 4.57 Korrigert data: CS, PGE-horisont (1-10945-10955).

Figure 4.57 Corrected data: CS, PGE-horizon (1-10945-10955).



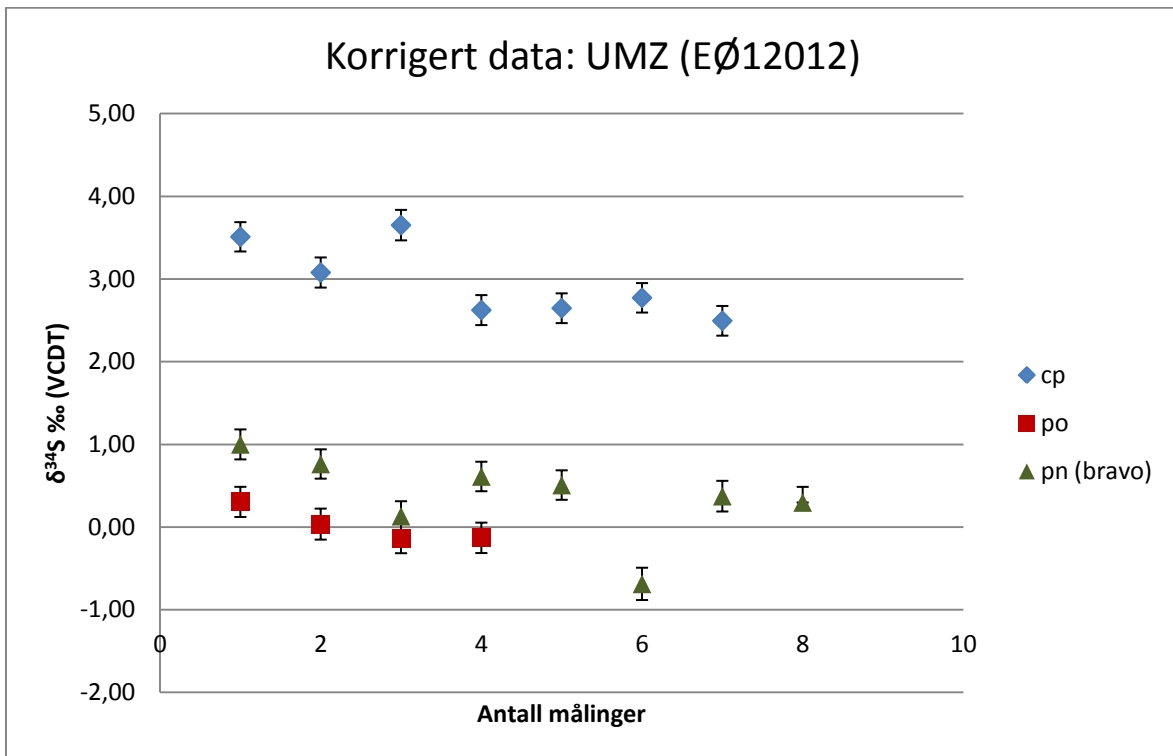
Figur 4.58 Korrigert data: CS, omtrent Ni+Cu-horisont (1-8600-8619).

Figure 4.58 Corrected data: CS, approximately Ni+Cu-horizon (1-8600-8619).



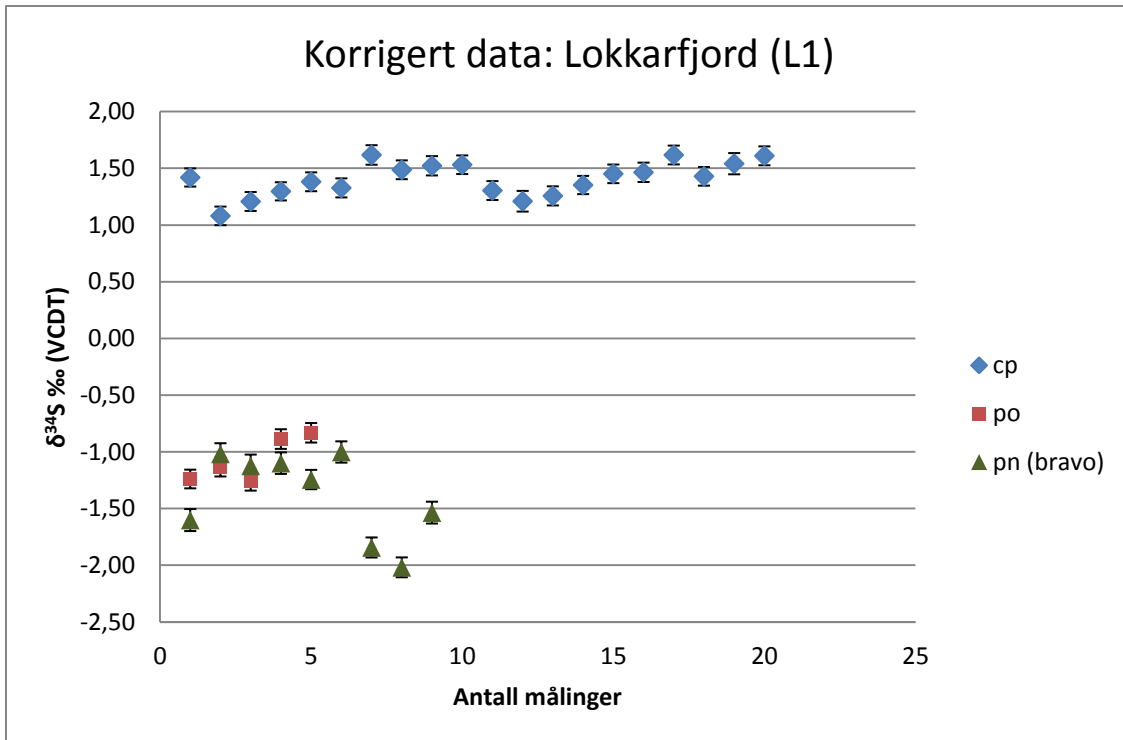
Figur 4.59 Korrigert data: CS (2-12243-12558).

Figure 4.59 Corrected data: CS (2-12243-12558).



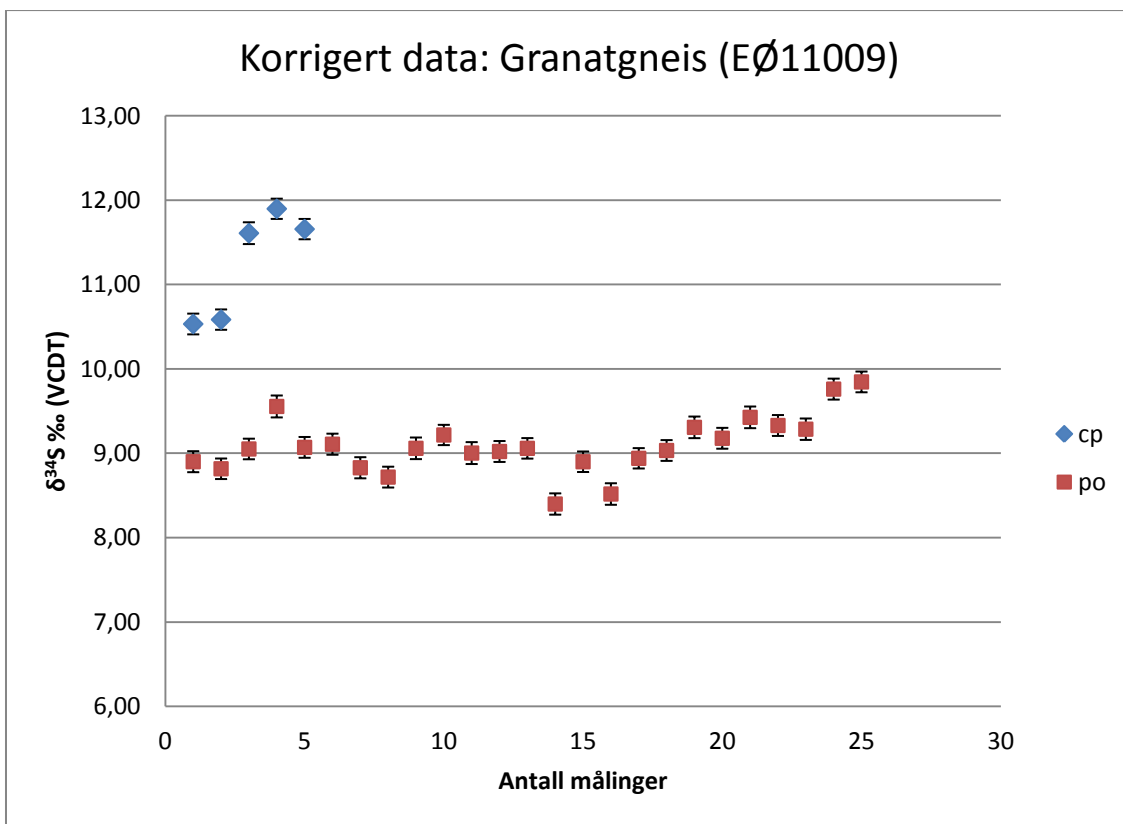
Figur 4.60 Korrigert data: UMZ (EØ12012).

Figure 4.60 Corrected data: UMZ (EØ12012).



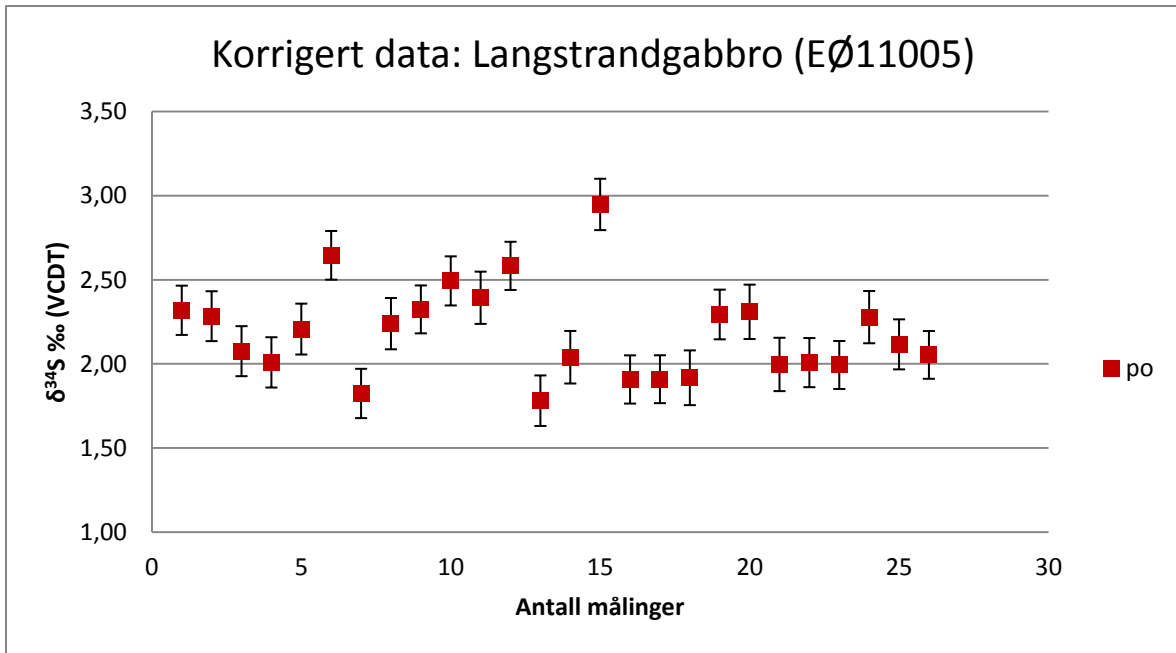
Figur 4.61 Korrigert data: Lokkarfjord (L1).

Figure 4.61 Corrected data: Lokkarfjord (L1).



Figur 4.62 Korrigert data: Granatgneis (EØ11009).

Figure 4.62 Corrected data: Garnet gneiss (EØ11009).



Figur 4.63 Korrigert data: Langstrandgabbro (EØ11005).

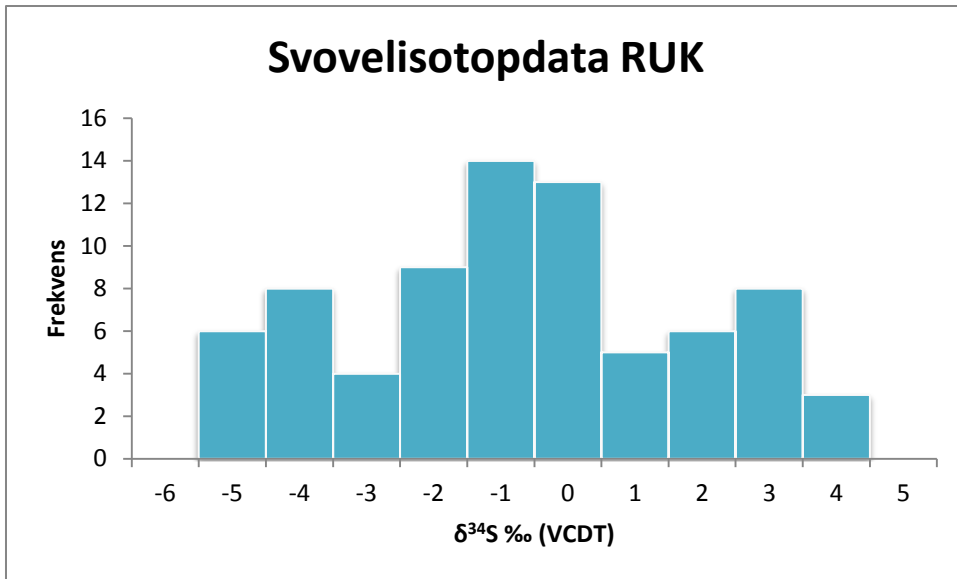
Figure 4.63 Corrected data: Langstrandgabbro (EØ11005).

Tabell 4.16 Gjennomsnittsverdier av $\delta^{34}\text{S}$ for pyrrhotitt og chalcopyritt (samt pentlanditt) i de respektive prøvene. Alle tall er oppgitt i $\delta^{34}\text{S}$ ‰ (VCDT).

Table 4.16 Average values of $\delta^{34}\text{S}$ for pyrrhotite and chalcopyrite (together with pentlandite) for the different sample types and localities. All values given in $\delta^{34}\text{S}$ ‰ (VCDT).

	Pyrrhotitt, gjennomsnitt	Chalcopyritt, gjennomsnitt	Pyrrhotitt, chalcopyritt (og pentlanditt), gjennomsnitt	Variasjon (min.-verdi til maks-verdi)
Granatgneis (EØ11009)	9,09	11,26	9,45	8,40 til 11,90
Langstrandgabbro (EØ11005)	2,19		2,19	1,78 til 2,95
UMZ (EØ12012)	0,02	2,97	1,89	-0,13 til 3,65
CS (2-12243-12558)	-2,00	0,18	-1,46	-2,71 til 0,45
CS (Ni+Cu-horisont) (1-8600-8619)	-4,56	-1,79	-3,82	-5,74 til -1,00
CS (PGE-horisont) (1-10945-10955)	-0,44	2,07	0,39	-1,93 til 2,65
Lokkarfjord, L1	-1,07	1,41	0,63	-1,26 til 1,62
Gjennomsnitt RUK (UMZ + CS)	-1,75	0,85	-1,16	-5,74 til 3,65

Frekvensdiagram med oversikt over $\delta^{34}\text{S}$ -verdiene for RUK er vist i Figur 4.64. Pyrrhotitt, chalcopyritt og pentlanditt ligger til grunn for frekvensdiagrammet.



Figur 4.64 Frekvensdiagram med $\delta^{34}\text{S}$ -verdier for pyrrhotitt, chalcopyritt og pentlanditt i RUK.

Figure 4.64 Frequency diagram with $\delta^{34}\text{S}$ -values for pyrrhotite, chalcopyrite and pentlandite in RUK.

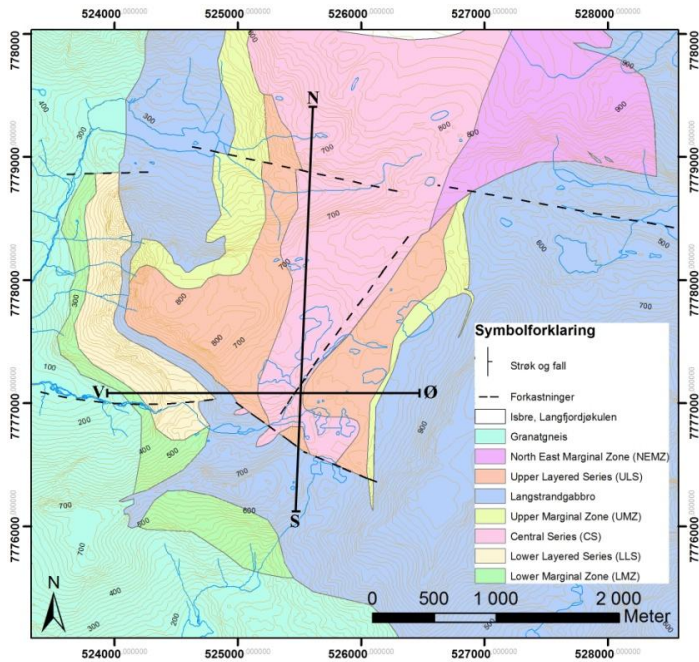
5 Kapittel 5: Diskusjon

5.1 Reinfjord ultramafiske kompleks

Feltarbeidet, strukturgeologiske målinger og observasjoner gir et inntrykk av oppbyggingen og utbredelsen til RUK og forholdet til sidebergartene. Til tross for delvis svakt datagrunnlag i deler av de strukturgeologiske målingene, for eksempel at kun en fall- og fallvinkelmåling er foretatt i granatgneisen, gir dataene likevel et godt bilde av situasjonen. Selve RUK heller svak mot Ø-NØ med en fallvinkel mellom 9° og 34°, men hvor det i området som grenser opp mot Langstrandgabbroen, øst i Lake District, har et fall mot en mer vestlig retning. Dette tyder på at det finnes en sone, som faller motsatt av det dominerende fallet, i utkanten av RUK. Men det er også viktig å være observant på at det slake fallet for de strukturgeologiske målingene øker faren for feilmålinger, da det skal liten endring til i topografien før strøket blir totalt forskjellig. Kartleggingen viser videre at kontakten mange steder består av interfingering mellom RUK og Langstrandgabbroen, og at den marginale sonen, hvor den kraftigste sulfidmineraliseringen på overflaten også finnes, består av både ultramafiske og gabbroiske bergarter.

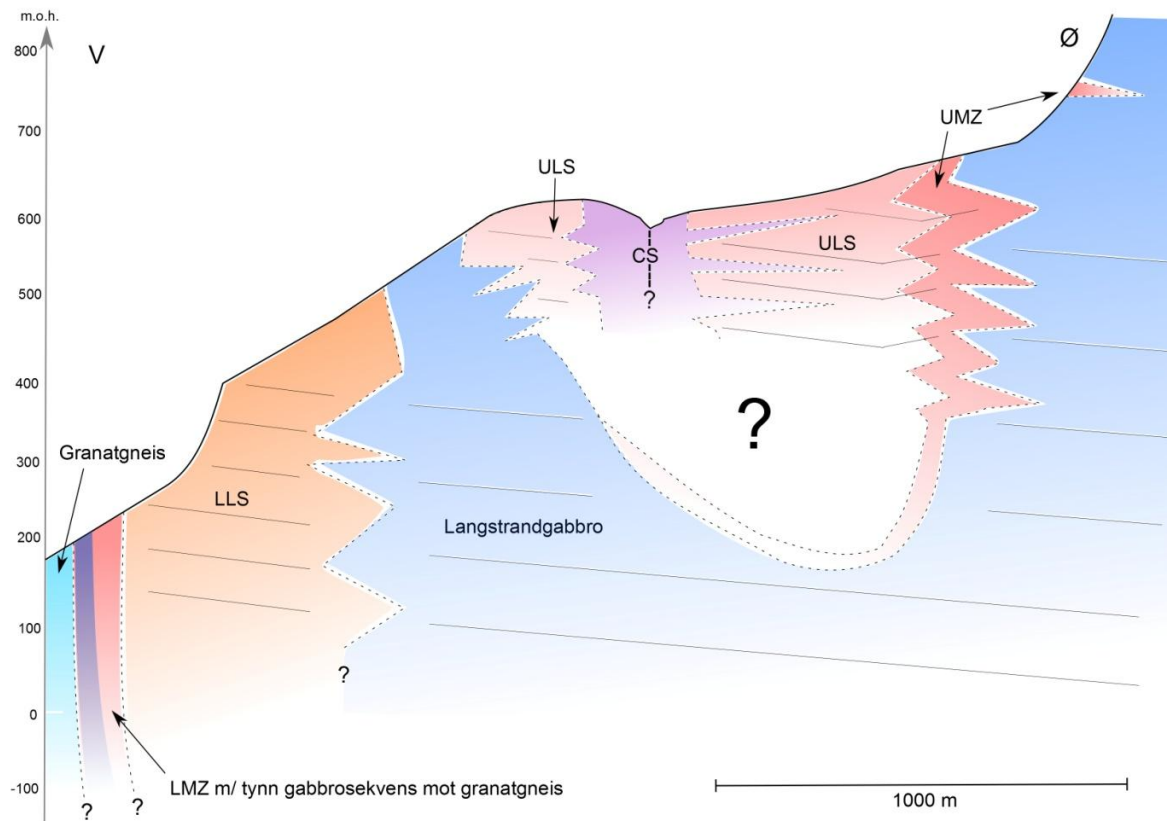
I Figur 5.1 er to profillinjer tegnet inn som viser det sentrale området i Lake District. Et Ø-V profil er vist i Figur 5.2 og et N-S profil er vist i Figur 5.3. Profilene er basert på kartleggingen, observasjoner og fri tolkning av geofysiske data (Johnson, 2011). De geofysiske dataene er sterkt influert av topografien og er fritt tolket for å ha en idé om hvordan utbredelsen kan være mot dypet. Profilene indikerer dermed mulig utbredelse av det ultramafiske komplekset mot dypet, og viser dessuten hvordan interfingering mellom bergartene kan forløpe. Framdeles er det mange usikkerheter med tanke på utbredelsen mot dypet, men ut fra dagens data er det en mulig tolkning. Grensen mellom RUK og Langstrandgabbroen er tolket til å bestå av interfingering, mens grensen mellom RUK og granatgneisen er tolket til å bestå av en mer rett kontakt. Dette på grunn av at granatgneisen er betydelig eldre enn både RUK og Langstrandgabbroen, samt at den var kaldere da disse intruderte. Den sørlige kontakten mellom RUK og Langstrandgabbroen, se Figur 5.3, er forkastningsbettinget og ingen marginal sone opptrer. Ultramafiske bergarter er imidlertid observert i avgrensede områder i Langstrandgabbroen like sør for forkastningen, og er muligens UMZ. Mulig område som kan ha vært tilførselssystemet for de ultramafiske bergartene er indikert i Figur 5.3.

Kapittel 5: Diskusjon



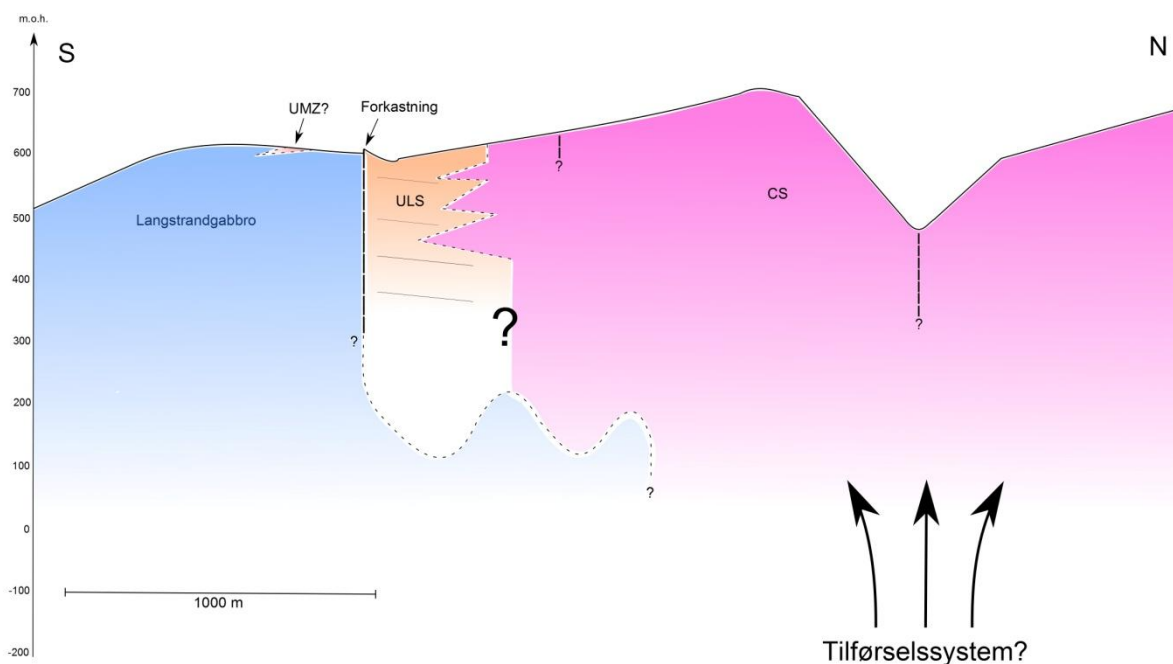
Figur 5.1 Geologisk kart over Reinfjord med profilinjer.

Figure 5.1 Geological map of Reinfjord with profile lines.



Figur 5.2 V-Ø profil gjennom sentrale deler av RUK. Profilet er tegnet på grunnlag av kartlegging, observasjoner, Bennett (1974) og fri tolkning av geofysiske data (Johnson, 2011).

Figure 5.2 W-E profile through central part of RUK. Profile made on the basis of mapping, observations, Bennett (1974) and free interpretation of geophysical data (Johnson, 2011).



Figur 5.3 S-N profil gjennom sentrale deler av RUK. Profilet er tegnet på grunnlag av kartlegging, observasjoner og fri tolkning av geofysiske data (Johnson, 2011).

Figure 5.3 S-N profile through central part of RUK. Profile made on the basis of mapping, observations and free interpretation of geophysical data (Johnson, 2011).

Alderen på de ultramafiske sekvensene er fra eldst til yngst: LLS, ULS og CS. Kontakten mellom ULS og CS viser tydelig hvordan CS har intrudert diskordant inn i ULS, se Figur 4.18, et tydelig bevis på at CS er yngst. Men til tross for at CS er yngst, viser de kjemiske analysene at CS er den delen av RUK som har høyest MgO-verdier. Dette skulle man ikke tro om intrusjonene hadde fulgt forløpet til vanlig fraksjonert krystallasjon, hvor bergartene rikest på Mg krystalliserer først.

5.2 Sulfidforekomstene

Tabell 5.1 viser en sammenligning av sulfidforekomstene.

5.2.1 Oppsummering av sulfidforekomstene

Granatgneisen er ikke en sulfidforekomst, men er tatt med på grunn av svovelisotopanalysene, som ble foretatt for å finne opphavet til svovel. Granatgneisen er sulfidfattig med sporadiske og små sulfidkorn. Til tross for rustforvitring på prøvene som ble tatt, ble det kun påvist sulfider i et av to tynnslip. Pyrrhotitt er identifisert som hovedfase, i tillegg til chalcopyritt og pentlanditt. De tre sulfidfasene opptrer stedvis i grupper, som også er observert i de andre sulfidforekomstene.

Kapittel 5: Diskusjon

Langstrandgabbro: Det er store variasjoner innefor Langstrandgabbroen og relativt store partier med rustforvitring ble påvist under feltarbeidet. Vertsbergartene er et utvalg av ulike gabbrobergarter som gabbro, noritt, gabbronoritt, olivin noritt og olivin gabbronoritt. Enkeltpøver viser et innhold av svovel på opp til 4,8 wt %, med et gjennomsnittlig innhold av svovel på 1,8 wt %. Opptil 8 % sulfider er identifisert i tynnslip. Pyrrhotitt/markasitt, chalcopyritt og pentlanditt/bravoittisert pentlanditt er identifisert, og de forskjellige sulfidfasene opptrer gjerne i grupper. En del pyrrhotitt er helt eller delvis omdannet til markasitt, og det samme gjelder for pentlanditt, som stedvis opptrer som bravoittisert pentlanditt. Alle prøver fra Langstrandgabbroen er overflateprøver. Sulfidene sitter interstitielt og skiller seg ikke markant ut i opptreden, sammenlignet med de andre sulfidforekomstene. Det må påpekes at de mest intense områdene med sulfidmineralisering i Langstrandgabbroen befinner seg i nærheten til UMZ (opptil et par hundre meter unna). Bevis på interfingering mellom Langstrandgabbro og RUK i Lake District kan tyde på at områdene med sulfidmineralisering har en sammenheng med UMZ. Samtidig viser de kjemiske dataene at det er en kjemisk forskjell mellom sulfidforekomstene i UMZ og Langstrandgabbroen, noe svovelisotopdata også viser.

LMZ: Vertsbergartene i LMZ er plagioklasførende ultramafisk bergart og plagioklasførende hornblende pyroksenitt og skiller seg fra andre deler av RUK som den "minst" ultramafiske delen. Det er påvist opp til 3 % sulfider i tynnslip og gjennomsnittelig 0,35 wt % S. Sulfidene som er identifisert er pyrrhoitt/markasitt, chalcopyritt og bravoittisert pentlanditt i tillegg til pyritt som opptrer i symplektitt med chalcopyritt. Ni- og Cu-innholdet er betydelig høyere enn for Langstrandgabbroen. Deler av Ni kan blant annet sitte i olivin, i tillegg til sulfider.

UMZ: Vertsbergartene i UMZ er ultramafiske og gabbroiske bergarter som websteritt, olivin gabbronoritt, plagioklasførende hornblende pyroksenitt, lherzolitt, olivin noritt og wehrlitt. UMZ er den sulfidforekomsten i Reinfjord med mest sulfider. I tynnslip er opptil 10 % sulfider identifisert, og et gjennomsnitt på 0,75 wt % S er påvist. Pyrrhotitt/markasitt, chalcopyritt, pentlanditt/bravoittisert pentlanditt og pyritt opptrer, hvor pyrrhotitt er den sulfidfasen som opptrer hyppigst. Sulfidene sitter interstitielt og opptrer ofte i grupper som også er observert i de andre sulfidforekomstene. De beste blotningene av UMZ er i Lake District, hvor sulfidforekomsten kan studeres i tilnærmet flatt terreng. Dette i motsetning til LMZ (og Ni+Cu- og PGE-horisonten), som kun kan studeres i profil. Ni- og Cu-innholdet i UMZ er betydelig høyere enn i LMZ, men det er samtidig mer olivin i UMZ, hvor en del Ni kan sitte.

Kapittel 5: Diskusjon

ULS: Vertsbergartene i ULS er ultramafiske bergarter som lherzolitt, harzburgitt, dunitt, olivin ortopyroksenitt og olivin websteritt. Sulfidforekomstene i ULS, som er blottet på overflaten, er stort sett i tilknytning til ultramafiske pegmatitter, som opptrer i østlige deler av ULS ved Lake District. I tynnslip er opptil 3 % sulfider identifisert, og et gjennomsnitt på 0,6 wt % S er påvist. Pyrrhotitt/markasitt, chalcopyritt, pentlanditt/bravoittisert pentlanditt og pyritt opptrer, hvor pyrrhotitt er sulfidfasen som opptrer hyppigst. Blotningene av de ultramafiske pegmatittene er typisk $< 5 \text{ m}^2$, men er tildels tallrike.

Ni+Cu-horisonten: Ni+Cu-horisonten (88 - 95 meters dybde, kjerne 1) ble identifisert ved gjennomgang av resultatene fra kjerneboringen som ble gjennomført i mai 2012 (Iljina, 2013). Vertsbergarten er dunitt hvor det i tynnslip er det identifisert opptil 3 % sulfider, med et gjennomsnitt på 0,65 wt % S. Sulfidene sitter interstitielt hvor pyrrhotitt, chalcopyritt, pentlanditt og pyritt er identifisert. Pyrrhotitt er sulfidfasen som opptrer hyppigst, og pyritt er kun identifisert i symplektitt med chalcopyritt. Ni+Cu-horisonten er den sulfidforekomsten i Reinfjord med høyest innhold av Ni og Cu og inneholder ikke markasitt eller bravoittisert pentlanditt. Dette støtter opp under at markasitt og bravoittisert pentlanditt er et forvittringsfenomen.

PGE-horisonten: PGE-horisonten (107 - 115 meters dybde, kjerne 1) ble også identifisert ved gjennomgang av resultatene fra kjerneboringen som ble gjennomført i mai 2012 (Iljina, 2013). Vertsbergarten er pegmatittisk dunitt og olivin websteritt hvor det i tynnslip er identifisert opptil 2 % sulfider, med et gjennomsnitt på 0,4 wt % S. Sulfidene sitter interstitielt hvor pyrrhotitt, chalcopyritt, pentlanditt og pyritt er identifisert. Pyrrhotitt er sulfidfasen som opptrer hyppigst, og pyritt er kun identifisert i symplektitt med chalcopyritt. Ni-innholdet er det nest høyeste av sulfidforekomstene i Reinfjord, noe som skyldes at Ni delvis sitter i olivin i vertsbergarten, se Tabell 5.1. Cu-innholdet skiller seg ikke spesielt ut og er på nivå med ULS og LMZ. Innholdet av PGE (Pt, Pd og Au) i PGE-horisonten er i størrelsesorden 15 - 40 ganger høyere enn i de andre sulfidforekomstene i Reinfjord, og som gjør denne horisonten spesielt interessant.

Ni+Cu-horisonten og PGE-horisonten er kun kjent fra borekjerne 1, med ukjent utbredelse utover det. Bortsett fra at en mulig bolle-formet ledende struktur på 60 - 110 meters dybde ble påvist med bakke geofysikk (TEM), og kan stemme overens med horisontene. Størrelsen på den ledende strukturen er 600 · 600 meter og befinner seg sentralt i Lake District med et svakt fall mot NØ (Thunehed, 2012).

Kapittel 5: Diskusjon

Lokkarfjord: Vertsbergarten i Lokkarfjord er en hornblendeperidotitt og er den forekomsten i dette arbeidet som er rikest på svovel. Forekomsten kan klassifiseres som en svovelrik forekomst, hvor opptil 15 % sulfider er identifisert i tynnslip og et gjennomsnitt på 9 wt % S er påvist. Pyrrhotitt/markasitt, chalcopyritt og bravoittisert pentlanditt er sulfidene som er identifisert, de sitter interstitielt og er tydelig utsatt for forvitring. Det er ikke identifisert pentlanditt, noe som antas å skyldes forvitring. Ni- og Cu-innholdet er det høyeste som er påvist av alle sulfidforekomstene i dette arbeidet, hvor innholdet av Cu er omtrent 8 ganger høyere enn for Ni+Cu-horisonten i Reinfjord. Det er mindre olivin i Lokkarfjord enn i Ni+Cu-horisonten i Reinfjord, noe som kan bety at mer Ni kan sitte bundet i sulfider, noe analyser av sulfidfraksjonen også viser. Co-innholdet i prøvene fra Lokkarfjord er også det høyeste for alle prøver i denne studien. Innholdet av PGE er det nest høyeste av alle sulfidforekomstene, hvor innholdet av Pd er den høyeste. Dette i kombinasjon med høyest innhold av sulfider, gjør forekomsten i Lokkarfjord særdeles interessant.

Kapittel 5: Diskusjon

Tabell 5.1 Sammenligning av sulfidforekomstene. Analysene for innhold av metall i sulfider er hentet fra Iljina (2013)¹, Iljina (2011)² og Nordic Mining (2013)³.

Table 5.1 Comparison of the sulphide mineralizations. Analyses of the amount of metals in sulphides, are from Iljina (2013)¹, Iljina (2011)² and Nordic Mining (2013)³.

Forekomst	Granatgneis	Langstrandgabbro	LMZ	UMZ	ULS	Ni+Cu-hori.	PGE-hori.	Lokkarfjord
Bergarter	Granatgneis	gabbro, noritt, gabbronoritt, olivin noritt og olivin gabbronoritt	plagioklasførende UM-bergart, plagioklasførende hornblende pyroksenitt	Websteritt, olivin gabbronoritt, plagioklasførende hornblende pyroksenitt, lherzolitt, olivin noritt, wehrlitt	Lherzolitt, harzburgitt, dunit, olivin ortopyroksenitt og olivin websteritt	Dunit	Dunit, olivin websteritt	Hornblendeperidotitt, Olivin pyroksen hornblenditt
Bergartsmineraler	granat, pl, biotitt, kvarts	pl, opx, cpx, ol	Cpx, opx, ol, pl, hornblende, biotitt	ol, opx, cpx, pl, hornblende	Ol, cpx, opx,	ol	Ol, cpx, opx	Hornblende, ol, opx
Tilleggsmineraler	grafitt, rutil, zirkon, serpentin, mag, ilm	biotitt, amfibol, grafitt, spinell, ilm og mag	Ilm, mag, limonitt	amfibol, serpentin, ilm, mag, spinell, ol	serpentin, amfibol, pl, apatitt, kromitt, ilm, mag	mag, ilm	Mag, ilm	spinell, limonitt, ilm, mag
Sulfider (anslag basert på opptreden i tynnslip)	po: 80% cp: 15% pn: 5%	po / mrc: 60% cp: 25% pn / pn (bravo): 15%	po / mrc: 60% cp: 20% pn (bravo): 20% + py	po / mrc: 65% cp: 25% pn / pn (bravo): 10% + py	Po/ mrc: 70% Cp: 20% pn / pn (bravo): 10% + py	po: 60% cp: 30% pn: 10% + py	Po 65% cp 25% pn 10% + py	po / mrc: 60% cp: 25% pn (bravo): 15%
%-andel sulfider (i tynnslip)	< 0,1 %	Opptil 8 %	Opptil 3 %	Opptil 10 %	Opptil 3 %	Opptil 3%	Opptil 2 %	Opptil 15 %
Sulfidopptreden	-	Interstetiell	Interstetiell	Interstetiell	Interstetiell	Interstetiell	Interstetiell	Interstetiell
Wt % Svovel	0,02	1,8	0,35	0,75	0,6	0,65	0,4	9
Ni, Cu (ppm) (bulkanalyse)	Ni = 33 Cu = 38	Ni = 285 (117 ²) Cu = 174	Ni = 462 (714 ²) Cu = 552	Ni = 1441 (1058 ²) Cu = 775	Ni = 1505 Cu = 444	Ni = 4100 Cu = 1340	Ni = 2423 Cu = 441	Ni = 6510 Cu = 10630
Ni/Cu-forhold	0,9	1,6	0,8	1,9	3,3	3,0	5,5	0,6
Ni, Cu (ppm) (i sulfider)	-	Ni = 116 ² Cu = 133 ²	Ni = 542 ² Cu = 703 ²	Ni = 948 ² Cu = 665 ²	-	Ni = 2390 ¹ Cu = 1154 ¹	Ni = 1350 ¹ Cu = 514 ¹	Ni = 6340 ³ Cu = 10060 ³
Pt, Pd, Au (ppb) (bulkanalyse)	Pt = < 5 Pd = 2 Au = < 1	Pt = 8 Pd = 2 Au = 2	Pt = < 5 Pd = 4 Au = 1	Pt = 23 Pd = 8 Au = 5	Pt = 12 Pd = 15 Au = 6	Pt = 18 Pd = 17 Au = 3	Pt = 290 Pd = 423 Au = 121	Pt = 120 Pd = 597 Au = 93
Svovelisotopdata (δ³⁴S ‰ (VCDT)):	Po = 9,09 Cp = 11,26	Po = 2,19	-	Po = 0,02 Cp = 2,97	-	Po = -4,56 Cp = -1,79 (analyse like over Ni+Cu-horisonten)	Po = -0,44 Cp = 2,07	Po = -1,07 Cp = 1,41
Se/S·10⁶		33	448	210	232			

5.2.2 Opptreden til sulfidene

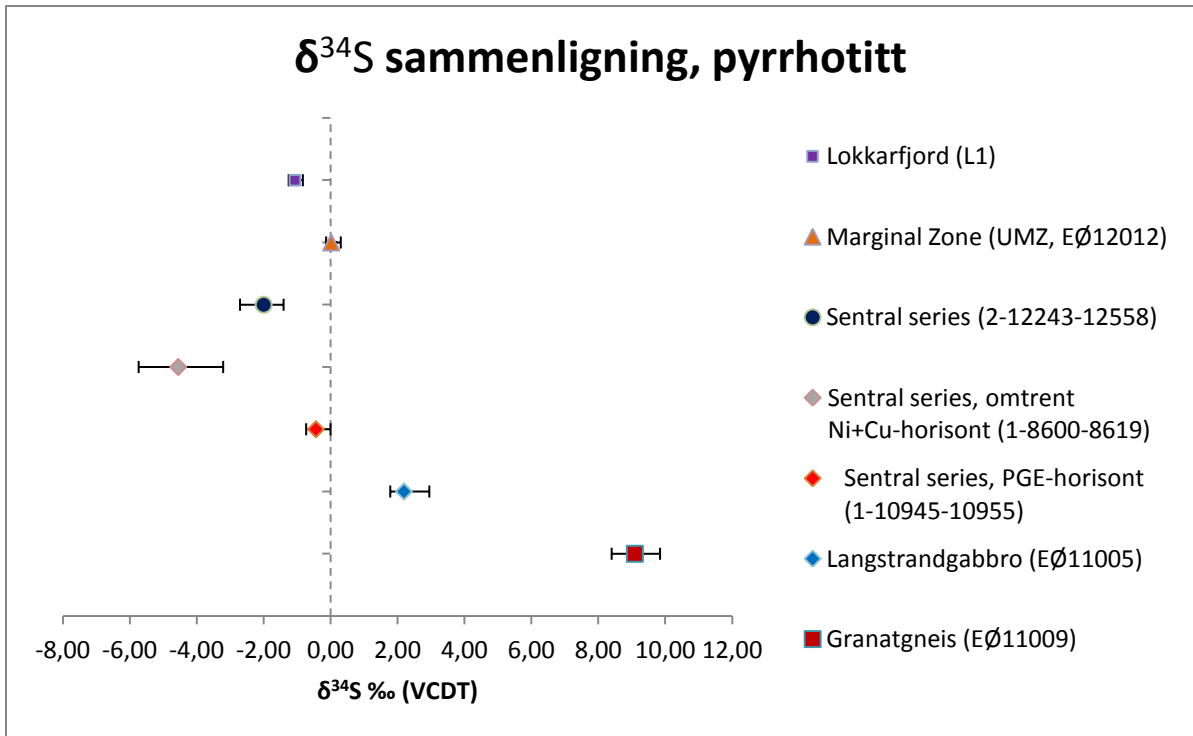
Opptreden til sulfidene, som går igjen i alle sulfidforekomstene, er at de sitter interstitielt og ofte opptrer i grupper med pyrrhotitt/markasitt, chalcopyritt og pentlanditt/bravoittisert pentlanditt i tillegg til pyritt, som opptrer i små mengder i symplektitt med chalcopyritt. Gjennomgangen av sulfider i avsnitt 4.2.3 viser flere representative bilder av sulfidgrupper. Det er ikke identifisert markasitt og bravoittisert pentlanditt i ferske prøver fra borekjernene, som tyder på at disse mineralene er dannet som følge av forvitring. Dette er positivt med tanke på at Ni-innholdet i pentlanditt er omtrent 10 wt % høyere enn hos bravoittisert pentlanditt, se Tabell 4.13. Det er også en forskjell i utseende på overflaten mellom pentlanditt i prøvene fra borekjernerne versus pentlanditt fra overflateprøver, se Figur 4.28, men kjemisk plotter de likt, se Tabell 4.13.

Kornstørrelsen til sulfidene varierer mye. I Reinfjord er kornstørrelsen til sulfidene alltid mindre enn for bergartsmineralene. Men hvor mer sulfider det er i en prøver, hvor større er også kornstørrelsen. For Ni+Cu-horisonten og PGE-horisonten viser sulfidene en kornstørrelse i området 1 - 4 mm. I Lokkarfjord er situasjonen annerledes ved at kornstørrelsen til sulfidene er større eller lik som for bergartsmineralene, med en kornstørrelse for sulfidene i området 2 - 3 mm.

Gedigent Cu er kun identifisert i prøver fra borekjernerne 2 og opptrer sammen med pyrrhotitt og cubanitt. Cu følger tidvis klare krystallografiske linjer, som er antatt å være krystallplan til pyrrhotitt og cubanitt.

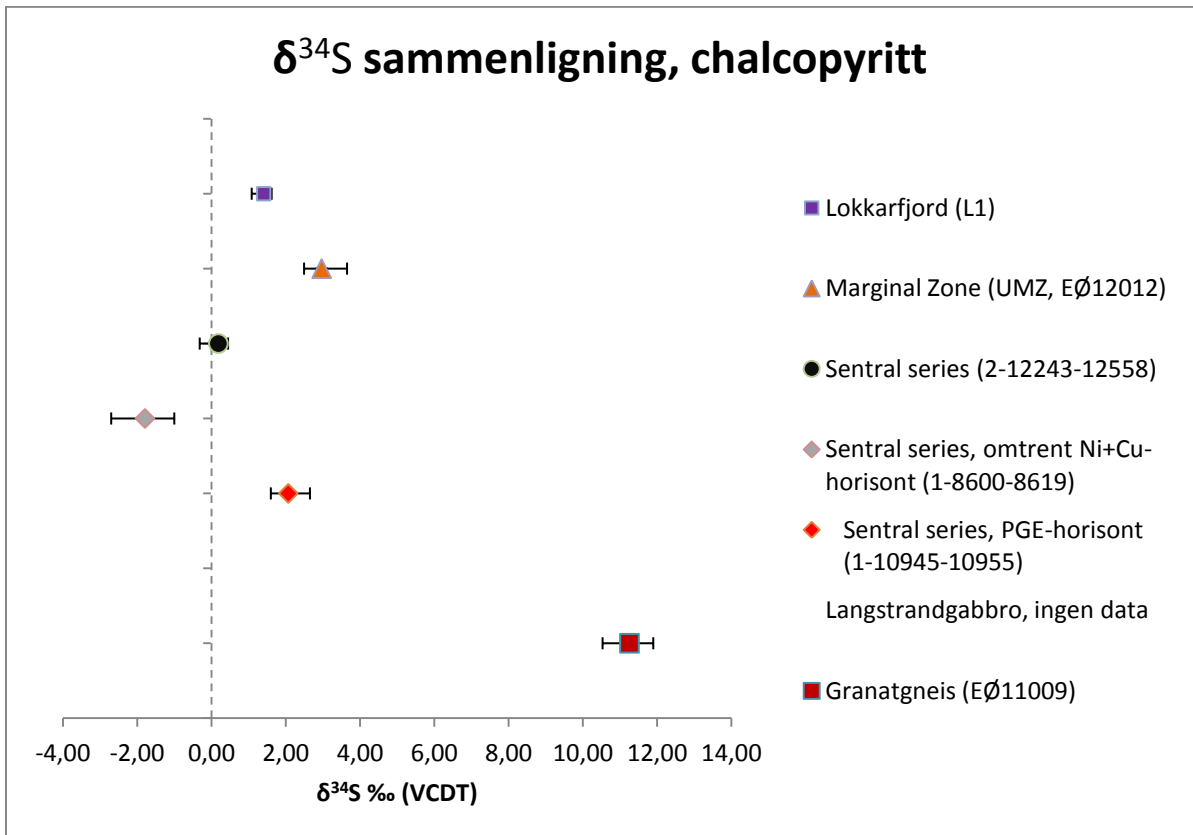
5.3 Opphavet til svovel

Tolkningen av svovelisotop dataene er i hovedsak basert på analyseresultatene av pyrrhotitt, se Figur 5.4. Dette fordi det kun er pyrrhotitt som er analysert i alle prøvene som ble analysert for svovelisotoper. Analyseresultatene av chalcopyritt, Figur 5.5, viser samme tendens, men med verdier som er omtrent 2 ‰-poeng høyere, samt at det mangler data for chalcopyritt fra Langstrandgabbroen.



Figur 5.4 $\delta^{34}\text{S}$ sammenligning for pyrrhotitt.

Figure 5.4 $\delta^{34}\text{S}$ comparison of pyrrhotite.



Figur 5.5 $\delta^{34}\text{S}$ sammenligning for chalcopyritt.

Figure 5.5 $\delta^{34}\text{S}$ comparison of chalcopyrite.

5.3.1 Kvaliteten på svovelisotopdataene

Kvalitet på dataene har innvirkning på hvor korrekt en tolkning av dataene kan bli. Under hele analyseringen av svovelisotoper ble pyritt brukt som standard for å ha kontroll på stabiliteten til maskinen. I Figur 4.53 ser man at i starten var maskinen ustabil, men stabiliserte seg ganske raskt, og gjennomsnittet for analysene av pyritt endte på eksakt samme verdi som litteraturverdien. Ut fra dette kan man anta at maskinen var stabil under størsteparten av svovelisotopanalysene og ga så korrekte resultater som mulig. Standardene for de andre sulfidmineralene viser at det for pyrrhotitt også var litt variasjon i starten, men at verdien stabiliserte seg etter hvert. For chalcopyritt og pentlanditt var det noe variasjon, men korreksjonsverdien som er benyttet er så korrekt som mulig, basert på datagrunnlaget som ligger til grunn.

En annen kilde til usikkerhet for svovelisotopdataene er faren for feilidentifisering av sulfidmineraler, i så tilfelle vil det kunne gi store utslag på tolkningen. Identifisering av sulfider ble først gjennomført i lysmikroskop. Siden ble en del sulfidkorn, som skilte seg ut ved første plotting av svovelisotopdiagrammene, kontrollert i mikrosonden. Noen korrigeringer ble foretatt etter analysering i mikrosonden, men ingen drastiske endringer ble utført. Kvaliteten på resultatene ansees totalt sett å være gode.

5.3.2 Tolkning av svovelisotopdataene basert på pyrrhotitt

Det første man kan slå fast, er at opphavet til svovelet i det ultramafiske komplekset ikke er fra granatgneisen, hvor svovelet i pyrrhotitt har en gjennomsnittelig $\delta^{34}\text{S}$ -verdi på 9,09 ‰ (VCDT). Verdien for granatgneisen skiller seg klart ut fra verdiene i RUK. Langstrandgabbroen har også en klar positiv gjennomsnittlig $\delta^{34}\text{S}$ -verdi for pyrrhotitt på 2,19 ‰ (VCDT), mens $\delta^{34}\text{S}$ -verdiene for pyrrhotitt i det ultramafiske komplekset ligger fra omtrent 0 til - 4 ‰ (VCDT). Tegner et al. (1999) har undersøkt Hasvik gabbroen, en annen gabbrointrusjon i SIP, hvor det er funnet bevis for forurensning av materiale med metasedimentært opphav i gabbro. Dette er en situasjon som er overførbar til Langstrandgabbroen, som muligens har vært utsatt for et liknende hendelsesforløp, og derfor har noen høyere $\delta^{34}\text{S}$ -verdi enn RUK.

Gjennomsnittet for pyrrhotitt fra den marginale sone gir en $\delta^{34}\text{S}$ -verdi på 0,02 ‰ (VCDT), som er omtrent den samme verdien som for PGE-horisonten (1-10945-10955) i CS (-0,44 ‰ (VCDT)). Den marginale sone ligger i kontakt med Langstrandgabbroen, og det har vært full kontakt mellom disse bergartene. En forurensning fra Langstrandgabbroen kan tenkes å være

Kapittel 5: Diskusjon

skyld i relativ høy $\delta^{34}\text{S}$ -verdi for den marginale sone. En liknende "forurensning", som også kan ha ført til oppkonsentrering av PGE i PGE-horisonten (for eksempel ved tilførsel av svovel fra sidebergart), men med ukjent opphav, kan tenkes å være skyld i relativ høy $\delta^{34}\text{S}$ -verdi for PGE-horisonten i CS.

CS består av flere intrusjoner hvor Ni+Cu-horisonten, som stratigrafisk ligger 16 meter over PGE-horisonten (Iljina, 2013), har en gjennomsnittelig $\delta^{34}\text{S}$ -verdi for pyrrhotitt på $-4,56\text{‰}$ (VCDT) (verdien er hentet fra prøve 1-8600-8619 som befinner seg like over Ni+Cu-horisonten). Altså en $\delta^{34}\text{S}$ -verdi ca. 4 ‰-poeng lavere enn for PGE-horisonten. Denne store forskjellen støtter opp om "forurensning" fra et foreløpig ukjent opphav. Videre viser verdien fra kjerne 2 (2-12243-12558), som også er fra CS, en gjennomsnittelig $\delta^{34}\text{S}$ -verdi for pyrrhotitt på $-2,0\text{‰}$ (VCDT). Også den er negativ, og forskjellig fra de andre prøvene fra CS, men ganske nært gjennomsnittet ($-2,33\text{‰}$ (VCDT)) for de tre prøvene som er analyserte fra CS (kun basert på data fra pyrrhotitt). Dette kan tyde på at opphavet til svovel er fra mantelen, som tradisjonelt har vært omtalt med $\delta^{34}\text{S}$ -verdier i området rundt $0 \pm 2\text{‰}$ (Seal, 2006). Det er imidlertid viktig å understreke at verdiene for $\delta^{34}\text{S}$ kan variere mye, for eksempel viser $\delta^{34}\text{S}$ -verdier for mafiske intrusjoner variasjon fra ca. -5 til 8‰ (Seal, 2006).

Lokkarfjord viser en gjennomsnittlig $\delta^{34}\text{S}$ -verdi for pyrrhotitt på $-1,07\text{‰}$ (VCDT). Dette tyder på at opphavet til svovel også er fra mantelen i Lokkarfjord. Totalt sett ser det ut som om opphavet til svovel både i RUK og i Lokkarfjord er fra mantelen, men at det i Reinfjord har vært forurensning fra blant annet Langstrandgabbroen og som har ført til forhøyet $\delta^{34}\text{S}$ -verdi for den marginale sone. Også for PGE-horisonten er det mulig at en forurensning har ført til forhøyet verdi i forhold til de andre prøvene fra CS. En annen mulighet er at det er naturlige variasjoner innad i RUK, for eksempel på grunn av flere magmapulser eller fraksjonering av svovelisotoper mellom mineralene, som gir $\delta^{34}\text{S}$ -verdier for pyrrhotitt varierende fra $-4,56$ til $-0,44\text{‰}$ for CS. Det er også en mulighet at det er Ni+Cu-horisonten med gjennomsnittelig $\delta^{34}\text{S}$ -verdi for pyrrhotitt på $-4,56\text{‰}$, som er dannet som en følge av en forurensning. Men på grunn av at sidebergartene (Langstrandgabbro og granatgneis) begge viser positive $\delta^{34}\text{S}$ -verdier, er dette lite trolig. I så fall er opphavet til den lavere $\delta^{34}\text{S}$ -verdi en annen, ukjent kilde.

Oppsummert vil dette si at svovelet sentralt i RUK har et opphav fra mantelen, men hvor det i den marginale sonene har vært noe forurensning fra Langstrandgabbroen. De store variasjonene i prøvene fra CS kan tyde på at noe forurensning kan ha foregått, samtidig som

$\delta^{34}\text{S}$ -verdiene er alle, mer eller mindre, innenfor intervallet for mantelverdier. Om chalcopyritt og pentlanditt også legges til grunn for tolkningen av svovelisotopdataene, støtter det opp under at opphavs til svovel i RUK er fra mantelen. Et gjennomsnitt for RUK blir da $\delta^{34}\text{S} = -1,16 \text{ ‰}$ (VCDT) med variasjon fra -5,74 til 3,65.

Det må understrekes at antall prøver som ble analysert for svovelisotoper var mindre enn ønskelig. Dette medførte at datagrunnlaget ble mindre enn hva det ideelt sett skulle vært, men analysene som ble utført ga gode data, og oppfølgende prøver ville forhåpentligvis gitt et enda klarere bilde av den samme situasjonen.

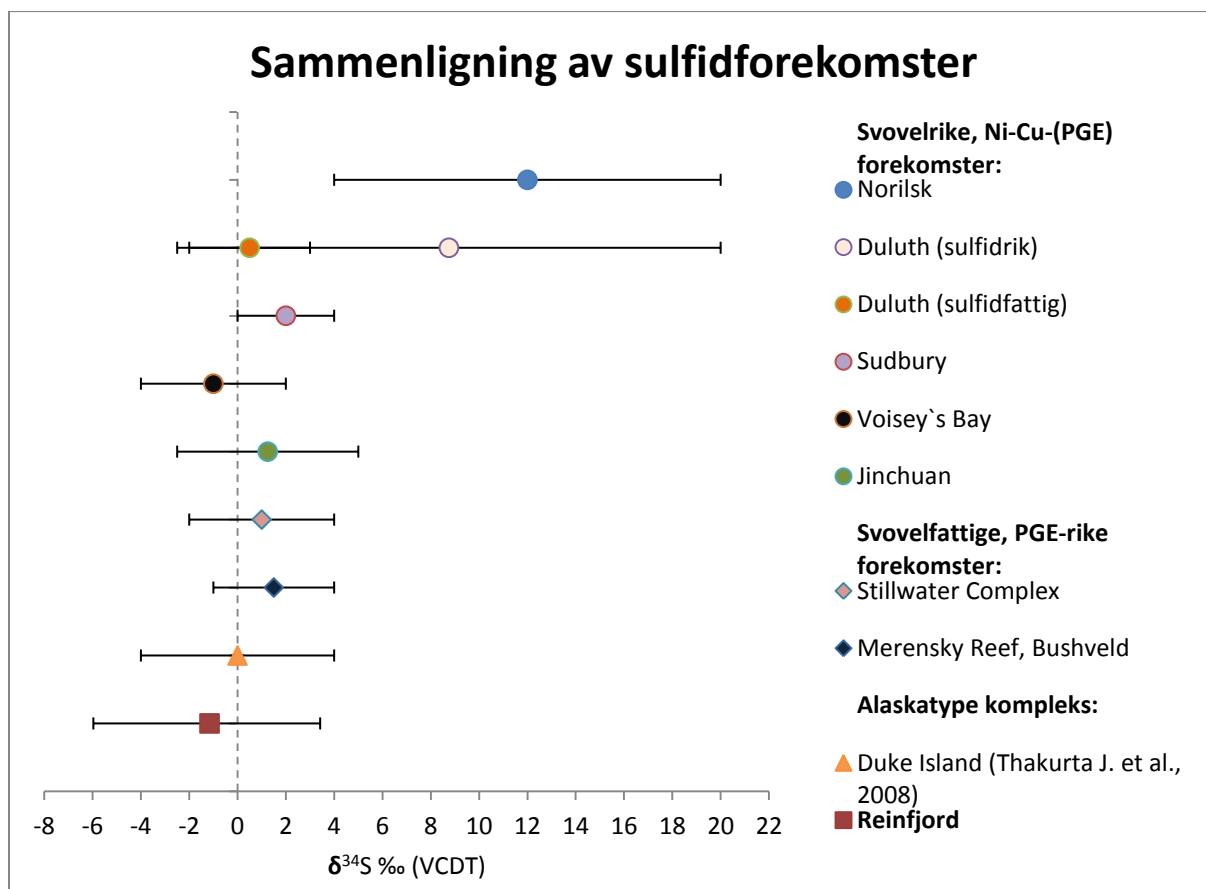
5.3.3 Sammenligning med andre kjente sulfidforekomster i UM-kompleks

Ved sammenligning mot andre kjente sulfidforekomster i UM-kompleks, Figur 5.6, ser man at Reinfjord (data fra Marginal Zone og CS) skiller seg ut med lave $\delta^{34}\text{S}$ -verdier. De svovelrike Ni-Cu-(PGE)-forekomstene, som innebærer massiv og utbredt opptreden av sulfider assosiert med bergarter fra gabbro til ultramafisk (også ekstrusive) (Thakurta J. et al., 2008), viser stor spredning av $\delta^{34}\text{S}$ -verdier, for eksempel Norilsk (flood basalt vulkanisme). Dette tyder på forurensing fra sidebergartene. For Norilsk vet man at blant annet evaporitter er kilden til en del av svovelet (Naldrett, 1999). Men Sudbury, Voisey's Bay og Jinchuan (rift relatert tektonisk setting) er forekomster som ikke skiller seg markant ut fra Reinfjord, spesielt ikke hvis verdier for chalcopyritt og pentlanditt også tas med i sammenligningen, noe som gir $\delta^{34}\text{S}$ -verdier for Reinfjord fra -5,74 til 3,65 ‰ (VCDT). De svovelfattige, men PGE-rike forekomstene, som er assosiert med "horisont"-forekomster i lagdelte intrusjoner (Thakurta J. et al., 2008), for eksempel Stillwater og Merensky Reef, ligger også relativt nært Reinfjord i $\delta^{34}\text{S}$ -verdier.

For Reinfjord kan PGE-horisonten og Ni+Cu-horisonten i CS sammenlignes med en horisontforekomst rik på PGE, men fattig på svovel. Derimot kan mineraliseringene i den marginale sone sammenlignes med en massiv sulfidforekomst, fattigere på PGE, men rikere på svovel.

Reinfjord er tidligere (Emblin, 1985) sammenlignet med Duke Island komplekset, som er et Alaskatype UM-kompleks. Alaskatype UM-kompleks er antatt formet i subduksjonssone miljø, fra 12 - 40 km², med sirkulær eller elliptisk form, rør-formet utseende i profil og forekommer ofte i grupper (Thakurta J. et al., 2008). De fleste av disse kjennetegnene stemmer også for Reinfjord, bortsett fra at Reinfjord er antatt dannet i et ekstensjonsregime (se avsnitt 1.5). Sammenligning av $\delta^{34}\text{S}$ -verdier for Duke Island og Reinfjord viser at verdiene stemmer godt overens, se Figur 5.6. Et fåtall $\delta^{34}\text{S}$ -verdier for Duke Island (ikke med

i Figur 5.6) viser verdier ned til -15 ‰ og opp til 7,5 ‰, som tyder på noe forurensing fra sidebergartene.



Figur 5.6 Sammenligning av $\delta^{34}\text{S}$ i kjente sulfidforekomster i UM-kompleks (tall hentet fra Ripley and Li (2003)) med Reinfjord (gjennomsnitt av pyrrhotitt, chalcopyritt og pentlanditt, CS og UMZ, se Figur 4.64 for detaljer).

Figure 5.6 Comparison of $\delta^{34}\text{S}$ of well known sulphide mineralizations in various UM-complexes (numbers from Ripley and Li (2003)) together with Reinfjord (average of pyrrhotite, chalcopyrite and pentlandite, CS and UMZ, see Figur 4.64 for details).

5.3.4 Se/S-forholdet

Forholdsverdien man får ved å plote $\text{Se/S} \cdot 10^6$ gir også en indikasjon på opphavet til svovel, se kapittel 2.3. Tabell 4.14 viser $\text{Se/S} \cdot 10^6$ -verdier for LMZ, UMZ, ULS og Langstrandgabbro. Tabellen viser at gjennomsnittsverdien for UMZ ($\text{Se/S} \cdot 10^6 = 210$) og ULS ($\text{Se/S} \cdot 10^6 = 232$) er delvis innenfor intervallet for mantelbergarter ($\text{Se/S} \cdot 10^6$ mellom 230 og 350 (Ripley and Li, 2002)), og tyder på et mantelopphav for ULS og delvis UMZ. Verdien for LMZ ($\text{Se/S} = 447$) og Langstrandgabbroen ($\text{Se/S} = 33$) tyder på et opphav som ikke er direkte fra mantelen, men fra en kilde som er modifisert. Alle Se/S-verdiene støtter tolkningen av $\delta^{34}\text{S}$ -verdiene om at opphavet til svovelet i RUK kan være fra mantelen, men at forurensing fra for eksempel Langstrandgabbroen kan ha påvirket verdiene i UMZ. Det at Se/S-verdiene for

Langstrandgabbroen viser en verdi på 33, som tyder på at svovelet ikke har manteloppHAV, stemmer overens med de høyere $\delta^{34}\text{S}$ -verdiene for Langstrandgabbroen. Det høye Se/S-forholdet for LMZ kan ikke videre forklares i første omgang, men tyder på at LMZ er modifisert av en faktor utenfor det ultramafiske komplekset.

5.4 Modell for dannelsen av sulfidforekomstene

To modeller kan forklare dannelsen av sulfidforekomstene i Reinfjord. Anrikning av sulfider finnes i hovedsak i to områder, et område i ytterkant av intrusjonen, i den marginale sonen, og et område sentralt i CS som horisonter. Sulfidforekomsten i den marginale sonen er påvist en rekke steder rundt hele det ultramafiske komplekset (se Figur 4.2), hvor svovelisotopdata viser en gjennomsnittlig verdi ($\delta^{34}\text{S} = 1,89 \text{ ‰ (VCDT)}$) som er høyere enn for CS ($\delta^{34}\text{S} = -1,16 \text{ ‰ (VCDT)}$). Begge verdiene svarer til mantel opphav for svovel, men det noe tyngre svovelet for den marginale sone, er antatt å skyldes delvis tilførsel av svovel fra Langstrandgabbroen. Denne tilførselen av svovel, sammen med svovel fra de ultramafiske bergartene, er antatt å være kilden som har dannet sulfidforekomstene assosiert med de marginale sonene.

Den andre typen sulfidforekomst er horisontforekomstene, representert med Ni+Cu-horisonten og PGE-horisonten i CS (borekjerne 1), og er vanskeligere å forklare. Men svovelisotopdataene tyder på et mantel opphav for svovelet ($\delta^{34}\text{S} = -1,16 \text{ ‰ (VCDT)}$). I avsnitt 2.1.5 er en rekke malmdannende faktorer gjennomgått, som kan forklare dannelsen av horisontforekomster. For PGE-horisonten er tilførsel av ny magma (for eksempel mer oksiderende magma) en mulig forklaring. Situasjonen kan sammenlignes med Merensky Reef i Bushveld komplekset (Robb, 2008) som også er en PGE-rik horisont med pegmatittiske bergarter. Blant annet den pegmatittiske tekturen kan være tegn på at noe "uvanlig" har foregått som kan ha ført til anrikningen av sulfider. Hvis det har forekommet tilførsel av magma (med forskjellig sammensetning) i flere omganger, kan det også forklare den store variasjonen i $\delta^{34}\text{S}$ -verdier innenfor et relativt lite område. Iljina (2013) påpeker også at den pegmatittiske tekturen samt blå kvarts og plagioklas (ikke observert i denne studien) tyder på tilførsel av materiale (noe eksternt svovel/mer silikater) som kan ha ført til dannelse og anrikning av PGE-rike sulfider som en horisont. Ni+Cu-horisonten med lavere $\delta^{34}\text{S}$ -verdier, kan tyde på et "rent" mantel opphav for svovelet, og kan for eksempel være dannet ved fraksjonert krystallisasjon.

Kapittel 5: Diskusjon

Dannelse av svovel i egen fase kan føre til en enorm anrikning av Ni, Cu og PGE i sulfidmelten, sett i forhold til silikatsmelten. At den nederste horisonten er rikest på PGE kan forklares ved at spesielt PGE vil bli kraftig anrikt i svovelfasen (se Tabell 2.1) og at innholdet av PGE i silikatsmelten dermed reduseres betraktelig. Mye av PGE kan antas at vil trekkes inn i sulfidmelten ved første overmetning på svovel, og nederste horisont blir dermed rikere på PGE enn den neste, ovenfor liggende, horisonten (Naldrett, 2004).

For sulfidforekomsten i Lokkarfjord er det også vanskelig å gi en modell for dannelsen, dette på grunn av at lokaliteten ikke er besøkt og oversikten over forekomsten er mindre. Svovelet har et opphav fra mantelen, men kjemisk (se Figur 4.47 og Figur 4.48) skiller Lokkarfjord seg betraktelig fra Ni+Cu-horisonten og PGE-horisonten i Reinfjord, så en noe annen modell for dannelsen er nok trolig.

6 Kapittel 6: Konklusjon og forslag til videre arbeid

6.1 Konklusjon

Det er påvist en rekke sulfidforekomster i Reinfjord, hvor alle kan betraktes som sulfidfattige forekomster. Malmmineralene er chalcopyritt og pentlanditt samt Pt, Pd og Au (i ukjente mineraler). I tillegg opptrer det pyrrhotitt og pyritt, samt omvandlingsmineralene markasitt og bravoittisert pentlanditt. De to sistnevnte mineralene er kun påvist i overflateprøver, og er antatt å skyldes et forvittringsfenomen. Sulfidene sitter interstitielt og opptrer i grupper, hvor kombinasjonen pyrrhotitt, chalcopyritt og pentlanditt opptrer hyppigst. Av de definerte sulfidforekomstene i Reinfjord er det Ni+Cu-horisoten (Ni = 4100 ppm, Cu = 1340 ppm) og PGE-horisonten (Pt = 290 ppb, Pd = 423 ppb, Au = 121 ppb, Ni = 2423 ppm, Cu = 441 ppm), som begge er påvist i borekjerne 1, som peker seg ut som de rikeste sulfidmineraliseringene.

Svovelisotopdata sentralt i RUK (CS) viser mantelverdier (-1,16 ‰ (VCDT)), og som tyder på at opphavet til svovelet er fra mantelen. For den marginale sonen, i kontakten mot sidebergartene, viser svovelisotopdata også mantel verdier, men de er høyere (1,89 ‰ (VCDT)), som antas å skyldes noe forurensing fra sidebergartene, blant annet fra Langstrandgabbroen.

Prøver studert fra sulfidforekomsten i Lokkarfjord, som kan betraktes som en svovelrik forekomst, viser det høyeste innholdet av Ni (6510 ppm), Cu (10630 ppm) og Pd (597 ppb) for alle sulfidforekomstene undersøkt i denne studien. Opptreden av sulfidene er lik som i Reinfjord, bortsett fra at all pentlanditt er bravoittisert. Lokkarfjord viser også høyt innhold av Pt (120 ppb) og Au (93 ppb). Svovelisotopdata for Lokkarfjord (0,63‰ (VCDT)) tyder også på at opphavet for svovel er fra mantelen.

6.2 Conclusions

A series of sulphide mineralizations are described from the Reinfjord ultramafic complex, and all of them can be classified as sulphur poor mineralizations. The ore minerals are chalcopyrite and pentlandite + Pt + Pd and Au (in unknown minerals). Pyrrhotite and pyrite, together with the alteration minerals marcasite and bravoitized pentlandite also appear. The later two are only identified in surface samples, and are results of surface weathering. All sulphides occur as interstetiell sulphides and in groups, mainly comprising pyrrhotite, chalcopyrite and pentlandite. Of all the defined sulphide mineralizations in Reinfjord, the richest mineralizations are the Ni+Cu-horizon (Ni = 4100 ppm, Cu = 1340 ppm) and the PGE-

horizon (Pt = 290 ppb, Pd = 423 ppb, Au = 121 ppb, Ni = 2423 ppm, Cu = 441 ppm). Both of them are only found in drill core 1, and their continuations are unknown.

Sulphur isotope data from the central part of RUK (CS) indicate mantel values (-1,16 ‰ (VCDT)). From the marginal zone, adjacent to gabbroic wall rock, the sulphur isotope data are higher (1,89 ‰ (VCDT)), it is still mantel value, but indicating some possible contamination from the Langstrandgabbro.

Samples studied from the sulphide mineralization in Lokkarfjord, that can be classified as a sulphur rich mineralization, have the highest contents of Ni (6510 ppm), Cu (10630 ppm) and Pd (597 ppb) of all sulphides mineralizations in this study. The occurrence of sulphides are the same as in Reinfjord, but all pentlandite is bravoittized. Lokkarfjord has also elevated concentrations of Pt (120 ppb) and Au (93 ppb). Sulphur isotope data from Lokkarfjord (0,63‰ (VCDT)) also implies a mantel origin of the sulphur.

6.3 Forslag til videre arbeid

For Reinfjord er det Ni+Cu-horisonten og PGE-horisonten som vil være interessant å jobbe videre med, sett fra et økonomisk synspunkt. Forslag til videre arbeid med tanke på disse sulfidforekomstene er oppfølgende feltarbeid og boring av flere kjerner. Med mer informasjon om utbredelsen av Ni+Cu-horisonten og PGE-horisonten, samt oversikt over variasjoner innad i dem, kan et estimat på ressursstørrelsen beregnes osv.

For Lokkarfjord vil også mer feltarbeid og eventuell kjerneboring være interessant. Prøvene derfra viser lovende resultater, og oppfølging med prøvetaking (fortrinnsvis i fast fjell) og kartlegging av Svovelberget vil kunne øke forståelsen for geologien og omfanget av sulfidmineraliseringen. Det vil være spesielt interessant å undersøke om pentlanditt opptrer ved større dyp, med tanke på høyere innhold av Ni enn hos bravoittisert pentlanditt i overflaten.

Referanser

- (?) 1971. Feltarbeid i Alta-området 1971.
- ASTIMEX, SCIENTIFIC LIMITED Serial FV MINM25-53. *53 Minerals Standard Mount, 25 mm diameter*. Toronto, Canada.
- BARTH, T. F. W. 1952. Layered Gabbro Series at Seiland. *Norges Geologiske Undersøkelse Årbok*, 184, 191-200.
- BENNETT, M. C. 1971. The Reinfjord Ultramafic Complex. *Norges geologiske undersøkelse - The Caledonian Geology of Northern Norway*, 269, 165-171.
- BENNETT, M. C. 1974. The emplacement of a high temperature peridotite in the seiland province of the Norwegian Caledonides. *Journal of the Geological Society*, 130, 205-228.
- BENNETT, M. C., EMBLIN, S. R., ROBINS, B. & YEO, W. J. A. 1986. High-temperature ultramafic complexes in the North Norwegian Caledonides: I - regional setting and field relationships. *Norges Geologiske Undersøkelse Bulletin*, 405, 1-40.
- BLATT, H., TRACY, R. J. & OWENS, B. E. 2006. *Petrology Igneous, Sedimentary, and Metamorphic. Third Edition.*, Susan Finnemore Brennan.
- BRADY, J. E. 2004. *Genrell kjemi - grunnlag og prinsipper 2. utgave*, Trondheim, Tapir Akademisk Forlag/John Wiley & sons.
- BROOKS, M. 1969. A gravity survey of coastal areas of West Finnmark, northern Norway. *Quarterly Journal of the Geological Society*, 125, 171-191.
- BRUKER 2007. GEO-QUANT User-Manual v.1.3.
- CAMECA, SCIENCE & METROLOGY SOLUTION. 2012. *Cameca -Science & Metrology Solution, hjemmeside. Besøkt 07.12.12* [Online]. Available: <http://www.cameca.fr/instruments-for-research/ims1280.aspx>.
- CROWE, D. E. & VAUGHAN, R. G. 1996. Characterization and use of isotopically homogeneous standards for in situ laser microprobe analysis of ^{34}S / ^{32}S ratios. *American Mineralogist*, 81, 187-193.
- DEER, W. A., HOWIE, R. A. & ZUSSMAN, J. 1992. *An introduction to the rock-forming minerals*, Harlow, Longman.
- ECKSTRAND, O. R. & HULBERT, L. J. 2007. Magmatic nickel-copper-platinum group element deposits. *Goodfellow, W.D.*, Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication, 205-222.

Referanser

- EMBLIN, S. R. 1985. *The Reinfjord ultramafic complex, Seiland Province: Emplacement history and magma chamber model*. Unpub. PhD, Bristol- Bergen universities.
- GRIFFIN, W. L., KIRKLAND, C. L., STURT, B. A., O'NEILL, C. J. & O'REILLY, S. Y. 2013. Intrusion and contamination of high-temperature dunitic magma: the Nordre Bumandsfjord pluton, Seiland, Arctic Norway. *Contrib Mineral Petrol*, 165, 903-930.
- GROHMANN, C. H. & CAMPANHA, G. A. C. 2010. OpenStereo: open source, cross-platform software for structural geology analysis.: Presented at the AGU 2010 Fall Meeting, San Francisco, CA.
- HANSEN, T. S. 1971. *En undersøkelse av nikkel-kopper mineraliseringer i Reinfjord-Jøkkelfjord området, Troms*. MSc, Norges Tekniske Høgskole (NTH/NTNU).
- HOOVER, P. R. 1971. The Mafic and Ultramafic Intrusions of S.W. Finnmark and North Troms. *Norges geologiske undersøkelse - The Caledonian Geology of Northern Norway*, 269, 147-158.
- ILJINA, M. 2011. Exploration report on Reinfjord, Lokkarfjord and Tappeluft intrusions of the Seiland Igneous Province, Norway..
- ILJINA, M. 2013. Reinfjord drilling and mapping campaigns in 2012 – geochemical observations, discussion on ore genesis and exploration implications.
- JEOL. 2012. *Jeol, internettside. Besøkt 28.01.13* [Online]. Available: <http://www.jeol.se>.
- JOHNSON, D. 2011. Memorandum: Three dimensional inversion of total magnetic intensity data from the Reinfjord SkyTEM survey.
- KARTVERK, S. 2006. *Norge N50*. Norway.
- KRAUSKOPF, K. B. 1954. Igneous and Metamorphic Rocks of the Øksfjord Area, Vest-Finnmark. *Norges Geologiske Undersøkelse Årbok* 188, 29 - 50.
- KRILL, A. G. & ZWAAN, B. 1987. Reinterpretation of Finnmarkian deformation on western Soroy, northern Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 67, 15-24.
- LARSEN, R. B. 2011. Ore-forming potential of the Seiland Igneous Province (SIP). Rapport for Nordic Mining.
- MARSHALL, D., ANGLIN, C. D. & MUMIN, H. 2004. *Ore Mineral Atlas*, Geological Association of Canada - Mineral Deposits Division.
- MCBIRNEY, A. R. 2007. *Igneous Petrology*, Jones and Bartlett Publishers.
- NALDRETT, A. J. 1999. World-class Ni-Cu-PGE deposits: Key factors in their genesis. *Mineralium Deposita*, 34, 227-240.
- NALDRETT, A. J. 2004. *Magmatic Sulfide Deposit - Geology, Geochemistry and Exploration*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.

Referanser

- NGU. 2012. *Geologisk kartdata* [Online]. Available: www.ngu.no.
- NORDIC MINING. 2012. *Nordic Mining internettside. Besøkt 26.11.12* [Online]. Available: www.nordicmining.com.
- NORDIC MINING. 2013. *Nordic Mining internettside. Besøkt 19.04.13* [Online]. Available: www.nordicmining.com.
- NORDSIM. 2012. *Nordsim internettside. Besøkt 30.11.12* [Online]. Available: http://www.nrm.se/english/researchandcollections/researchdivision/laboratoryforisotopegeology/nordsim.904_en.html.
- OFTEN, M. & SCHIELLERUP, H. 2008. Oppfølging av PGE-anomale prøver i Seilandprovinsen, Finnmark. Norges geologiske undersøkelse, NGU.
- OOSTEROM, M. G. 1963. The ultramafites and layered gabbro sequences: In the granulite facies rocks on Stjernøy (Finnmark, Norway). *Leidse Geologiske Mededelingen*, 28, 177-296.
- PEDERSEN, R. B., DUNNING, G. R. & ROBINS, B. 1989. *U-Pb ages of nepheline syenite pegmatite from the Seiland Magmatic Province, N. Norway.* , London, Graham and Trotman.
- PETTERSEN, K. 1875. Short sketch of the geology of the North of Norway. *Geological Magazine*, 2, 385 - 391.
- PHILPOTTS, A. R. 2003. *Petrography of Igneous and Metamorphic Rocks*, Waveland Press, Inc.
- QUEFFURUS, M. & BARNES, S. 2010. The Use of S/Se Ratios in Magmatic Ni-Cu-PGE Sulfide Deposits. *11th International Platinum Symposium June 21-24, 2010*.
- RAMBERG, I. B., BRYHNI, I. & NØTTVEDT, A. 2007. *Landet blir til, Norges geologi*, Norsk geologisk forening.
- RIPLEY, E. M. & LI, C. 2002. Paragneiss Assimilation in the Genesis of Magmatic Ni-Cu-Co Sulfide Mineralization at Voisey's Bay, Labrador: $\delta^{34}\text{S}$, $\delta^{13}\text{C}$, and Se/S Evidence. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 97 (6), 1307-1318.
- RIPLEY, E. M. & LI, C. 2003. Sulfur isotope exchange and metal enrichment in the formation of magmatic Cu-Ni-(PGE) deposits. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 98(3), 635-641.
- ROBB, L. J. 2008. *Introduction to ore-forming processes*, Blackwell Publishing.
- ROBERTS, R. J. 2007. *The Seiland Igneous Province, Northern Norway: Age provenance and tectonic significance*. PhD, University of Witwatersrand.

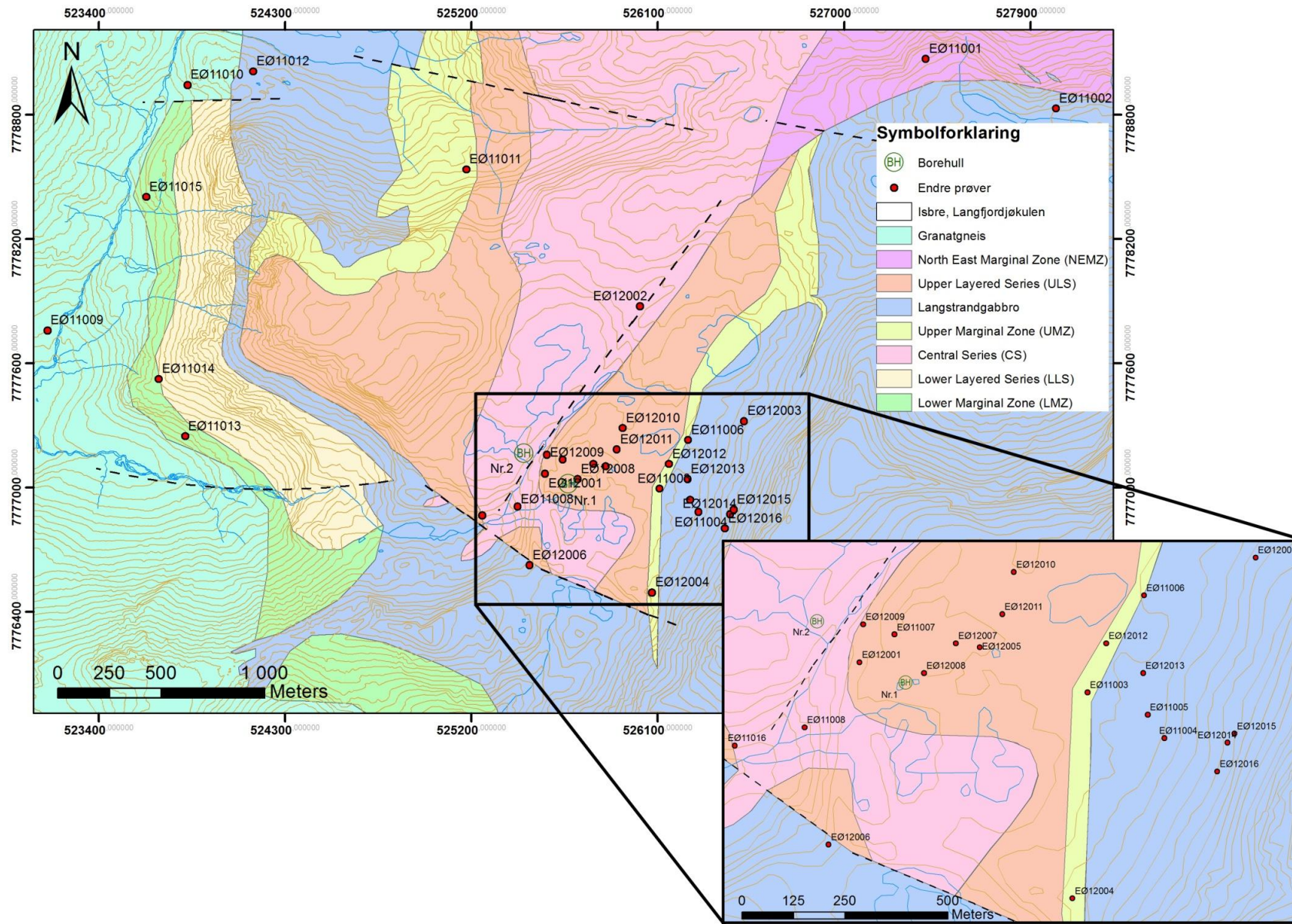
- ROBERTS, R. J., CORFU, F., TORSVIK, T. H., ASHWAL, L. D. & RAMSAY, D. M. 2006. Short-lived mafic magmatism at 560-570 Ma in the northern Norwegian Caledonides: U-Pb zircon ages from the Seiland Igneous Province. *Geological Magazine*, 143, 887-903.
- ROBERTS, R. J., CORFU, F., TORSVIK, T. H., HETHERINGTON, C. J. & ASHWAL, L. D. 2010. Age of alkaline rocks in the Seiland Igneous Province, northern Norway. *Journal of the Geological Society*, 167, 71-81.
- ROBINS, B. & GARDNER, P. M. 1974. Synorogenic layered basic intrusions in the Seiland petrographic province, Finnmark *Norges Geologiske Undersøkelse, Bulletin*, 312, 91-130.
- ROBINS, B. & GARDNER, P. M. 1975. The magmatic evolution of the Seiland province, and Caledonian plate boundaries in northern Norway. *Earth and Planetary Science Letters*, 26, 167-178.
- SEAL, I. R. R. 2006. Sulfur Isotope Geochemistry of Sulfide Minerals. *Reviews in Mineralogy & Geochemistry*, 61, 633-677.
- SNL.NO, STORE NORSKE LEKSIKON. 2012. *Store Norske Leksikon, internettside, besøkt 11.12.12* [Online]. Available: <http://snl.no/Stjern%C3%B8ya>.
- SOLLI, A. & NORDGULEN, Ø. 2007. *Bergrunnskart over Norge og kaledonidene i Sverige og Finland - M1:2 000 000*. Norges geologiske undersøkelse.
- TEGNER, C., ROBINS, B., REGINIUSSEN, H. & GRUNDTVIG, S. 1999. Assimilation of Crustal Xenoliths in a Basaltic Magma Chamber: Sr and Nd Isotopic Constraints from the Hasvik Layered Intrusion, Norway. *JOURNAL OF PETROLOGY*, 40, 363–380.
- THAKURTA J., RIPLEY, E. M. & LI, C. 2008. Geochemical constraints on the origin of sulfidemineralization in the Duke Island Complex, southeastern Alaska. *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 9.
- THUNEHED, H. 2012. TEM-survey at Reinfjord – survey and interpretation report.
- VRÅLSTAD, T. 1977. Svovelberget, Stjernesund, Alta. Norsk Hydro.
- WHITHOUSE, M. J. 2012. Multiple Sulfur Isotop Determination by SIMS: Evaluation of Reference Sulfides for $\Delta^{33}\text{S}$ with Observations and a case Study on the Determination of $\Delta^{36}\text{S}$. *Geostandards and Geoanalytical Research*.
- YEO, W. J. A. 1984. *The Melkevann ultramafic complex, Seiland Igneous Province, North Norway: Intrusive mechanisms and petrological evolution*. PhD, University of Bristol.

Vedlegg A: Kart med prøvepunkter, Reinfjord

Vedlegg A: Kart med prøvepunkter, Reinfjord.

Appendix A: Map with sampling points, Reinfjord

Vedlegg A: Kart med prøvepunkter, Rein fjord



Vedlegg B: Prøveliste

Appendix B: Sample list.

Vedlegg B: Prøveliste

Prøve	UTM-koordinater EUREF 89 (WGS84), Sone 34N	Bergart	Bergarts-mineraler	Tilleggs-mineraler	Tekstur	Sulfider	% sulfider	Kornstørrelse	Sulfid oppreden	Felt navn	Type prøve	Feltbeskrivelse/kommentar
	Øst (m)	Nord (m)										
Granatgneis:												
EØ11009	523151	7777759	Granatgneis	granat, pl, biotitt, kvarts	Grafitt, rutil, serpentin, mag	Foliert	po, cp, pn	< 0,1 % Bergart min.: < 1mm. Sulfider: < 0,1 mm		Granatgneis	Blotning	Granatgneis med rustforvitring. Noen små glinsende mineraler er mulig å se i lupe, kan være sulfidmineralisering. Prøven, som består av flere mindre steiner, er tatt spredt over steinbruddet. Relativt ferskt steinbrudd, kanskje 20 år (?).
EØ11010	523827	7778944	Granatgneis	granat, pl, biotitt, kvarts	Grafitt, rutil, serpentin, zirkon, mag, ilm	Foliert	-	Bergart min: < 1mm.	Ingen sulfider	Granatgneis	Blotning	Granatgneis med sulfidmineralisering. Tydelig rustforvitring på klippekant, ikke langt fra grensen til UM (50-100 m), dekt av ur.
Langstrand-gabbro:												
EØ11004	526296	7776883	Gabbro-norit	pl 80%, opx 10%	Amfibol (ortoamfibol), grafitt, mag		cp 90 %, po/mrc 10 %, py	Bergart min: 0,1 - 1,5mm sulfid: < 0,5mm	Interstitielle sulfider	Gabbro	Blotning	Stor parti med rustrik gabbro et stykke inn i selve gabbroen. Godt synlig rust. Klippepartiet er ca. 20 meter høyt, 50 meter langt. Lysere "normal" gabbro rundt.
EØ11005	526255	7776940	Norit	pl 75%, opx 20%, biotitt 5%	mag, ilm	Cumulus opx, intercumulus pl	po 60 %, cp 25 %, pn 15 %, py	Bergart min.: 0,2 - 1 mm Sulfider: < 0,5mm	Interstitielle sulfider	Gabbro	Blotning	"Lysere" gabbro med rust forvitring. Ser ut som det er sulfider (små) i fersk prøver (pentladitt?). Rustforvitringen går et stykke inn i prøven (5 cm). Prøven er tatt fra frittstående knaus av gabbro, med um-rx over--> interfingring(?)

Vedlegg B: Prøveliste

EØ11012	524145	7779009	Norit	pl 70%, opx 30%	Biotitt, lys glimmer < 1%, mag, ilm	Opx som cumulus, pl som intercumulus	cp, po, py		Bergart min.: 0,1 - 3 mm. Sulfid: < 0,2mm	Interste tielle sulfider	Gabbro	Blotning	Gabbro med sulfidmineralisering. Gabbro rundt, men et "felt" med mineralisering. Vanskelig å finne prøve pga forvitring. Prøven er tatt fra en klippe med sulfidmineralisering.
EØ12003	526517	7777321	Gabbro-norit	Pl 60%, opx 30%, cpx 10%	Limonite, ilm		po, cp	0,50 %	Bergart min.: <2mm	Interste tielle sulfider	Gabbro	Blotning	Orienteret prøve av gabbro (?). FF: 265 -> 36. Er det virkelig gabbro? Tatt på svabergsområdet, et lite stykke fra UM i området ved UM-tarmen.
EØ12006	525480	7776625	Norit	pl 70%, opx 30%	Ilm		po, cp, mrc		Bergart min.: < 1mm Sulfider: < 0,2mm	Interste tielle sulfider	Gabbro	Blotning	Orientering, FF: 190 --> 79. Sulfidlag i gabbro, 5m fra forkastning mot sentral series. Tydelig rustforvitring, men ikke lett å se sulfider. FF på laget prøven er tatt fra: 012 --> 40
EØ12013	526244	7777041	Gabbro-norit	pl 40%, opx 30%, cpx 20%	mag, ilm		po, mrc, pn, cp		Bergart min.: < 4 mm. Sulfider: < 0,3 mm	Interste tielle sulfider	Pegmatitt	Blotning	Prøven er tatt fra delvis rustforvitret pegmatittlag i gabbro. Ikke veldig langt fra MZ. Orienteret, FF: 123 --> 44. Kan se sulfider i prøve --> lyse.
EØ12014	526449	7776872	Norit	Pl 80%, opx 5%, cpx 15%	ilm		po, cp, pn	0,50 %	Bergart min.: < 1mm Sulfid: < 0,2 mm	Interste tielle sulfider	Gabbro	Blotning	Orienteret, FF: 288 --> 70. Gabbro? Tatt et stykke over uren i langstrandgabbroen. Relativt lys med mørke mineraler.
EØ12015	526466	7776894	Olivin-norit	ol 60%, opx 20 %, cpx 10%, pl 10%	mag, ilm	Cumulus ol og opx/cpx, intercumulus pl	po 60 %, cp 25 %, pn / pn (bravo) 15 %	2 %	Bergart min.: < 3mm. Sulfid: < 0,5 mm	Interste tielle sulfider	Pyroksen dunitt	Blotning	Orientering, FF: 227 --> 54. LS (pyroksen dunitt) gabbro rundt. Tolkning at det er et eks. på interfingering. Er sulfider i prøven. Tatt langt oppe i gabbroen. Bratt for prøvetakning.
EØ12016	526424	7776802	Gabbro	pl 80%, cpx 15%, ol 5%	Spinell, amfibol, biotitt, mag, ilm	-	-	-	Bergart min.: < 2mm		Gabbro	Blotning	Lys rx - gabbro?. Lysere enn det rundt. Massiv, vanskelig å prøveta. Masse rustforvitring. Klippeparti over snøfelt. Bratt.
Marginal sone, LMZ:													

Vedlegg B: Prøveliste

EØ11013	523816	7777248	Plagioklas- førende UM- bergart	cpx 40%, opx 30%, ol 20%, pl 10%	hornblende < 1%, mag, ilm	-	cp, py, po		Bergart min.: < 0,1mm - 4 mm. Sulfid: < 0,1mm	Symple ktitisk tekstur, cp og py	Pyroksenitt	Blotning	Pyroksenitt med sulfidmineralisering. Prøven er tatt i overgangssonen i et klippeparti. Ur over og under. Er til dels mye sulfidmineralisering på berget rundt. Stedvis bestod klippen av gabbro også.
EØ11014	523689	7777524	Plagioklas- hornblende pyroksenitt	cpx 40%, opx 35%, hornblende 15%, pl 10%	ilm, limonitt	opx/cpx cumulus, pl intercum ulus,	po / mrc 60 %, cp 20 %, pn (bravo) 20 %, py	3 %	Bergart min.: < 0,5 mm - 6 mm. Sulfid: < 1mm		Gabbro	Blotning	Mørk gabbro med sulfidmineralisering. Prøven er tatt i klippeparti i overgangssonen. Um-rx over, men vanskelig å anslå avstand pga ur. Sulfidmineraliseringen strekker seg over et større område.
EØ11015	523628	7778403	Plagioklasførende hornblende pyroksenitt	hornblende 10%, biotitt 10%, ol < 5%, opx 30%, cpx 40%, pl < 5%	mag, ilm	-	po 70 %, cp 15 %, pn 15 %, py	3 %	Bergart min.: < 0,1 - 6mm Sulfid: < 1mm		Gabbro	Blotning	Gabbro (?) med sulfidmineralisering fra overgangssonen. Prøven er tatt fra klippe med tydelig sulfidmineralisering (rust). Ca 50 meter til mer um-rx, men ur i mellom så vanskelig å anslå grensen nøyaktig. Mulig å se relativt store sulfidkorn. Dråpeformede sulfidkorn.
3222 T.S.Hansen 305			-	-	ilm, mag	-	cp, po, py, pn		Sulfider: < 2mm		-	-	- Polerslip fra LLS/marginal sone ved Småvatnan. Fra vertikalprofil.
3223 T.S.Hansen 307			-	-	-	-	pn, cp, po, mrc		Sulfider: < 5 mm		-	-	Fra LLS/marginal sone ved Småvatnan, fra vertikal profil.
3224 T.S.Hansen 308			-	-	ilm	-	cp, po, py, pn		Sulfider: < 3 mm		-	-	Fra LLS/marginal sone ved Småvatnan, fra vertikalprofil.
Marginal sone, UMZ:													

Vedlegg B: Prøveliste

EØ11003	526109	7776994	Websterit	opx 80%, cpx 20 %	mag,ilm		po / mrc 70%, cp 15 %, pn (bravo) 15 %	10 %	Bergart min.: < 4mm Sulfider: < 3mm	Interste tielle sulfider	Gabbro	Blotning	Sulfidrik gabbro (pyroksenitt?) fra overgangs sonen. Mye sulfid, rust på berget rundt, tilsynelatende stort område. Prøven (4 deler) tatt ca. midt i overgangs sonen. Hardt berg!
EØ11006	526246	7777229	Olivin gabbronoritt	ol 50%, cpx 20 %, pl 20%, opx 10%	amfibol	Cumulus ol/opx/cp x, intercum ulus pl	cp, po, pn		Bergart min.: < 2mm. sulfider: < 0,2 mm		Gabbro	Blotning	Sulfidrik gabbro. Mulig å se sulfidmineralisering. Prøven er tatt ca. 5m fra grensen til "normal" gabbro. Overgangssonen er i området smal, ca. 10 meter, med spredt og relativt lite sulfidmineralisering.
EØ11011	525175	7778536	Plagioklas- førende hornblende pyroksenitt	ol 40%, cpx 30%, opx 30%	pl (delvis omvandlet), amfibol (hornblende), mag	Opx/cpx cumulus, ol intercum ulus	po 50%, cp 30 %, pn 20%	5 %	Bergart min.: < 6 mm. Sulfider: < 0,5 mm	Interste tielle sulfider	Pyroksen dunitt	Blotning	Pyroksenitt/dunitt med sulfidmineralisering. Prøven er tatt ca. 300 (?) meter fra grensen mot gabbro, i et området med UM-rx. Sulfidmineraliseringen er mer eller mindre sammenhengende fra Storvannet og opp til prøve punkt.
EØ12004	526072	7776494	Lherzolit	ol 75%, cpx 15%, opx 10%	hornblende, spinell, ilm, mag		mrc 60 %, cp 20 %, pn (bravo) 20 %	10 %	Bergart min.: < 0,1 - 6 mm. sulfider: < 2mm	Interste tielle sulfider	Pyroksen dunitt	Blotning	Sulfider fra marginal sone. Orientert prøve, FF: 160 --> 34. UM-rx: pyroksen rik. Ser sulfider. Ikke langt fra grensen til forkastning og gabbro.
EØ12012	526154	7777113	Websterit	opx 60%, cpx 35%	ol < 5%, pl (omvandlede korn), amfibol, ilm, mag	-	cp, po, py, pn		Bergart min.: < 0,1 - 5mm. sulfider: < 0,5mm	Interste tielle sulfider	Pegmatitt	Blotning	Marginal sone. Pegmatittisk um-rx med rust forvitrig. Ser sulfider. Ikke orientert. Tett innpå gabbro, interfingering.
Marginal sone, NEMZ:													
EØ11001	527395	7779070	Olivin noritt	Pl 40%, opx 30%, ol 20%, cpx 10%	Amfibol (hornblende), mag	Cumulus opx og ol, intercum ulus pl	cp, po, pn		Bergart min.: < 4mm. Sulfider: < 0,5 mm		Gabbropegmatitt	Løsblokk	Gabbro pegmatitt: Coating, "lag" med sulfider (?) og magnetitt (magnetisk) i en gabbro. --> Opphav sulfidene er fra gabbroen, størknet før UM. Løsblokk, ikke fraktet langt. Gabbropegmatitt (blant annet plagioklas?) med sulfidmineraliseringer. Skjærer langstrandgabbroen. Prøve tatt ved en gabbro "raft"(xenolitt) nært grensen til UM (max 10 m til grensen).

Vedlegg B: Prøveliste

EØ11002	528024	7778829	Wehrlitt	ol 80%, cpx 15%, Amfibol (hornblende) 5%	Serpentin, mag, ilm	Serpentin isering	cp 80%, po / mrc 10%, pn (bravo) 10%	5 %	Bergart min.: < 4 mm Sulfider: < 1mm	Um-bergart	Løsblokk	Um rx med patches ("boller") av mer plagioklas. Sulfidmineralisering (Pyrrhotitt og chalcopyritt (kan se ut som det...)?) Løs blokk i ur, men ikke fraktet langt. Magnetisk. Fra Marginal sone, noen hundre meter til gabbroen.
LLS:												
3218 T.S.Hansen 133			-	-	mag, ilm	-	po, cp, pn		Sulfider: < 3 mm			Polerslip. LLS Bonjikkaldalen, fra vertikalprofil. Store fine sulfider.
3219 T.S. Hansen 203			-	-	mag, ilm	-	po, mrc, cp, pn (bravo)		Sulfider: < 2 mm			Kommentar: Polerslip. LLS fra vertikalprofil i Bonjikkaldalen. Fine sulfider, noen po er overvokst med mrc.
3221 T.S. Hansen 211			-	-	mag, ilm	-	po, cp, pn					Kommentar: Polerslip. LLS fra vertikalprofil i Bonjikkaldalen. Relativt få sulfider, men noen oksider.
ULS:												
EØ11007	525640	7777135	Dunitt	ol 70%, opx 15%, cpx 15%	Amfibol (hornblende) < 1%, mag	Cumulus ol, intercum ulus opx/cpx	po 70 %, cp 20 %, , pn 10 %	2 %	Bergart min.: < 1 mm - 5mm. sulfid: < 1mm	Pyroksen dunitt	Blotning	Pyroksen dunitt. Prøven er tatt i et større felt med sulfidmineralisering i pyroksen dunitten. Området ligger på en topografisk høyde, ca. 20 *20 meter. "Vanlig" pyroksen dunitt rundt. FIN PRØVE!
EØ12005	525847	7777103	Harzburgitt	ol 60%, opx 35 %, cpx %	amfibol < 1%, mag	Pegmatitt isk	po / mrc 70 %, cp 20%, pn 10%, py	3 %	Bergart min.: < 0,1mm - 6mm. Sulfider: < 1mm	Pegmatitt	Blotning	Orienteret prøve, FF: 026 --> 11. Pegmatitt gang i olivin pyroksenitt. Sulfid mineralisering. Gabbro xenolitt like i nærheten. Ikke veldig stor pegmatittgang, men er flere små i området.
EØ12007	525789	7777113	Websteritt	Cpx 80%, opx 15%, ol 5%	Amfibol (hornblende) < 2%, mag, ilm	Cumulus cpx/opx, intercum ulus ol	cp, po, pn		Bergart min.: < 2 mm (ett korn ca. 5mm) Sulfider: < 1,5mm	Pegmatitt	Blotning	Orientering, FF: 202--> 35. Del av grovkornet pegmatitt pyroksen dunitt rundt relativt lite område med pegmatitt, men stedvis ekstremt grovkornet. Mulig å se sulfider i prøven. Er magnetisk.
EØ12008	525712	7777041	Olivin ortopyrokse nitt	opx 85%, ol 10%, cpx < 5%	Amfibol, ilm, mag, limonitt, cr-min	Oksid i cpx oikocryst	po 70 %, cp 20 %, pn 10 %	1 %	Bergart min.: < 15 mm. Sulfider: 0,5 - 1 mm (et korn er 1 mm)	Pegmatitt	Blotning	Orientering FF: 070 --> 40. Grovkornet pegmatitt i LS-pyroksen dunitt. Pegmatitten dekker et større område, men er fortsatt forholdsvis liten.

Vedlegg B: Prøveliste

EØ12009	525564	7777159	Klinopyroks enitt	cpx 95%, ol 5%	ilm		po 70 %, cp 20 %, pn 10 %	2 %	Bergart min.: < 4mm. Sulfider: <0,4mm	Pyroksenitt	Bløtting	Orientering, FF: 061 --> 10. Ukjent rx, men ligner pyroksenitt. Ligger som en xenolitt i dunit (CS). Er mørk, relativt massiv. Markku og Mona lurte også på hva dette er?
EØ12010	525930	7777286	Dunit	ol 70%, cpx 30%	mag	Cumulus ol, intercum ulus cpx	po, cp	< 1 %	Bergart min.: < 3mm. Sulfider: < 0,3mm	Pegmatitt	Bløtting	Pegmatitt like ved gabbro dyke (intrusjon). Blottet pegmatittområde ca. 1 m * 0,5m. Magnetisk. Ikke orientert prøve. Mulig å se sulfider i pegmatitt området. Serpentinisering.
EØ12011	525902	7777184	Lherzollitt	ol 50%, cpx 40%, opx 10%	mag, ilm	Cumulus px, intercum ulus ol	mrc 60 %, cp 20 %, pn (bravo) 20 %	3 %	Bergart min.: <0,1 - 5mm. Sulfid: < 1mm	Pegmatitt	Bløtting	Pegmatitt dike med tydelig rustforvitring opptil 0,5m tykk. Ser sulfider i prøven. Orientert, FF: 030 --> 15. RX rundt er olivin pyroksenitt.
3214 T.S.Hansen 4			-	-	-		cp, py, pn		Oksid: < 4mm Sulfid: < 0,5 mm	-	-	Kommentar: Polerslip fra ULS. Bekkefar ned fra Lake District.
CS:												
EØ11008	525422	7776909	Harzburgitt	ol 85%, cpx 10%, opx 5%,	mag, ilm, cr-min, limonitt		mrc 60 %, cp 20 %, pn (bravo) 20 %	3 %	Bergart min.: < 1 - 5 mm. Sulfid: < 0,1 - 0,5 mm	Olivin pyroksenitt	Bløtting	Olivin pyroksenitt med sulfidmineralisering. Overgangssonen? Ser sulfidkorn. Prøven er tatt i skaret mellom de to bekkene (se kart). Olivin pyroksenitt rundt. Sulfidmineralisering jevnt over i området.
EØ11016	525252	7776865	Lherzollitt	ol 40%, cpx 40%, opx 20%,	pl < 1%, hornblende < 1%, ilm		po 70 %, cp 20 %, , pn 10%	3 %	Bergart min.: < 0,1 mm - 8 mm. Sulfider: < 1mm	Pyroksen dunit	Bløtting	Sulfidmineralisering, pyroksen dunit. Overgangssonen. Større felt med sulfidmineralisering. Gabbro ca. 100 vekke (ur i mellom). Ser sulfider tydelig i prøven.
1-5040-5050	525667	7777018	Dunit	OI 90%, cpx 10%	mag, ilm	Cumulus ol, intercum ulus cpx.	cp, po, pn		Bergart min.: < 2mm . Sulfider <0,3mm	-	Borekjerne	Prøve fra borehull 1.
1-5580-5600	525667	7777018	Dunit	OI 90%, opx 8 %, cpx 2%	-	Cumulus ol, intercum ulus px.	po, cp, pn		Bergart min.: < 6mm . Sulfider < 0,3mm	-	Borekjerne	Prøve fra borehull 1.

Vedlegg B: Prøveliste

1-601-611	525667	7777018	Olivin webseritt	cpx 40%, opx 30%, ol 30%	Hornblende, spinell, mag	Cumulus opx/cpx, intercum ulus ol	po, cp, pn		Bergart min.: < 3 mm . Sulfider < 0,5 mm			Borekjerne	En del omvandling i prøven, spesielt langs ”sprekk” hvor spinell opptrer.
1-7203-7218	525667	7777018	Dunit	ol 90%, omvandlings mineraler ca.10%	mag/Cr		po, cp, pn		Bergart min.: < 3 mm . Sulfider < 0,5 mm	Interste ielle sulfider		Borekjerne	-
1-8600-8619	525667	7777018	Dunit	ol 95%, 5% omvandlings min	mag, ilm		po, cp, pn		Bergart min.: < 2 mm . Sulfider < 1 mm			Borekjerne	Olivin med noen soner med finkornets omvandlings mineraler, langs kornrensere til olivin.
1-8782-8800	525667	7777018	Dunit	ol 90%, noe omvandlings mineraler 10 %	ilm, mag/Cr		po, cp, pn, py		Bergart min.: < 4 mm . Sulfider < 1 mm			Borekjerne	Symplektitt cp og py, interstetie sulfider. Like over Ni+Cu lag...
1-8964-8976	525667	7777018	Dunit	ol 99%, noe omvandlings min.	mag, ilm		po 60 %, cp 30 %, pn 10 %, py	3 %	Bergart min.: < 3 mm . Sulfider < 1 mm			Borekjerne	Ni+Cu-horisont. Symplektitt cp og py.
1-9995-10012	525667	7777018	Dunit	ol 95%, omvandlings mineraler 5%	mag, ilm	-	po, cp, pn		Bergart min.: < 2 mm . Sulfider < 1 mm			Borekjerne	Prøve fra borehull 1.
1-10890-10900	525667	7777018	Dunit	opx 85%, ol 15%		Cumulus ol, intercum ulus opx	po 65 %, cp 25 %, pn 10 %	2 %	Bergart min.: < 10 mm . Sulfider < 1 mm			Borekjerne	PGE-horisont. Pegmatittisk.

Vedlegg B: Prøveliste

1-10945-10955	525667	7777018	Olivin webseritt	cpx 40 %, opx 40%, ol 20%		Cumulus px, intercum ulus ol	po 65 %, cp 25%, pn 10 %	2 %	Bergart min.: < 5 mm . Sulfider < 4 mm		'	Borekjerne	PGE-horisont. Pegmatittisk.
1-11680-11692	525667	7777018	Dunit	ol 95%, cpx5%	mag, ilm	Cumulus ol, intercum ulus cpx	po, cp, pn		Bergart min.: < 6 mm . Sulfider < 1 mm		'	Borekjerne	PGE-horisont. Pegmatittisk
1-12767-12784	525667	7777018	Dunit	ol 95%, ca. 5% omvandrings mineraler	mag/Cr, ilm	-	po, cp, pn		Bergart min.: < 4 mm . Sulfider < 0,5 mm		'	Borekjerne	Prøve fra borehull 1.
1-14500-14516	525667	7777018	Dunit	ol 100%	mag/Cr	-	Po		Bergart min.: < 2 mm . Sulfider < 0,1 mm		'	Borekjerne	Serpentinisering. Kun et fåtalls sulfidkorn observert.
1-14800-14816	525667	7777018	Dunit	ol 98%, cpx 2 %	mag	-	po		Bergart min.: < 3 mm . Sulfider < 0,1 mm		'	Borekjerne	Serpentinisering. Kun et fåtalls sulfidkorn observert.
2-12243-12258	525452	7777166	Dunit	ol 70%, cpx 15%, opx 15%	mag, ilm	Cumulus ol, intercum ulus px	cp, po, gedigent Cu, pn		Bergart min.: < 3 mm . Sulfider < 0,5 mm		'	Borekjerne	Prøve fra borehull 2.
2-12333-12343	525452	7777166	Dunit	ol 80%, cpx 20%	mag, ilm	Cumulus ol, intercum ulus cpx	gedigent Cu, po, cp		Bergart min.: < 3 mm . Sulfider < 1 mm		'	Borekjerne	Prøve fra borehull 2.

Vedlegg B: Prøveliste

2-12603-12622	525452	7777166	Dunitt	ol 85%, opx 15%	Mag/Cr	Cumulus ol, intercumulus opx	po 60 %, cp 30 %, pn 9 %, gedigent Cu < 1%, cub	4 %	Bergart min.: < 3 mm . Sulfider < 3 mm		Borekjerne	Prøve fra borehull 2. Intersteielle sulfider.
Dykes:												
EØ12001	525555	7777067	Pyroksen hornblende gabronoritt	amfibol 65%, pl 25%, opx 10%	apatitt, cpx, mag, ilm		cp, py, po, pn	2 %	Bergart min.: < 1mm Sulfider: < 0,2 mm		Dyke	Lys rx. Dyke i ULS. Vestentlig mer vegetasjon (lav) enn på bergartene rundt. Kan være tegn på fosfor, som Markku kommenterte at noen prøveresultater viste mye av. Kanskje apatitt i diken?
EØ12002	526014	7777875	Dyke	kromitt	ilm, mag		cp, po	<0,1 %	Sulfider: < 0,1mm	99 % opak		Mørk rx, magnetisk, tung. I sprekk i dunitt (CS). Metallisk utseende, på en måte som kull. Relativt lite område, men stilig. Skiller seg ut. I et område med mye omvandling i dunitten --> skjærsone.
Lokkarfjord:												
L1	559723	7792129	Olivin pyroksen Hornblenditt	amfibol (hornblende) 50%, ol 35%, opx 15%	spinell, mag, ilm, limonitt		po / mrc, cp, pn (bravo)	15 %	Bergart min.: < 1mm. Sulfid: < 2mm	Intersteielle sulfider		Prøve tatt av Markku 2011: Rusty, bit rounds, sulphides
L1003	559740	7792121	Hornblende peridotitt	ol 65%, amfibol (hornblende) 35%	spinell, mag, ilm, limonitt		cp, po / mrc, pn (bravo)		Bergart min.: < 2 mm. Sulfid: < 3mm	Intersteielle sulfider		Opak fase utgjør 25 %. Prøve tatt av Markku 2011: Very rusty, sulphide mineralized, 1.0*1.0*0.6 cubic m.
L1012A	559708	7792069	Hornblende peridotitt	ol 60%, amfibol (hornblende) 40%	spinell, mag, ilm, limonitt		po/mrc 70%, cp 20 %, pn (bravo) 10 %	10 %	Bergart min.: < 3 mm Sulfider: < 3mm	Intersteielle sulfider		Prøve tatt av Markku 2011: Reasonable sulphide dissemination, Profile L1010-L6-L1011-L1012-L7-L8
L1012B	559708	7792069	Hornblende peridotitt	ol 60%, amfibol (hornblende) 40%	spinell, mag, ilm, limonitt		po/mrc 70%, cp 20 %, pn (bravo) 10 %	10 %	Bergart min.: < 3 mm Sulfider: < 3mm	Intersteielle sulfider		Prøve tatt av Markku 2011: Reasonable sulphide dissemination, Profile L1010-L6-L1011-L1012-L7-L9

Vedlegg C: Strukturdata.

Appendix C: Structural data.

Vedlegg C: Strukturdata

Navn	Øst (m)	Nord (m)	Fall	Fallvinkel	Kommentar
FF001	525799	7776989	333	22	Olivin pyroksenitt
FF002	525778	7777012	350	8	Olivin pyroksenitt
FF003	525760	7777119	340	22	Olivin pyroksenitt
FF004	525705	7777292	80	11	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FF005	526068	7777347	80	23	Olivin pyroksenitt
FF006	526234	7777326	294	12	Olivin pyroksenitt
FF007	526182	7777303	330	32	Olivin pyroksenitt
FF008	525989	7777379	112	15	Pyroksen dunitt / olivin pyroksenitt
FF009	523828	7778947	90	34	Granatgneis (foliasjon)
FF010	524368	7778952	40	14	Gabbro
FF011	525060	7778669	104	30	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FF012	525174	7778531	70	20	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FF013	523924	7777502	100	10	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FF014	523689	7778390	90	8	Gabbro
FF015	525074	7777572	94	15	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FF016	524731	7777454	55	18	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FF017	524890	7777576	85	10	Pyroksen dunitt (modal lagdeling),
FF018	525078	7778130	94	17	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FF019	524983	7777295	109	8	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FF020	524992	7777318	82	10	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FF021	524931	7777239	118	13	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE022	526822	7777616	22	15	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE023	526518	7777955	90	8	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE024	526324	7777889	124	20	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE025	526177	7777817	360	20	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE026	526082	7777711	100	22	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE027	526071	7777648	65	18	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE028	525547	7776539	14	40	Gabbro
FFE029	525403	7776496	20	28	Gabbro
FFE030	525354	7776470	18	33	Gabbro
FFE031	525244	7776447	6	30	Gabbro
FFE032	525248	7776366	20	28	Gabbro
FFE033	525325	7776386	32	27	Gabbro
FFE034	525505	7776374	44	28	Gabbro
FFE035	525695	7776370	20	35	Gabbro
FFE036	525768	7776338	10	33	Gabbro
FFE037	526024	7776366	20	42	Gabbro
FFE038	526009	7776524	40	15	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE039	525925	7776569	64	20	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE040	525856	7776981	28	19	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE041	525962	7776974	48	13	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE042	526018	7777017	30	15	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE043	525932	7777109	5	16	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE044	525830	7777175	38	14	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE045	525783	7777218	70	12	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)

Vedlegg C: Strukturdata

Navn	Øst (m)	Nord (m)	Fall	Fallvinkel	Kommentar
FFE046	525827	7777369	134	4	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE047	525893	7777289	98	8	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE048	525985	7777246	43	9	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE049	525982	7777157	321	33	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE050	526061	7777124	310	23	Pyroksenitt
FFE051	526152	7777081	124	17	Pyroksenitt
FFE052	526274	7777097	300	11	Gabbro
FFE053	526031	7777289	98	17	Pyroksenitt
FFE054	526154	7777499	50	9	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE055	526225	7777441	347	24	Pyroksenitt
FFE056	525878	7777436	154	17	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE057	525988	7776674	53	9	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE058	526085	7776727	15	14	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE059	526097	7776891	30	14	Pyroksenitt
FFE060	525636	7777037	315	13	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE061	525601	7777120	25	13	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE062	525319	7777073	106	20	Dunitt (m/ pyroksen)
FFE063	525140	7777340	81	10	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFE064	525120	7777440	94	8	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFL001	526552	7777876	350	8	
FFL002	526550	7777883	334	24	
FFL003	526488	7777846	77	10	
FFL004	524876	7777303	92	18	Layered series
FFL005	524880	7777289	73	10	Pyroksen dunitt (modal lagdeling)
FFL006	524894	7777265	92	10	Pyroksen dunitt
FFL007	524894	7777255	100	8	Dunitt (CS?)
FFL008	524634	7777355	102	32	Gabbro
FFL009	524634	7777355	66	15	Gabbro
FFL010	525306	7777665	110	12	Dunitt
FFL011	525280	7777682	32	8	Pyroksen dunitt
FFL012	525243	7777711	18	12	Olivin pyroksenitt (ULS)

Vedlegg D: Mikrosonderesultater, silikater.

Mikrosonderesultater, silikater. Alle tall i wt %.

Appendix D: Silicate results from the microprobe. All numbers in wt %.

Vedlegg D: Mikrosonderresultater, silikater

Prøve	Al ₂ O ₃	MgO	Cl	Cr ₂ O ₃	SiO ₂	Na ₂ O	P ₂ O ₅	MnO	K ₂ O	FeO	CaO	NiO	TiO ₂	CuO	ZrO ₂	Total	Kommentar
L1.1	16,859	10,496	0,081	0	38,839	2,945	0,047	0,144	0,839	12,261	11,255	0,074	2,058	0,029	0	95,909	amf
L1.2	16,611	10,785	0,063	0	39,527	3,034	0,071	0,168	0,818	12,32	11,042	0,047	1,856	0,012	0	96,34	amf
L1.3	58,315	9,444	0	0,024	0	0,132	0	0,289	0	28,851	0	0,176	0,031	0,006	0	97,268	Spinell
L1.4	58,367	9,465	0,005	0,034	0	0,103	0	0,221	0	29,041	0	0,208	0	0	0,034	97,477	Spinell
L1.5	58,472	9,735	0	0,044	0	0,18	0	0,254	0	28,375	0,018	0,146	0,001	0,026	0,034	97,285	Spinell
L1.6	10,78	9,085	0,007	0	43,278	0,489	0	0,179	0,002	8,142	21,914	0,015	2,395	0,006	0,068	96,358	Amf
L1.7	10,818	9,139	0,003	0	43,553	0,484	0	0,223	0	8,201	21,66	0,071	2,428	0,087	0	96,666	Amf
L1.8	0,058	1,685	0	0,013	0	0	0	1,065	0,016	48,765	0	0,009	48,714	0,054	0	100,379	Ilmenitt
L1.9	0,051	1,71	0,001	0,011	0	0	0,037	1,118	0	49,077	0	0,026	48,7	0	0	100,731	Ilmenitt
L1.10	0,029	1,831	0,025	0,01	0	0	0,049	1,115	0,009	48,567	0	0,014	49,48	0	0,007	101,13	Ilmenitt
L1.11	16,339	11,084	0,046	0,01	39,724	2,965	0,066	0,129	0,741	12,125	10,879	0,034	1,987	0,06	0	96,179	Amf
L1.12	16,798	10,714	0,068	0	38,845	2,88	0,028	0,094	0,795	11,981	11,385	0,01	2,001	0	0	95,584	Amf
L1.13	1,037	0,154	0,003	0,035	0,077	0	0,022	0,041	0	93,72	0	0,045	0,373	0,013	0	95,519	Mag
L1.14	0,432	0,097	0	0,028	0,055	0	0,009	0,02	0,006	94,157	0	0,035	0,213	0	0	95,052	Mag
L1.15	0,023	0	0,035	0,001	4,41	0	0,083	0	0,009	78,964	0	0	0,014	0	0,063	83,594	Limonite
L1.16	0,398	0	0,048	0,009	2,916	0,031	0	0	0,005	80,974	0	0,04	0	0,158	0	84,568	Limonite
L1.17	0,395	0	0,022	0	1,811	0,073	0,052	0	0,009	81,348	0	0,03	0	0,03	0,134	83,899	Limonite
L1.18	0,071	1,573	0	0,015	0	0,05	0,045	1,318	0,005	47,573	0	0,007	49,439	0	0,112	100,208	ilmenitt
L1.19	0,013	1,575	0,006	0	0	0	0,029	1,211	0,013	46,997	0	0,02	49,292	0,011	0,067	99,233	ilmenitt
L1.20	0,086	1,608	0,006	0	0	0,026	0	1,246	0	46,955	0	0	48,979	0,137	0,06	99,102	ilmenitt
L1.21	58,396	10,211	0,002	0,033	0,138	0,085	0	0,263	0	26,95	0,031	0,123	0	0,02	0	96,252	Spinell
L1.22	59,577	10,47	0,005	0,033	0	0,096	0	0,23	0	25,858	0,013	0,168	0	0	0	96,449	Spinell
L1.23	59,654	10,557	0,006	0,026	0,153	0,081	0	0,252	0	26,303	0,009	0,11	0,037	0,121	0	97,308	Spinell
2-12243-12558.1	21,375	5,269	0	26,203	0	0,007	0	0,391	0	43,716	0	0,149	0,961	0,006	0	98,077	Al-rik kromitt
2-12243-12558.2	21,708	5,554	0	24,345	0	0,045	0	0,326	0	44,119	0	0,193	0,865	0,051	0	97,206	Al-rik kromitt
2-12243-12558.3	22,593	5,659	0	25,147	0	0,018	0	0,37	0,01	43,54	0	0,12	0,84	0,06	0	98,357	Al-rik kromitt
2-12243-12558.4	6,633	2,262	0	18,474	0	0	0,026	0,391	0	67,934	0	0,329	3,368	0	0	99,417	Al-fattig kromitt

Vedlegg D: Mikrosonderresultater, silikater

Prøve	Al2O3	MgO	Cl	Cr2O3	SiO2	Na2O	P2O5	MnO	K2O	FeO	CaO	NiO	TiO2	CuO	ZrO2	Total	Kommentar
2-12243-12558.5	4,872	1,976	0	19,836	0,115	0	0	0,378	0	66,935	0	0,3	3,186	0,027	0,008	97,633	Al-fattig kromitt
2-12243-12558.6	4,521	1,768	0	18,243	0,022	0	0,047	0,347	0	68,488	0	0,232	2,816	0,038	0	96,522	Al-fattig kromitt
2-12243-12558.7	20,066	4,849	0	26,437	0,026	0,06	0	0,357	0	44,956	0	0,083	0,931	0,019	0	97,784	Al-rik kromitt
2-12243-12558.8	17,241	4,218	0	25,946	0	0	0	0,408	0	49,175	0	0,102	0,823	0,079	0	97,992	Al-rik kromitt
2-12243-12558.9	0	42,444	0,013	0,016	39,94	0,038	0,005	0,196	0	15,743	0	0,14	0	0	0	98,532	ol
2-12243-12558.10	0,001	42,226	0	0,008	40,19	0,001	0,01	0,198	0	15,903	0	0,126	0,016	0	0,027	98,706	ol
2-12243-12558.11	0,018	42,073	0,013	0,002	39,969	0	0,049	0,198	0,012	15,867	0	0,221	0,036	0,031	0	98,486	ol
2-12243-12558.12	0	42,612	0,005	0,022	40,325	0,009	0	0,211	0,006	15,212	0	0,12	0	0,064	0,062	98,647	ol
2-12243-12558.13	0,025	42,246	0	0,022	40,097	0,008	0,034	0,186	0,021	15,754	0	0,195	0,008	0,009	0,053	98,658	ol
2-12243-12558.14	0,01	42,229	0,023	0	40,081	0	0,01	0,184	0,012	15,637	0,001	0,211	0	0	0	98,393	ol
1-8600-8619.1	0	43,159	0,012	0	40,368	0,008	0	0,241	0,025	14,437	0,046	0,168	0,007	0	0,062	98,53	ol
1-8600-8619.2	0,005	43,163	0,005	0	39,986	0	0,019	0,206	0,023	14,453	0	0,205	0	0	0,035	98,099	ol
1-8600-8619.3	0,008	43,067	0	0	40,421	0,016	0,015	0,169	0	14,178	0	0,209	0	0	0	98,083	Ol
1-8600-8619.4	0	43,608	0,016	0	40,455	0,003	0	0,169	0	14,33	0	0,223	0	0,008	0,062	98,87	Ol
1-8600-8619.5	0	43,073	0,007	0	40,145	0,003	0	0,187	0	14,595	0,002	0,136	0	0,022	0	98,168	ol
1-8600-8619.6	22,486	6,065	0	29,471	0	0,064	0,009	0,324	0	38,713	0	0,07	0,419	0,005	0,056	97,682	Al-rik kromitt
1-8600-8619.7	22,508	6,07	0	29,549	0	0,013	0	0,303	0,007	38,29	0	0,129	0,428	0,042	0,032	97,371	Al-rik kromitt
1-8600-8619.8	23,461	6,29	0	29,526	0	0,013	0	0,36	0,003	37,301	0	0,066	0,457	0	0	97,477	Al-rik kromitt
1-8600-8619.9	0,02	5,21	0,004	0,283	0	0,035	0	0,612	0,007	42,211	0	0,01	52,252	0	0,067	100,71	Ilmenitt
1-8600-8619.10	0,014	5,271	0	0,247	0	0,018	0	0,568	0	42,283	0	0	52,097	0,054	0	100,552	Ilmenitt
1-8600-8619.11	0,053	5,238	0	0,258	0	0	0,02	0,583	0	42,058	0	0,054	51,669	0	0	99,933	Ilmenitt
1-8600-8619.12	0,054	43,188	0,011	0,023	40,145	0	0	0,184	0,002	14,597	0	0,304	0,001	0,037	0	98,544	ol
1-8600-8619.13	0,005	43,303	0	0	40,182	0	0	0,135	0	14,679	0	0,175	0	0,112	0,106	98,697	ol
1-8600-8619.14	0	43,315	0,005	0,011	40,255	0,015	0,044	0,21	0,013	14,739	0	0,214	0,05	0,038	0,053	98,961	ol
1-8600-8619.15	0,063	5,216	0	0,38	0	0	0	0,588	0,006	42,494	0	0,062	51,4	0,037	0,015	100,261	ilmenitt
1-8600-8619.16	0,156	5,256	0	0,525	0,049	0,043	0	0,527	0	42,382	0	0,06	52,274	0	0,03	101,302	ilmenitt
1-8600-8619.17	25,954	6,967	0	27,29	0	0,056	0	0,363	0	36,534	0	0,088	0,47	0	0	97,722	Al-rik kromitt
1-8600-8619.18	26,572	7,067	0	26,969	0,004	0,007	0,018	0,306	0,004	36,644	0	0,086	0,47	0	0,113	98,26	Al-rik kromitt
1-8600-8619.19	0,045	5,123	0	0,505	0,057	0,026	0,02	0,496	0	42,552	0	0,021	51,162	0,044	0,097	100,148	Ilmenitt

Vedlegg D: Mikrosonderresultater, silikater

Prøve	Al2O3	MgO	Cl	Cr2O3	SiO2	Na2O	P2O5	MnO	K2O	FeO	CaO	NiO	TiO2	CuO	ZrO2	Total	Kommentar
1-8600-8619.20	0,02	5,209	0	0,2	0,077	0,003	0	0,51	0	43,013	0	0,117	51,426	0	0,06	100,635	Ilmenitt
1-8600-8619.21	0	43,529	0	0,013	40,546	0,006	0,02	0,198	0	14,578	0,01	0,156	0,018	0	0	99,074	ol
1-8600-8619.22	0,022	43,896	0,006	0,043	40,279	0	0,063	0,139	0,004	14,457	0,011	0,204	0	0,051	0,071	99,245	ol
1-8600-8619.23	0,002	43,748	0	0	40,485	0	0	0,19	0,007	14,409	0	0,255	0,013	0,01	0	99,119	ol
EØ11013.1	13,406	12,567	0,023	0,802	43,39	2,374	0	0,086	0,438	9,733	10,81	0,081	2,419	0	0,052	96,176	Amf
EØ11013.2	1,093	15,006	0,011	0,178	54,474	0,325	0,033	0,186	0,003	4,869	21,77	0	0,465	0,059	0,043	98,513	pyroksen
EØ11013.3	5,137	12,948	0	0,413	50,259	0,75	0	0,092	0	5,502	21,05	0	1,227	0,103	0,034	97,515	opx
EØ11013.4	5,058	13,073	0,002	0,377	51,442	0,736	0,024	0,09	0,002	5,593	20,831	0,053	1,093	0,022	0,146	98,542	opx
EØ11013.5	3,985	13,765	0,008	0,4	51,99	0,62	0,028	0,086	0	5,623	20,722	0,014	0,828	0,078	0	98,145	opx
EØ11013.6	4,536	13,148	0	0,441	51,207	0,746	0,005	0,154	0	5,328	21,343	0,026	1,127	0	0	98,061	opx
EØ11013.7	28,846	0,069	0,005	0,008	54,234	4,831	0,044	0,038	0,049	0,072	11,038	0	0	0	0	99,233	pl
EØ11013.8	31,317	0,035	0,008	0	50,125	2,921	0,092	0,012	0,021	0,095	14,125	0	0	0,034	0,106	98,889	pl
EØ11013.9	23,745	0,04	0,013	0,013	62,054	7,34	0,035	0	0,135	0,234	5,667	0	0	0	0,036	99,309	pl
EØ11013.10	26,585	0,006	0	0,003	57,901	6,066	0,02	0	0,084	0,098	8,636	0	0	0,001	0,027	99,427	pl
EØ11013.11	12,943	13,043	0,004	0,484	43,721	2,503	0,038	0,032	0,522	9,624	10,839	0,025	2,577	0	0,009	96,363	amf
EØ11013.12	13,045	12,833	0,036	0,545	43,332	2,396	0,047	0,077	0,695	9,426	11,282	0,001	2,964	0,04	0	96,711	amf
EØ11013.13	13,407	12,518	0,035	0,702	43,034	2,533	0,095	0,102	0,752	9,681	11,021	0,049	3,002	0,026	0,026	96,975	amf
EØ11013.14	6,744	13,827	0	0,473	49,044	1,146	0,066	0,171	0,01	7,019	15,467	0,043	1,186	0,043	0,009	95,248	opx
EØ11013.15	4,654	13,284	0,013	0,35	50,895	0,557	0,009	0,097	0,009	5,528	20,977	0,047	1,051	0,017	0	97,485	opx
EØ11013.16	4,495	13,358	0,018	0,397	50,957	0,533	0,033	0,144	0,004	5,212	21,619	0,015	1,026	0	0,077	97,884	opx
EØ11013.17	3,414	14,854	0	0,206	52,416	0,36	0,005	0,161	0	4,951	21,359	0,01	0,616	0,036	0,017	98,405	opx
EØ11013.18	5,391	13,74	0	0,404	50,605	0,755	0	0,102	0	5,023	20,421	0,006	1,192	0,051	0,043	97,733	opx
EØ11013.19	0,032	38,722	0,007	0	39,46	0,046	0,043	0,294	0	20,984	0	0,162	0	0,057	0	99,805	ol
EØ11013.20	0,001	38,553	0,02	0,041	39,663	0,035	0,029	0,288	0,004	21,183	0	0,067	0,018	0	0	99,897	ol
EØ11013.21	2,119	27,486	0,024	0,1	55,209	0,001	0	0,263	0,023	13,589	0,412	0,038	0,165	0	0	99,424	cpx
EØ11013.22	1,514	28,049	0,011	0,047	55,847	0,003	0,039	0,291	0,015	13,36	0,212	0,016	0,04	0,005	0,036	99,483	cpx
EØ11013.23	4,515	14,253	0	0,304	51,029	0,537	0,009	0,147	0,028	6,8	18,938	0,032	1,09	0	0	97,682	opx
EØ11013.24	3,939	18,185	0,001	0,363	52,06	0,269	0,043	0,218	0	12,803	8,92	0,073	0,49	0	0,087	97,451	Opx
EØ11013.25	28,92	0	0,005	0	53,833	4,436	0	0	0,056	0	11,272	0	0	0,016	0,009	98,546	pl

Vedlegg D: Mikrosonderresultater, silikater

Prøve	Al2O3	MgO	Cl	Cr2O3	SiO2	Na2O	P2O5	MnO	K2O	FeO	CaO	NiO	TiO2	CuO	ZrO2	Total	Kommentar
EØ11013.26	29,35	0	0,005	0	53,397	4,253	0,054	0,017	0,019	0,053	11,464	0	0	0,018	0,035	98,664	pl
EØ11013.27	29,34	0	0,025	0	53,172	4,151	0,029	0	0,019	0,047	11,321	0	0	0	0,027	98,125	pl
1-11680-11692.1	0,004	30,854	0,012	0,026	29,504	0,024	0	0,263	0,03	4,391	11,509	0,414	0	0	0,017	77,045	Reaksjonsrand?
1-11680-11692.2	0,001	40,216	0	0,001	40,237	0	0,039	0,203	0,004	18,811	0	0,229	0	0,1	0,009	99,85	ol
1-11680-11692.3	0	39,908	0	0,031	39,998	0	0,029	0,229	0	18,736	0	0,172	0,008	0	0	99,111	ol
1-11680-11692.4	0	39,975	0,018	0,026	39,811	0,009	0	0,236	0	19,197	0	0,237	0	0,025	0,035	99,565	ol
1-11680-11692.5	0,018	40,122	0	0	39,942	0,017	0	0,275	0,01	18,792	0	0,261	0,017	0,032	0,07	99,556	ol
1-11680-11692.6	3,877	15,601	0	0,505	52,088	1,063	0,014	0,054	0	3,604	19,19	0,046	0,576	0,049	0,034	96,701	pyroksen
1-11680-11692.7	3,646	15,197	0	0,432	52,623	0,859	0,028	0,108	0,014	3,673	20,524	0,05	0,749	0	0,051	97,954	pyroksen
1-11680-11692.8	0,594	28,795	0,002	0,102	56,472	0,015	0	0,34	0,025	12,38	0,218	0,076	0,049	0	0,072	99,14	ol
1-11680-11692.9	0,061	39,974	0,023	0	40,125	0	0	0,192	0	18,566	0,043	0,178	0	0,073	0	99,23	ol
1-11680-11692.10	0	34,589	0,058	0,002	36,823	0	0	0,224	0	6,817	0,019	0,281	0	0	0,036	78,836	ol
1-11680-11692.11	0,039	19,067	0	0	0	0,024	0,042	0,118	0,005	2,327	25,691	0,008	0,013	0,068	0,008	47,41	Talk
1-11680-11692.12	0	49,739	0	0,047	48,932	0	0	0,304	0,007	23,224	0	0,225	0,003	0	0,022	122,503	Olivin?
1-11680-11692.13	0	40,217	0	0,024	39,888	0,018	0,024	0,211	0,03	18,462	0,015	0,235	0,016	0	0	99,14	ol
1-11680-11692.14	0	40,136	0	0,001	39,713	0	0,01	0,22	0,001	18,587	0,028	0,215	0,017	0	0,044	98,972	ol
1-11680-11692.15	0,019	39,867	0	0,025	39,56	0	0	0,223	0,004	18,933	0,023	0,498	0	0,039	0	99,191	ol
1-11680-11692.16	0	39,941	0,022	0,011	39,829	0	0,082	0,195	0,001	18,848	0	0,174	0	0,004	0	99,102	ol
1-11680-11692.17	0	40,135	0	0	39,859	0	0,063	0,242	0,004	18,845	0	0,214	0	0	0	99,362	ol
1-11680-11692.18	0	39,854	0,007	0	39,874	0	0,082	0,273	0	18,797	0	0,242	0	0,004	0	99,131	ol
1-11680-11692.19	0,002	32,912	0,032	0,022	35,691	0	0,029	0,256	0,004	8,999	0,066	0,193	0	0,079	0	78,278	ol
1-11680-11692.20	0,012	40,076	0,019	0	40,148	0	0,077	0,229	0	18,671	0	0,142	0	0,014	0	99,384	ol
1-11680-11692.21	0	39,951	0	0	40,015	0,013	0,073	0,237	0	18,725	0	0,13	0,017	0,04	0,044	99,245	ol
1-11680-11692.22	0,001	40,19	0,017	0	39,89	0	0,039	0,234	0,005	18,829	0	0,209	0	0,111	0,114	99,635	ol

Vedlegg E: Mikrosonderesultater, sulfider.

Mikrosonderesultater, sulfider. Alle tall i wt %.

Appendix E: Sulphides results from the microprobe. All numbers in wt %.

Vedlegg E: Mikrosonderresultater, sulfider.

Prøve	Mineral	S	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	Total
L1,S1	cp	34,74	0,05	0,00	32,98	32,32	0,00	2,31	0,00	102,39
L1,S2	cp	34,77	0,08	0,00	33,85	33,10	0,06	0,00	0,08	101,92
L1,S3	cp	34,53	0,01	0,00	33,96	31,77	0,01	1,23	0,12	101,63
L1,S4	pn (bravo)	39,22	1,84	0,00	0,00	33,92	22,45	0,00	0,00	97,42
L1,S5	pn (bravo)	38,96	1,68	0,00	0,09	28,86	27,20	0,00	0,00	96,79
L1,S6	po	39,79	0,15	0,00	0,06	64,80	0,26	3,07	0,03	108,15
L1,S7	cp	35,07	0,01	0,00	33,42	32,69	0,01	3,02	0,00	104,22
L1,S8	cp	34,65	0,06	0,00	33,17	33,07	0,02	3,94	0,00	104,90
L1,S9	cp	34,63	0,07	0,00	33,68	33,65	0,00	0,29	0,04	102,36
L1,S10	po	39,54	0,15	0,01	0,00	64,97	0,76	0,00	0,00	105,43
L1,S11	po	39,89	0,14	0,00	0,00	65,24	0,42	0,00	0,00	105,70
L1,S12	mrc	48,91	0,06	0,00	0,00	50,07	1,22	0,00	0,00	100,27
L1,S13	mrc	50,77	0,09	0,02	0,00	50,92	1,34	1,05	0,00	104,19
L1,S14	pn(bravo)	40,50	3,30	0,00	0,01	32,39	21,20	1,84	0,00	99,25
L1,S15	pn(bravo)	39,20	3,40	0,00	0,00	31,91	20,10	0,30	0,00	94,91
L1,S16	pn(bravo)	40,63	3,45	0,00	0,00	34,50	21,18	0,00	0,00	99,75
L1,S17	cp	34,55	0,03	0,00	33,64	32,31	0,00	2,23	0,14	102,90
L1,S18	cp	34,80	0,07	0,00	34,00	32,70	0,00	0,65	0,07	102,28
L1,S19	pn (bravo)	40,44	3,40	0,00	0,00	34,45	20,05	2,35	0,00	100,68
L1,S20	pn (bravo)	38,94	3,35	0,00	0,10	27,54	26,35	0,07	0,00	96,36
L1,S21	pn (bravo)	41,60	3,53	0,00	0,02	33,63	21,30	0,00	0,00	100,07
2-12243-12558,S1	po	32,12	0,13	0,02	0,58	66,98	0,20	0,00	0,04	100,06
2-12243-12558,S2	po	34,94	0,08	0,00	0,52	67,17	0,23	1,53	0,00	104,47
2-12243-12558,S3	po	35,55	0,08	0,12	0,55	67,86	0,34	0,44	0,13	105,07
2-12243-12558,S4	Cu	0,35	0,00	0,07	97,51	2,02	0,00	3,58	0,08	103,61
2-12243-12558,S5	Cu	0,51	0,01	0,00	98,01	2,26	0,05	3,58	0,10	104,53
2-12243-12558,S6	Cu	0,59	0,04	0,01	99,57	3,19	0,01	0,34	0,27	104,01
2-12243-12558,S7	pn	32,39	1,62	0,00	0,00	33,98	33,11	0,00	0,00	101,09
2-12243-12558,S8	pn	32,57	1,56	0,03	0,00	33,59	34,64	0,00	0,00	102,38
2-12243-12558,S9	cub	32,99	0,06	0,02	27,24	40,67	0,18	0,00	0,07	101,23
2-12243-12558,S10	po	35,66	0,11	0,00	0,02	59,72	4,77	4,62	0,00	104,90
2-12243-12558,S11	po	36,18	0,13	0,00	0,00	67,72	0,06	2,54	0,10	106,73
2-12243-12558,S12	pn	32,67	1,45	0,00	0,00	33,84	33,78	0,00	0,00	101,75
2-12243-12558,S13	pn	32,49	1,57	0,00	0,19	35,43	31,79	1,45	0,00	102,92
2-12243-12558,S14	pn	32,25	1,54	0,00	0,00	33,94	33,94	4,25	0,00	105,92
2-12243-12558,S15	Cu	0,35	0,00	0,00	98,59	1,09	0,13	2,13	0,17	102,45
2-12243-12558,S16	Cu	0,49	0,01	0,00	98,14	1,11	0,08	1,60	0,13	101,57
2-12243-12558,S17	po	35,38	0,11	0,04	1,67	64,03	2,39	0,66	0,02	104,27
2-12243-12558,S18	po	34,42	0,13	0,02	0,95	66,16	2,17	0,36	0,12	104,34
2-12243-12558,S19	po	36,13	0,12	0,03	0,04	67,96	0,00	0,07	0,10	104,46
2-12243-12558,S20	po	35,55	0,12	0,00	0,06	68,40	0,04	0,95	0,00	105,12
2-12243-12558,S21	po	35,93	0,19	0,00	0,02	68,85	0,04	0,00	0,00	105,03
2-12243-12558,S22	pn	31,98	1,64	0,00	0,00	32,04	35,32	0,00	0,00	100,99
2-12243-12558,S23	pn	31,77	1,65	0,00	0,02	31,58	35,50	0,00	0,00	100,52
2-12243-12558,S24	po	35,65	0,10	0,00	0,05	68,33	0,01	0,00	0,05	104,19

Vedlegg E: Mikrosonderesultater, sulfider.

Prøve	Mineral	S	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	Total
2-12243-12558,S25	po	34,62	0,16	0,00	0,06	63,56	6,67	0,00	0,00	105,08
1-8600-8619,S1	po	35,36	0,15	0,00	0,00	67,85	0,88	2,96	0,10	107,30
1-8600-8619,S2	po	35,82	0,13	0,03	0,00	68,29	0,07	1,45	0,00	105,79
1-8600-8619,S3	po	37,78	0,16	0,00	0,00	64,94	1,33	0,00	0,06	104,27
1-8600-8619,S4	po	38,03	0,13	0,00	0,05	64,68	1,59	1,47	0,01	105,96
1-8600-8619,S5	pn	33,14	0,67	0,00	0,65	33,19	33,15	1,03	0,00	101,83
1-8600-8619,S6	pn	32,78	0,67	0,02	0,02	33,89	34,17	4,58	0,00	106,13
1-8600-8619,S7	cp	34,72	0,07	0,03	33,67	33,59	0,08	0,00	0,01	102,17
1-8600-8619,S8	cp	34,78	0,10	0,07	33,56	33,42	0,02	0,00	0,04	102,00
1-8600-8619,S9	pn	33,14	0,76	0,00	0,03	33,17	35,02	0,00	0,00	102,11
1-8600-8619,S10	pn	33,26	0,77	0,01	0,05	34,00	34,30	0,59	0,00	102,98
1-8600-8619,S11	py	54,06	2,36	0,02	0,06	47,46	0,84	0,00	0,01	104,80
1-8600-8619,S12	pn	33,36	0,71	0,00	0,15	34,23	34,23	0,00	0,00	102,67
1-8600-8619,S13	py	53,69	2,69	0,00	0,08	46,88	0,86	1,35	0,00	105,54
1-8600-8619,S14	cp	34,64	0,09	0,00	32,31	33,78	0,51	1,96	0,00	103,28
1-8600-8619,S15	pn	33,66	0,80	0,00	0,03	33,71	34,16	0,66	0,00	103,02
EØ11013,S1	py	53,38	1,867	0	0,229	49,026	0,224	0,527	0,144	105,397
EØ11013,S2	py	53,407	1,746	0	0,16	49,014	0,158	0	0,081	104,566
EØ11013,S3	cp	35,285	0,098	0	32,27	33,666	0,332	0	0,106	101,757
EØ11013,S4	cp	34,686	0,167	0,019	32,918	34,003	0,013	0	0,068	101,874
EØ11013,S5	pn (bravo)	41,45	2,125	0	0,023	34,236	21,719	0	0	99,553
EØ11013,S6	po	38,653	0,082	0	0,006	66,476	0,469	0	0	105,686
EØ11013,S7	pn (bravo)	42,365	2,006	0	0,667	32,068	23,331	0,592	0	101,029
EØ11013,S8	cp	34,82	0,05	0	32,886	33,282	0	0	0,3	101,338
EØ11013,S9	po	39,017	0,153	0	0,035	65,618	0,62	0,074	0,075	105,592
EØ11013,S10	cp	34,532	0,079	0	33,464	32,968	0,011	0	0,094	101,148
EØ11013,S11	po	38,672	0,151	0,023	0,058	66,675	0,588	0,074	0	106,241
EØ11013,S12	pn (bravo)	42,232	2,329	0	0,032	34,034	21,993	0,813	0	101,433
EØ11013,S13	cp	34,865	0,124	0	33,721	33,606	0,129	2,153	0,042	104,64
EØ11013,S14	pn	33,086	1,9	0	0,113	34,455	32,43	0,875	0	102,859
EØ11013,S15	pn	32,886	1,99	0	0,105	34,182	32,233	0	0	101,396
EØ11013,S16	po	38,313	0,117	0,002	0,065	65,772	0,346	0	0	104,615
EØ11013,S17	cp	34,823	0,085	0	33,383	33,754	0,234	0,792	0,158	103,229
EØ11013,S18	pn	33,041	1,905	0	0,644	33,836	32,191	0,729	0	102,346
EØ11013,S19	cp	34,784	0,081	0	32,875	34,131	0,021	0	0,064	101,956
EØ11013,S20	po	38,371	0,099	0,032	0,381	64,706	0,287	0,439	0,021	104,336
1-11680-11692,S1	pn	33,134	1,253	0	0,038	32,111	36,12	0,584	0	103,24
1-11680-11692,S2	po	36,33	0,114	0	0	68,173	0,03	0	0,077	104,724
1-11680-11692,S3	po	36,452	0,136	0,002	0,011	68,116	0,01	0	0	104,727
1-11680-11692,S4	cp	34,741	0,075	0,01	33,152	33,047	0,147	0	0	101,172
1-11680-11692,S5	po	36,34	0,142	0	0	68,674	0,02	0,073	0,043	105,292
1-11680-11692,S6	pn	32,833	0,989	0,002	0,086	32,422	36,135	1,236	0	103,703
1-11680-11692,S7	po	36,296	0,092	0	0	68,553	0,016	1,392	0	106,349
1-11680-11692,S8	po	36,092	0,126	0	0,078	68,703	0,034	0	0	105,033
1-11680-11692,S9	cp	34,834	0,037	0,048	33,089	33,315	0,176	2,716	0,077	104,292

Vedlegg E: Mikrosonderresultater, sulfider.

Prøve	Mineral	S	Co	Cr	Cu	Fe	Ni	Pb	Zn	Total
1-11680-11692,S10	pn	32,753	1,199	0,041	0,024	32,37	36,312	1,163	0	103,862
1-11680-11692,S11	po	38,438	0,11	0,018	0,015	64,187	1,905	3,115	0	107,788
1-11680-11692,S12	pn	33,345	1,108	0	0	31,56	36,415	0,51	0	102,938
1-11680-11692,S13	cp	34,69	0,022	0,001	33,01	33,509	0,183	2,006	0,027	103,448
1-11680-11692,S14	pn	33,046	0,71	0	0	32,595	35,823	0	0	102,174
1-11680-11692,S15	pn	32,193	0,642	0,007	0,1	33,284	34,443	2,124	0	102,793
1-11680-11692,S16	cp	34,888	0,08	0	33,332	33,673	0,197	0,144	0,082	102,396
1-11680-11692,S17	pn	32,335	0,641	0,04	0,128	33,124	32,978	2,562	0	101,808
1-11680-11692,S18	cub	34,515	0,074	0,037	29,982	34,508	0,144	1,526	0	100,786

Vedlegg F: Hoved- og sporelementsanalyser for 2011-prøver, utført ved ALS i Sverige.

**Vedlegg F: Hoved- og sporelementsanalyser for 2011-prøver,
utført ved ALS i Sverige.**

Appendix F: Major and trace element analyses for samples from 2011, carried out at ALS in Sweden.

Vedlegg F: Hoved- og sporelementsanalyser for 2011-prøver, utført ved ALS i Sverige.

		DESCRIPTIO N	EØ11-001	EØ11-002	EØ11-003	EØ11-004	EØ11-005	EØ11-006	EØ11-007	EØ11-008	EØ11-009	EØ11-010	EØ11-011	EØ11-012	EØ11-013	EØ11-014	EØ11-015	EØ11-016
ME-ICP06	SiO2	%	48,9	37,9	49,1	48,2	47,4	46,5	38,7	37,3	59,3	54,9	45,1	46,8	49,5	49,5	49,3	45,3
ME-ICP06	Al2O3	%	11	1,04	3,49	21,7	20,3	9,15	0,57	0,29	18,95	20	2,45	13,05	4,84	6,83	5,08	3,94
ME-ICP06	Fe2O3	%	10,25	19,85	14,4	10,4	7	10,7	19,55	17,5	9,58	10,8	11,85	16,5	10,55	10,8	11,45	12,65
ME-ICP06	CaO	%	15,4	2,12	6,8	3,2	8,04	12,05	1,34	0,82	1,81	3,21	11,1	4,9	14,2	13,4	13,5	14
ME-ICP06	MgO	%	11,75	33	22	6,45	5,44	18,45	37,6	40,8	2,44	2,85	26	8,57	17,25	14,35	16,55	19,35
ME-ICP06	Na2O	%	1,49	0,19	0,27	0,92	3,34	1,01	0,04	0,07	1,96	2,66	0,36	2,18	0,66	0,87	0,68	0,52
ME-ICP06	K2O	%	0,09	0,05	0,02	0,33	0,16	0,04	<0,01	0,02	3,02	2,66	0,03	0,4	0,09	0,1	0,12	0,02
ME-ICP06	Cr2O3	%	0,16	0,08	0,27	0,03	0,03	0,11	0,31	0,18	0,01	0,01	0,42	0,02	0,35	0,16	0,27	0,26
ME-ICP06	TiO2	%	1,12	0,37	0,84	1,06	2,68	0,65	0,18	0,08	1,28	1,56	0,63	6,91	1,06	1,3	1,19	1,28
ME-ICP06	MnO	%	0,14	0,17	0,2	0,07	0,06	0,15	0,24	0,18	0,17	0,2	0,15	0,23	0,17	0,16	0,19	0,19
ME-ICP06	P2O5	%	0,01	0,16	0,03	<0,01	<0,01	0,02	0,03	0,06	0,21	0,21	<0,01	0,18	0,07	0,04	0,05	0,11
ME-ICP06	SrO	%	0,04	<0,01	<0,01	0,03	0,1	0,03	<0,01	<0,01	0,03	0,05	0,01	0,05	0,01	0,02	0,01	0,01
ME-ICP06	BaO	%	<0,01	<0,01	<0,01	0,02	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,09	0,23	<0,01	0,02	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
C-IR07	C	%	0,04	0,04	0,04	1,32	0,06	0,08	0,12	0,08	0,22	0,38	0,12	0,04	0,07	0,03	0,07	0,09
S-IR08	S	%	0,68	1,18	1,23	4,8	0,43	0,18	0,14	1	0,03	<0,01	0,35	0,21	0,52	0,25	0,28	0,67
ME-MS81	Ba	ppm	25,3	9,1	5,3	153	71,5	16,4	0,7	1	840	2080	2,2	172,5	21,6	25,7	28,4	2,9
ME-MS81	Ce	ppm	7,5	4,9	4,8	45,5	3,2	4	0,6	1,1	195,5	184,5	8	28	11,1	12,1	12,4	10,5
ME-MS81	Cr	ppm	1260	710	2240	250	240	880	2500	1440	100	120	3560	140	2740	1280	2120	2050
ME-MS81	Cs	ppm	0,01	0,02	0,02	0,46	0,01	0,01	0,01	0,02	2,2	0,48	0,01	0,18	0,15	0,37	0,06	0,02
ME-MS81	Dy	ppm	2,42	0,8	1,39	1,05	0,13	1,59	0,22	0,08	14,5	16,7	1,52	2,42	2,66	3,05	3,07	3,91
ME-MS81	Er	ppm	1,24	0,45	0,75	0,53	0,09	0,75	0,13	0,05	8,82	10,6	0,71	1,46	1,29	1,52	1,47	1,84
ME-MS81	Eu	ppm	0,88	0,27	0,4	2,37	0,36	0,6	0,06	0,03	2,16	3,61	0,53	1,24	0,86	1,02	0,99	1,25
ME-MS81	Ga	ppm	13,4	2,5	7,5	28,9	19,6	9,2	1,9	0,8	31,3	34	4,6	17,5	8,4	11,3	10,1	8,3
ME-MS81	Gd	ppm	2,54	0,79	1,27	1,72	0,16	1,69	0,21	0,09	14,3	15,25	1,66	2,59	2,89	3,27	3,28	4,29
ME-MS81	Hf	ppm	1,5	0,5	0,7	6,7	0,4	0,8	<0,2	<0,2	12,2	15,3	0,8	2,9	1,5	1,8	1,8	2,1
ME-MS81	Ho	ppm	0,45	0,15	0,27	0,19	0,03	0,29	0,04	0,03	2,96	3,47	0,27	0,47	0,48	0,56	0,56	0,74
ME-MS81	La	ppm	2,6	1,9	1,6	25,9	2,1	1,2	<0,5	0,8	95,6	93,2	3,5	13,6	4,1	4	4,6	2,7

Vedlegg F: Hoved- og sporelementsanalyser for 2011-prøver, utført ved ALS i Sverige.

		DESCRIPTIO N	EØ11-001	EØ11-002	EØ11-003	EØ11-004	EØ11-005	EØ11-006	EØ11-007	EØ11-008	EØ11-009	EØ11-010	EØ11-011	EØ11-012	EØ11-013	EØ11-014	EØ11-015	EØ11-016
ME-MS81	Lu	ppm	0,15	0,06	0,11	0,09	0,01	0,08	0,02	<0,01	1,35	1,67	0,07	0,25	0,14	0,17	0,18	0,2
ME-MS81	Nb	ppm	1,2	1,9	0,6	18,5	2,5	0,3	<0,2	<0,2	24,1	25,3	0,4	55,3	2,8	4,4	3,7	0,9
ME-MS81	Nd	ppm	7	3,2	3,8	18,2	1,3	4,2	0,6	0,6	89,9	85,9	5,5	14,3	8,6	9,6	9,6	11,5
ME-MS81	Pr	ppm	1,3	0,7	0,73	4,97	0,34	0,73	0,1	0,14	24,1	22,6	1,14	3,53	1,75	1,98	1,9	2,01
ME-MS81	Rb	ppm	0,6	1	0,3	10	0,4	0,2	<0,2	<0,2	147	76,8	0,2	5,9	2,4	3,4	2,4	0,3
ME-MS81	Sm	ppm	2,23	0,76	1,13	2,71	0,19	1,39	0,16	0,12	17,15	16,3	1,45	2,99	2,48	2,9	2,94	3,85
ME-MS81	Sn	ppm	1	<1	1	<1	<1	<1	<1	1	1	<1	<1	1	1	1	1	1
ME-MS81	Sr	ppm	342	16,5	20,8	243	949	289	4,4	3	221	410	39,1	456	87,5	143	84,2	41,3
ME-MS81	Ta	ppm	0,1	0,1	<0,1	1,3	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	1,4	1,5	<0,1	3,6	0,2	0,3	0,3	<0,1
ME-MS81	Tb	ppm	0,4	0,13	0,21	0,2	0,02	0,25	0,03	0,02	2,17	2,45	0,24	0,37	0,43	0,5	0,5	0,62
ME-MS81	Th	ppm	0,08	0,29	0,09	1,83	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	28,8	21,4	0,08	1,05	0,34	0,36	0,4	0,05
ME-MS81	Tl	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,6	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
ME-MS81	Tm	ppm	0,16	0,04	0,11	0,07	0,01	0,1	0,02	0,01	1,33	1,57	0,09	0,21	0,16	0,19	0,2	0,24
ME-MS81	U	ppm	<0,05	<0,05	<0,05	0,62	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	6,32	3,89	0,11	0,41	0,12	0,19	0,14	<0,05
ME-MS81	V	ppm	293	75	207	315	229	192	15	<5	166	218	133	578	240	308	299	273
ME-MS81	W	ppm	220	105	277	438	279	227	117	194	544	827	205	322	303	316	302	222
ME-MS81	Y	ppm	12	4	7,3	5,4	0,8	7,7	1,1	0,6	89	102	7,1	13,4	12,6	14,8	15	18,1
ME-MS81	Yb	ppm	0,99	0,35	0,76	0,52	0,09	0,57	0,1	<0,03	9,11	10,75	0,56	1,62	1,05	1,17	1,18	1,45
ME-MS81	Zr	ppm	35	17	17	203	10	16	2	2	416	540	17	95	42	49	50	48
ME-MS42	As	ppm	<0,1	<0,1	<0,1	1,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,1
ME-MS42	Bi	ppm	<0,01	0,03	0,04	0,15	0,01	0,01	0,02	0,09	0,1	0,01	0,04	0,02	0,05	0,04	0,03	0,03
ME-MS42	Hg	ppm	0,122	0,038	0,385	0,555	0,332	0,304	0,125	0,203	0,747	1,02	0,311	0,375	0,414	0,414	0,434	0,352
ME-MS42	Sb	ppm	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
ME-MS42	Se	ppm	1	2,6	2,1	0,8	0,4	0,4	0,4	1,9	0,7	0,6	1,2	0,6	2,1	1,8	0,8	1,9
ME-MS42	Te	ppm	0,03	0,36	0,11	0,05	0,01	0,02	0,06	0,14	0,02	0,02	0,08	0,02	0,1	0,05	0,04	0,14
OA-GRA05	LOI	%	1,1	6,38	1,5	7,24	0,47	0,7	0	1,02	-0,2	0,3	0,2	0,3	0,7	1,1	0,6	0,4
TOT-ICP06	Total	%	101,45	101,31	98,92	99,65	95,03	99,56	98,56	98,32	98,65	99,64	98,3	100,11	99,45	98,63	98,99	98,03
ME-4ACD81	Ag	ppm	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5

Vedlegg F: Hoved- og sporelementsanalyser for 2011-prøver, utført ved ALS i Sverige.

		DESCRIPTIO N	EØ11-001	EØ11-002	EØ11-003	EØ11-004	EØ11-005	EØ11-006	EØ11-007	EØ11-008	EØ11-009	EØ11-010	EØ11-011	EØ11-012	EØ11-013	EØ11-014	EØ11-015	EØ11-016
ME-4ACD81	Cd	ppm	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5	<0.5
ME-4ACD81	Co	ppm	106	210	150	188	70	100	162	216	75	101	121	91	95	78	101	112
ME-4ACD81	Cu	ppm	269	2250	913	741	74	85	239	808	42	33	536	103	1005	337	315	736
ME-4ACD81	Mo	ppm	<1	<1	<1	9	<1	<1	<1	<1	1	<1	1	<1	<1	<1	<1	<1
ME-4ACD81	Ni	ppm	354	3110	1410	991	88	328	1760	2630	30	36	1315	60	638	214	533	1240
ME-4ACD81	Pb	ppm	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	17	18	<2	<2	<2	<2	<2	<2
ME-4ACD81	Zn	ppm	44	89	82	24	35	61	130	106	138	250	73	138	62	61	75	75
PGM-ICP23	Au	ppm	0,001	0,012	0,003	0,006	<0.001	<0.001	0,003	0,008	<0.001	<0.001	0,002	<0.001	0,002	0,001	<0.001	0,008
PGM-ICP23	Pt	ppm	<0.005	0,023	<0.005	0,013	<0.005	<0.005	0,008	0,01	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0,018
PGM-ICP23	Pd	ppm	0,002	0,036	0,001	0,004	0,002	0,001	0,015	0,013	0,002	0,002	0,002	0,001	0,004	0,002	0,005	0,017

Vedlegg G: Hoved- og sporelementsanalyser for 2012-prøver, utført ved NTNU.

Vedlegg G: Hoved- og sporelementsanalyser for 2012-prøver, utført ved NTNU.

Appendix G: Major- and trace elements analyses fro 2012 samples, carried out at NTNU.

G1: Hovedelementsanalyser (XRF, glasspille) for 2012-prøver, utført ved NTNU.

Major element analyses (XRF, glass sample) for 2012 samples, carried out at NTNU.

G2: Sporelementsanalyser (XRF, pulverpille) for 2012-prøver, utført ved NTNU.

Trace element analyses (XRF, powder sample) for 2012 samples, carried out at NTNU.

Vedlegg G: Hoved- og sporelementsanalyser for 2012-prøver, utført ved NTNU.

G1

Prøve	SiO2 (%)	Al2O3 (%)	Fe2O3 (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na2O (%)	K2O (%)	TiO2 (%)	MnO (%)	P2O5 (%)	Glødetap (%)
EØ12003	49,78	19,75	9,39	8,01	6,76	3,16	0,24	1,45	0,12	0,01	0,26
EØ12004	38,50	1,75	22,48	1,84	32,96	0,03	0,02	0,52	0,22	0,02	1,35
EØ12005	43,36	1,58	17,69	4,33	30,48	0,00	0,01	0,37	0,21	0,01	0,19
EØ12006	46,23	19,96	13,37	6,36	5,72	3,26	0,10	3,39	0,15	0,01	0,21
EØ12007	46,41	3,41	11,57	14,41	21,49	0,17	0,01	1,00	0,18	0,01	-0,10
EØ12008	50,05	3,17	14,95	2,54	26,42	0,00	0,03	0,67	0,23	0,01	-0,11
EØ12010	41,69	0,73	15,85	2,04	37,50	0,00	0,00	0,18	0,18	0,01	11,08
EØ12011	42,87	2,57	15,69	9,31	26,84	0,05	0,01	0,81	0,21	0,01	-0,35
EØ12012	47,27	4,22	11,12	15,41	18,24	0,19	0,01	1,15	0,18	0,01	0,15
EØ12013	49,88	13,12	8,56	12,81	11,39	1,68	0,08	0,98	0,14	0,01	0,22
EØ12016	42,73	14,55	16,87	9,19	6,70	2,38	0,22	5,60	0,19	0,44	-0,15

G2

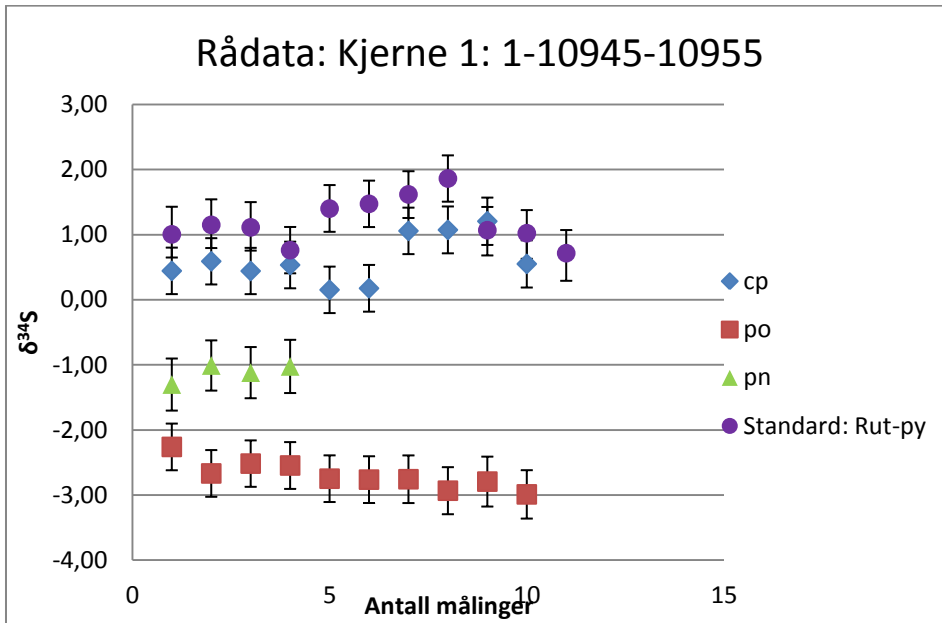
Sample	Deteksjon sgrense (ppm)	Maks konsentra sjon (ppm)	EØ12001	EØ12002	EØ12003	EØ12004	EØ12005	EØ12006	EØ12007	EØ12008	EØ12009	EØ12010	EØ12011	EØ12012	EØ12013	EØ12014	EØ12015	EØ12016
Sc (PPM)	1,6	60,0	27	2	16	10	24	79	46	35	48	14	37	56	41	16	40	30
V (PPM)	1,4	340,0	286	2088	134	52	98	348	234	167	171	44	194	280	217	63	219	484
Cr (PPM)	3,3	24000,0	437	157962	114	570	1888	203	3390	2880	2808	1288	3415	3414	602	112	3153	11
Co (PPM)	2,2	700,0	93	447	139	365	320	179	165	240	107	161	201	137	117	116	131	95
Ni (PPM)	1,5	2640,0	364	1615	114	2750	2168	104	692	747	451	1796	1194	822	219	87	857	47
Cu (PPM)	4,7	5400,0	102	398	52	1024	756	54	242	255	276	183	407	352	115	25	361	40
Zn (PPM)	3,8	1310,0	130	847	80	154	104	94	65	103	33	80	100	59	45	34	64	115
Ga (PPM)	0,7	400,0	22	101	24	6	7	31	9	10	4	4	8	9	16	19	12	26
As (PPM)	2,9	330,0	9	26	14	8	15	19	7	16	5		4	5	5	12	4	7
Rb (PPM)	0,9	13,0	7	19	1	6	6	3	6	5	5	3	6	6	4		5	6
Sr (PPM)	0,9	16,5	559	8	683	59	17	753	44	28	46	12	31	43	387	719	171	569

Vedlegg G: Hoved- og sporelementsanalyser for 2012-prøver, utført ved NTNU.

Y (PPM)	6,5	8,0	31	3	3	3	5	3	13	6	9	4	11	15	10	3	13	23
Zr (PPM)	4,9	550,0	216	14	28	19	18	270	40	23	23	15	32	39	28	16	40	104
Nb (PPM)	0,6	700,0	36	1	5	4	1	21	1	3	2	2	1	2	2	2	3	31
Mo (PPM)	1,0	700,0		1	1	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	2
Sn (PPM)	3,1	1300,0																
Sb (PPM)	0,7	122,0			3			2		3	1	4		1	2	4		
Cs (PPM)	4,7	260,0	4	3	1			4										6
Ba (PPM)	5,0	4000,0	117		83	14	5	83		12		4			25	37	9	90
La (PPM)	5,2	1340,0	33	20	7	22	15	28	7	15		18	19	10	7		11	21
Ce (PPM)	4,0	2230,0	78		5			30	14	1	2			1		4		39
Pb (PPM)	1,5	5500,0				1	1		2	3	3	1		1	2	1	2	1
Th (PPM)	12,6	1003,0	3		2	1	1	1	1	2	2		1	2	2	1	2	4
U (PPM)	1,5	650,0	2	4		1	1							1				1

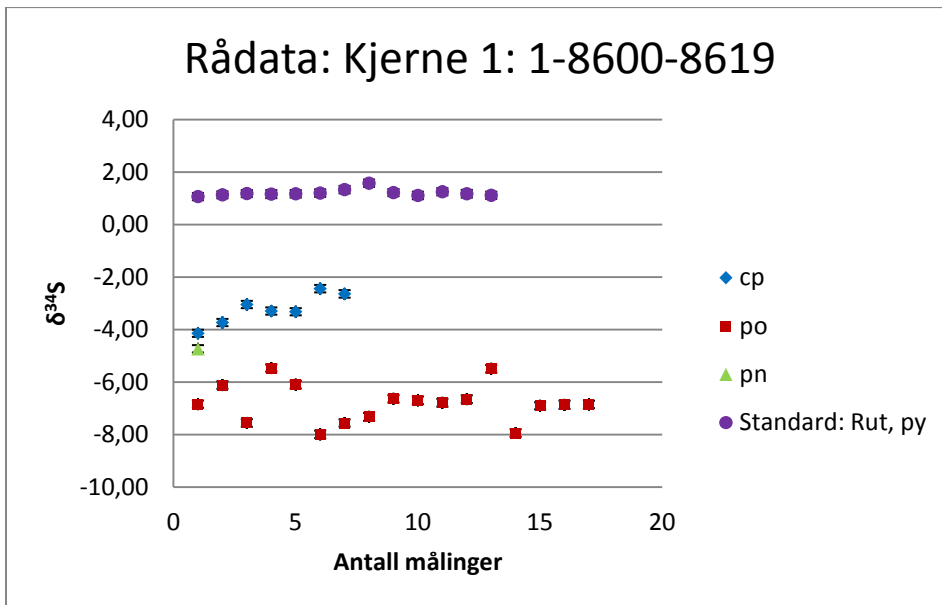
Vedlegg H: Svovelisotopdata.

Appendix H: Sulphur isotope data.



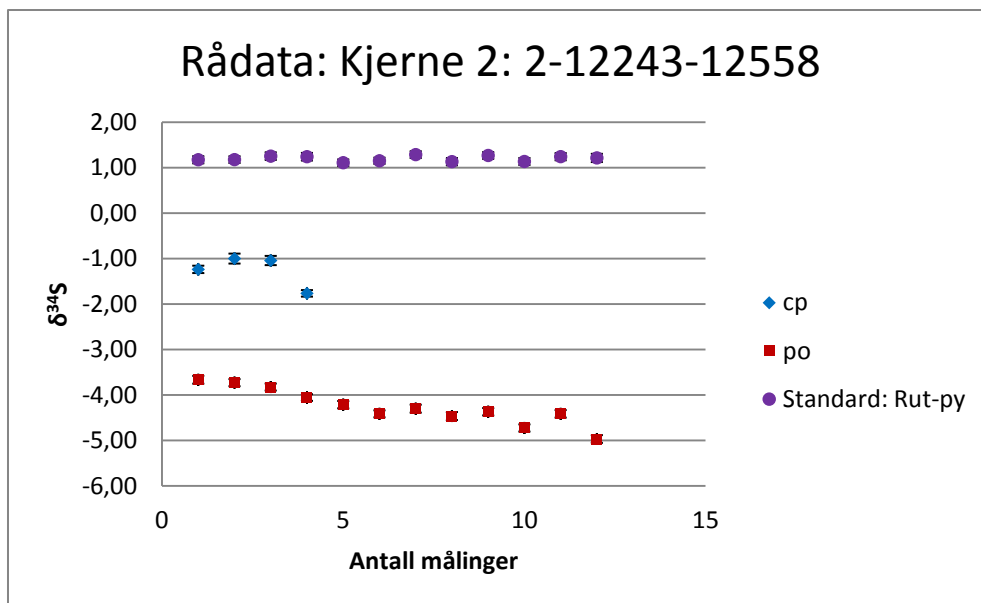
D1. Rådata: CS, PGE-horisont (1-10945-10955).

Raw data: CS, PGE-horizon (1-10945-10955).



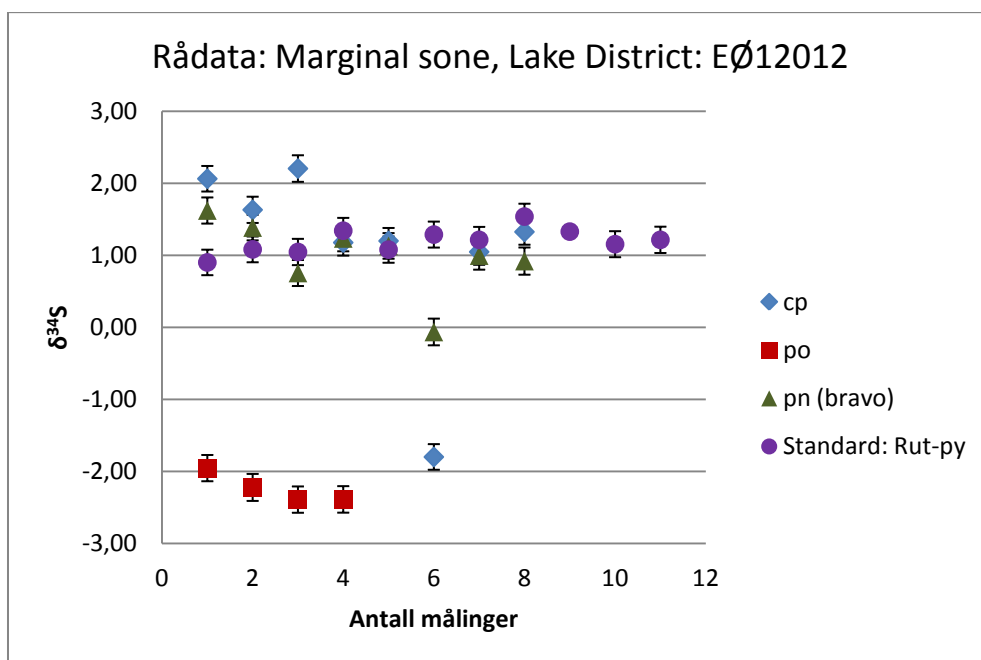
D2. Rådata: CS, Ni+Cu-horisont (1-8600-8619).

Raw data: CS, Ni+Cu-horizon (1-8600-8619).



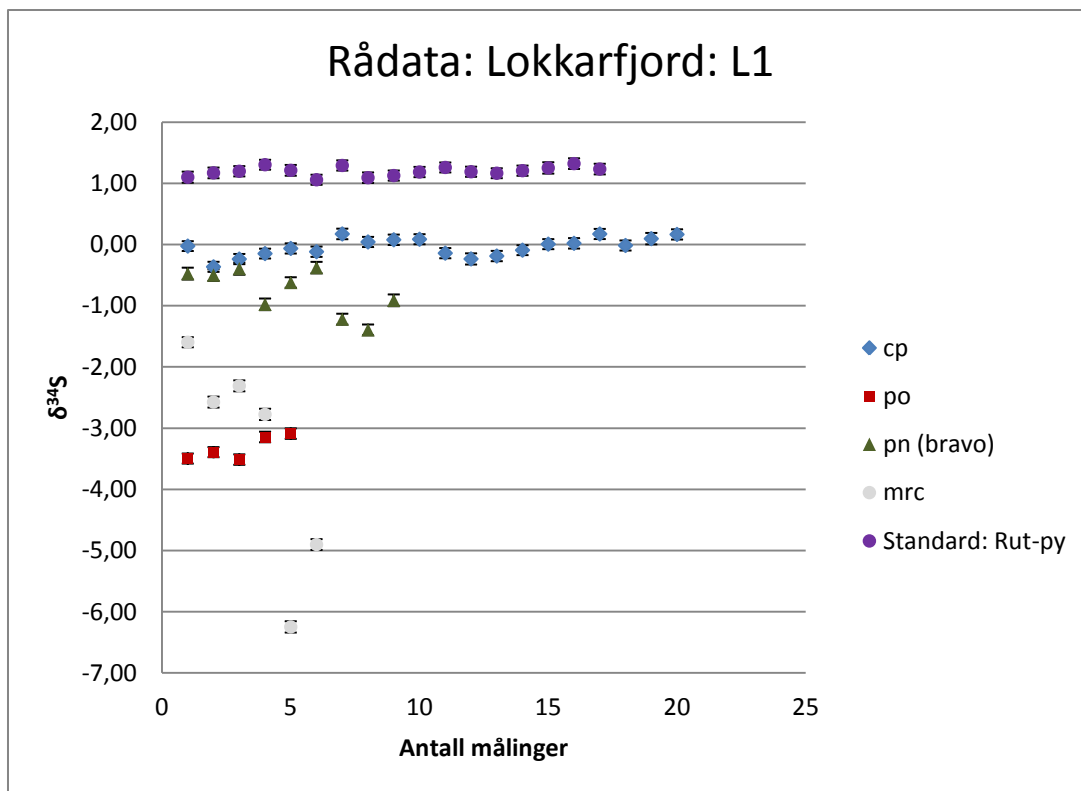
D3. Rådata: CS (2-12243-12558).

Raw data: CS (2-12243-12558).



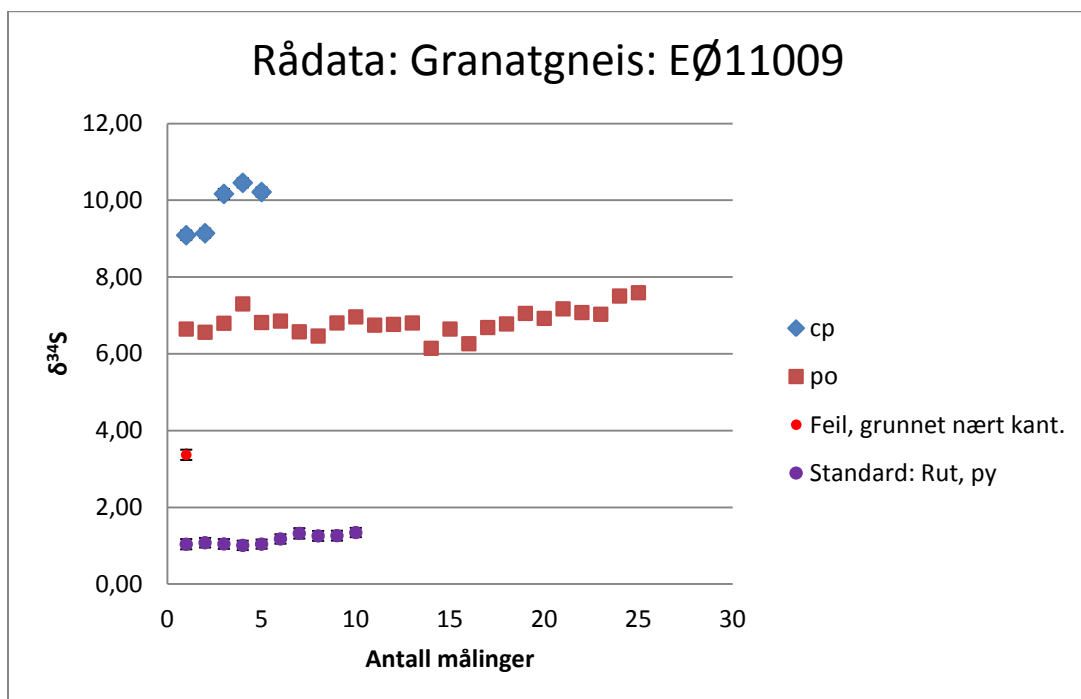
D4. Rådata: UMZ (EØ12012).

Raw data: UMZ (EØ12012)



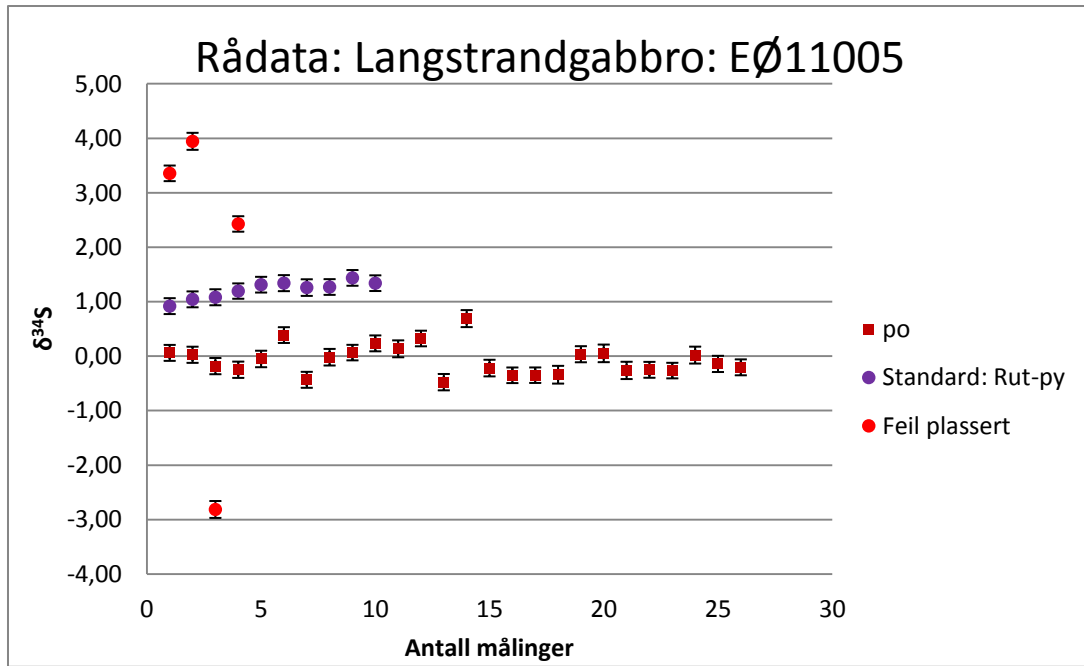
D5. Rådata: Lokkarfjord (L1).

Raw data: Lokkarfjord (L1).



D6. Rådata: Granatgneis (EØ11009).

Raw data: Garnet-gneiss (EØ11009).



D7. Rådata: Langstrandgabbro (EØ11005).

Raw data: Langstrandgabbro (EØ11005).

Vedlegg H: Svovelisotopdata.

D8. Svovelisotopdata for 1-10945-10955.

Sulphur isotope data for 1-10945-10955.

			Ukjent		Korrigert ukjent	STANDARDS (incl. for $\delta^{34}\text{S}$)	
Sample ID	status	comment	$\delta^{34}\text{S}$	$\pm 1\sigma$	$\delta^{34}\text{S}$	$\delta^{34}\text{S}$	$\pm 1\sigma$
Rut-sul7_@1	standard					1,01	0,36
Rut-sul7_@2	standard					1,15	0,36
Rut-sul7_@3	standard					1,11	0,36
Rut-sul7_@4	standard					0,76	0,36
1-10945-10955_1_1@1		cp	0,44	0,36	1,89		
1-10945-10955_1_1@2		cp	0,59	0,36	2,04		
1-10945-10955_1_1@3		cp	0,44	0,36	1,89		
1-10945-10955_1_1@4		cp	0,54	0,36	1,98		
1-10945-10955_1_1@5		cp	0,15	0,36	1,60		
1-10945-10955_1_1@6		cp	0,18	0,36	1,62		
Rut-sul7_@5	standard					1,40	0,36
Rut-sul7_@6	standard					1,47	0,36
1-10945-10955_1@7		po	-2,99	0,36	-0,73		
1-10945-10955_1@8		po	-2,79	0,36	-0,54		
1-10945-10955_1@9		po	-2,93	0,36	-0,68		
1-10945-10955_1@10		po	-2,76	0,36	-0,50		
1-10945-10955_1@11		po	-2,76	0,36	-0,51		
1-10945-10955_1@12		po	-2,75	0,36	-0,49		
Rut-sul7_@7	standard					1,62	0,36
Rut-sul7_@8	standard					1,86	0,36
1-10945-10955_2@1		cp	1,06	0,36	2,50		
1-10945-10955_2@2		cp	1,07	0,36	2,52		
1-10945-10955_2@3		cp	1,21	0,36	2,65		
1-10945-10955_2@4		cp	0,55	0,36	2,00		
1-10945-10955_2@5		po	-2,55	0,37	-0,29		
1-10945-10955_2@6		po	-2,52	0,36	-0,26		
Rut-sul7_@9	standard					1,07	0,39
Rut-sul7_@10	standard					1,02	0,39
1-10945-10955_2@7		po	-2,67	0,38	-0,41		
1-10945-10955_2@8		po	-2,26	0,37	0,00		
1-10945-10955_2@9		pn	-1,30	0,40	-1,93		
1-10945-10955_2@10		pn	-1,01	0,39	-1,63		
1-10945-10955_2@11		pn	-1,12	0,39	-1,74		
1-10945-10955_2@12		pn	-1,02	0,41	-1,65		
Rut-sul7_@11	standard					0,72	0,42
Rut-sul7_@12	standard						

Vedlegg H: Svovelisotopdata.

D9. Svovelisotopdata for 1-8600-8619.

Sulphur isotope data for 1-8600-8619.

			Ukjent		Korrigert ukjent	STANDARDS (incl. for 634S)	
Sample ID	status	comment	$\delta^{34}\text{S}$	$\pm 1\sigma$	$\delta^{34}\text{S}$	$\delta^{34}\text{S}$	$\pm 1\sigma$
Rut-sul5A_@18	standard					1,06	0,14
Rut-sul5A_@19	standard					1,13	0,13
Rut-sul5A_@20	standard					1,17	0,13
Mv_sul5A_@7			3,18	0,14			
Mv_sul5A_@8			3,08	0,14			
Mv_sul5A_@9			3,27	0,14			
Mv_sul5A_@10			3,34	0,14			
Mv_sul5A_@11			3,22	0,14			
Mv_sul5A_@12			3,30	0,14			
Rut-sul5A_@21	standard					1,15	0,15
Rut-sul5A_@22	standard					1,17	0,14
Rut-sul5A_@23	standard					1,19	0,14
1-8600-8619_1@1		po	-6,86	0,14	-4,60		
1-8600-8619_1@2		po	-6,87	0,14	-4,62		
1-8600-8619_1@3		po	-6,91	0,15	-4,65		
1-8600-8619_1@4		po	-7,94	0,14	-5,69		
1-8600-8619_1@5		po	-5,50	0,15	-3,24		
1-8600-8619_1@6		po	-6,65	0,14	-4,40		
Rut-sul5A_@24	standard					1,32	0,14
Rut-sul5A_@25	standard					1,57	0,14
1-8600-8619_1@7		po	-6,79	0,14	-4,54		
1-8600-8619_1@8		po	-6,70	0,15	-4,44		
1-8600-8619_1@9		cp	-2,65	0,14	-1,20		
1-8600-8619_1@10		cp	-2,45	0,14	-1,00		
1-8600-8619_1@11		cp	-3,33	0,14	-1,88		
1-8600-8619_1@12		pn	-4,74	0,14	-5,36		
Rut-sul5A_@26	standard					1,21	0,14
1-8600-8619_2@5		po	-6,64	0,15	-4,38		
1-8600-8619_2@6		po	-7,33	0,15	-5,07		
1-8600-8619_2@7		po	-7,56	0,15	-5,31		
1-8600-8619_2@8		cp	-3,30	0,14	-1,85		
1-8600-8619_2@9		cp	-3,05	0,14	-1,61		
1-8600-8619_2@10		cp	-3,74	0,14	-2,29		
Rut-sul5A_@27	standard					1,24	0,14
Rut-sul5A_@28	standard					1,10	0,14
1-8600-8619_3@4		cp	-4,15	0,14	-2,70		
1-8600-8619_3@5		po	-8,00	0,14	-5,74		
1-8600-8619_3@6		po	-6,10	0,15	-3,84		
1-8600-8619_4@1		po	-5,47	0,14	-3,21		
1-8600-8619_4@2		po	-7,56	0,14	-5,30		
1-8600-8619_4@3		po	-6,12	0,14	-3,86		
1-8600-8619_4@4		po	-6,84	0,15	-4,59		

Vedlegg H: Svovelisotopdata.

Rut-sul5A_@29	standard					1,17	0,15
Rut-sul5A_@30	standard					1,11	0,14

Vedlegg H: Svovelisotopdata.

D10. Svovelisotopdata for 2-12243-12558.

Sulphur isotope data for 2-12243-12558.

Sample ID	status	comment	Ukjent		Korrigert ukjent	STANDARDS (incl. for $\delta^{34}\text{S}$)	
			$\delta^{34}\text{S}$	$\pm 1\sigma$	$\delta^{34}\text{S}$	$\delta^{34}\text{S}$	$\pm 1\sigma$
Rut-sul5B_@18	standard					1,18	0,08
Rut-sul5B_@19	standard					1,18	0,07
Rut-sul5B_@20	standard					1,25	0,08
Mv_sul5B_@1			4,07	0,08			
Mv_sul5B_@2			4,07	0,08			
Mv_sul5B_@3			4,08	0,08			
Mv_sul5B_@4			4,06	0,08			
Mv_sul5B_@5			4,13	0,08			
Mv_sul5B_@6			4,25	0,08			
Rut-sul5B_@21	standard					1,24	0,08
Rut-sul5B_@22	standard					1,11	0,07
Rut-sul5B_@23	standard					1,15	0,07
2-12243-12558_1@1		po	-3,66	0,09	-1,41		
2-12243-12558_1@2		po	-3,73	0,08	-1,47		
2-12243-12558_1@3		po	-3,82	0,08	-1,57		
2-12243-12558_1@4		po	-4,05	0,07	-1,80		
2-12243-12558_1@5		cp	-1,24	0,08	0,21		
2-12243-12558_1@6		cp	-1,00	0,11	0,45		
Rut-sul5B_@24	standard					1,29	0,07
Rut-sul5B_@25	standard					1,13	0,08
2-12243-12558_1@7		cp	-1,04	0,10	0,40		
2-12243-12558_1@8		cp	-1,76	0,07	-0,32		
2-12243-12558_2@1		po	-4,21	0,08	-1,95		
2-12243-12558_2@2		po	-4,41	0,08	-2,16		
2-12243-12558_2@3		po	-4,30	0,09	-2,04		
2-12243-12558_2@4		po	-4,46	0,09	-2,20		
Rut-sul5B_@26	standard					1,27	0,08
Rut-sul5B_@27	standard					1,14	0,08
2-12243-12558_3@1		po	-4,37	0,08	-2,11		
2-12243-12558_3@2		po	-4,72	0,08	-2,47		
2-12243-12558_3@3		po	-4,41	0,08	-2,16		
2-12243-12558_3@4		po	-4,97	0,09	-2,71		
Rut-sul5B_@28	standard					1,24	0,08
Rut-sul5B_@29	standard					1,22	0,09

Vedlegg H: Svovelisotopdata.

D11. Svovelisotopdata for EØ12012.

Sulphur isotope data for EØ12012.

			Ukjent		Korrigert ukjent		STANDARDS (incl. for δ ³⁴ S)	
Sample ID	status	comment	δ ³⁴ S	±1σ	δ ³⁴ S	δ ³⁴ S	±1σ	
Rut-sul5B@30	standard					0,90	0,18	
Rut-sul5B@31	standard					1,08	0,18	
Rut-sul5B@32	standard					1,05	0,18	
Mv_sul5B_@7			3,86	0,18				
Mv_sul5B_@8			3,83	0,18				
Mv_sul5B_@9			3,87	0,18				
Mv_sul5B_@10			3,84	0,18				
Mv_sul5B_@11			3,89	0,19				
Mv_sul5B_@12			4,06	0,19				
Rut-sul5B@33	standard					1,34	0,18	
Rut-sul5B@34	standard					1,08	0,18	
Rut-sul5B@35	standard					1,29	0,18	
EØ12012_1@1		cp	2,06	0,18	3,51			
EØ12012_1@2		cp	1,63	0,18	3,08			
EØ12012_1@3		cp	2,21	0,18	3,65			
EØ12012_1@4		cp	1,18	0,18	2,62			
EØ12012_2@1		pn (bravo)	1,62	0,18	1,00			
EØ12012_2@2		pn (bravo)	1,39	0,18	0,76			
Rut-sul5B@36	standard					1,22	0,18	
Rut-sul5B@37	standard					1,54	0,18	
EØ12012_2@3		pn (bravo)	0,76	0,18	0,13			
EØ12012_2@4		pn (bravo)	1,24	0,18	0,61			
EØ12012_2@5		cp	1,20	0,18	2,64			
EØ12012_2@6		?	-1,80	0,18	-0,36			
EØ12012_2@7		cp	1,05	0,18	2,49			
EØ12012_2@8		cp	1,33	0,18	2,77			
Mv_sul5B@13			3,92	0,18				
Mv_sul5B@14			3,91	0,18				
EØ12012_3@1		pn (bravo)	1,13	0,18	0,51			
EØ12012_3@2		pn (bravo)	-0,06	0,20	-0,69			
EØ12012_3@3		pn (bravo)	1,00	0,19	0,37			
EØ12012_3@4		pn (bravo)	0,92	0,19	0,30			
EØ12012_3@5		po	-1,95	0,18	0,30			
EØ12012_3@6		po	-2,22	0,19	0,03			
Rut-sul5B@38	standard					1,33	0,18	
EØ12012_3@7		po	-2,39	0,18	-0,13			
EØ12012_3@8		po	-2,39	0,18	-0,13			
Mv_sul5B@15		NOT MV	-2,19	0,18				
Rut-sul5B@39	standard					1,16	0,18	
Rut-sul5B@40	standard					1,22	0,18	

Vedlegg H: Svovelisotopdata.

D12. Svovelisotopdata for L1.

Sulphur isotope data for L1.

Sample ID	status	comment	Ukjent		Korrigert ukjent	STANDARDS (incl. for δ34S)	
			δ ³⁴ S	±1σ	δ ³⁴ S	δ ³⁴ S	±1σ
Rut-sul5A_@1	standard					1,10	0,09
Rut-sul5A_@2	standard					1,17	0,09
Rut-sul5A_@3	standard					1,20	0,08
Nar_sui5A_@1			8,39	0,08			
Nar_sui5A_@2			8,39	0,08			
Nar_sui5A_@3			8,41	0,08			
Nar_sui5A_@4			8,53	0,08			
Nar_sui5A_@5			8,47	0,08			
Nar_sui5A_@6			8,43	0,08			
Mv_sul5A_@1			4,73	0,09			
Mv_sul5A_@2			4,77	0,09			
Mv_sul5A_@3			4,40	0,09			
Rut-sul5A_@4	standard					1,31	0,08
Rut-sul5A_@5	standard					1,21	0,09
Rut-sul5A_@6	standard					1,06	0,08
Mv_sui5A_@4			4,49	0,09			
Mv_sui5A_@5			4,37	0,09			
Mv_sui5A_@6			4,36	0,09			
Rut-sul5_@7	standard					1,29	0,08
L1_1@1		cp	-0,02	0,08	1,42		
L1_1@2		cp	-0,36	0,08	1,08		
L1_1@3		cp	-0,24	0,08	1,21		
L1_1@4		cp	-0,15	0,08	1,30		
L1_1@5		mrc	-4,90	0,08	-2,64		
L1_1@6		po	-3,49	0,08	-1,24		
Rut-sul5_@8	standard					1,09	0,09
L1_1@7		pn (bravo)	-0,91	0,10	-1,53		
L1_1@8		mrc	-6,25	0,09	-3,99		
L1_1@9		cp	-0,06	0,08	1,38		
L1_1@10		cp	-0,12	0,08	1,33		
L1_1@11		cp	0,17	0,09	1,62		
L1_1@12		cp	0,04	0,08	1,49		
Rut-sul5_@9	standard					1,13	0,08
L1_2@1		cp	0,08	0,08	1,52		
L1_2@2		cp	0,09	0,08	1,53		
L1_2@3		cp	-0,14	0,08	1,31		
L1_2@4		cp	-0,23	0,09	1,21		
L1_2@5		po	-3,39	0,08	-1,13		
L1_2@6		po	-3,51	0,09	-1,26		
Rut-sul5_@10	standard					1,19	0,08
L1_2@7		po	-3,14	0,09	-0,89		
L1_2@8		po	-3,09	0,09	-0,83		
L1_2@9		mrc	-1,59	0,09	0,66		
L1_2@10		mrc	-2,57	0,09	-0,32		
L1_2@11		mrc	-2,31	0,09	-0,05		
L1_2@12		mrc	-2,77	0,09	-0,52		
Rut-sul5_@11	standard					1,26	0,08
L1_3@1		pn (bravo)	-1,39	0,09	-2,02		
L1_3@2		pn (bravo)	-1,22	0,10	-1,84		
L1_3@3		pn (bravo)	-0,37	0,10	-1,00		
L1_3@4		pn (bravo)	-0,62	0,09	-1,24		
L1_3@5		cp	-0,19	0,08	1,26		
L1_3@6		cp	-0,09	0,08	1,35		
Rut-sul5_@12	standard					1,19	0,08
L1_3@7		cp	0,01	0,08	1,45		

Vedlegg H: Svovelisotopdata.

L1_3@8		cp	0,02	0,09	1,47		
L1_3@9		cp	0,17	0,08	1,62		
L1_3@10		cp	-0,01	0,08	1,43		
L1_3@11		cp	0,10	0,09	1,54		
L1_3@12		cp	0,17	0,08	1,61		
Rut-sul5_@13	standard					1,17	0,08
Rut-sul5_@14	standard					1,21	0,09
Rut-sul5_@15	standard					1,25	0,08
L1_3@13		pn (bravo)	-0,47	0,09	-1,10		
L1_3@14		pn (bravo)	-0,50	0,09	-1,12		
L1_3@15		pn (bravo)	-0,39	0,09	-1,02		
L1_3@16		pn (bravo)	-0,98	0,10	-1,60		
Rut-sul5_@16	standard					1,32	0,09
Rut-sul5_@17	standard					1,23	0,09

Vedlegg H: Svovelisotopdata.

D13. Svovelisotopdata for EØ11009.

Sulphur isotope data for EØ11009.

Sample ID	status	comment	Ukjente $\delta^{34}\text{S}$	$\pm 1\sigma$	Korrigert ukjente $\delta^{34}\text{S}$	STANDARDS (incl. for $\delta^{34}\text{S}$)	$\pm 1\sigma$
Rut-sulB_@1	standard					1,04	0,13
Rut-sulB_@2	standard					1,08	0,12
Rut-sulB_@3	standard					1,04	0,13
Nar_sul5B_@1			8,76	0,13			
Nar_sul5B_@2			8,66	0,13			
Nar_sul5B_@3			8,58	0,12			
Nar_sul5B_@4			8,53	0,12			
Nar_sul5B_@5			8,58	0,12			
Nar_sul5B_@6			8,58	0,12			
Rut-sul5B_@4	standard					1,01	0,12
Rut-sul5B_@5	standard					1,04	0,12
Rut-sul5B_@6	standard					1,17	0,12
Rut-sul5B_@7	standard					1,32	0,14
Rut-sul5B_@8	standard					1,25	0,13
EØ11009_1@1		cp	9,09	0,12	10,53		
EØ11009_1@2		cp	9,14	0,12	10,58		
EØ11009_1@3		po/Nært kant!	3,37	0,13	5,62		
EØ11009_1@4		po	6,64	0,12	8,90		
EØ11009_1@5		po	6,56	0,12	8,82		
EØ11009_1@6		po	6,79	0,12	9,05		
Rut-sul5B_@9	standard					1,26	0,13
Rut-sul5B_@10	standard					1,34	0,12
EØ11009_1@7		po	7,30	0,13	9,56		
EØ11009_1@8		po	6,81	0,12	9,07		
EØ11009_1@9		po	6,85	0,12	9,11		
EØ11009_1@10		po	6,57	0,13	8,83		
EØ11009_1@11		po	6,46	0,12	8,72		
EØ11009_1@12		po	6,80	0,13	9,06		
Rut-sul5B_@11	standard					1,29	0,12
Rut-sul5B_@12	standard					1,23	0,13
EØ11009_2@1		po	6,96	0,12	9,22		
EØ11009_2@2		po	6,75	0,12	9,00		
EØ11009_2@3		po	6,76	0,13	9,02		
EØ11009_2@4		po	6,80	0,12	9,06		
EØ11009_2@5		po	6,14	0,13	8,40		
EØ11009_2@6		po	6,64	0,12	8,90		
Rut-sul5B_@13	standard					1,21	0,13
Rut-sul5B_@14	standard					1,23	0,13
EØ11009_2@7		po	6,26	0,13	8,52		
EØ11009_2@8		cp	10,16	0,13	11,61		
EØ11009_2@9		po	6,68	0,12	8,94		
EØ11009_2@10		po	6,78	0,12	9,03		
EØ11009_2@11		po	7,05	0,13	9,31		
EØ11009_3@1		po	6,92	0,12	9,18		
Rut-sul5B_@15	standard					1,33	0,13
EØ11009_3@2		cp	10,45	0,12	11,90		
EØ11009_3@3		po	7,17	0,13	9,43		
EØ11009_3@4		cp	10,21	0,12	11,66		
EØ11009_3@5		po	7,07	0,12	9,33		
EØ11009_3@6		po	7,03	0,13	9,29		
EØ11009_3@7		po	7,50	0,12	9,76		
Rut-sul5B_@16	standard					1,28	0,12

Vedlegg H: Svovelisotopdata.

EØ11009_3@8		po	7,59	0,12	9,85		
Rut-sul5B_@17	standard					1,29	0,12

Vedlegg H: Svovelisotopdata.

D14. Svovelisotopdata for EØ11005.

Sulphur isotope data for EØ11005.

Sample ID	status	comment	Ukjent		Korrigert ukjent	STANDARDS (incl. for $\delta^{34}\text{S}$)	
			$\delta^{34}\text{S}$	$\pm 1\sigma$	$\delta^{34}\text{S}$	$\delta^{34}\text{S}$	$\pm 1\sigma$
Rut-sul5B@41	standard					0,92	0,15
Rut-sul5B@42	standard					1,05	0,15
Rut-sul5B@43	standard					1,08	0,15
MV_sul5B@16			3,82	0,15			
MV_sul5B@17			3,78	0,15			
MV_sul5B@18			3,74	0,14			
MV_sul5B@19			3,79	0,15			
MV_sul5B@20			3,78	0,14			
MV_sul5B@21			3,68	0,15			
Rut-sul5B@44	standard					1,20	0,14
Rut-sul5B@45	standard					1,31	0,14
Rut-sul5B@46	standard					1,34	0,15
EØ11005_1@1		po	0,06	0,15	2,32		
EØ11005_1@2		po	0,03	0,15	2,28		
EØ11005_1@3		po	-0,18	0,15	2,08		
EØ11005_1@4		po	-0,25	0,15	2,01		
EØ11005_1@5		po	-0,05	0,15	2,21		
EØ11005_1@6		po	0,39	0,14	2,65		
Rut-sul5B@47	standard					1,26	0,15
Rut-sul5B@48	standard					1,27	0,14
EØ11005_1@7		po	-0,43	0,15	1,82		
EØ11005_1@8		po	-0,02	0,15	2,24		
EØ11005_1@9		po	0,07	0,14	2,32		
EØ11005_1@10		po	0,24	0,15	2,49		
EØ11005_1@11		po	0,14	0,16	2,39		
EØ11005_1@12		? Feil plassert på prøve!	3,36	0,14	5,62		
Rut-sul5B@49	standard					1,44	0,14
Rut-sul5B@50	standard					1,34	0,14
EØ11005_2@1		po	0,33	0,15	2,58		
EØ11005_2@2		? Feil plassert på prøve!	3,95	0,16	6,20		
EØ11005_2@3		po	-0,47	0,15	1,78		
EØ11005_2@4		po	0,69	0,14	2,95		
EØ11005_3@1		po	-0,22	0,14	2,04		
EØ11005_3@2		po	-0,35	0,16	1,91		
Rut-sul5B@51	standard					1,17	0,14
Rut-sul5B@52	standard					1,22	0,15
EØ11005_3@3		po	-0,35	0,15	1,91		
EØ11005_3@4		po	-0,34	0,16	1,92		
EØ11005_3@5		po	0,04	0,16	2,29		
EØ11005_3@6		po	0,05	0,15	2,31		
EØ11005_3@7		po	-0,26	0,14	2,00		
EØ11005_3@8		? Feil plassert på prøve!	-2,81	0,16	-0,56		
MV_sul5B@22			3,84	0,15			
MV_sul5B@23			3,67	0,16			
EØ11005_3@9		po	-0,25	0,15	2,01		
EØ11005_3@10		po	-0,26	0,15	1,99		
EØ11005_3@11		? Feil plassert på prøve!	2,43	0,14	4,69		
EØ11005_3@12		po	0,02	0,15	2,28		
EØ11005_3@13		po	-0,14	0,15	2,12		
EØ11005_3@14		po	-0,20	0,16	2,05		

Vedlegg H: Svovelisotopdata.

Mv_sul5B@24			3,90	0,15			
Mv_sul5B@25			3,92	0,16			
EØ11005_3@15		Not sulfide	-10108,90	#VERDI!			
EØ11005_3@16		Not sulfide	-4166,77	#VERDI!			
EØ11005_3@17		Not sulfide	-2176,39	#VERDI!			
EØ11005_3@18		Not sulfide	-17954,82	#VERDI!			
Mv_sul5B@26			3,88	0,15			
Mv_sul5B@27			3,96	0,16			
Mv_sul5B@28			3,72	0,15			
Rut-sul5B@53	standard					1,07	0,15
Rut-sul5B@54	standard					1,11	0,14
Rut-sul5B@55	standard					1,21	0,14