

Magmatiske malmdannende prosesser i Reinfjord, Seiland magmatiske provins

En studie av kjemisk sammensetning av
olivin i forbindelse med ultramafisk
magmatisk aktivitet

Lars Anker-Rasch

Geologi

Innlevert: oktober 2013

Hovedveileder: Rune Berg Larsen, IGB

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for geologi og bergteknikk

Sammendrag

En systematisk petrografisk og geokjemisk analyse av olivin i Reinfjord (Troms) blir her gitt. Oppgaven har til hensikt å øke forståelsen geologien i Reinfjord og de ultramafiske bergartene spesielt. Det vil bli fokusert på olivin og nikkelinholdets vertikale kjemiske variasjon i Reinfjord for å kunne belyse om nikkellrike sulfidforekomster ble dannet under krystallisering av Reinfjordkomplekset. Feltarbeid med kartlegging og innsamling av prøver, mikroskopering, geokjemiske analyser (EPMA, XRF, ICP-MS/AES) er utført for å samle data som presenteres og tolkes.

Området som kartlegges og tas prøver av er en del av Seiland magmatiske provins (SIP), der Reinfjord utgjør ca. 25km² av totalt 5500km². Bergartene stammer fra en magmatisk intrusjon som fant sted for ca. 560-570 millioner år siden på ca. 25km dyp i jordskorpen. Tidligere arbeid i området har kartlagt tre lagdelte ultramafiske bergartsserier som det vil gjøres ytterligere undersøkelser på gjennom denne oppgaven.

Mg-rike olivinkumulater befinner seg i bunnen av Central Series og Fe-innholdet i olivin stiger med høyden i denne serien. CS har høyest Mg-innhold, fulgt av ULS og deretter LLS. Hovedelementanalyser og sporlementanalyser viser at de Fe-rike olivinmineralene inneholder mer nikkell enn de Mg-rike. Dette kan tyde på at nikkell har fjernet seg fra den krystalliserende smelten enten samtidig eller før Mg-olivin krystalliserte fra smelten. Analysene gir også verdier som tyder på at magmakammeret har vært forholdsvis åpent og hatt tilførsel av ny magma.

Abstract

A systematical petrographical and geochemical analysis of olivine in Reinfjord (Troms, Northern Norway), is presented. The aim of this study is to increase the understanding of the geology in Reinfjord and the ultramafic rocks in particular. The focus will be on olivine and the vertical chemical variations of nickel, to shed light on the possibility of nickel having formed as part of a sulphide deposit during the crystallization of the Reinfjord complex. Fieldwork with mapping and collection of specimens, microscopy, geochemical analysis (EPMA, XRF, ICP-MS/AES) has been conducted to collect data that will be presented and interpreted.

The mapped and sampled area is part of the Seiland Igneous Province (SIP), in which Reinfjord is a small part covering about 25km² of the province's 5500km². The rocks in Reinfjord were formed as an igneous intrusion that occurred approximately 560-570 million years ago, at about 25km depth in the crust. Previous work in the area has identified three layered ultramafic intrusions that this work will research further.

Mg-rich olivine cumulates are found in the bottom part of the Central Series and Fe-content of olivine increases with increasing height in the rocks. CS has the highest Mg-content in olivine, followed by ULS and LLS.

Major and trace element analysis indicates that the Fe-rich olivine minerals contain more nickel than the Mg-rich olivine. This may indicate that nickel was removed from the crystallizing melt, either simultaneously, or before Mg-rich olivine crystallized from the melt. The analysis also provides values suggesting that the magma chamber has been relatively open and had injections of new magma.

Innholdsliste

Sammendrag	I
Abstract	II
Innholdsliste	III
Figur og tabell-liste:	VI
Forord:	XI
Kapittel 1: Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Hensikt og problemstilling	1
1.3 Området Reinfjord	2
1.4 Tidligere arbeid	3
1.5 Regionalgeologi	4
1.6 Det ultramafiske komplekset, (RUK)	5
1.6.1 Generell geologi i Reinfjord	6
Kapittel 2: Teori	12
2.1 Lagdelte mafiske og ultramafiske intrusjoner	12
2.1.2 Magmadannelse og magmatiske malmforekomster	14
2.1.3 Partiell oppsmelting	16
2.1.4 Krystallisering	18
2.1.5 Malmdannende faktorer	19
Kapittel 3: Metode	22
3.1 Feltarbeid	22
3.2 Preparering	24
3.3 Geokjemiske analysemetoder:	29

3.4 HMS.....	32
3.5 Litteratursøk.....	32
Kapittel 4: Resultater	33
4.1 Feltarbeid	33
4.1.1 Kartlegging	33
4.1.2 Makroskopisk bergartsbeskrivelse og serier	35
4.2 Mikroskopiske bergartsbeskrivelser	43
4.2.1 Mineraler.....	43
4.2.2 Bergarter	47
4.3 Geokjemiske analyser	48
4.3.1 Hovedelementer	48
4.3.2 Sporelementer	53
4.3.3 EPMA	61
Kapittel 5: Diskusjon	72
5.1 Reinfjord Ultramafiske Kompleks.....	72
5.2 Geokjemiske analyser	72
5.2.1 Hovedelementer	72
5.2.2 Sporelementer:	73
5.2.3 EPMA:	74
Kapittel 6: Konklusjon og forslag til videre arbeid	78
6.1: Konklusjon.....	78
6.2: Conclusions.....	78
6.3: Forslag til videre arbeid	79
Referanser:	80
Vedlegg A: Kart og prøvepunkter.....	83
Vedlegg B: Prøveliste	84
Vedlegg C: Hoved og sporelementsanalyse – ALS.....	86

Vedlegg D: Hoved og sporelementsanalyse – NTNU	89
Vedlegg E: Mikrosonderesultater:	92
Vedlegg F: Scan av tynnslip	105
Vedlegg G: Analysebetingelser – EPMA	145

Figur og tabell-liste:

Figur 1.1: RUKs plassering i Norge Figure 1.1: The location of RUK in Norway	3
Figur 1.2 : Oversiktsbilde av den vestre siden av intrusjonene. CS er ikke synlig. Sett fra Reinfjord bygd. Figure 1.2: Overview of the western side of the intrusions, excluding CS. Seen from Reinfjord.8	8
Figur 1.3: Kart over RUK som viser Emblins reviderte versjon av nomenklaturen for de ulike seriene og sonene i området. En revidert versjon av grensene mellom disse vil bli presentert senere. Figure 1.3: Map showing RUK and Emblins revised nomenclature for zones and series in the area. A new and improved version of this map will be presented later in this text, where the borders have been changed to some extent.....	9
Figur 1.4: Store gabbroxenolitter er synlige i NEMZ. Figure 1.4: Large gabbro xenoliths in the north-eastern marginal zone.	11
Tabell 2.1: Klassifisering av gabbrobergartene (Prestvik, 2001). Table 2.1: The classification of gabbro rocks (Prestvik, 2001).	12
Tabell 2.2: Klassifisering av ultramafiske bergarter (Prestvik, 2001). Table 2.2: Classification of ultramafic rocks (Prestvik, 2001).....	12
Figur 2.1: Klassifisering av ultramafiske bergarter basert på olivin, opx og cpx. (LeMaitre, 2002) Figure: 2.1: Classification of ultramafic rocks, based on olivine, opx and cpx. (LeMaitre, 2002).....	13
Figur 2.2: Klassifisering av ultramafiske bergarter, basert på plagioklas, pyroksen og olivin. (Basert på LeMaitre, 2002) Figure 2.2: Classification of ultramafic rocks, based on plagioclase, pyroxene and olivine. (Base don LeMaitre, 2002).	13
Figur 2.3 : Mengdeinnhold av enkelte grunnstoffer i Basalt, Andesitt og Rhyolitt. (Robb, 2008). Figure 2.3: Abundance of some elements in Basalt, Andesite and Rhyolite. (Robb, 2008).....	15
Figur 2.4: Nikkel versus MgO i en basaltisk bergart, hvor nikkel ikke har mineralisert i en egen fase. (Robb, 2008). Figure 2.4: Nickel versus MgO in a basaltic rock, where Ni has not mineralized as a separate phase. (Robb, 2008).	16
Figur 2.5: Dannelse av smelte i en mantel-peridotitt ved økende temperatur og et trykk på 20kbar. Linje a og b viser henholdsvis en dannelse av smelte i et tørt miljø og i nærvær av 1,9 wt% H ₂ O, (Robb, 2008). Figure 2.5: The diagram shows the formation of melt from a peridotite in the mantle, with increasing temperatures and 20kbar pressure. The lines a and b show a melt forming in a dry environment and in the presence of 1,9 wt% H ₂ O, respectively. (Robb, 2008).....	17
Figur 2.6 To forskjellige tilfeller av tilførsel av ny magma. Øverst vises ny magma med høyere tetthet, nederst ny magma med lavere tetthet. (Robb, 2008). Figure 2.6: Two different instances of supply of new magma. Top: The magma supplied has a higher density than the existing magma. Bottom: The new magma has a lower density. (Robb, 2008).	20

Tabell 3.1: Feltnavn for bergarter og kort beskrivelse Table 3.1: Naming of rocks in the field, including short description.....	23
Tabell 3.2: Knusesteg og maskiner. Table 3.2: Stages of crushing and the machines used.	25
Figur 3.1: Knusemaskiner, fra venstre: Grovknuser, mellomknuser og finmaling. (Bilde: Endre Nerhus Øen) Figure 3.1: Machines used for crushing and milling, from left, step 1, 2 and 3. Respectively rough, middle crushing and fine milling.	25
Figur 3.2: Pressede piller klare for XRF-analyse. Figure 3.2: Compressed samples, ready for XRF analysis.....	27
Figur 3.3: Venstre, prioritert slip (LA11009). Høyre, nedprioritert slip (LA11011). Utsnittene er ikke reel størrelse. Figure 3.3: Left side, thin section prioritized for analysis. Right side, thin section not prioritized for analysis considering the amount of cracks and «health» of the minerals.	28
Figur 3.4: Elektronmikroskop og arbeidsstasjonen. Figure 3.4: Electron microscope and the work station.....	31
Figur 4.1: Revidert geologisk kart av den kartlagte delen av RUK. Figure 4.1: Revised geological map of the mapped part of RUK. Black crosses marks sample locations.	34
Figur 4.2 Langstrandgabbro, UMZ-, ULS- og CS. Figure 4.2 The Langstrandgabbro, UMZ, ULS and CS.....	35
Figur 4.3: Bildet viser de forskjellige seriene i forhold til hverandre. Bildet er tatt fra øst mot vest. ULS vises her tydelig mørkere enn CS. Figure 4.3: The picture shows the different series in relation to each other. The camera is pointing westwards. ULS is clearly a lot darker than the CS.....	36
Figur 4.4: Sørøstlig fjellside der lagelingen i ULS kan observeres. Nederst til venstre ser vi lys gabbro. Figure 4.4: South-eastern cliffside. The layering og the ULS is very clear through the whole series. Gabbro can be seen as a bright rock in the lower left.	37
Figur 4.5: Nærbilde av fjellsiden fra figur 4.4. Bildet viser lagdelingen i ULS. Figure 4.5: Close-up of the cliff wall from figure 4.4, showing the layering in the ULS.	38
Figur 4.6: Kryssjikt i en bergart med gradert modal lagdeling. Figure 4.6: Cross-bedding in a rock with clear modal layering.....	39
Figur 4.7: «Slumping» i en dunittisk bergart i/nær ULS. Figure 4.7: Slumping in a dunittic rock in or close to ULS.....	39
Figur 4.8: Modal lagdeling og forvitring varierer stort i enkelte deler av ULS. Bildene er tatt ca 50 meter fra hverandre. Figure 4.8: The modal layering and weathering of ULS varies greatly in some parts. These two pictures were taken 50 meters apart.....	40
Figur 4.9: Bildet viser mørke ganger som strekker seg gjennom CS nordøst for det prøvetatte området. Gangene er ofte flekket med mose og andre hardføre planter. Figure 4.9: The photo shows dark sills stretching through CS, just north-east of the sampled area. The sills often show patchy parts of lichen and similar plants that can deal with the rough climate.	41

Figur 4.10: «Dunittfinger» med prøvepunkter. Prøvene viser et økende innhold av olivin fra venstre mot høyre og opp. LA12017 er en plagioklasførende wehrlitt, LA11011 en wehrlitt og LA12018 en wehrlitt med høyere innhold av olivin (og for øvrig et høyt innhold av TiO ₂). Figure 4.10: «Dunite finger» with sample points. Samples show an increase in olivine content from left to right. LA12017 is plagioclase bearing wehrlite, LA11011 a wehrlite and LA12018 a wherlite with a higher content of olivine (and a relative high content of TiO ₂).....	42
Figur 4.11: Bildet viser UMZ nær Langstrandgabbroen, der den tydelig skiller seg ut med en mørk rød rustfarge. Figure 4.11: The photo shows UMZ near the Langstrandgabbro, where it clearly differs from the gabbro with its red rusty color.....	43
Figur 4.12: Subhedral til anhedral kornform i prøve LA11010 (venstre) og LA11006 (høyre). Figure 4.12: Subhedral to anhedral crystals in sample number LA11010 (left) and LA11006 (right).	45
Figur 4.13: Euhedral og subhedral kornform i LLS fra prøve LA11014 (venstre, olivin) og LA11016 (høyre, cpx). Figure 4.13: Euhedral and subhedral crystals in LLS from sample number LA11014 (left, olivine) and LA11016 (right, cpx).	46
Figur 4.14: Poikilittisk tekstur i CS fra prøvenr LA12019. Polarisert lys på venstre side og normallys på høyre. Figure 4.14: Poikilittic texture in CS from sample number LA12019. Polarized light on the left, and normal light on the right.	46
Figur 4.15: Al ₂ O ₃ plottet mot % M/FM. Trenden er varierende men tyder på en økning ved Mg/Fe: 70-74 Figure 4.15: Al ₂ O ₃ plotted against % M/FM. Showing a varying trend with some increasing values at Mg/Fe:70-74.	48
Figur 4.16: CaO plottet mot % M/FM. Trenden er varierende men tyder på en økning ved Mg/Fe: 70-74 Figure 4.16: CaO plotted against % M/FM. Showing a varying trend with some increasing values at Mg/Fe:70-74.....	49
Figur 4.17: Cr ₂ O ₃ plottet mot % M/FM. Trenden er varierende men tyder på en økning ved Mg/Fe: 70-74 Figure 4.17: Cr ₂ O ₃ plotted against % M/FM. Showing a varying trend with some increasing values at Mg/Fe:70-74.	50
Figur 4.18: Fe ₂ O ₃ plottet mot % M/FM. viser en synkende trend ettersom forholdet M/FM stiger. Figure 4.18: Fe ₂ O ₃ plotted against % M/FM. Showing a decreasing trend as the ratio of M/FM increases.....	51
Figur 4.19: SiO ₂ plottet mot % M/FM. Trenden er varierende men tyder på en økning ved Mg/Fe: 70-74 Figure 4.19: SiO ₂ plotted against % M/FM. Showing a varying trend with some increasing values at M/FM:70-74.....	51
Figur 4.20: TiO ₂ plottet mot % M/FM. Trenden er varierende men tyder på en økning ved M/FM: 70-74 Figure 4.20: TiO ₂ plotted against % M/FM. Showing a varying trend with some increasing values at M/FM:70-74.....	52
Figur 4.21: REE plottet for Central Series. Figure 4.21: REE plotted for Central Series.	53

Figur 4.22: REE plottet for Upper Layered Series. Figure 4.22: REE plotted for Upper Layered Series.	53
Figur 4.23 Ba (ppm) plottet mot % M/FM. Figure 4.23: Ba (ppm) plotted against % M/FM. Showing and increasing trend between M/FM 70-74 and then a decrease.	54
Figur 4.24: Cr (ppm) plottet mot % M/FM. Her ses den en tydelig anrikning mellom M/FM: 70 og 74. Figure 4.24: Cr (ppm) plotted against % M/FM. A clear 2000ppm increase in Cr-values between M/FM: 70-74 can be seen, and later a strong decrease.	55
Figur 4.25: Cr (ppm) plottet mot V (ppm) Figure 4.25: Cr (ppm) plotted against V (ppm)	55
Figur 4.26 Bulkanalyse av kobolt plottet mot % M/FM Figure 4.26: Whole rock analysis of cobolt plotted against % M/FM.	56
Figur 4.27 Bulkanalyse av kobber plottet mot % M/FM Figure 4.27 Whole rock analysis of copper plotted against %M/FM	56
Figur 4.28 Bulkanalyse av Zn (ppm) plottet mot % M/FM Figure 4.28 Whole rock analysis of Zn (ppm) plotted againts %M/FM	57
Figur 4.29 Ni i olivin plottet mot bulkanalyse av Co. Figure 4.29 Ni in olivine plotted against whole rock analysis of Co.	57
Figur 4.30 Ni i olivin plottet mot bulkanalyse av Cu. Figure 4.30 Ni in olivine plotted against whole rock analysis of Cu.	58
Figur 4.31 Ni i olivin plottet mot bulkanalyse av Zn Figure 4.31 Ni in olivine plotted against whole rock analysis of Zn.	59
Figur 4.32 Ni i olivin plottet mot Ni i bulkanalyse Figure 4.32 Ni in olivine plotted against Ni in whole rock.	59
Figur 4.33 Vertikal variasjon av bulkanalyser av Ni (ppm) gjennom ULS og CS. Figure 4.33: Vertikal variation of Ni (ppm) in ULS and CS. From whole rock analysis.	60
Figur 4.34 Fordeling av Ni i olivin gjennom CS, ULS og LLS. Figure 4.34 Distribution of Ni in olivine in CS, ULS and LLS.	62
Figur 4.35 wt% Ni plottet mot wt% MgO i ULS. Figure 4.35 wt% Ni plotted against wt% MgO in ULS.	62
Figur 4.36 wt% Ni plottet mot wt% MgO i olivin fra CS. Figure 4.36 wt% Ni plotted against wt% MgO in olivine from CS.	63
Figur 4.37 Vertikal variasjon av MgO wt%, CS. Figure 4.37: Vertical variation of MgO wt%, CS. ..	64
Figur 4.38 Vertikal variasjon av MgO wt% i ULS. Figure 4.38 Vertical variation of MgO wt% in ULS.	65
Figur 4.39 Vertikal variasjon av Ni (ppm) i olivin for ULS og CS. Figure 4.39 Vertical variation of Ni (ppm) in olivine in ULS and CS.	66
Figur 4.40: Triplot for klinopyroksen i ULS. Figure 4.40: Triplot of clinopyroksene in ULS	67
Figur 4.41: Triplot for klinopyroksen i CS. Figure 4.41: Triplot of clinopyroxene in CS.	67

Figur 4.42: CaO wt% i cpx plottet mot MgO wt% Figure 4.42:CaO wt% in cpx plotted against MgO wt%	68
Figur 4.43: Al ₂ O ₃ wt% i cpx plottet mot MgO wt% Figure 4.43:Al ₂ O ₃ wt% in cpx plotted against MgO wt%	68
Figur 4.44: Cr ₂ O ₃ wt% i cpx plottet mot MgO wt% Figure 4.44:Cr ₂ O ₃ wt% in cpx plotted against MgO wt%	69
Figur 4.45: TiO ₂ wt% i cpx plottet mot MgO wt% Figure 4.45:TiO ₂ wt% in cpx plotted against MgO wt%	69
Figur 4.46: CaO wt% plottet mot MgO wt% i ULS. Figure 4.46: CaO wt% plotted against MgO wt% in ULS.....	70
Figur 4.47: Al ₂ O ₃ wt% plottet mot MgO wt% i ULS. Figure 4.47: Al ₂ O ₃ wt% plotted against MgO wt% in ULS.....	70
Figur 4.48: Cr ₂ O ₃ wt% plottet mot MgO wt% i ULS. Figure 4.48: Cr ₂ O ₃ wt% plotted against MgO wt% in ULS.....	71
Figur 4.49: TiO ₂ wt% plottet mot MgO wt% Figure 4.49: TiO ₂ wt% plotted against MgO wt%	71
Tabell 5.1: Gjennomsnittlig innhold av MgO% fra hovedelementsanalyse. Table 5.1: Average MgO% from major element analysis.....	73

Forord:

Våren 2011 tok jeg valget å begynne på en master i geologi, innen retningen berggrunn og ressursgeologi. Dette resulterte i samtaler med Rune Berg Larsen, der han fortalte om et prosjekt han gjerne kunne tenke seg å ha en ekstra student med på. Forslaget hørtes spennende ut, og jeg ble sendt på feltarbeid langt nord i Norge, til en sparsomt bebodd halvøy.

Geologien og naturen i Nord-Norge har vært en spennende opplevelse, med gode stunder i Reinfjord bygd, så vel som på toppen av de magmatiske bergartene.

En takk sendes til Endre Nerhus Øen, for et flott samarbeid i felt og laboratoriet, og Rune Larsen som gav meg muligheten til å jobbe med den spennende geologien.

Også takk til: Markku Iljina for kloke ord ved feltarbeidet i 2012; Mona Schanche og Nordic Mining som finansierte store deler av prosjektet; Marian Holness ved University of Cambridge for tilgang på mikroskop; Sarah Roeske og Nick Botto for veiledning på University of California, Davis, og Torill Sørløkk, Steinar Ellefmo, og Suzanne McEnroe.

En spesiell takk sendes til min samboer Sunniva E. McLees som har vist stor tålmodighet og støtte gjennom mitt arbeid med oppgaven.

Lars Anker-Rasch

London 31.10.2013

Kapittel 1: Innledning

1.1 Bakgrunn

Oppgaven omhandler silikatmineralene (hovedsakelig olivin) og geologien i Reinfjord (Troms). Arbeidet ble påbegynt sommeren 2011 og blir avsluttet høsten 2013. Denne oppgaven er skrevet i samarbeid med Nordic Mining (NM) som har stått for den økonomiske finansieringen av feltarbeidet og deler av analysene som har blitt gjort. NM har i det aktuelle området økonomiske interesser og har under arbeidet med denne oppgaven leterettigheter i området ved Reinfjorden. NM har utført prospekteringsarbeid, blant annet geofysiske og elektromagnetiske målinger så vel som boring av to kjerner (Nordic Mining, 2012). I tillegg til masteroppgaven til Endre Nerhus Øen, skal denne oppgaven være med på å øke forståelsen av geologien i området rundt Reinfjorden, primært de ultramafiske bergartene. Arbeidet har i korte trekk bestått av feltarbeid, prøvepreparering og analyser av prøvene. Dette arbeidet har blitt gjort i samarbeid med Endre, som med sin oppgave har fokusert på områdets sulfider og deres opptreden. Denne oppgaven har som tidligere nevnt fokus på olivin og silikatmineralene innenfor de ultramafiske bergartene i Reinfjorden. Veileder for oppgaven har vært Rune Berg Larsen ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU).

1.2 Hensikt og problemstilling

Denne oppgaven har til hensikt å øke forståelsen av geologien i Reinfjord. Den vil fokusere på olivin spesielt og silikatenes vertikale kjemiske variasjon og opptreden. Økt kunnskap om olivin og dens kjemiske innhold vil være med på å gi en bedre forståelse av den magmatiske utviklingen i området:

Problemstillingen for oppgaven er som følger:

- En systematisk petrografisk og geokjemisk analyse av olivin sin petrografi og geokjemi for å indikere vertikale endringer i nikkelinhold som kan belyse om Ni-rike sulfidforekomster ble dannet under krystallisering av Reinfjordkomplekset.

- Analyse av olivins (og andre silikat-primokryster) geokjemiske sammensetning på forskjellige nivåer i det lagdelte komplekset ønskes også analysert for å belyse intrusjonens magmatiske utvikling.

1.3 Området Reinfjord

Feltarbeidet har blitt utført i Reinfjord som ligger på Øksfjordhalvøya i Kvænangen kommune (Troms), Figur 1.1.

Området består topografisk av bratte fjell som strekker seg fra fjordene og opp mot 900 m.o.h. Grunnet den nordlige beliggenheten er klimaet for det meste kjølig i løpet av året og vegetasjonen er sparsom over 200 m.o.h. I det aktuelle området der feltarbeidet har pågått var det i praksis ingen vegetasjon, hvilket gjorde arbeidet til en «fryd» ettersom bergartene var godt blottet i terrenget. Plataet der bergartsprøver er samlet ligger på ca. 600 m.o.h og er på sommertid tilgjengelig kun til fots eller ved bruk av helikopter.



Figur 1.1: RUKs plassering i Norge
 Figure 1.1: The location of RUK in Norway

1.4 Tidligere arbeid

De tidligste referansene til SIP ble gjort av Petterson allerede i 1883 og senere av Barth 1927.

Barth (1953) kom med beskrivelser av de gabbroiske bergartene i Seilandprovinsen.

Provinsen ble beskrevet til å inneholde ultramafiske, syenitt og anortosittiske lag. Barth beskriver her også store forekomster av peridotitt. Oosterom (1963) kommer med de første detaljerte beskrivelsene av ultramafiske og gabbroiske bergarter i SIP og nevner blant annet lagdelt olivingabbro. Opphavet til bergarten blir beskrevet som differensiering av basaltisk magma og som del av et større metamorft kompleks.

Reinfjord Ultramafiske Kompleks (RUK) ble for første gang beskrevet av Bennett (1971).

I 1974 kom Bennett med en større beskrivelse av geologien i Reinfjord og SIP og dets likheter med «Alaskan-type» komplekser.

Som tidligere nevnt ble soneinndelingene i Reinfjord fra Bennett videreført og revidert av Emblin (1985). Emblins Ph.D gir en nøye gjennomgang av petrografiske og geokjemiske analyser fra de forskjellige sonene i RUK, som legger grunnlaget for senere arbeid i området.

1.5 Regionalgeologi

Fylkene Troms og Finnmark har en geologi som spenner over lang tid. Vest i Finnmark/Finnmarksvidda finner vi arkeisk og proterozoisk gneiss som danner grunnfjellet i Norge. Beveger vi oss nord-vestover vil vi møte på metamorfe sedimentbergarter, til store grønnsteinsbelter. Disse skyvedekkenene i Troms og Finnmark er et resultat av at landmassene Laurentia («Grønland») og Baltika («Norge») «kolliderte». «Den kaledonske orogesen» inkluderer de tektoniske hendelsene som pågikk i tidsaldrene Ordovicium, Silur og Devon (McKerrow et al., 2000) da Iapetushavet lukket seg og sedimenter, havbunn i tillegg til grunnfjell fra Laurentia ble skjøvet opp på Baltika.

Skyvedekkenene i Nord-Norge er delt inn i fire alloktoner, fra nedre, midtre, øvre og øverste allkoton. Disse enhetene stablet oppå hverandre kalles en tektonostratigrafi der det nederste laget er autokton/parautokton grunnfjell og sedimenter som har liten til ingen forflytning. Denne delen refereres til som nedre allokton. Midtre allkoton består av kontinentalskyvedekker som er transportert over en lengre avstand, hvor man finner bergarter som har tilhørt Baltikas margin eller mikrokontinenter som lå i Iapetushavet. Øvre og øverste allokton har forflyttet seg over store avstander, flere hundre kilometer, og er deler av det tidligere Iapetushavet i tillegg til Laurentia. (Ramberg et al, 2008).

Kalak dekkekompleks befinner seg i midtre allokton og er utsatt for mer metamorfose enn den underliggende alloktonen. I tillegg til avsetninger fra sen-proterozoikum til kambrium/silur, finner vi magmatiske bergarter. Helt øverst i denne lagpakken ligger Sørøydekket som inkluderer Seiland magmatiske provins – Seiland Igneous Province (SIP). Provinsen strekker seg over et område på ca. 5500km², til sammenlikning litt større enn Akershus fylke.

I 1975 var forståelsen av SIP at de magmatiske intrusjonene oppstod som følge av en subduksjonssone (Robins, Gardner, 1975) der havbunnsplaten ble presset østover, under kontinentalplaten og gav opphavet til tholeittisk og alkaliske magma. Derimot foreslår Krill og Zwaan i 1987 en modell styrt av ekstensjonstektonikk og kontinental rifting for å forklare dannelsen av de magmatiske bergartene (Krill og Zwaan, 1987).

Tidspunktet for den mafiske magmatiske aktiviteten i SIP blir bestemt til 570-560Ma med U-Pb-datering i zirkon. De alkaliske bergartene er datert til 530-520Ma (Roberts, et al., 2006). Dette tyder på en meget rask magmatisk episode som har spent over noen få ti-talls millioner år og der hoveddelen av magmaene (>90%) ble avsatt på 4-10Ma. Tidligere har det blitt presentert dateringer hvor den magmatiske aktiviteten tolkes til å ha pågått over så mye som 250 millioner år (Daly et al. 1991). Roberts dateringer peker også i samme retning som Krill og Zwaans tolkninger om et ekstensjonsregime. SIP er å anse som en rest fra et eldre magmatisk terreng som har blitt presset opp på marginen av Baltika under den kaledonske orogenezen som pågikk ved 420Ma.

Roberts (2007) har estimert bergartskomposisjonen i SIP til å være 50% gabbro, 35% ultramafisk, 10% felsisk og 5% alkalisk.

Griffin et al., 2013, gir magmaet til de ultramafiske intrusjonene i SIP en dunitisk sammensetning. Han tolker intrusjonene i SIP til å ha vært dunitiske, og at dagens bergartssammensetning er et resultat av stor assimilering med sidebergartene.

Dette arbeidet blir kritisert og videre diskutert i Robins, 2013, og Griffin et al, 2013.

1.6 Det ultramafiske komplekset, (RUK)

RUK og området for feltarbeid er plassert i Kvæningen kommune (Troms). Rundt RUK ligger det granatgneis og gabbro. De ultramafiske bergartene dekker et omtrentlig område på 25 km² og strekker seg videre nord-øst, inn i Finnmark fylke.

Inndelingen av de ultramafiske seriene baserer seg på nomenklatur av Bennett (1971) som senere er revidert og forbedret av Emblin (1985). Emblins reviderte versjon er videreført i dette arbeidet, for å unngå forvirring i nomenklaturbruk, bl.a. med tanke på Endre Øens masteroppgave, som har benyttet seg av denne reviderte utgaven. Se figur 1.3 for kart over Emblins reviderte inndeling av sonene i RUK.

1.6.1 Generell geologi i Reinfjord

Langstrandgabbro (sidebergart)

Langstrandgabbroen strekker seg over et område på ca. 100km² og er antatt å være noe eldre enn intrusjonene. Det er denne bergarten de ultramafiske bergartene intruderte da de beveget seg mot overflaten. Om Langstrandgabbroen var ferdig krystallisert før RUK intruderte, er det forventet å finne en rekrystallisert sone rundt de ultramafiske bergartene. Dette er ikke observert, og det er dermed tenkelig at Langstrandgabbroen fortsatt hadde signifikant temperatur da RUK intruderte området (Bennett et al., 1986). Langstrandgabbroen skiller ULS og LLS (nevnt senere), synlig som en gabbro «screen» langs den sør-vestre delen av komplekset. Denne gabbroen er lett synlig fra hele sørsiden av området og består av gabbronoritt og gabbro.

Tynnslip av prøver fra og nær kontakt mellom Langstrandgabbroen og RUK viser et høyere innhold av plagioklas.

Granatgneis (sidebergart)

Granatgneisen er antatt å være metasedimenter som har blitt utsatt for metamorfose med trykk og temperaturforhold som tilsvarer øvre amfibolittfacies.

Nær kontakten med de magmatiske bergartene strekker det seg en termisk aureole ut til en avstand på ca. 2km fra intrusjonene av Langstrandgabbroen, og deretter RUK. Både sillimanitt og kyanitt er vanlig i den termiske aureolen nær intrusjonene (Emblin 1985).

Under feltarbeidet i 2011 ble granatgneisen besøkt, men det ble ikke gjort noen store forsøk på å finne disse to mineralene.

Stedvis, langs kontakten, har metamorfosen i Langstrandgabbroen nådd granulittfacies, (Emblin 1985).

Lower Layered Series (LLS)

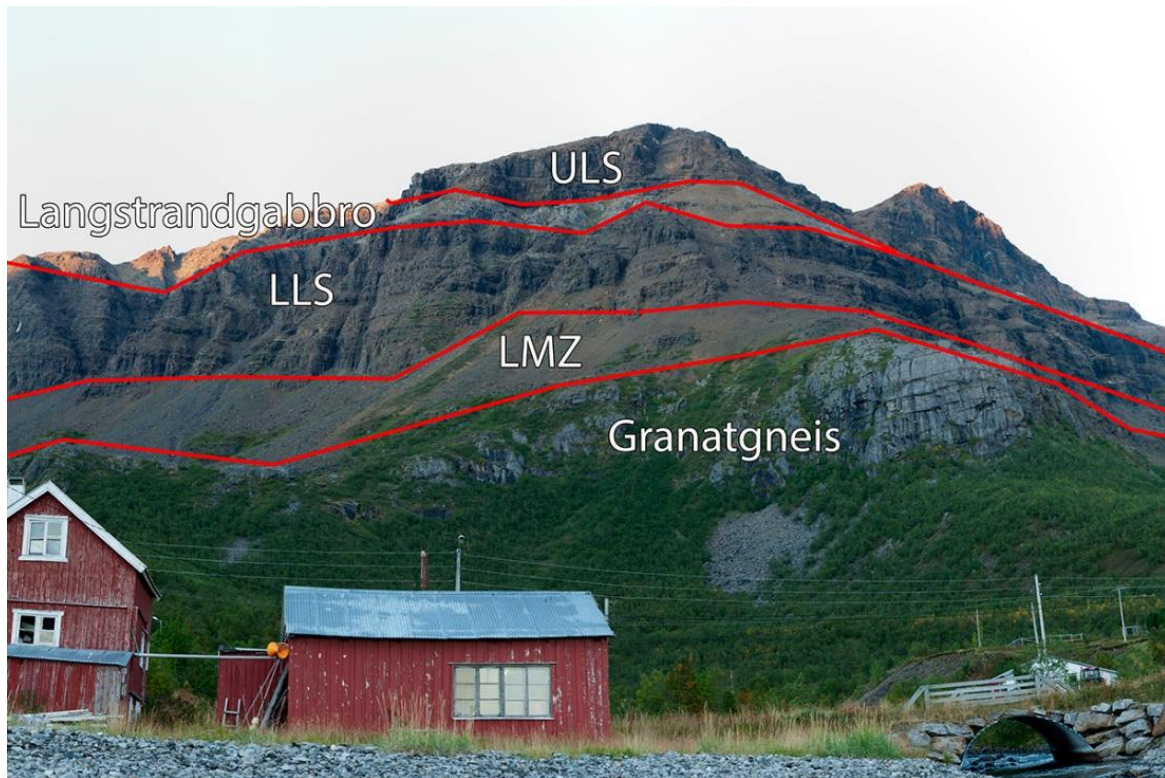
Denne lagdelte serien består hovedsakelig av lherzolitt og wherlitt i tillegg til klinopyroksenitt og er best synlig i fjellsiden sør-vest i RUK, under Langstrandgabbroen. Serien viser utvikling i fire sykliske enheter med variasjoner i innhold av olivin og olivin-klinopyroksenitt kumulater. Modal lagdeling er tydelig gjennom hele sekvensen og kan observeres som meterskala lagdelinger i tillegg til (noe utydelige) mindre cm-skala lagdeling.

Upper Layered Series (ULS)

ULS befinner seg over den tidligere nevnte «gabbro screen» og har en større utbredelse enn LLS. Vi finner ULS på både nord-vest-siden og sør-øst siden av Central Series. ULS viser på samme måte som LLS, sykliske enheter der vi kan observere variasjoner i krystallisering av olivin- og olivin-klinopyroksenitt-kumulater. I ULS er det registrert 7 slike sykluser.

Bergarten er hovedsakelig av wherlittisk sammensetning, men viser variasjoner fra dunitt til olivin-websteritt i mineralsammensetning.

Innenfor det aktuelle området måler tykkelsen på ULS 250m på det meste, der den strekker seg fra Langstrandgabbroen på 550m.o.h til en fjelltopp på 800m.o.h. Som i LLS er ULS også preget av modal lagdeling som det er mulig å følge flere hundre meter horisontalt. Lagdelingene opptrer på meterskala så vel som cm-skala. I enkelte områder av ULS er det observert gabbro-xenolitter og innslag av pegmatittisk gabbro, der enkeltmineraller ble målt til å være rundt 5cm i diameter.



Figur 1.2 : Oversiktsbilde av den vestre siden av intrusjonene. CS er ikke synlig. Sett fra Rein fjord bygd.

Figure 1.2: Overview of the western side of the intrusions, excluding CS. Seen from Rein fjord.

Central Series (CS)

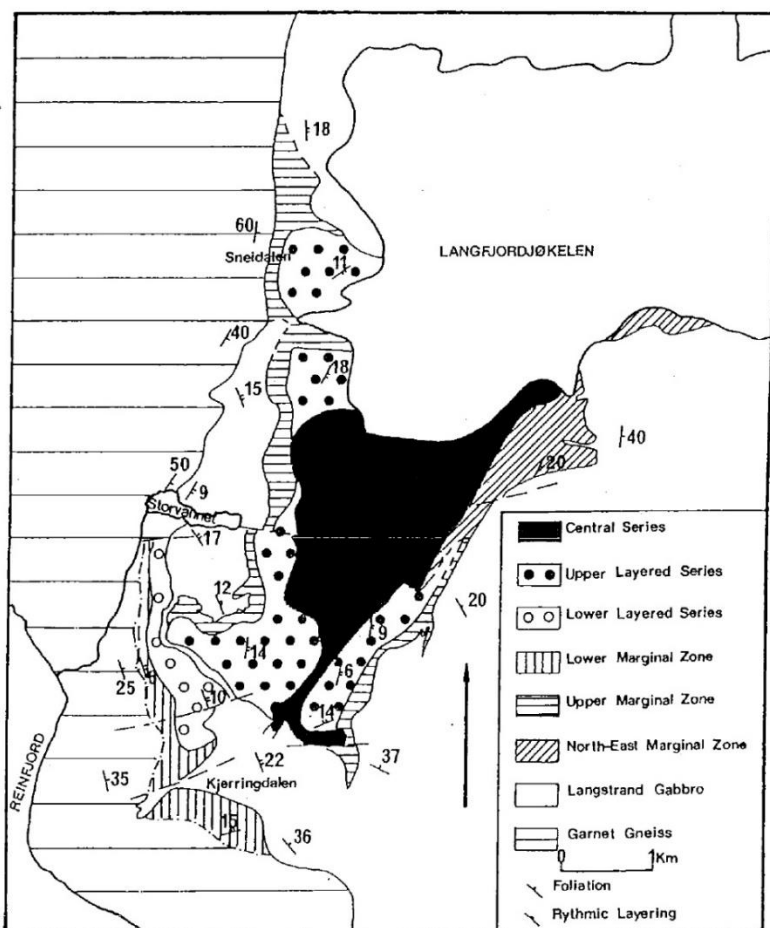
CS ligger sentralt i de lagdelte seriene, som en lysere bergart med høyere innhold av olivin. Den kutter gjennom ULS og er dermed en senere fase av intrusjon i RUK. Primært er CS dunittisk, som av og til viser poikilittisk tekstur. CS går fra en bredde på ca. 350m i sør-vest og brer seg utover terrenget etter hvert som man beveger seg i nord-østlig retning. På det meste spenner CS over ca. 2km horisontalt. CS ser ut til å stoppe ved kontakten med Langstrandgabbroen i sør-vest, der den er avskåret av en forkastning med strøk i retning NV-SØ.

Marginal Zone (MZ)

Langs den sør-østre og nord-vestre siden av komplekset, finner vi en overgangssone bestående av websteritt, olivin-websteritt, wehrlitt og stedvis lherzolitt.

Marginalsonene står mellom intrusjonene, gabbroen og gneisen. De er delt inn i Lower Marginal Zone, Upper Marginal Zone og North-Eastern Marginal Zone. (Emblin, 1985), men for denne oppgaven vil LMZ og UMZ omtales som «marginalsonen» og NEMZ blir stående for seg selv. Marginalsonen er assosiert med sulfidmineraliseringer, noe som blir ytterligere dekket av Endre i hans masteroppgave.

Under feltarbeid ble det ofte observert xenolitter i sammenheng med marginalsonene, dette var spesielt tydelig i NEMZ, der gabbroiske xenolitter i meter-størrelse dekket en fjellside. Den nord-østlige delen av marginalsonen (NEMZ) viser store xenolitter av gabbro. Se figur 1.4.



Figur 1.3: Kart over RUK som viser Emblins reviderte versjon av nomenklaturen for de ulike seriene og sonene i området. En revidert versjon av grensene mellom disse vil bli presentert senere.

Figure 1.3: Map showing RUK and Emblins revised nomenclature for zones and series in the area. A new and improved version of this map will be presented later in this text, where the borders have been changed to some extent.

Orientering

RUKs sykliske lagdelinger og modale lagdelinger viser generelt en helning i østlig retning. Opp tredenen av dunitt nederst og et økende innhold av pyroksen oppover, i tillegg til Nord-Norges tektoniske historie, gjør det tydelig at bergartenes opprinnelige orientering er mer eller mindre bevart. Noen få større forkastninger er observert, men disse er vurdert til å ikke være av nevneverdig betydning for RUKs orientering.

Deformasjon

Området er ikke utsatt for stor deformasjon. Det er observert mange mindre forkastninger der bevegelsen er anslagsvis 4-6 cm og andre steder ca. 30cm Disse forkastningene viser ofte serpentinisering og flere løsblokker i området har sider med glideplan langs serpentinmineraliseringer. Det er registrert 6 større forkastninger i området, der alle unntatt en har strøketretning ca. Ø-V. Den siste forkastningen følger CS fra kontakten med Langstrandgabbroen i sør-vest og strekker seg ca. 1,5km i nord-østlig retning.

Utvikling

Sammenhengen mellom de to seriene ULS og LLS er ikke kjent. De er skilt ved en gabbro screen, men det er sannsynlig at LLS var den første ultramafiske intrusjonen i området.

RUK har i Emblins arbeider (1985) blitt gitt en dybde på 22-28km der trykket skal ha vært mellom 6 og 8 kbar. Emplassingstemperaturen for magmaene som dannet bergartene er noe forskjellig, der ULS er gitt en temperatur på 1350-1400°C og CS er gitt et estimat på ca. 1450°C. Magnesiuminnholdet varierer i området, og går fra høyeste verdiene i CS og synker etter hvert som man beveger seg gjennom ULS, LLS og MZ. Om bergartene ble plassert i RUK som følge av en enkelt magmapuls, er det forventet å se et synkende innhold av magnesium etter hvert som bergarten krystalliserer. Derimot er den yngste bergarten riket på Mg, noe som kan tyde på ny tilførsel av magma i et åpent magmakammer.



Figur 1.4: Store gabbroxenolitter er synlige i NEMZ.

Figure 1.4: Large gabbro xenoliths in the north-eastern marginal zone.

Kapittel 2: Teori

2.1 Lagdelte mafiske og ultramafiske intrusjoner

2.1.1 Klassifisering av bergarter

For klassifisering av de mafiske og ultramafiske bergartene vil det i denne oppgaven bli brukt fremgangsmetoden vist i Prestvik, 2001. Denne klassifikasjonen er basert på den anbefalte metoden av IUGS (the International Union of Geological Sciences). Tabell 2.1 viser inndeling av gabbrobergartene, Tabell 2.2, figur 2.1 og figur 2.2 viser inndeling av de ultramafiske bergartene

Gabbro	plagioklas + klinopyroksen
Noritt	plagioklas + ortopyroksen
Troktolitt	plagioklas + olivin
Gabbronoritt	plagioklas + klino-/ortopyroksen (ca. 50:50)
Klinopyroksen noritt	plagioklas + ortopyroksen og litt klinopyroksen
Ortopyroksen gabbro	plagioklas + klinopyroksen og litt ortopyroksen
Hornblendegabbro	plagioklas + hornblende (pyroksen <5%)

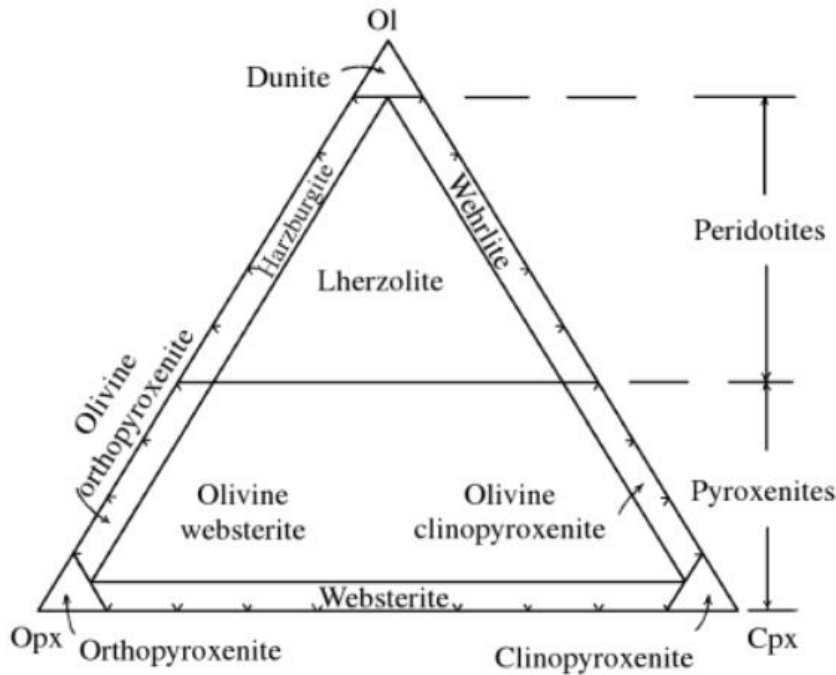
Tabell 2.1: Klassifisering av gabbrobergartene (Prestvik, 2001).

Table 2.1: The classification of gabbro rocks (Prestvik, 2001).

Dunit	olivin > 90 %
Harzburgitt	olivin (40 - 90 %) + opx
Lherzolitt	olivin (40 - 90 %) + opx + cpx
Wehrlitt	olivin (40 - 90%) + cpx
Ortopyroksenitt	ortopyroksen > 90%
Websteritt	opx (10-90%) + cpx (90 - 10%)
Klinopyroksenitt	klinopyroksen > 90%
Hornblendeperidotitt	olivin (40 - 90%) + hornblende
Pyroksenperidotitt	olivin (40 - 90%) + pyroksen
Hornblenditt	hornblende > 90%
Pyroksenitt	pyroksen > 90%

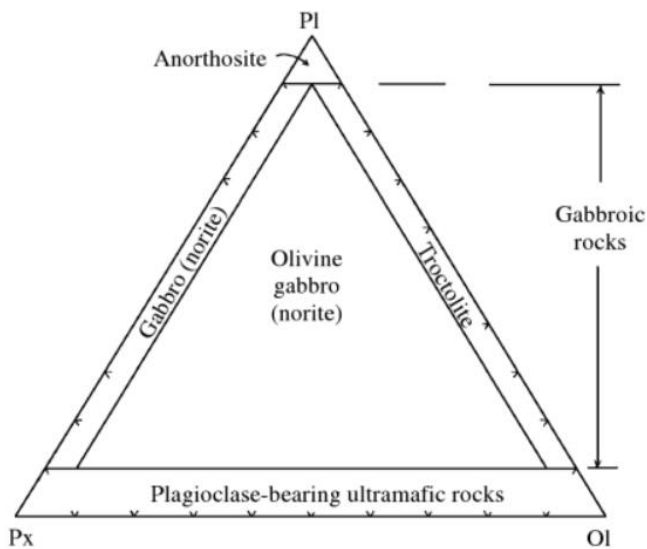
Tabell 2.2: Klassifisering av ultramafiske bergarter (Prestvik, 2001).

Table 2.2: Classification of ultramafic rocks (Prestvik, 2001).



Figur 2.1: Klassifisering av ultramafiske bergarter basert på olivin, opx og cpx. (LeMaitre, 2002)

Figure: 2.1: Classification of ultramafic rocks, based on olivine, opx and cpx. (LeMaitre, 2002).



Figur 2.2: Klassifisering av ultramafiske bergarter, basert på plagioklas, pyroksen og olivin. (Basert på LeMaitre, 2002)

Figure 2.2: Classification of ultramafic rocks, based on plagioclase, pyroxene and olivine. (Base don LeMaitre, 2002).

2.1.2 Magmadannelse og magmatiske malmforekomster

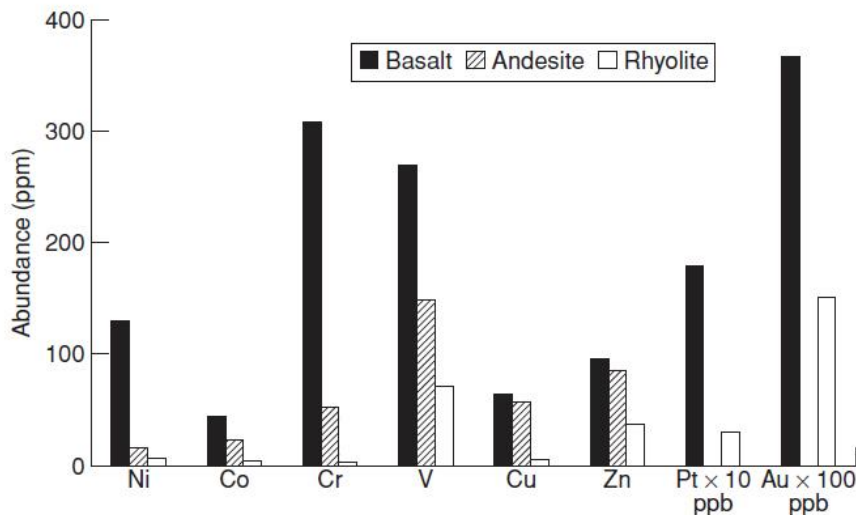
I tillegg til sedimentære og hydrotermale malmforekomster er magmatiske forekomster en viktig malmdannende prosess. De magmatiske prosessene er varierte og er hver for seg assosiert med forskjellige forekomster av metaller. Et magma kan dannes ved flere prosesser, blant annet som følge av subduksjon av oseansk litosfære, ekstensjonsregimer (litosfærisk fortynning), kompresjonsregimer.

Felsiske og alkaline bergarter er som regel assosiert med forekomster av litofile grunnstoffer som Be, Ca, Cr, Cs, Li, Na, Sr, Ta, U, V, Zr, W med flere. Mafiske og ultramafiske bergarter er derimot assosiert med forekomster av chalcofile (Ag, Bi, Pb, Po, Se, Sn, Zn, med flere) og siderofile grunnstoffer (Ni, Cu, Co, Pt, Pd, Au, med fler) (Robb, 2008). Chalcofile grunnstoffer i et magma har som regel en høyere affinitet til svovel enn oksygen. I en sulfidfase i et magma vil man dermed forvente å finne disse grunnstoffene, som under krystallisering vil danne forskjellige mineralfaser. Siderofile grunnstoffer danner sterke bånd med svovel, og vil i praksis ikke danne bindinger med oksygen. Flere siderofile grunnstoffer vil kunne danne sulfidmineraler, men vil som regel krystallisere som en metallisk fase, der det er metalliske bindinger som danner f.eks gedigent kobber eller gull.

Lagdelte mafiske og ultramafiske intrusjoner kan, som i Reinfjord, stamme fra et ekstensjonsregime (kontinental rifting) som resulterer i en oppsmelting av mantelen. Den overliggende litosfæren blir tynnere og trykket som blir utøvd på astenosfæren synker. Slik trykkavlastning som fører til magma, finner vi blant annet langs midthavsryggen i Atlanterhavet.

Basaltisk magma opptrer som oftest langs midthavsrygger, men er på ingen måte avgrenset til kun å dannes der. Slik magma kan dannes i de fleste tektoniske «settinger». Ved midthavsryggene vil partiell oppsmelting av mantelen gi en basaltisk smelte som generelt sett er av peridotittisk sammensetning. (Robb, 2008).

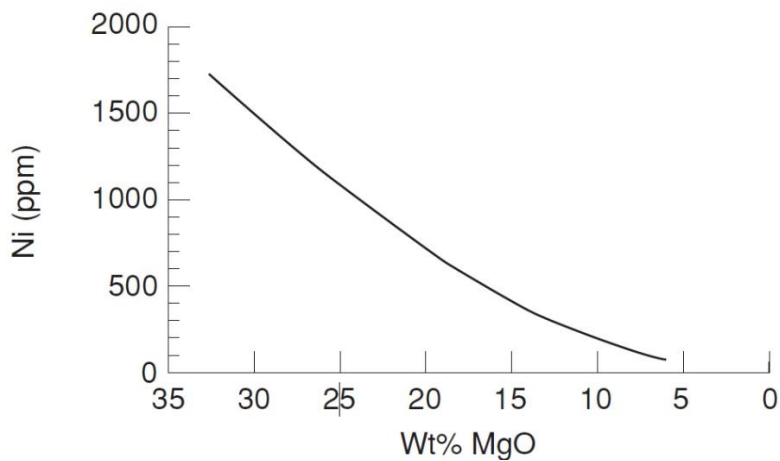
Mafiske intrusjoner er som regel assosiert med siderofile og chalcofile grunnstoffer, der disse er anriktet i smelten, gjennom partiell oppsmelting. Konsentrasjonen av Ni, Co, Cr, V, Cu, med flere, er uten tvil høyere i basalt sammenliknet med rhyolitt og andesitt, se Figur 2.3 som viser en oversikt over de tre bergartene, med relative innhold av nevnte grunnstoffer.



Figur 2.3 : Mengdeinnhold av enkelte grunnstoffer i Basalt, Andesitt og Rhyolitt. (Robb, 2008).

Figure 2.3: Abundance of some elements in Basalt, Andesite and Rhyolite. (Robb, 2008).

Sporelementer er grunnstoffer som opptrer i så liten mengde at de ikke vil kunne danne egne minerafaser ved krystallisering. Definisjoner for et sporelement oppfylles når konsentrasjonen i en bergart er lavere enn 0,1 vekt%. Selv om konsentrasjonen av et gitt grunnstoff er lavt i en smelte kan likevel sporelementenes kjemiske egenskaper være så like hovedelementene, at de kan gå inn i gitterstrukturene enten som følge av substitusjon, eller at de fyller gitterdefekter. Egenskapen som bestemmer om substitusjon forekommer er først og fremst ioneradien. Dersom et sporelement har en ioneradius +/- 15% kan det substituere for et annet element, gitt at sporelementet i tillegg har lik ladning eller kan danne binding med enda et element for å utlikne ladningforskjellen. Ni²⁺ vil for eksempel enkelt kunne substituere for Mg²⁺ i olivin. Figur 2.4 viser sammenheng mellom Ni-innhold og wt% MgO i en basaltisk bergart, der Ni ikke har krystallisert som en egen fase. Diagrammet gir derfor en god pekepinn på hvor lett Ni kan substituere for Mg.



Figur 2.4: Nikkel versus MgO i en basaltisk bergart, hvor nikkel ikke har mineralisert i en egen fase. (Robb, 2008).

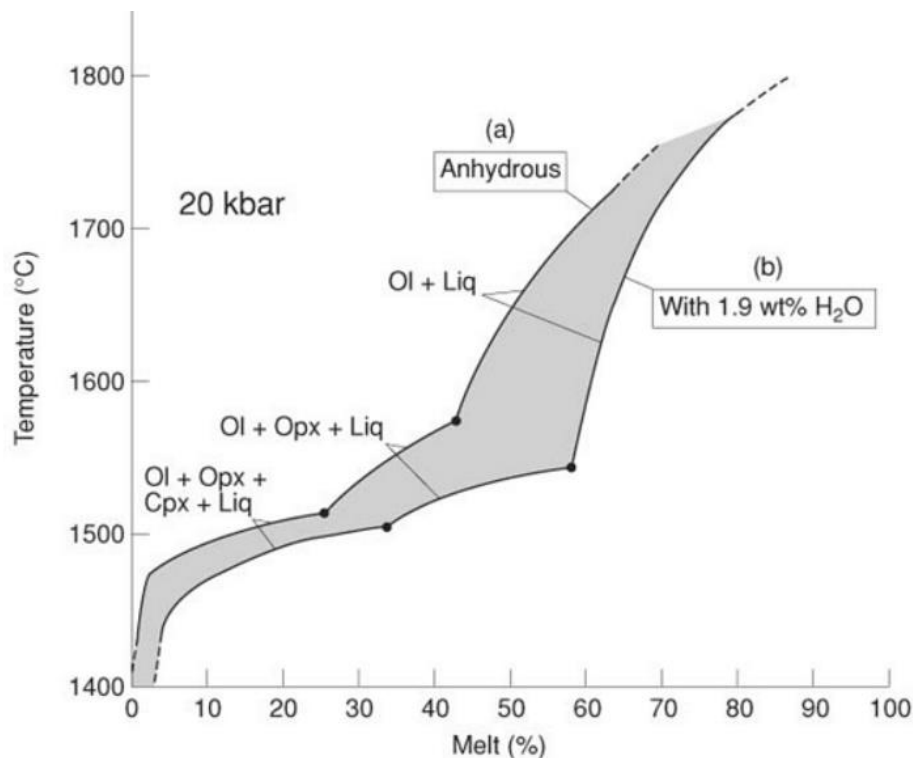
Figure 2.4: Nickel versus MgO in a basaltic rock, where Ni has not mineralized as a separate phase. (Robb, 2008).

2.1.3 Partiell oppsmelting

Ved oppsmelting av en mantelbergart er trykk og temperatur to viktige faktorer.

Temperaturen i øvre del av astenosfæren kan nå 1500°C, men det høye trykket fører til at smelting ikke oppstår. Basaltisk magma er for det meste forbundet med oppsmelting av oseansk litosfære, langs midthavsrygger. Her er litosfæren så tynn, og trykket så lavt, at mantelen ikke har store problemer med å smelte.

Basaltisk magma kan også dannes under kontinentallitosfæren. I tilfeller der det skjer en trykkavlastning (f.eks. ved kontinental rifting) vil den høye temperaturen og hovedsakelig det reduserte trykket føre til at vi får en delvis oppsmelting av mantelen. Dette kalles partiell oppsmelting og klinopyroksen vil være en av de første mineralene som smelter.



Figur 2.5: Dannelse av smelte i en mantel-peridotitt ved økende temperatur og et trykk på 20kbar. Linje a og b viser henholdsvis en dannelse av smelte i et tørt miljø og i nærvær av 1,9 wt% H₂O, (Robb, 2008).

Figure 2.5: The diagram shows the formation of melt from a peridotite in the mantle, with increasing temperatures and 20kbar pressure. The lines a and b show a melt forming in a dry environment and in the presence of 1,9 wt% H₂O, respectively. (Robb, 2008).

Figur 2.5 viser mineralselskapene som smelter fra en peridotitt ved økende temperatur. Ved 1400°C vil Cpx, Opx og Ol smelte, fra mest til minst, men dette er først og fremst i trippelpunkt (der tre mineraler møtes) som er termodynamisk ustabil. Når temperaturen stiger vil klinopyroksen ha smeltet totalt, og vi sitter igjen med en sammensetning av olivin og ortopyroksen som nå først vil smelte på de svakeste termodynamiske punktene (dobbelpunkt). Fra 1500° til ca 1570°C vil hovedsakelig ortopyroksen smelte ut, i tillegg til en del olivin. Fra denne temperaturen og opp er det så å si kun olivin igjen i kildebergarten, og det er dette mineralet som smeltes. Legg spesielt merke til stigningsgraden på linjene: mye klinopyroksen smelter over et relativt kort temperaturintervall, ca 20% av kildebergarten smelter mellom 1480 og 1510°C. Ortopyroksen trenger høyere temperatur for å smelte ut like mye, og olivin har en veldig bratt kurve som spenner over flere hundre grader for å danne like mye smelte som de to foregående mineralene.

Ved partiell oppsmelting vil den nydannede smelten raskt fjernes grunnet lav viskositet og en tetthet som er lavere enn den omliggende bergarten.

I denne tidlig dannede smelten vil vi få en anrikning av inkompatible sporelementer. Denne typen grunnstoffer har en høy affinitet til å gå inn i den flytende fasen i et magma, fremfor å bli i den faste krystalliserte fasen. Kompatible sporelementer vil derimot ha en høy affinitet for å bli i den faste fasen, og vil etter hvert som bergarten smelter opp, anrikes i den faste fasen.

2.1.4 Krystallisering

Ved krystallisering av et mafisk/ultramafisk magma kan det igjen refereres til figur 2.5. Krystalliseringen skjer dog som regel ved lavere trykk enn i figuren, men rekkefølgen være den samme, med «negativt» fortegn. Olivin er det første mineralet som krystalliserer, der Mg-varianten forsteritt vil krystallisere først. Ved atmosfærisk trykk har ren forsteritt en smeltetemperatur på ca 1890°C, i motsetning til fayalitt (Fe-olivin) som «bare» har 1200°C (Prestvik, 2008). Det er nærliggende å forvente at begge olivin-typene krystalliserer over et intervall, og ikke nødvendigvis nøyaktig på de nevnte temperaturene.

Tettheten på olivin er høyere enn tettheten på en mafisk-ultramafisk magma. Dette betyr at krystallasjon av forsteritt vil føre til at Fe-innholdet i restsmelten øker desto mer forsteritt som krystalliserer. I en fullstendig krystallisert intrusjon av mafisk opprinnelse vil det derfor være forventet å finne minkede Mg-innhold vertikalt oppover i bergarten, og en økende andel Fe. Denne utviklingen kalles fraksjonert krystallisering og er mulig å observere i RUK. Når så temperaturen har senket seg ytteligere vil både olivin og ortopyroksen krystallisere ut, deretter klinopyroksen.

Kompatible grunnstoffer i et krystalliserende magma har en sterk affinitet til å substituere og gå inn i krystallgittere i mineralene som krystalliserer. Inkompatible grunnstoffer har derimot egenskaper som tilsier at de vil bli igjen i smelten. Dette vil føre til en anrikning av de inkompatible grunnstoffene i restsmelten.

I RUK er ULS estimert til å ha en temperatur på ca 1350-1400°C ved krystallisering. CS er derimot estimert til å ha en temperatur på omtrentlig 1400-1450°C og et trykk på 6-8kbar (22-28km dybde) (Emblin, 1985). Den høye temperaturen kan skyldes at CS ble tilført

området gjennom et allerede dannet tilførselsystem for de mafiske og senere ultramafiske lagdelte bergartene. Magmaet som nå har dannet CS ble derfor «transportert» i et område som allerede var betydelig oppvarmet.

2.1.5 Malmdannende faktorer

Anrikning ved partiellsmelting og fraksjonert smelting er en av leddene i en malmdannende prosess i magmatisk forbindelse. En annen viktig faktor i denne forbindelse er en egen flytende fase av svovel.

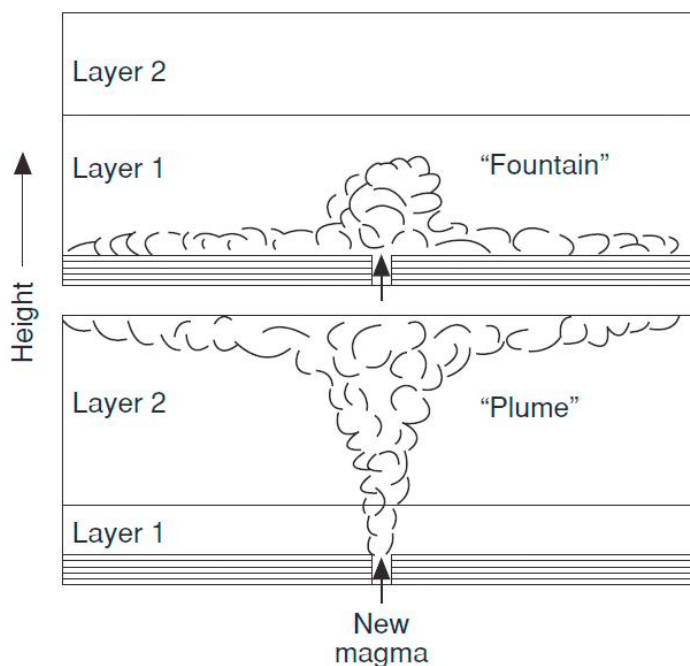
Svovel spiller en til dels avgjørende rolle for å kunne danne økonomiske forekomster av et stort utvalg metaller, blant andre Ni, Cu, Zn, PGE – Platinum Group Elements – Ru, Rh, Pd, Os, Ir og Pt.

En egen fase av svovel oppnås når magmaet blir mettet med svovel og det relative innholdet fortsetter å stige. Løseligheten av svovel i magmaet styres av trykk, temperatur, FeO+TiO₂-innhold i smelten, oksidasjonstilstanden i smelten og proporsjonene av mafiske og felsiske komponenter. (Naldrett, 2004). Trykk har dessverre en negativ effekt på løseligheten av svovel. Ettersom magmaet stiger og trykket blir lavere, øker løseligheten av svovel. Dette betyr i praksis at et nydannet magma undermettet på svovel ikke vil nå metningspunktet før silikatmineralene har krystallisert en hel del. For at vi likevel skal få dannet sulfidmetning i magmaet må andre hendelser settes i gang. Innholdet av FeO og TiO₂ er ikke vanligvis noe som endrer seg mye underveis i magmaets levetid. Oksidasjon er en mulighet for å danne en sulfidfase, men dette er meget sjelden. En mer opplagt løsning er at magmaet vil nå sulfidmetning som følge av en ekstern kilde til svovel. Svovelholdige sidebergarter vil smeltes, og svovelet blir en del av det intruderende magmakammeret.

Når magmaet «endelig» har nådd metning på svovel, vil den videre økningen i svovelinnhold føre til at små dråper med flytende svovel dannes. Denne fasen har en rask «reaksjonsevne» og vil nå likevekt med det omkringliggende magmaet. Metaller som Ni, Cu vil kunne gå inn i denne fasen og anrikes i sulfid-dråpene. Strømninger i kammeret kan føre dråpene rundt, slik at de «soper» med seg Ni, Cu, så vel som andre metaller fra magmaet. Jo lenger sulfidfasen er i suspensjon i magmaet, desto større mengde magma vil den komme i kontakt med. Denne faktoren kalles R-faktoren og sier noe om hvor mye magma sulfidfasen har vært i kontakt med, og dermed muligheten for å ha vært i kontakt med chalcofile grunnstoffer (Robb, 2008). Sulfid-dråpene vil på et tidspunkt bli så store og tunge at magmaet ikke klarer å holde de i suspensjon lenger. Dette vil føre til avsetning av sulfider på bunnen av magmakammeret.

Denne opphopningen vil dermed danne en horisont der %-vis innhold av sulfider (og dermed de chalcofile grunnstoffene) er høy. En slik opphopning av sulfider kan blant annet observeres i Sudbury, Ontario i Canada (Naldrett 2005).

Nå som sulfidfasen er fjernet fra magmaet er det nå undermettet på svovel, og det må en ny overmetning til for å danne sulfiddråper. Dette kan skje ved tilførsel av ny magma, der to tilfeller er mulige. 1) En tilførsel av magma med høyere tetthet enn det opprinnelige magmaet. Eller 2) en tilførsel av magma med lavere tetthet enn det opprinnelige magmaet. Figur 2.6 viser en skisse av dette. (Robb, 2008)



Figur 2.6 To forskjellige tilfeller av tilførsel av ny magma. Øverst vises ny magma med høyere tetthet, nederst ny magma med lavere tetthet. (Robb, 2008).

Figure 2.6: Two different instances of supply of new magma. Top: The magma supplied has a higher density than the existing magma. Bottom: The new magma has a lower density. (Robb, 2008).

I det første tilfellet vil den nye smelten raskt begynne å synke mot bunnen av kammeret og hovedsakelig blandes med de nedre delene av magmaet. I tilfelle nummer to vil den nye smelten stige mot toppen av kammeret og på veien opp delvis blande seg med den opprinnelige smelten. Avhengig av den nye smeltens sammensetning vil vi kunne få en ny overmetning av svovel, og sulfid-dråper kan dannes.

Kontaminering av magmaet er også en faktor som vil kunne føre til sulfidovermetning i et mafisk-ultramafisk magma. SiO₂-rik sidebergart kan assimileres med magmaet og senke løseligheten av svovel.

Kapittel 3: Metode

3.1 Feltarbeid

Det ble gjort feltarbeid sommeren 2011, 10 dager, og 2012, 6 dager, totalt 16 dager i felt. Feltarbeidet i 2011 ble hovedsakelig gjort til fots, bortsett fra et par dager med skyss av helikopter fra bygden i Rein fjorden. Feltområdet er ulendt og lite tilgjengelig til fots, dermed ble det i 2012 satt opp camp i felt, noe som økte effektiviteten betraktelig. Sammen med Endre Nerhus Øen ble et stort område kartlagt og prøvetatt. Alle strukturgeologiske data og analyser er delt mellom oss, men selve prøvetakingen er naturlig nok rettet mot våre individuelle tema/problemstillinger.

Feltutstyr

Av utstyr ble det benyttet kompass, GPS (Garmin), håndlupe, magnet, hammer (1kg og 4kg), vernebriller, diverse notatblokker og kart.

Nøyaktigheten av GPS var stort sett god, ned mot 3-8 meter. Ved dårlig satellittdekning er en GPS mer nøyaktig horisontalt enn den er i de vertikale koordinatene. Dermed blir m.o.h dobbeltsjekket i kartprogram (ArcGIS) i forhold til høydelinjer i terrenget.

Prøvetaking

Feltarbeidet i 2011 innebar å gå fra 0 m.o.h til ca. 700m.o.h på morgenen, og ned igjen på ettermiddagen. I tillegg til nedstigningen på ettermiddagen, var været tidvis vått og det var begrenset hvor mye prøvemateriale vi kunne bære med oss. Dette førte til at prøvene ble samlet mer sporadisk og heller samlet med tanke på hvor mye vi kunne ta med oss ned fjellsidene. Sikkerheten ble holdt høyt, da mosegrodde steiner i uren blir ekstremt glatte når regnet setter inn.

Prøvetakingen i 2012 var derimot enklere. Vi ble fløyet inn med helikopter til toppen av plataet, der vi satt opp camp. Dette gav oss bedre utnyttelse av dagene, da vi nå hadde ca. 4 timer ekstra per dag å jobbe i felt.

Feltarbeidet ble benyttet til å «fylle opp» de stedene det ikke ble tatt prøver i 2011. Dette innebar å samle prøver i vertikale profiler i området. Alle bergartsprøvene ble markert med suksessivt prøvenummer og markert med streker for å indikere prøvens orientering i felt der

dette var mulig. GPS-koordinatene ble registrert, lagret og senere hentet ut med den håndholdte GPS-en. Hver prøve ble fotografert og bergarten i området ble generelt beskrevet. Bergartenes navn var ikke mulig å angi korrekt i felt, dermed ble det isteden brukt feltnavn der bergartene ble navngitt etter visuell karakter se tabell 3.1. Lupe ble brukt i tvilstilfeller, der en fersk bruddflate var nødvendig.

Under kartleggingen ble det også registrert fall/fallvinkel delvis sporadisk. Disse målingene ble som oftest utført ved å innrette kompass etter den modale lagdelingen i bergarten. Stedvis har bergarten sprukket opp langs lagdelingen, hvilket gjorde målingene enkle. Andre steder var det nødvendig å studere den generelle trenden på lagdelingen før en «kalkulert» måling ble gjort.

Feltnavn	Beskrivelse
Granatgneiss	Lys gneiss med granater
Gabbro	Lys gabbro, ikke ultramafisk
Dunitt	Gul bergart med lavt innhold av pyroksen
Pyroksen-dunitt	Anslagsvis mellom 40 - 90 % olivin. Større innslag av px
Olivinpyroksenitt	Pyroksenrik bergart med mindre andel olivin
Pyroksenitt	Olivinfattig bergart (<40%) ellers pyroksen.
UM-bergart	Generell oppfatning av bergart. Brukt hovedsakelig for å skille enheter fra hverandre, uten ytterligere beskrivelse
Pegmatitt	Svært grovkornet bergart. Oftest gabbroisk.
Dyke	Smale vertikale/subvertikale gangbergarter. Mørk svart visuell karakter

Tabell 3.1: Feltnavn for bergarter og kort beskrivelse
Table 3.1: Naming of rocks in the field, including short description.

Kartlegging

Alt av prøve-koordinater og strøk/fall-målinger ble lagret på GPS-en og senere plottet inn på kart i programmet ArcGIS. Tidligere kart over området (fra Emblin, 1985) var georeferert i Mircostation og brukt som generell veiledning under feltarbeidet. Dette kartet ble brukt som utgangspunkt for bergartsgrenser og ble senere endret en del på, da våre koordinater ble plottet inn. Bergartsgrensene

Kartdatum for projeksjon er EUREF89 (WGS84), UTM 34N.

3.2 Preparering

Prøvene fra 2011 og 2012 ble alle preparert på lik måte for lik analysemetode.

Polerte tynnslip («tynnslip»):

Hver av prøvene ble grovkuttet med diamantsag. Det ble gjort forsøk på å få kuttet så store flater som mulig, dette for å ha muligheten til å velge de beste områdene å lage tynnslip av. Enkelte av prøvene fra 2012 var markert med indikatorer for vertikal orientering. Disse ble brukt som hjelpelinjer for kuttingen der det var mulig. Sagen hadde en begrenset diameter den kunne kutte, noe som gjorde det problematisk å kutte langs enkelte «vertikalstreker». Kutt ble dermed forsøkt å gjøre parallelt med vertikalindikatoren. Tynnslipene ble videre preparert ved «sliplaben» på NTNU.

Nedknusing

Knusing ble utført i tre steg. Kjeftetygger, skiveknuser og skivesvingmølle ble benyttet, hhv. Grovknusing, mellomknusing og finmaling. For å forhindre forurensing i hver av stegene ble alle knusekomponentene (kjeftelater, knuseskiver osv.) byttet ut fra stål til wolframkarbid-deler. Dette senker muligheten for kontaminering av prøvene, da wolframkarbid er et hardere materiale enn stålet som ellers blir brukt på disse maskinene.

Det er verdt å nevne at skivesvingmøllen kjøres i ca. 4 minutter til materialet er finmalt. Knusetiden varierer ofte fra hver enkelt prøve, og enkelte ganger er flere runder i denne maskinen nødvendig. Resultatet skulle bli en finkornet masse. Kornstørrelsen på massen ble testet ved å ta en klype av massen mellom tommel og pekefinger og deretter gni det sammen. Massen ble ansett som godt nok nedknust om enkeltkorn ikke kunne føles mellom fingrene. I tvilstilfeller ble det brukt morter og pistill av agat for å gjøre samme test. Finmalingen ble gjort med et mål om å ende opp med ca. 40 gram finknust materiale. Splitter ble brukt i forkant, for å lage en representativ masse.

Knusesteg	Maskin
Grov	Retsch kjefteknuser
Mellom	Skiveknuser
Finmaling	Siebtechnik skivesvingmølle

Tabell 3.2: Knusesteg og maskiner.

Table 3.2: Stages of crushing and the machines used.



Figur 3.1: Knusemaskiner, fra venstre: Grovknuser, mellomknuser og finmaling. (Bilde: Endre Nerhus Øen)

Figure 3.1: Machines used for crushing and milling, from left, step 1, 2 and 3. Respectively rough, middle crushing and fine milling.

Skuffene som samlet avgang fra knusere i tillegg til splitter, hammer og annet verktøy er i motsetning til selve knusedelene laget av stål/aluminiumslegering. Disse ansees likevel ikke som nevneverdige kontamineringskilder.

Kjefteknuser og skiveknuser ble hovedsakelig rensset med trykkluft og en liten børste.

Skivesvingmøllen ble rensset med kvarts mellom hver runde og vasket med vann og tørket av med etanol mellom hver prøve. Små ringe av materiale ble sittende fast på de innerste ringene. Dette ble fjernet ved å kjøre en eller flere 4-minutters knuserunder med kvarts til materialet ikke var synlig lenger.

ICP-ME/AES: Prøver fra 2011 ble sendt til ALS-laboratoriet i Sverige for kvantitativ hoved- og sporelementsanalyse. Ca. 20gram prøvemateriale (pulver) ble sendt.

XRF

XRF: Hvert håndstykke ble rensset så godt som mulig for synlig forvitring. Forvitringen var i all hovedsak overfladisk og strakte seg maksimalt 1cm inn i håndstykkene som et gult lag.

Dette gjorde det relativt enkelt å fjerne forvitringen ved bruk av en hammer. Etter kutting av tynnslip var det flere friske flater som ble benyttet som utgangspunkt for videre rensing.

Til analyse av sporelementer ble det presset 12-grams pulverpiller bestående av 9,6 gram prøvemateriale og 2,4 gram Licowax. 2011 prøvene ble ristet sammen for hånd. Og kun et utvalg av prøvene ble analysert, grunnet analyser fra ALS i Sverige. Pulverprøvene fra 2011 ble isteden brukt som en kontroll av prøvene fra ALS.

2012 prøvene ble ristet ved hjelp av en mer effektiv, liten ristemaskin, og alle prøvene ble analysert for sporelementer.

Deretter ble pulverblandingen presset sammen på en Herzog pillepresse under 200kN trykk i ca. 30-60 sekunder for at luft skulle slippe ut av trykkammeret. Trykket stabiliserte seg på 200kN i løpet av denne tiden. Pulverpillene ble markert med prøvenummer på topp-siden, før de ble fjernet fra pressen.

Hovedelementanalyse:

For analyse av hovedelementer av 2012 prøvene ville vi oppnå så stor nøyaktighet som mulig på resultatene. Prøvene skulle dermed analyseres kvantitativt ved å produsere glasspiller av ferdig nedknust materiale. Dette nedknuste materialet ble altså ikke blandet med Licowax.

Prøvene med nedmalt materiale ble lagt i tørkeskap i ett døgn ved 105 °C.

De neste stegene i prepareringen ble hovedsakelig gjennomført av Endre. All honnør til han for arbeidet.

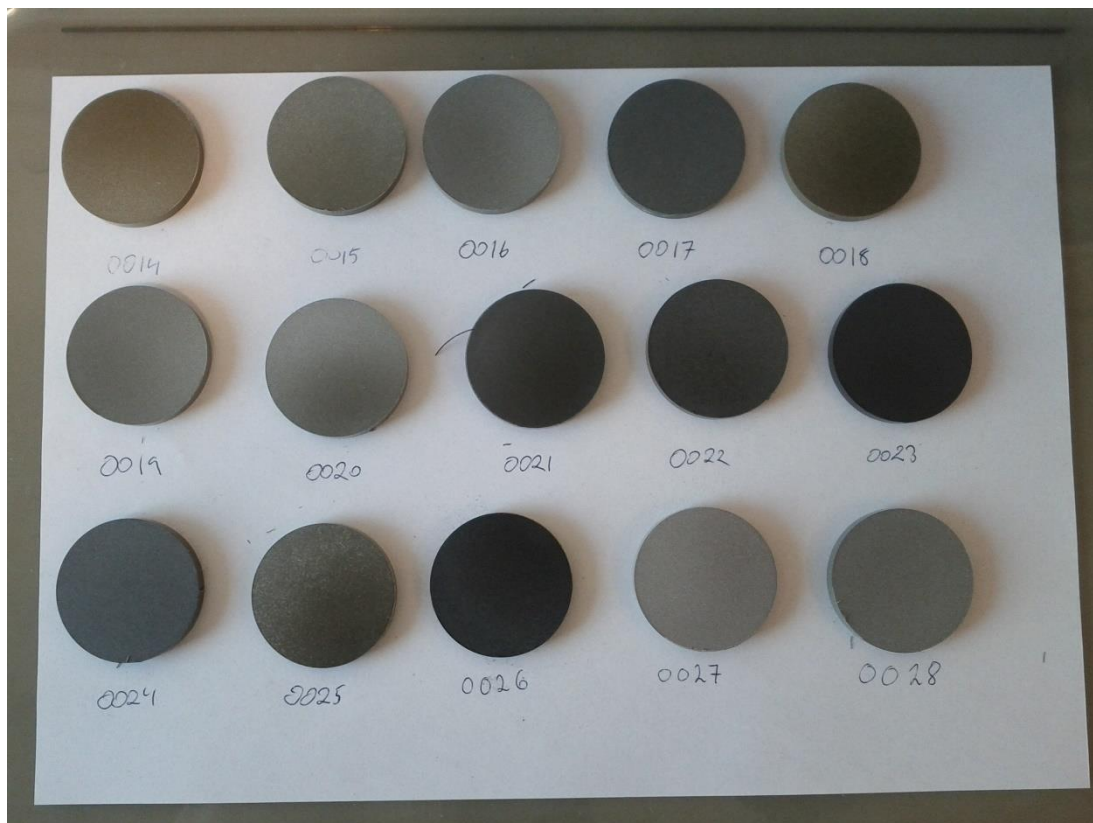
Prosedyren er beskrevet følgende av han:

- Nedmalt prøve (< 40µm) tørket i varmeskap, ca. 1 døgn ved 105 °C.
- Plassert i eksikator (med silikagel, SiO₂ * x H₂O) for fuktstabilisering, minst et par timer.
- Veiling før gløding: vekt digel og vekt digel + prøve (ca. 2 gram prøvemateriale)
- Gløding ved 850 C, ca. 4 timer.
- Veiling av vekt digel + prøve. Beregning av glødetap i prosent.
- Oppveiling av 5,0000 gram (gjennomført i veierom) Litiumtetraborat/metaborat (forhold: 66/34) og 0,5000 gram glødet prøve.

-Tilsetning av 60 mikroliter med Lithiumiodid. For at prøven skal slette bunnen i formen lettere og hindrer konkav overflate.

-Smeltes til glasspille i en platina/gull digel i en Claisse Fluxy smelteapparat, med propangass.

Punkt 4: Gløding, utføres for å registrere mengden flyktige elementer som blir borte ved oppvarming, f.eks. H₂O. Veiling av prøve og digelen før og etter dette steget gir «glødetap».



Figur 3.2: Pressede piller klare for XRF-analyse.

Figure 3.2: Compressed samples, ready for XRF analysis.

Mikrosonde (EPMA)

Elementanalyser er utført ved University of California, Davis, med veiledning fra Sarah Roeske og Nick Botto. Analysene ble gjort på tynnslip. Slipene ble fraktet med til Davis og videre preparert der. Dette bestod i å dekke tynnslipene med karbon, «karbonisering».

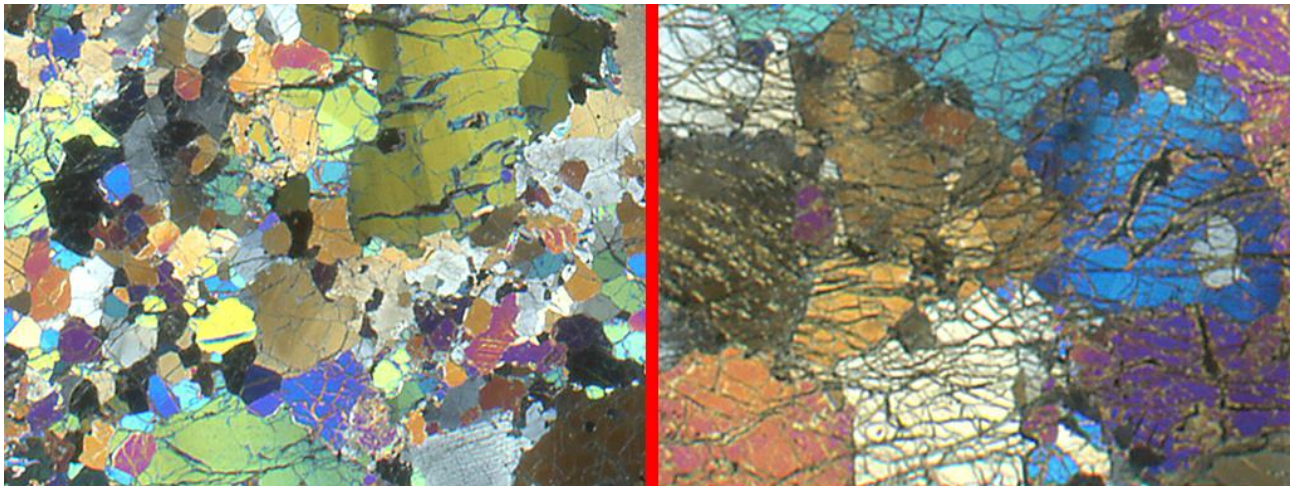
Karboniseringen hindrer oppbygningen av statisk elektrisitet på slipet, da karbonet vil lede vekk spenningen.

Tre tynnslip av gangen ble lagt i et vakuum-kammer der en «blyant» av rent grafitt ble utsatt

for høy spenning. Dette fører til at karbon blir spredd utover slipene, og dermed dekket med noen få Ångstrøm karbon. Karboniseringen ble utført delvis av Sarah Roeske og Nick Botto, da dette er en prosess basert på erfaring. Slipene skifter farge ettersom man lar grafittblyanten gløde, og fargen på slippet indikerer tykkelsen på karbonlaget.

Noen av tynnslipene viste seg også å være for store for holderen som skal holde de fast når de sitter i mikroskopet. Disse tynnslipene ble kuttet av kyndig personell på Davis.

Tidsbruken på elektronmikroskopet var begrenset. Det ble derfor produsert en prioriteringsliste med de slipene som så «renest» ut, altså de prøvene som i mikroskop så ut til å ha mange rene, fine korn å analysere på, se figur 3.2. For hvert slip ble det beregnet ca. 1 times analysetid, der hvert mineralkorn fikk «utdelt» tre punkter nær kjernen av kornet.



Figur 3.3: Venstre, prioritert slip (LA11009). Høyre, nedprioritert slip (LA11011). Utsnittene er ikke reel størrelse.

Figure 3.3: Left side, thin section prioritized for analysis. Right side, thin section not prioritized for analysis considering the amount of cracks and «health» of the minerals.

Fire tynnslip ble lagt under elektronmikroskopet av gangen. Dette gjorde det mulig å registrere punkter for analyse for alle fire slip, og deretter la automatikken i maskinen ta seg av analysene over natta.

Ved avreise fra Davis ble en siste gruppe med tynnslip satt til analysering. Dessverre viste det seg neste dag, at filamentet i mikroskopet hadde brent ut. Dette førte til ufullstendige resultater fra to av tynnslipene.

3.3 Geokjemiske analysemetoder:

De geokjemiske analysene ble utført flere steder:

Hoved- og sporelementer, 2011: Prøvemateriale ble sendt til ALS i Sverige for analyser av hoved- og sporelement. Enkelte av prøvene ble også analysert for hovedelementer (som pressede piller) ved Institutt for Geologi og Bergteknikk (IGB), NTNU som en kontroll på analysene fra Sverige.

Metodene som ble brukt ved ALS er følgende:

- ME-ICP06: ICP-AES-analyse av hovedelementer. Oppgis som oksider.
- C-IR07: Total karboninnhold beregnet ved forbrenning i ovn.
- S-IR08: Total svovel ved forbrenning i ovn.
- OA-GRA05: Loss of ignition i forbrenningsovn. Vekttap i prøven blir beregnet i prosent.
- PGM-ICP23: Edelmetallene Pt, Pd og Au ved bruk av ICP-MS.
- ME-MS81: Sporelementer. Litiumborat fusjon. ICP-MS
- ME-MS42: Aqua Regia-løsning for volatile sporelementer relatert til gull. ICP-MS
ME-4ACD81: Fire syrer for oppløsning av uedle metaller. ICP-MS

Hoved- og sporelementer, 2012:

Alle XRF-analysene ble utført ved IGB, med veiledning fra Torill Sørløkk. Prøvene ble analysert for sporelementer med programmet GEO-QUANT, i motsetning til hovedelementanalyse av glasspiller, der kun et utvalg av prøver ble analysert i «Kalibrert program». I tilfeller der analysene gav verdier utenfor deteksjonsgrensen, ble de analysert på nytt med programmet QUANT-EXPRESS.

For å unngå forvirring blir de tre metodene/programmene forklart grundigere:

GEO-QUANT: Programmet er spesielt utviklet for geologiske materialer og dermed relevant å benytte seg av for disse analysene. Det anses som semikvantitativt og er hovedsakelig brukt til analyse av sporelementer. Standarder ble brukt som kontroll for å kunne oppdage uregelmessigheter under analyseringen.

QUANT-EXPRESS: Et semikvantitativt analyseprogram som viser elementene fra Na til U i prøvematerialet. I dette tilfellet er programmet i praksis benyttet som en kontroll på analyser

som har gått over deteksjonsgrensene i GEO-QUANT og «Kalibrert program». Med semikvantitativ menes at programmet gir en kvalitativ «output», resultater som gir en pekepinn på verdiene i prøven.

Kalibrert program: Dette programmet ble brukt utelukkende for å analysere hovedelementer i glasspillene. Kalibrert program ble utviklet ved IGB og er basert på drøyt 30 geologiske standarder.

Output fra programmet er å anse som kvantitativt. Fire av prøvene hadde enkelte verdier som gikk over de målte standardene. Disse prøvene ble dermed sendt til ny analyse med programmet QUANT-EXPRESS for å dobbeltsjekke resultatet.

Elektronmikrosonde (EPMA)

For elementanalyse ble det benyttet mikrosonde. Som tidligere nevnt ble analyseringen utført ved University of California, U.S.A. Mikrosonden som ble brukt er en CAMECA SX-100 (figur 3.4) som benytter seg av WDS for analysene. Utvalgte analysepunkter ble tatt «bilde» av med BSE – Backscattered Electrons – tilbakespredte elektroner, for å kunne kritisere prøvene, evt. re

Spenningen på elektronstrålen var satt til 15keV og strømstyrken 30 nA (nanoampere).

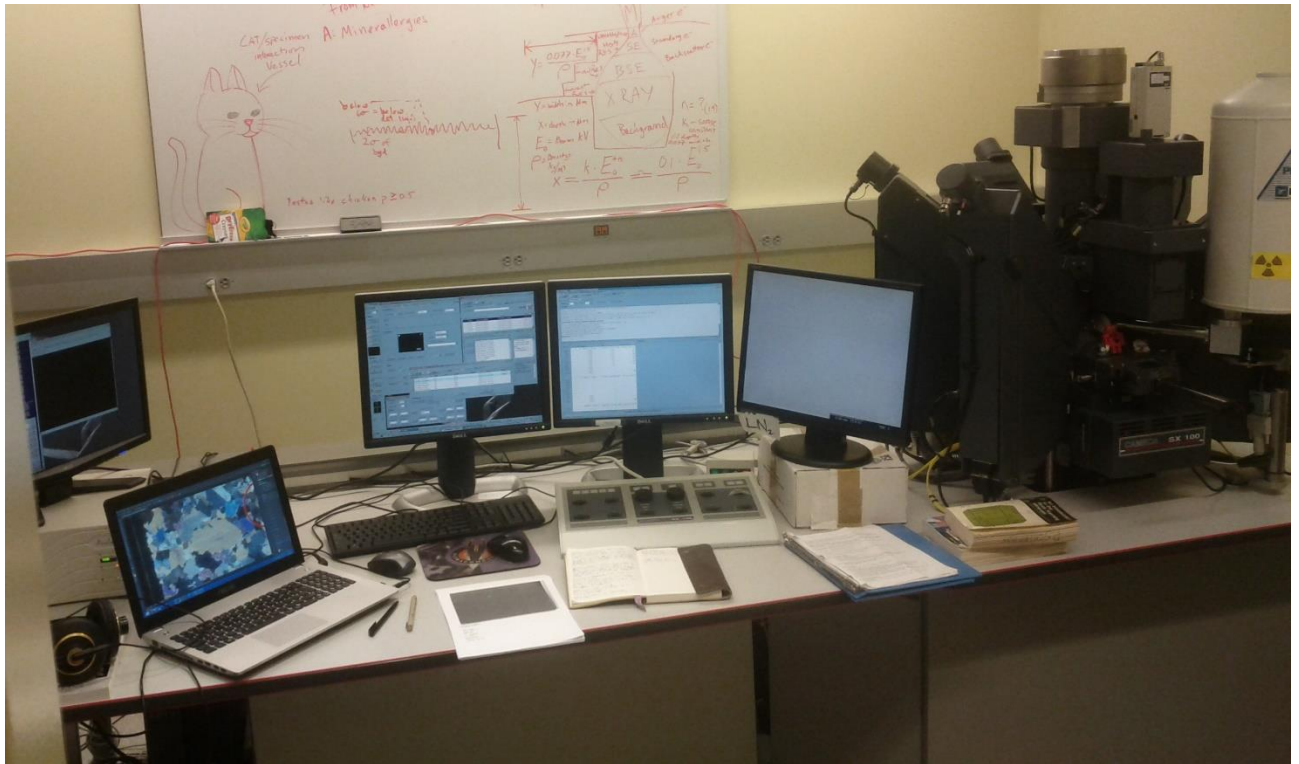
Strålen treffer et område på mineralet på ca. 1µm og strekker seg ca. 10µm ned i mineralet.

Det ble brukt tre sett med standarder, for olivin, klinopyroksen og ortopyroksen. Relativ feil for analysene ble regnet til å være 5,23%. Dette ble utregnet etter følgende:

$$1\sigma = [(\text{total peak counts} + \text{total background counts})^{0.5}] / (\text{total peak counts} - \text{total background counts})$$

Absolutt feil for hver analyse gis ved 2σ .

Se vedlegg G for analysebetingelsene.



*Figur 3.4: Elektronmikroskop og arbeidsstasjonen.
Figure 3.4: Electron microscope and the work station.*

Feilkilder:

Fra første hammerslag på bergarten i felt, til analyseresultatene ligger på datamaskinen i et fint excel-ark er det en stor mengde feilkilder som kan introduseres. Dette har alltid vært et tema under arbeidet for å kunne, om ikke eliminere, minimere feilkildene så godt som mulig. I felt ble alle prøvene markert med prøvenummer og fotografert. Prøvene ble lagt i hver sin papirpose for å unngå kontakt med hverandre. Grunnet bergartens sterke og skarpe mineraler, gikk det ofte hull på posene, da de ble båret i en sekk der de gnisset mot hverandre. Dette anses ikke som er nevneverdig feilkilde, da prøvene på senere tidspunkt ble rensset for overflateforvitring.

Under nedknusing ble forvitring så godt som mulig fjernet fra prøvene og knusere og møller rensset på en fornuftig måte. Grovknuser ble børstet ren med kost og blåst ren med trykkluft. Skiveknuser lige så.

Skivesvingmøllen ble rensset med varmt vann og etanol. Rester av prøvene som satt igjen på mølla ble fjernet med kvarts-sand. Alle knusere og møller var utstyrt med wolframkarbid-komponenter for å ikke kontaminere prøvene ved bruk av stål. Mineralene i bergartene er

såpass sterke at de ville ha slitt for mye på stålet og dermed kontaminert prøvene.

For analyser utført ved NTNU og UC Davis ble det analysert på standarder for forsikre seg om at analyseverktøyene fungerer optimalt.

Ved XRF-analysene ble prøvemateriale blandet med Licowax, fordelingen av denne voksen gjennom XRF-pillene skal optimalt være homogen. For lite blanding/risting førte i enkelte tilfeller til at pillene fikk et flekkete utseende. Dette var ikke av stor betydning for resultatet, men likevel verdt å bite seg merke i.

3.4 HMS:

Det var et stort fokus på sikkerhet under begge feltarbeidene så vel som kutte- og knusearbeidet på laboratoriene.

Under feltarbeid ble det benyttet vernebriller for å beskytte øynene mot steinsprut under knusing.

Satellitt-telefon var i campen, da det er tidvis veldig dårlig dekning oppe på fjellet. GPS, kart og kompass var alltid med i sekken, slik at det i nødstilfelle også var mulig å komme seg tilbake til camp.

Ved laboratoriearbeid ble det brukt det nødvendige sikkerhetsutstyr som er påkrevd ved NTNU. Kjeledress, vernesko, vernebriller, hørselvern, støvmaske var alltid på under nedknusingen og kutting av prøvene og ved behov. For å få tilgang til å bruke knusemaskinene osv. på laboratoriene ble det obligatoriske kurset «sikkerhet ved arbeid på laboratorier ved NTNU» gjennomført på nettet.

3.5 Litteratursøk

For litteratursøk har det blitt brukt Scopus.com, ScienceDirect.com i tillegg til Google Books og Google Scholar for å lete fram relevante artikler og bøker. Veileder har presentert bøker av verdi for oppgaven, i tillegg til pdf-er om magmatiske forekomster. Undertegnede oppholdt seg i utlandet det meste av studietiden, og har dermed måtte belage seg på kopier og søk via internett for å finne frem til informasjon.

Kapittel 4: Resultater

Her følger resultater og noen betraktninger fra feltarbeid, XRF-, ICP-MS-, og EPMA-analyser.

4.1 Feltarbeid

Feltarbeidet er utgangspunktet for alle prøvene, så vel som utgangspunktet for forståelsen av områdets geologiske oppbygging.

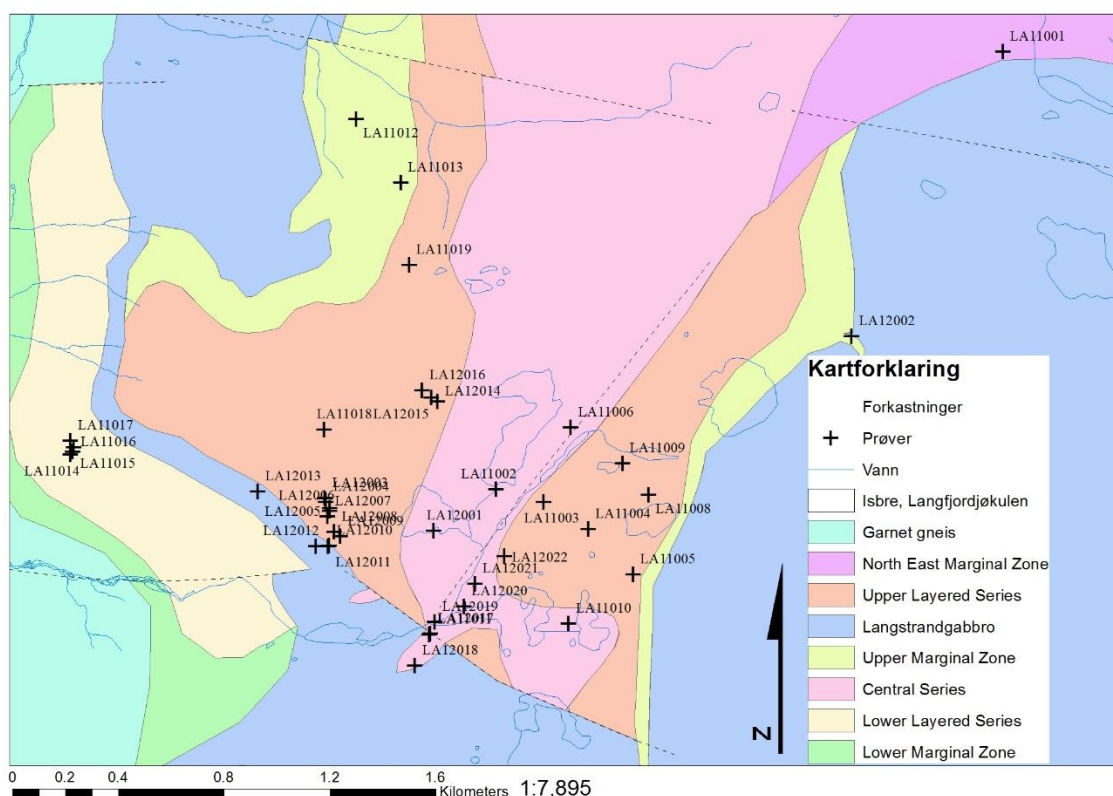
4.1.1 Kartlegging

Kart fra tidligere arbeid i området er brukt som utgangspunkt for den første feltsesongen. Kart laget av Emblin i 1985 ble digitalisert, georeferert og strukket/sammenpresset for å stemme med dagens digitale kartverk. Etersom dette relativt gamle kartet ikke ble laget ved bruk av GPS, er holdepunktene om ble brukt, ikke nødvendigvis korrekt plassert i kartet.

Arbeidet som ble gjort i området under de to feltsesongene våre førte til en del endringer i bergartsgrenser, ettersom vi bygde opp en god mengde koordinater ved bruk av GPS.

Revidering av kartet ble gjort underveis i arbeidet. Høyest tetthet av koordinater og prøver ligger rundt «Lake Area» og kartet er følgelig mest pålitelig i dette området.

Bergartsgrensene i området kan anses som «overgangsgrenser» da de mineralogiske forskjellene mellom f.eks. Dunitt og pyroksen-dunitt endrer seg gradvis over en horisontal avstand på alt fra 5 meter til 50 meter. Deler av området bærer også preg av mye modal lagdeling, som har gjort at defineringen av tydelige bergartsgrenser ofte har blitt skjønnsbasert i felt. I enkelte tilfeller har vi støtt på en sone der tydelig Dunitt er å finne i retning øst, og en helt tydelig pyroksenitt ligger ca 50 meter vest. Bergartsgrenser i slike områder ble ofte lagt midt mellom de ellers tydelige bergartene. Det er derfor nærliggende å se på grensene som soner, og ikke veldefinerte grenser. Figur 4.1 viser det kartlagte området med inndeling av bergartsserier og prøvepunkter.



Figur 4.1: Revidert geologisk kart av den kartlagte delen av RUK.

Figure 4.1: Revised geological map of the mapped part of RUK. Black crosses marks sample locations.

Strukturgeologisk kartlegging:

Mange registreringer av fall/fallvinkel ble gjort under feltarbeidene i 2011 og 2012. Disse målingene i tillegg til observasjoner i felt danner grunnlaget for tolkning av den strukturgeologiske oppbygningen av RUK. Presentasjon av målingene, resultatene og tolkningene er allerede gjort i sin helhet av Endre Øen i hans masteroppgave. Å presentere alle data, resultater og tolkninger enda en gang i denne teksten vil ikke være hensiktsmessig ettersom det ikke vil tilføye noe nytt til temaet. Det henvises til Endres masteroppgave for en grundig gjennomgang av resultatene fra disse målingene.

4.1.2 Makroskopisk bergartsbeskrivelse og serier

4.1.2.1 Langstrandgabbro

Denne gabbroen er en tydelig lagdelt gabbro, der hovedmassene i området ligger på sør-siden av RUK. Bergarten skiller seg markant fra de ultramafiske bergartene, da den har mer vegetasjon og ofte en mer lys farge. Lagdelingen i Langstrandgabbroen er noe brattere enn i RUK, som er tilnærmet horisontal. Se figur 4.1. Langstrandgabbroen er å finne som xenolitter enkelte steder i blant annet NEMZ og ULS. På samme måte kan man finne små deler av ultramafiske bergarter i gabbroen. Sulfidmineraliseringer er tydlige i felt, ofte som store flekker i fjellsidene, andre steder som små streker av rust i nærheten av UMZ.



*Figur 4.2 Langstrandgabbro, UMZ-, ULS- og CS.
Figure 4.2 The Langstrandgabbro, UMZ, ULS and CS.*

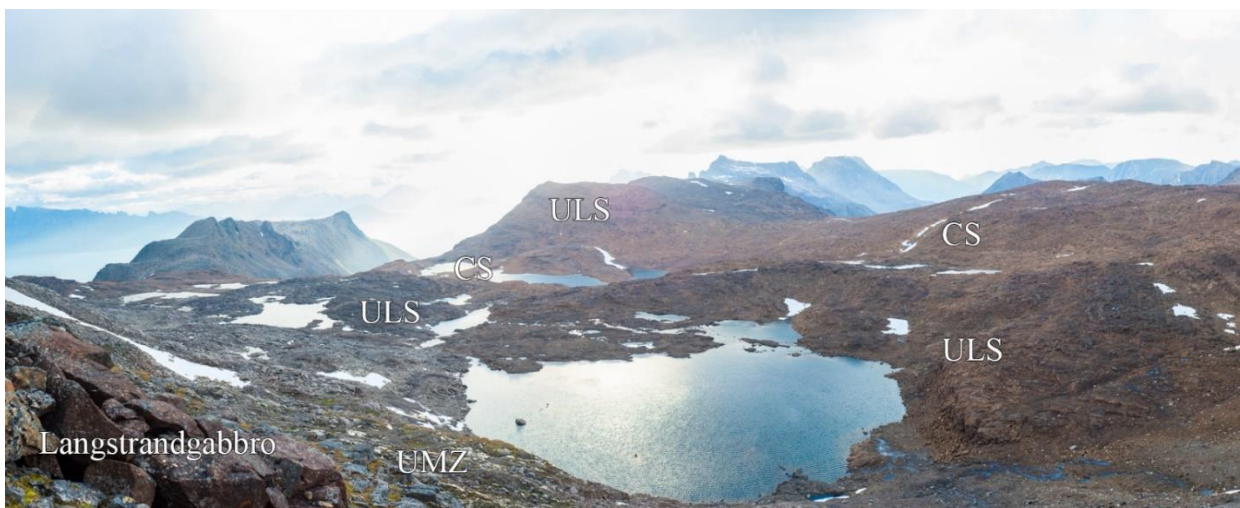
4.1.2.2 Upper Layered Series (ULS)

ULS fremtrer som en mørk rød/brun bergart i RUK. Som de fleste bergartene i området er den totalt blottet for vegetasjon. ULS ligger som et stort platå NV for CS og er lett tilgjengelig for prøvetagning. Bergarten har flere lommer med ultramafisk pegmatitt. Dette er tydelig observert like ved prøvenummer LA12008, der pegmatitten bryter gjennom den

modale lagdelingen. I området øst for CS er det mulig å finne et større antall slike pegmatittiske forekomster. Figur 4.3 viser et panorama over plataået.

Den modale lagdelingen kan på sin side observeres som pyroksenlag som strekker seg over store avstander. Olivin i overflaten av bergarten har forvitret en del, og igjen står det sterke lag av pyroksen. Lagene varierer mye i størrelse, fra noen centimeter i tykkelse, til godt over 30cm. Dette er spesielt tydelig langs den sørvestre fjellsiden av ULS, se figur 4.4 og 4.5.

Øst for CS kan disse pyroksenlagene observeres ovenfra, da området er subhorisontalt og kan avdekke store flater med pyroksen. Den østlige delen av ULS er et «rotete» område hva angår bergarts-sammensetning der det varierer mellom bergarter av (tilsynelatende) dunittisk, pyroksenittisk og gabbroisk sammensetning.



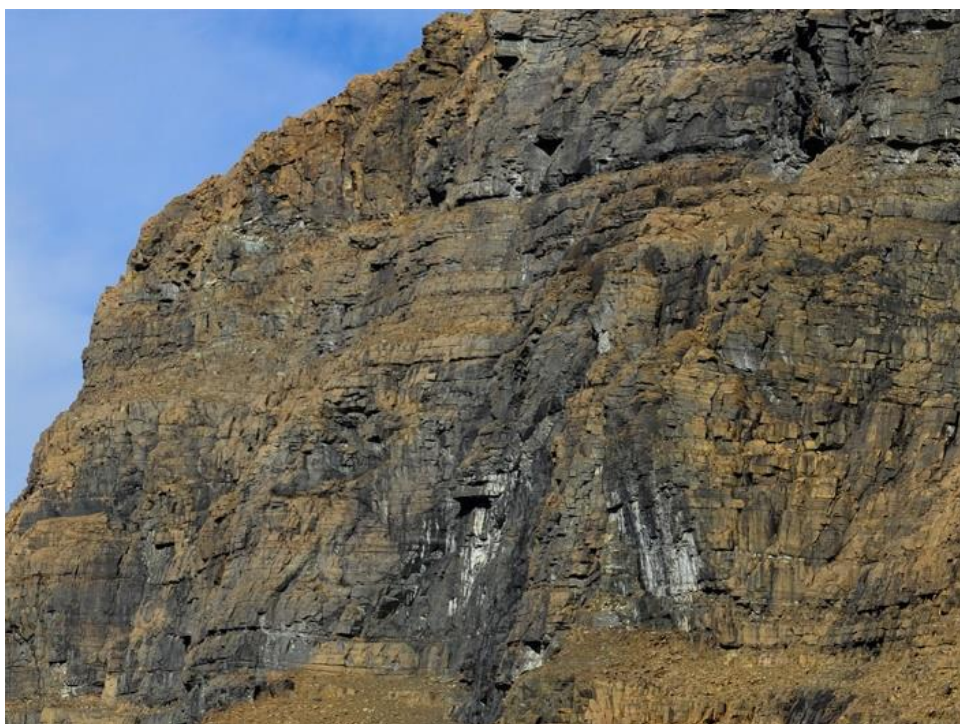
Figur 4.3: Bildet viser de forskjellige seriene i forhold til hverandre. Bildet er tatt fra øst mot vest. ULS vises her tydelig mørkere enn CS.

Figure 4.3: The picture shows the different series in relation to each other. The camera is pointing westwards. ULS is clearly a lot darker than the CS.



Figur 4.4: Sørøstlig fjellside der lagelingen i ULS kan observeres. Nederst til venstre ser vi lys gabbro.

Figure 4.4: South-eastern cliffside. The layering og the ULS is very clear through the whole series. Gabbro can be seen as a bright rock in the lower left.



*Figur 4.5: Nærbilde av fjellsiden fra figur 4.4. Bildet viser lagdelingen i ULS.
Figure 4.5: Close-up of the cliff wall from figure 4.4, showing the layering in the ULS.*

Kryssjiktning og «slumping» ble observert i 2011. Bevegelse i de forskjellige kumulat-lagene i magmakammeret kan ha flyttet på seg og dermed danne disse strukturene. Når det gjelder «slumping» kan dette ha samme årsak i tillegg til en liten forskjell i tetthet på de forskjellige kumulat-lagene. Se figur 4.6 for kryssjikt og figur 4.7 for «slumping» der en relativt pyroksenrik bergart øverst ser ut til å ha sunket med i en bergart fattigere på pyroksen.

Figur 4.8 viser for øvrig hvor stor variasjon det er i lagdelingen i ULS.



*Figur 4.6: Kryssjikt i en bergart med gradert modal lagdeling.
Figure 4.6: Cross-bedding in a rock with clear modal layering.*



*Figur 4.7: «Slumping» i en dunittisk bergart i/nær ULS.
Figure 4.7: Slumping in a dunittic rock in or close to ULS.*



Figur 4.8: Modal lagdeling og forvitring varierer stort i enkelte deler av ULS. Bildene er tatt ca 50 meter fra hverandre.

Figure 4.8: The modal layering and weathering of ULS varies greatly in some parts. These two pictures were taken 50 meters apart.

4.1.2.3 Lower Layered Series (LLS)

LLS er skilt fra ULS med en gabbro screen og ligger i den nedre delen av komplekset. (Se figur 1.2 og 4.4). LLS er veldig lik ULS i farge men kan opptre som noe mørkere, da mye av olivinmineralene som før dekket overflaten har forvitret vekk, og kun pyroksen står igjen. Den modale lagdelingen er ikke like lett å få øye på på nært hold, men er synlig i storskala om man står et stykke unna (se figur 1.2). Serien består hovedsakelig av olivin og både klino- og ortopyroksen, der modalt innhold av olivin ligger rundt 80 %. Av og til opptrer plagioklas i LLS, og da primært i nærheten av gabbroxenolitter som kan observeres et stort antall steder.

4.1.2.4 Central Series (CS)

Bergartssammensetningen er stort sett dunittisk og skiller seg visuelt fra ULS i felt. På overflaten har den en rødlig til gul farge fra forvitringen av olivin, og pyroksen er sjelden synlig på overflaten. Klinopyroksen opptrer i enkelte av prøvene og da som interkumulustekstur, der olivin er kumulustermineralet.

CS har ingen godt synlig kontakt med ULS på den østlige siden da overgangen, fra så å si pyroksenfri bergart til pyroksenrik bergart, skjer over en avstand på ca 50-100 meter.

CS strekker seg i nord-østlig retning, med ULS på nordvest- og sørøstlig side. Like nordøst for det prøvetatte området er CS «gjennomboret» av vertikale/subvertikale svarte ganger. Se figur 4.9



Figur 4.9: Bildet viser mørke ganger som strekker seg gjennom CS nordøst for det prøvetatte området. Gangene er ofte flekket med mose og andre hardføre planter.

Figure 4.9: The photo shows dark sills stretching through CS, just north-east of the sampled area. The sills often show patchy parts of lichen and similar plants that can deal with the rough climate.

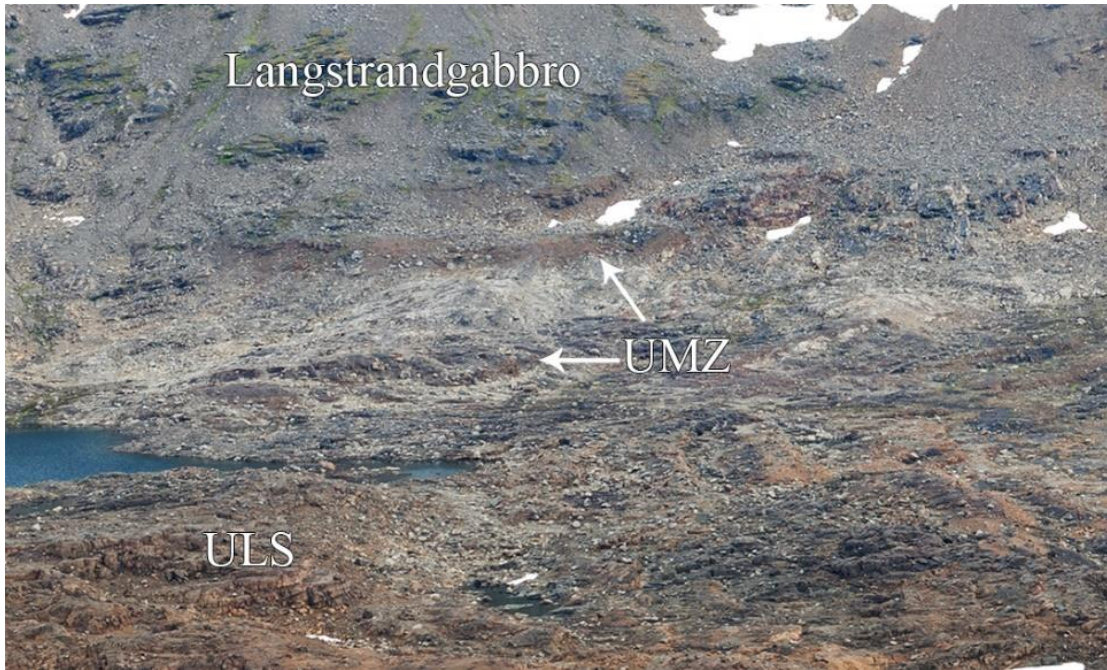
Sør i RUK, ved kontakten mellom CS og Langstrandgabbroen er det registrert en «dunittfinger» som strekker seg inn mot gabbroen. Tre prøver ble tatt ved denne og er markert på figur 4.10. LA12017 inneholder olivin, pyroksen og plagioklas.



*Figur 4.10: «Dunittefinger» med prøvepunkter. Prøvene viser et økende innhold av olivin fra venstre mot høyre og opp. LA12017 er en plagioklasførende wehrlitt, LA11011 en wehrlitt og LA12018 en wehrlitt med høyere innhold av olivin (og for øvrig et høyt innhold av TiO₂).
 Figure 4.10: «Dunite finger» with sample points. Samples show an increase in olivine content from left to right. LA12017 is plagioclase bearing wehrlite, LA11011 a wehrlite and LA12018 a wherlite with a higher content of olivine (and a relative high content of TiO₂)*

Marginal Zone (UMZ, LMZ, NEMZ)

Den maringale sonen ligger mellom de ultramafiske bergartene og Langstrandgabbroen. Denne sonen er både av ultramafisk og gabbroisk sammensetning som et resultat av oppsmelting og inklusjon av xenolitter av gabbro, noe som gjør den til dels rotete i enkelte områder. Visuelt skiller sonen seg fra ULS og CS ved at den har mye rustforvitring i overflaten, og en noe mørkere farge enn ULS. Sulfidmineraliseringer som er funnet i området er hovedsakelig knyttet til den marginale sonen, som har en varierende bredde fra noen titalls meter til flere hundre meter (NEMZ).



Figur 4.11: Bildet viser UMZ nær Langstrandgabbroen, der den tydelig skiller seg ut med en mørk rød rustfarge.

Figure 4.11: The photo shows UMZ near the Langstrandgabbro, where it clearly differs from the gabbro with its red rusty color.

4.2 Mikroskopiske bergartsbeskrivelser

4.2.1 Mineraler

Det gis her en gjennomgang av de petrografiske undersøkelsene av polerte tynnslip fra bergartene samlet i felt. Til sammen ble det samlet 41 prøver i de to feltesongene.

Hver av de polerte tynnslipene ble undersøkt ved University of Cambridge i England. Dessverre hadde jeg ikke tilgang på et mikroskop som kunne ta bilder. Istedenfor er det produsert høyoppløselige bilder av alle tynnslipene ved bruk av en skanner. Det ble da benyttet både normalt gjennomlys og polariseringsfilter for å senere kunne identifisere mineralfasene. Disse bildene var til enorm hjelp da det senere skulle velges ut analysepunkter for EPMA ved University of California, Davis. Alle bildene er presentert i vedlegg F.

Det er fokusert på å identifisere silikatene, mineralenes opptreden i forhold til hverandre, identifisere teksturer, mineralenes kornutvikling og størrelse. Resultatene vil bli presentert etter hvilken serie de er lokalisert i for enklere å kunne sammenlikne eventuelle variasjoner.

Mineralinnhold:

Mineralene registrert i tynnslipene er som følger (med beskrivelser):

Olivin: Høyt positivt relieff og fargeløs. Gjenkjennes på mikrosprekker og mangel på farge. Veldig sterke interferensfarger.

Klinopyroksen: Fargeløs til grå «skittene» mineralkorn. Skjev utslukning og høyere dobbeltbrytning enn ortopyroksen.

Ortopyroksen: Mørkere farge enn klinopyroksen i normallys. Slukker ut parallelt med lengdeaksen på mineralet.

Plagioklas: Fargeløst mineral. Viser polysyntetiske tvillinger i polarisert lys, som er karakteristisk for dette mineralet.

Biotitt: Moderat til høyt positivt relieff. Brun, rødbrun farge og stenglige korn.

Serpentin: Fargeløs til blek grønn farge. Opptrer rundt enkelte olivinkorn som krysotil. Flere av prøvene inneholder ca 10% serpentin i et stort antall mikrosprekker.

Kornstørrelse:

Kornstørrelsen varierer stort gjennom alle bergartsseriene. I et slip er det registrert olivinkorn med en diameter på ca 8mm blant små korn på ca 0,2mm. Fordelingen av store og små korn i tynnslipene ser ut til å være homogen, og viser ingen tydelige tegn på gradering. Et slip er det likevel registrert gradert kornstørrelse i (LA11007), men her skyldes dette mest sannsynlig en knusningssone midt i slipet.

Store korn av klinopyroksen er registrert i ULS, men da som intercumuluskrystaller og oikokryster.

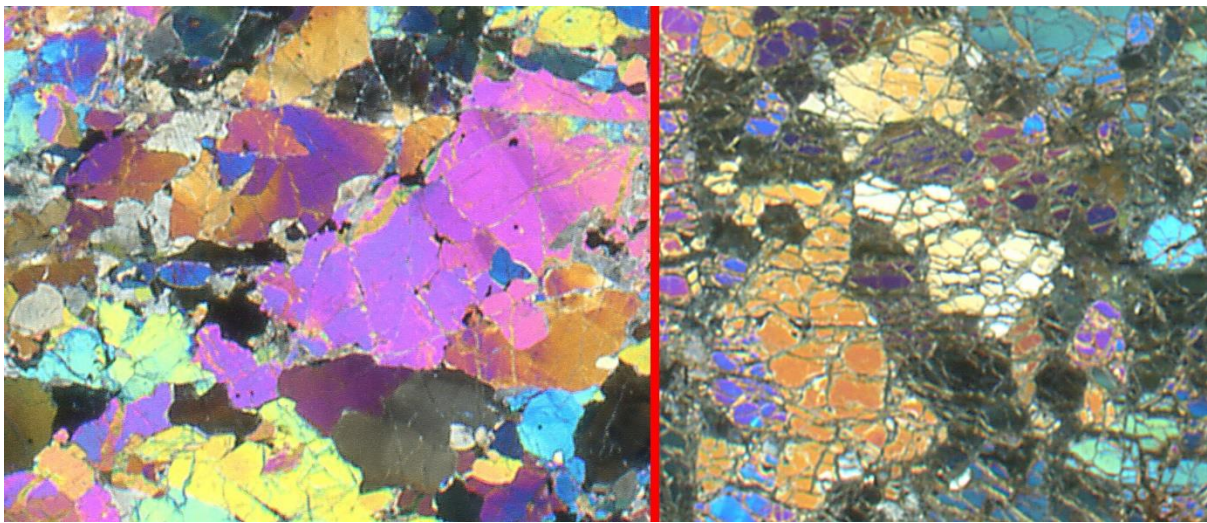
Kornform:

I CS kan kornformen beskrives som anhedral til subhedral i alle tynnslipene. Se figur 4.12.

I ULS er trenden mye det samme der de prøvene viser anhedral til subhedral kornform.

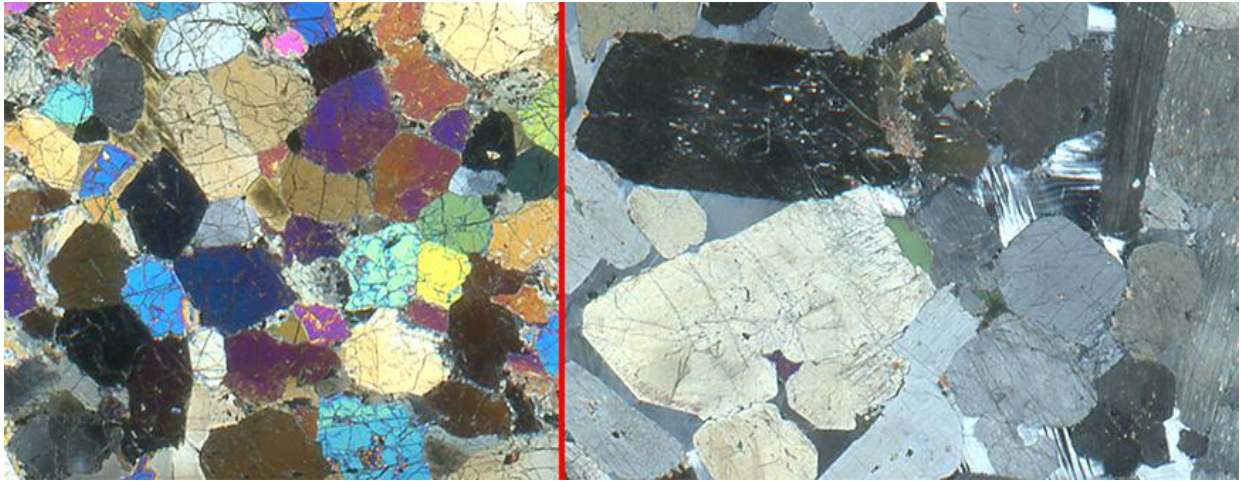
LA12006 viser bedre utviklede krystallflater som kan beskrives som subhedrale og tydelig bedre utviklet enn de andre prøvene i ULS.

I prøve nr LA11014, LA11015 og LA11016 fra LLS kan vi finne de best utviklede krystallflatene, der både pyroksen og olivin kan beskrives å ha euhedral (og subhedral) kornform se figur 4.13.



Figur 4.12: Subhedral til anhedral kornform i prøve LA11010 (venstre) og LA11006 (høyre).

Figure 4.12: Subhedral to anhedral crystals in sample number LA11010 (left) and LA11006 (right).



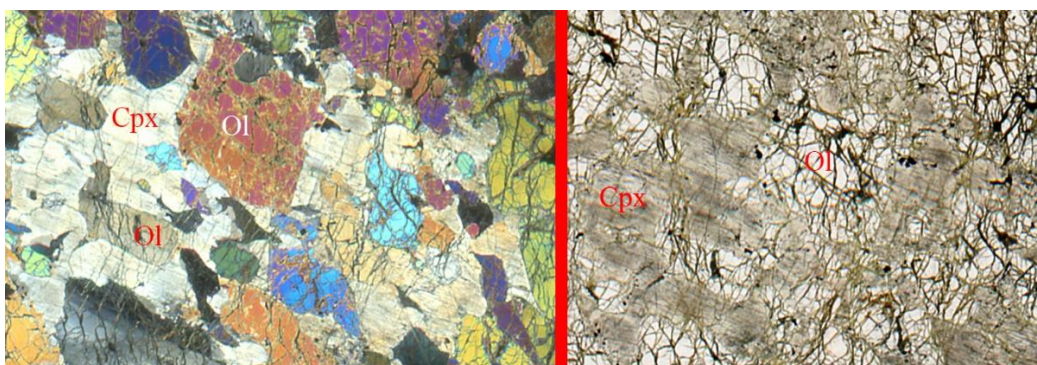
Figur 4.13: Euhedral og subhedral kornform i LLS fra prøve LA11014 (venstre, olivin) og LA11016 (høyre, cpx).

Figure 4.13: Euhedral and subhedral crystals in LLS from sample number LA11014 (left, olivine) and LA11016 (right, cpx).

Strukturer og tekstur:

Alle tynnslipene fra CS med innslag av pyroksen viser olivin som kumulusmineral og pyroksen som interkumulusmineral. Ellers i slipene er det en generell trend at olivin og pyroksen opptrer som kumulusmineraler med tilfeller der plagioklas er interkumulusmineral.

Flere prøver viser poikilittisk tekstur, der klinopyroksen er vertsm mineralet med mindre olivinkorn innseluttet. Se figur 4.14



Figur 4.14: Poikilittisk tekstur i CS fra prøvenr LA12019. Polarisert lys på venstre side og normallys på høyre.

Figure 4.14: Poikilitic texture in CS from sample number LA12019. Polarized light on the left, and normal light on the right.

Omvandling av olivin til serpentin kan observeres i tynnslipnr LA11012 fra marginalsonen, der serpentin omslutter flere olivinkorn som korona-tekstur. Ellers finner man serpentin i et stort antall mikrosprekker i prøvene fra marginalsonen.

4.2.2 Bergarter

ULS:

Prøvene fra ULS består av wehrlittisk, lherzolittisk, klinopyroksenitt og websterittisk sammensetning, men grunnet modal lagdeling er det også innslag av dunitt i tillegg til olivin gabbronoritt for områder med innslag av plagioklas i nærheten av gabbro pegmatitter. Fra CS og østover gjennom ULS blir bergartene gradvis rikere på pyroksen, men denne trenden er ikke registrert i samme grad på nordvestlig side av CS.

LLS

Fire prøver ble samlet over en høydeforskjell på ca 25. meter. Prøvene ble tatt i nærheten av en stor gabbroxenolitt og tynnslip fra prøvene viser en økende andel av plagioklas, hornblende og pyroksen desto nærmere xenolitten man kommer, der den fjerneste prøven er dunittisk med olivin som kumulusmineral og klinopyroksen som interkumulus. Fra fjern til nær gabbroen er bergartene: Dunitt, olivin pyroksen-hornblenditt, hornblende-pyroksenitt og gabbro.

Dunittbergarten fra prøvenr LA11014 skilter med over 2000ppm nikkel. Prøvene tatt nærmere gabbroxenolitten har et betydelig lavere innhold, fra 600 til 100 ppm.

CS:

Prøvene fra CS er stort sett dunitt, med innslag av lherzolitt og wherlitt der pyroksen opptrer som interkumulusminerale, ofte med poikilittisk tekstur. Olivin opptrer som primokryst i alle prøvene. Prøvene fra CS viser ofte kraftig oppsprekking, der sprekkene er fylt med hva antas å være serpentin. I normalt er disse sprekkene veldig tydelige.

4.3 Geokjemiske analyser

4.3.1 Hovedelementer

Distribusjonen av hovedelement som vises her er basert på XRF-analyser ved IGB og ICP-MS-analysene gjort ved ALS i Sverige. Begge analysemetodene er å anse som kvantitative og er dermed plottet i samme diagram. For de to analysemetodene er hovedelementene som blir analysert ikke det samme utvalget. Det er dermed noen prøver som mangler analyser for enkelte grunnstoff.

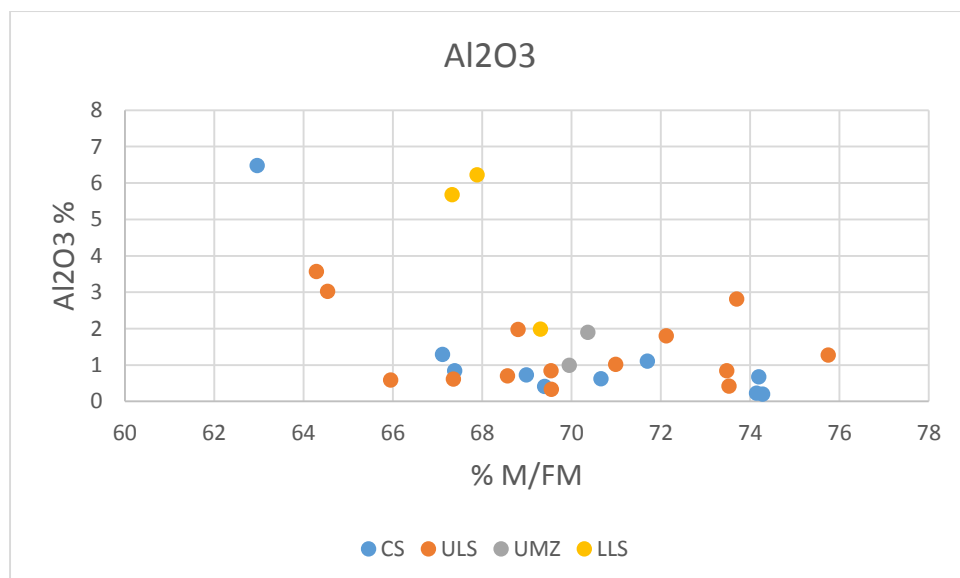
Rådata for diagrammene er presentert i vedlegg C og D.

Alle hovedelement er plottet som oksider mot % MgO/MgO+Fe₂O₃ (heretter referert til som M/FM og %M/FM).

Data fra CS, ULS, UMZ og LLS er vist i de fleste diagrammene, med like symboler for lik serie for å unngå forvirring.

Al₂O₃:

Variere mellom 0 og 7% og viser generelt lave verdier. Ettersom vi beveger oss mot høyre på x-aksen kan vi se at verdiene av Al₂O₃ stiger fra M/FM=70, for deretter å synke før 76.

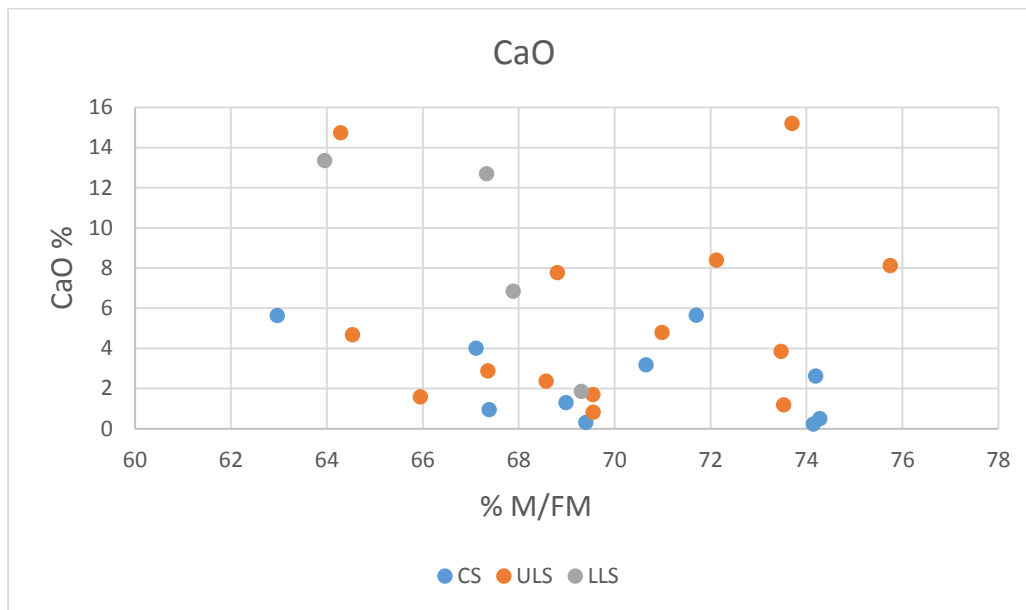


Figur 4.15: Al₂O₃ plottet mot % M/FM. Trenden er varierende men tyder på en økning ved Mg/Fe: 70-74

Figure 4.15: Al₂O₃ plotted against % M/FM. Showing a varying trend with some increasing values at Mg/Fe: 70-74.

CaO:

På samme måte som for Al₂O₃ er plottingen av CaO mot M/FM noe rotete. Her også ses trenden med en svak økning fra M/FM=70 for deretter å synke ved 74.

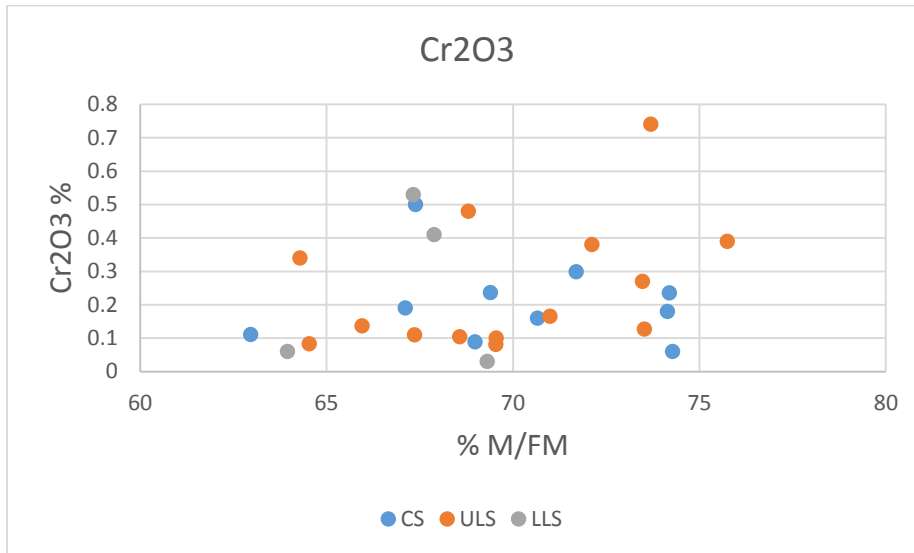


Figur 4.16: CaO plottet mot % M/FM. Trenden er varierende men tyder på en økning ved Mg/Fe: 70-74

Figure 4.16: CaO plotted against % M/FM. Showing a varying trend with some increasing values at Mg/Fe:70-74.

Cr₂O₃ (Cr):

Plottet av Cr mot M/FM viser verdier mellom 0-0,8% og mye den samme utviklingen som de to foregående plottene.



Figur 4.17: Cr₂O₃ plottet mot % M/FM. Trenden er varierende men tyder på en økning ved Mg/Fe: 70-74

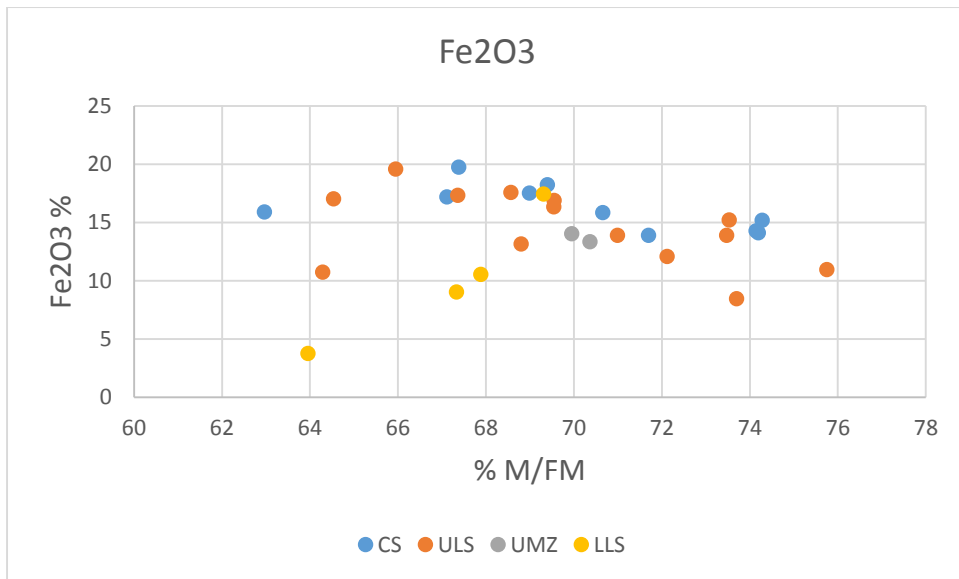
Figure 4.17: Cr₂O₃ plotted against % M/FM. Showing a varying trend with some increasing values at Mg/Fe: 70-74.

Fe₂O₃:

Dette plottet viser en utvikling der mengden Fe₂O₃ synker med forholdet mellom M/FM.

Dette virker ved første øyekast opplagt, men sier noe om trenden i bergarten, en synkende

Fe₂O₃ vil være substituert med større mengde MgO, som hovedsakelig opptrer i bergartene som olivin.

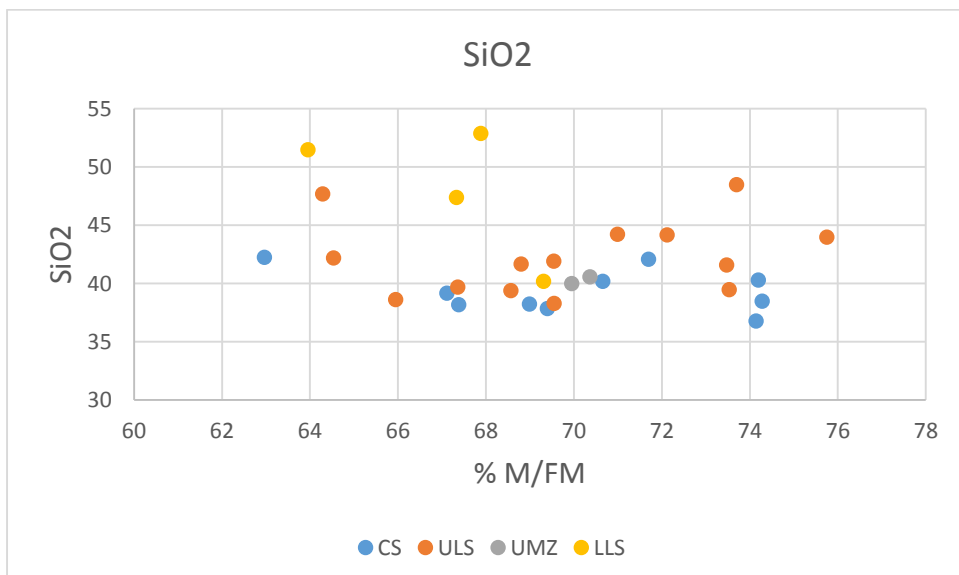


Figur 4.18: Fe₂O₃ plottet mot % M/FM. viser en synkende trend ettersom forholdet M/FM stiger.

Figure 4.18: Fe₂O₃ plotted against % M/FM. Showing a decreasing trend as the ratio of M/FM increases

SiO₂:

Plottet viser verdier mellom 36,8 og 52,9% for SiO₂. Her også samme utvikling som tidligere, med varierende innhold relativt til M/FM -forholdet.

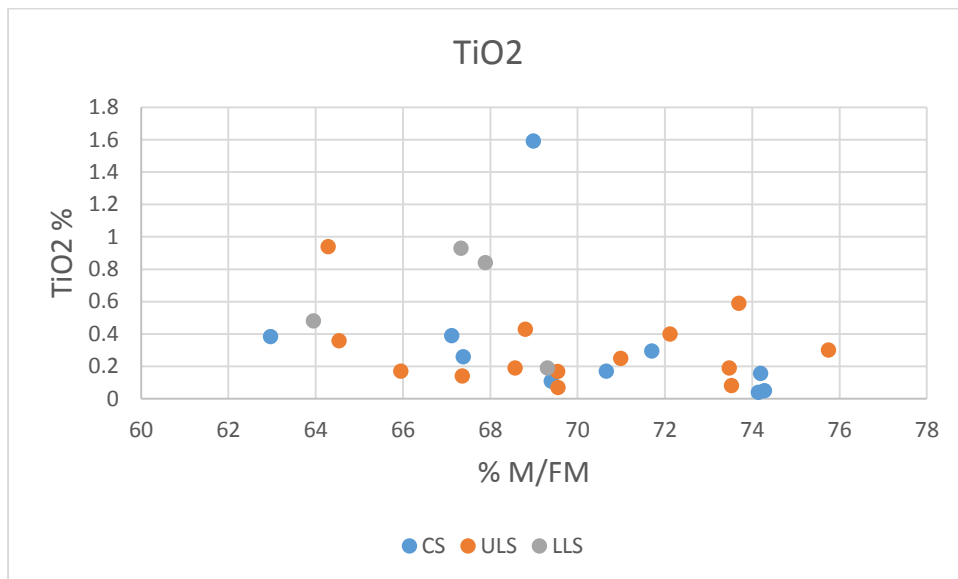


Figur 4.19: SiO₂ plottet mot % M/FM. Trenden er varierende men tyder på en økning ved Mg/Fe: 70-74

Figure 4.19: SiO₂ plotted against % M/FM. Showing a varying trend with some increasing values at M/FM:70-74.

TiO₂:

Relativt lave verdier av TiO₂, med en høy verdi i CS fra en prøve som befinner seg helt inntil Langstrandgabbroen. Også her vises en trend av varierende innhold, spesielt mellom M/FM 70 og 74.

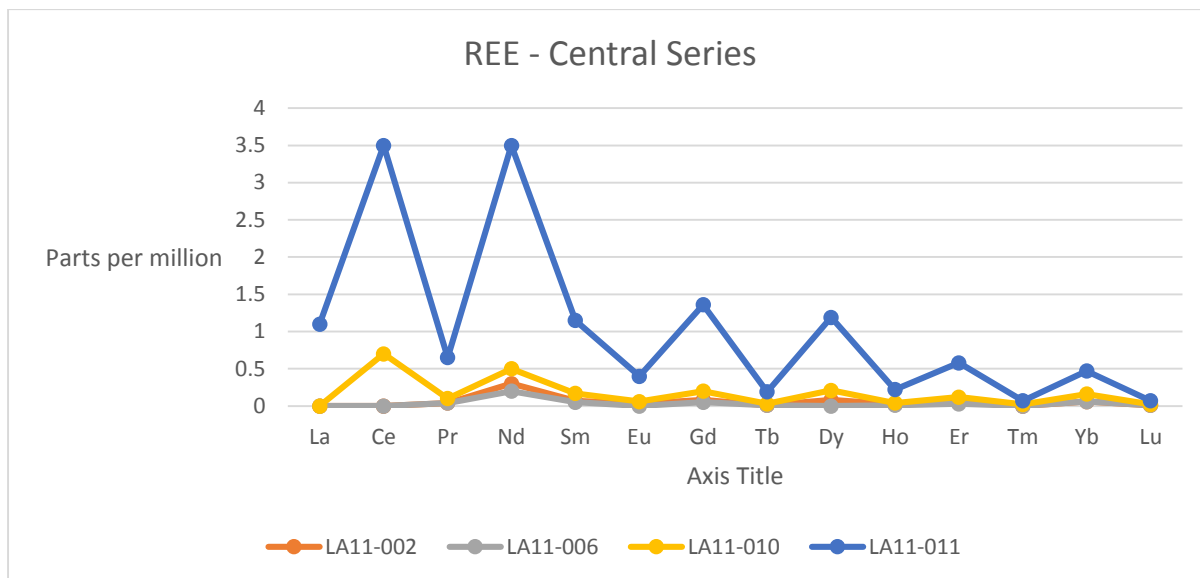


Figur 4.20: TiO₂ plottet mot % M/FM. Trenden er varierende men tyder på en økning ved M/FM: 70-74

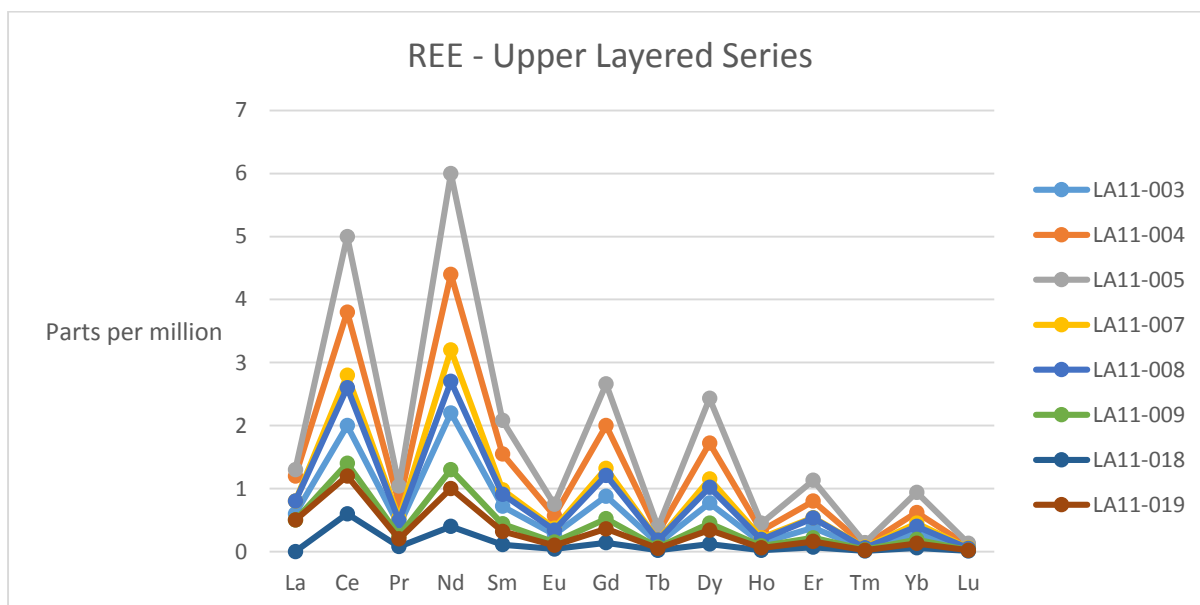
Figure 4.20: TiO₂ plotted against % M/FM. Showing a varying trend with some increasing values at M/FM:70-74.

4.3.2 Sporelementer

REE analyser er her presentert i sin opprinnelige fordeling.



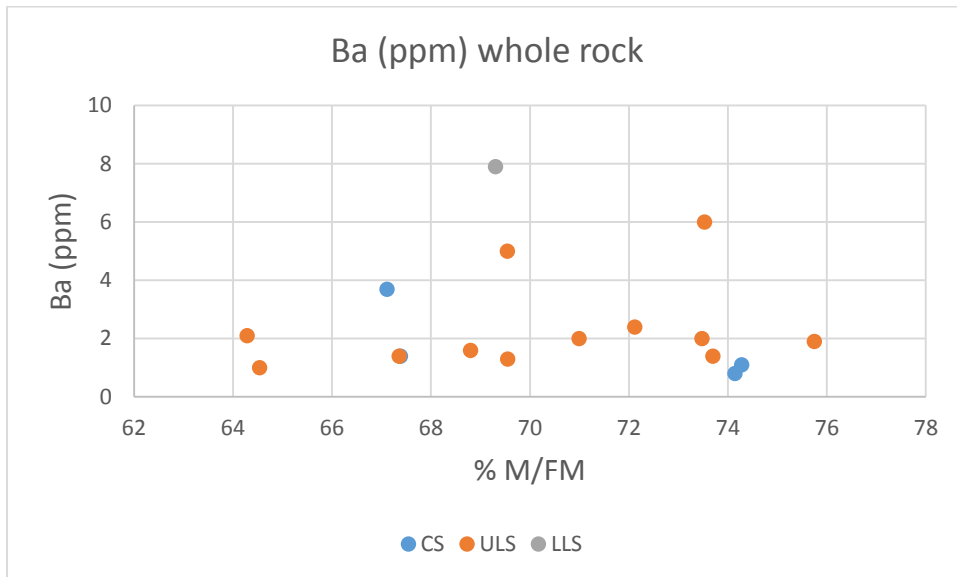
Figur 4.21: REE plottet for Central Series.
Figure 4.21: REE plotted for Central Series.



Figur 4.22: REE plottet for Upper Layered Series.
Figure 4.22: REE plotted for Upper Layered Series.

Barium:

Som for hovedelementene viser analysene for Ba at vi har spredte analyser. Likevel er det også her mulig å se en tendens til at Ba øker i området M/FM 70-74 for deretter å sunke ned til en lavere verdi.

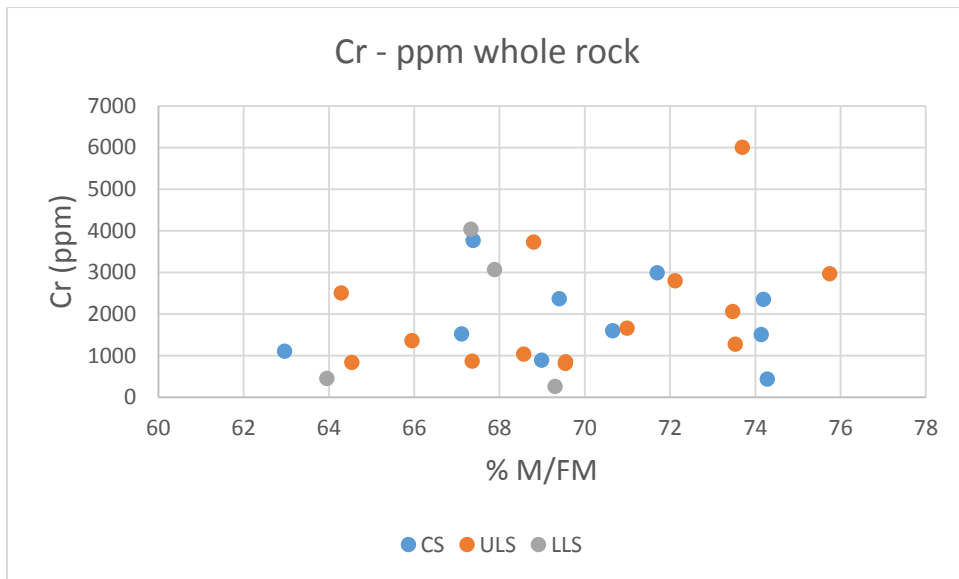


Figur 4.23 Ba (ppm) plottet mot % M/FM.

Figure 4.23: Ba (ppm) plotted against % M/FM. Showing an increasing trend between M/FM 70-74 and then a decrease.

Krom:

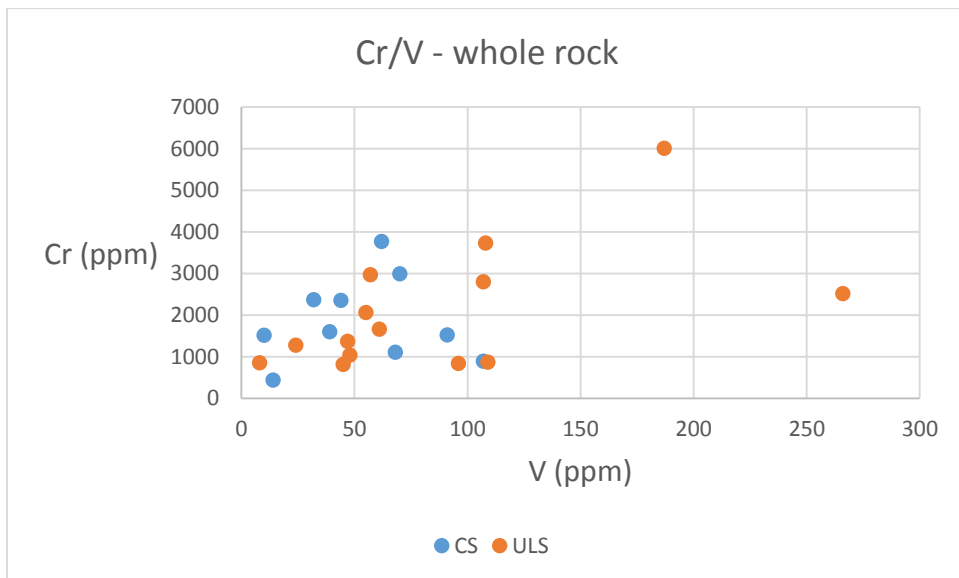
I disse krom-analysene kan vi se en enda tydeligere trend mellom M/FM 70-74. Verdiene på venstre side er spredt, men lave. Ved M/FM 70 til ca 73 har vi en kraftig stigning på ca 2000ppm(!) for deretter at verdiene synker like kraftig ved Mg/Fe: 74



Figur 4.24: Cr (ppm) plottet mot % M/FM. Her ses den en tydelig anrikning mellom M/FM: 70 og 74.

Figure 4.24: Cr (ppm) plotted against % M/FM. A clear 2000ppm increase in Cr-values between M/FM: 70-74 can be seen, and later a strong decrease.

Krom (ppm) mot vanadium:

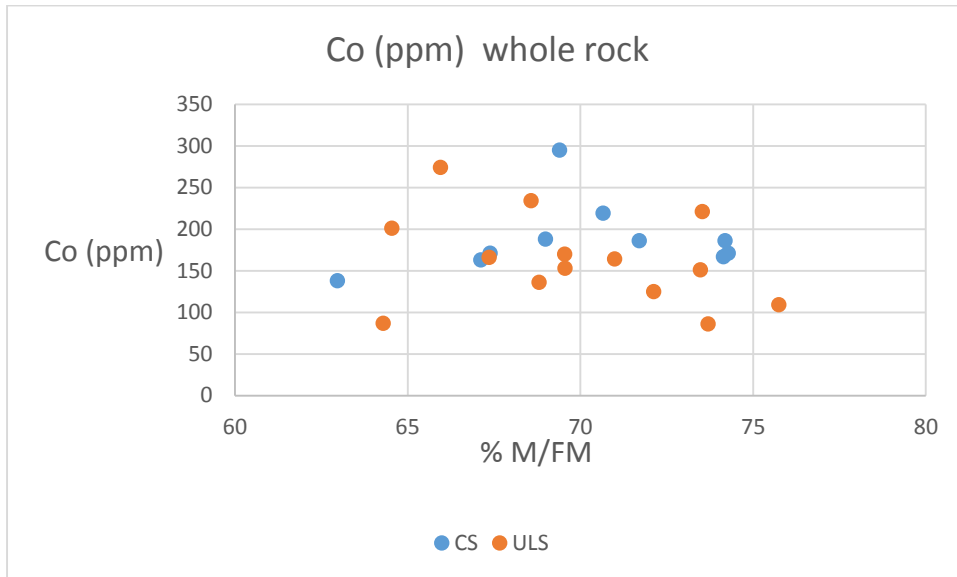


Figur 4.25: Cr (ppm) plottet mot V (ppm)

Figure 4.25: Cr (ppm) plotted against V (ppm)

Kobolt:

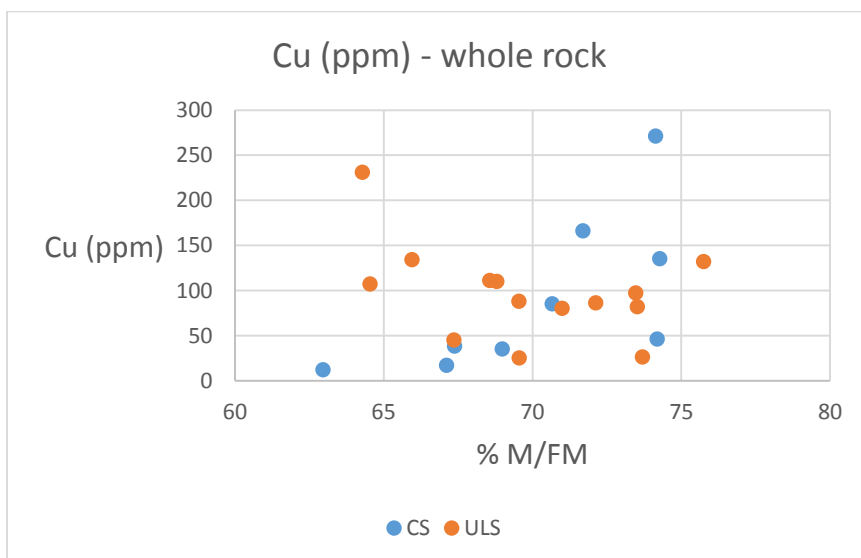
Diagrammet viser plott av variasjonen av kobolt fra bulk-analyser. Verdiene ser ut til å stige frem til M/FM = 70, for deretter å synke med økende M/FM.



Figur 4.26 Bulkanalyse av kobolt plottet mot % M/FM
Figure 4.26: Whole rock analysis of cobalt plotted against % M/FM.

Kobber:

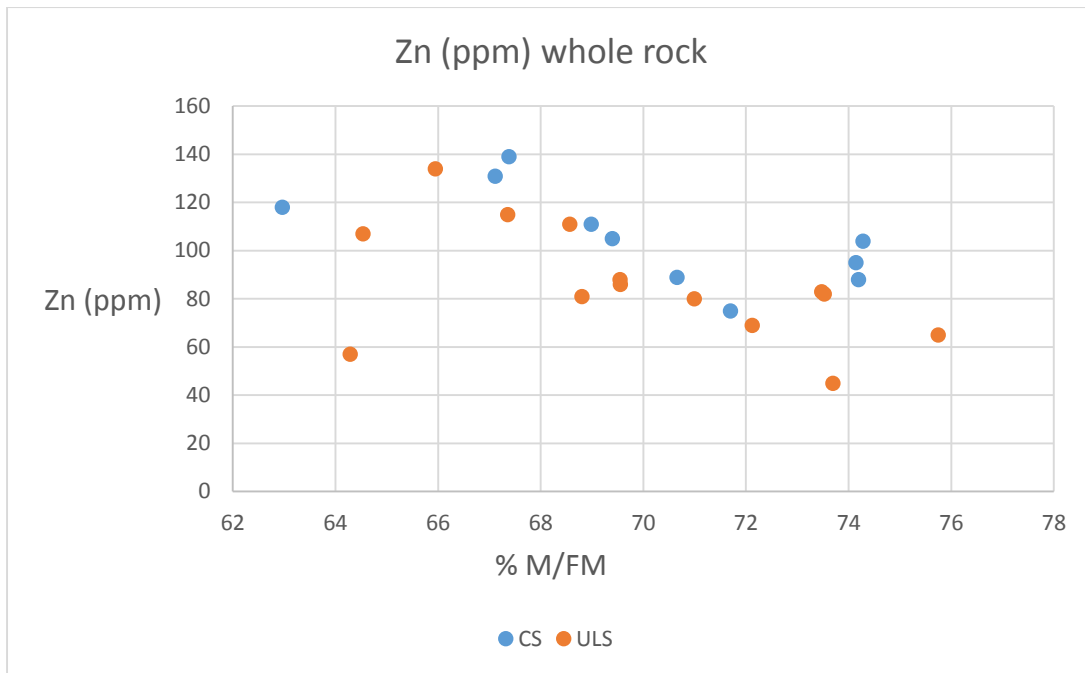
Kobber plottet mot M/FM fra bulk-analyse. Som for tidligere analyser ser kobber også ut til å variere opp og ned og viser ingen direkte korrelasjon med M/FM.



Figur 4.27 Bulkanalyse av kobber plottet mot % M/FM
Figure 4.27 Whole rock analysis of copper plotted against %M/FM

Zn bulkanalyse:

Zn plotter med negativ korrelasjon med M/FM.

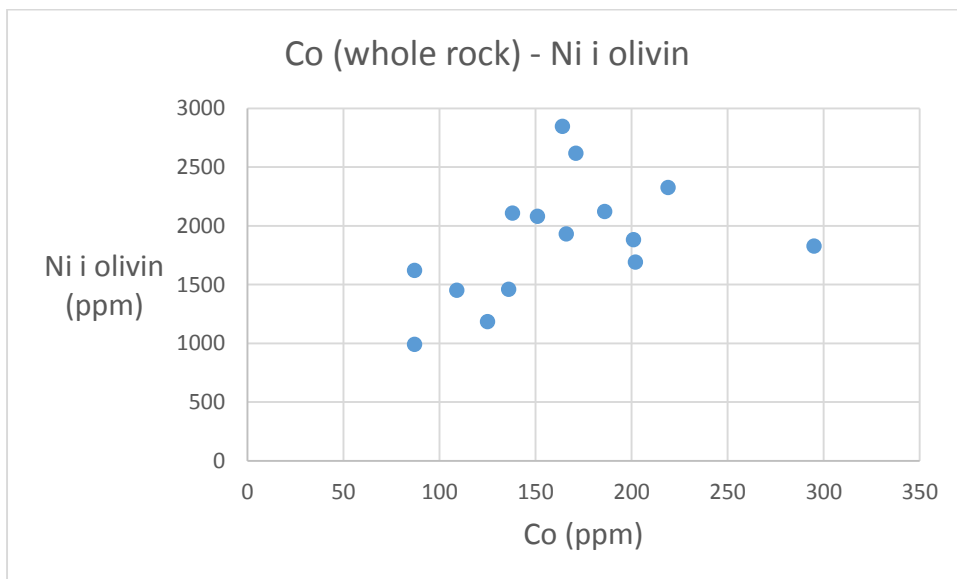


Figur 4.28 Bulkanalyse av Zn (ppm) plottet mot % M/FM

Figure 4.28 Whole rock analysis of Zn (ppm) plotted against %M/FM

Co bulkanalyse og Ni i olivin:

Det er en stigende trend av Ni i olivin samtidig med økende Co i bergarten. To av verdiene ved 200 ppm Co viser en liten reduksjon av Ni i olivin.

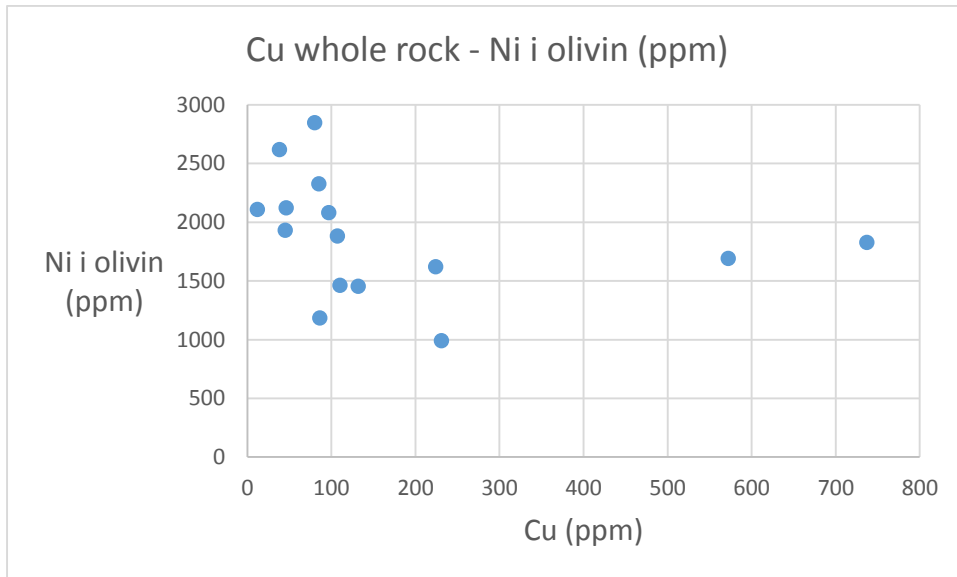


Figur 4.29 Ni i olivin plottet mot bulkanalyse av Co.

Figure 4.29 Ni in olivine plotted against whole rock analysis of Co.

Cu bulkanalyse og Ni i olivin:

Det chalcophile elementet kobber har en sterk affinitet til å gå inn i en sulfidfase. Om en sulfidsmelte har blitt dannet i RUK er det interessant å se hvordan nikkel opptrer. I diagrammet under kan vi se at når mengden Cu i bulkanalyse stiger reduseres raskt mengden Ni i olivin. Noen få hundre ppm med Cu i bergarten, og vi mister ca 2000ppm Ni i olivin.

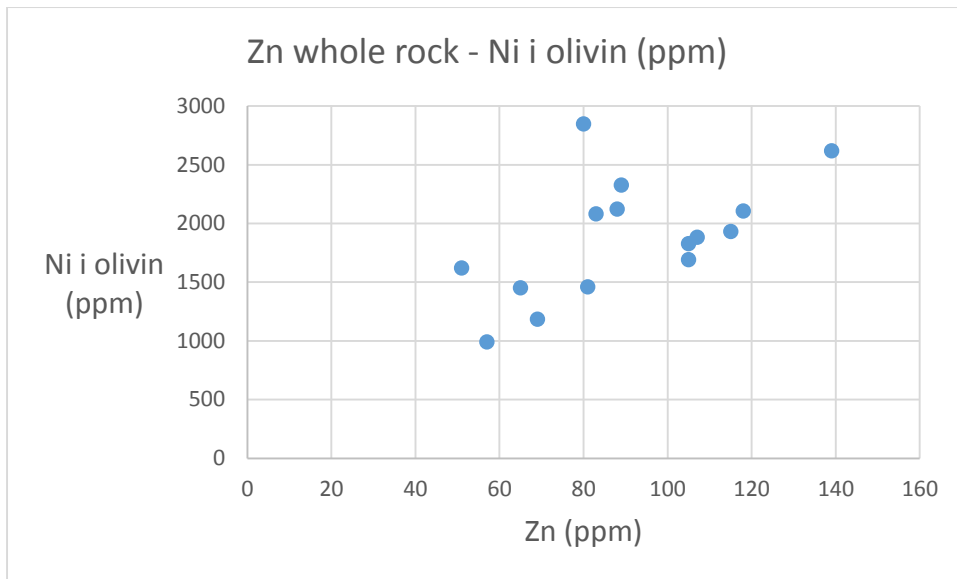


Figur 4.30 Ni i olivin plottet mot bulkanalyse av Cu.

Figure 4.30 Ni in olivine plotted against whole rock analysis of Cu.

Zn bulkanalyse mot Ni i olivin:

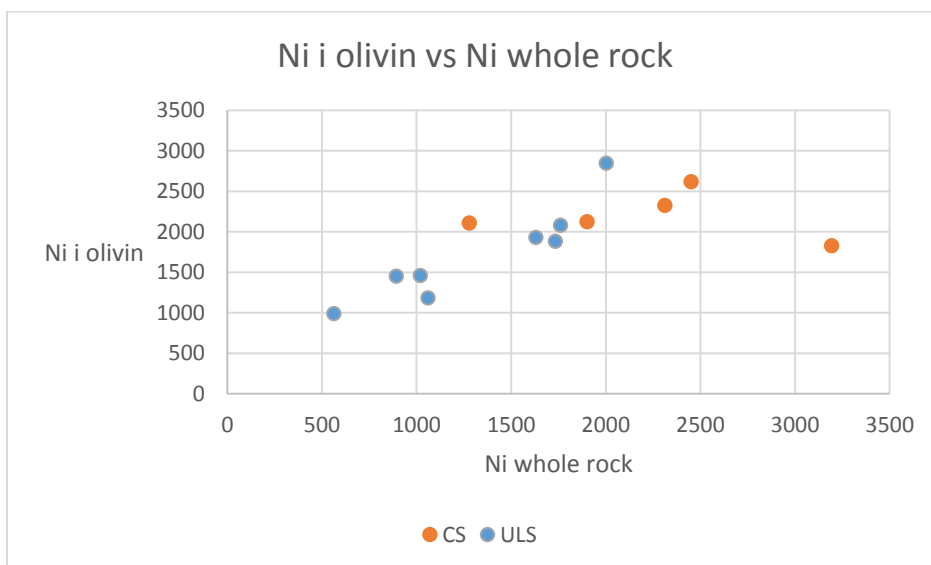
På samme måte som for Co ser vi her først en stigende trend, for så å få en reduksjon av Ni i olivin, samtidig som Zn i bergarten stiger.



Figur 4.31 Ni i olivin plottet mot bulkanalyse av Zn
 Figure 4.31 Ni in olivine plotted against whole rock analysis of Zn.

Ni i olivin mot Ni bulkanalyse:

Diagrammet viser en så å si lineær økning av Ni i både olivin og bergarten i ULS, men noen små variasjoner. CS har derimot en relativt liten økning i innholdet av olivin der bergartens Ni-innhold stiger fra 1250 til 3200. Den høyeste verdien skriver seg fra en sone i CS med sulfidmineralisering (prøve LA12020).

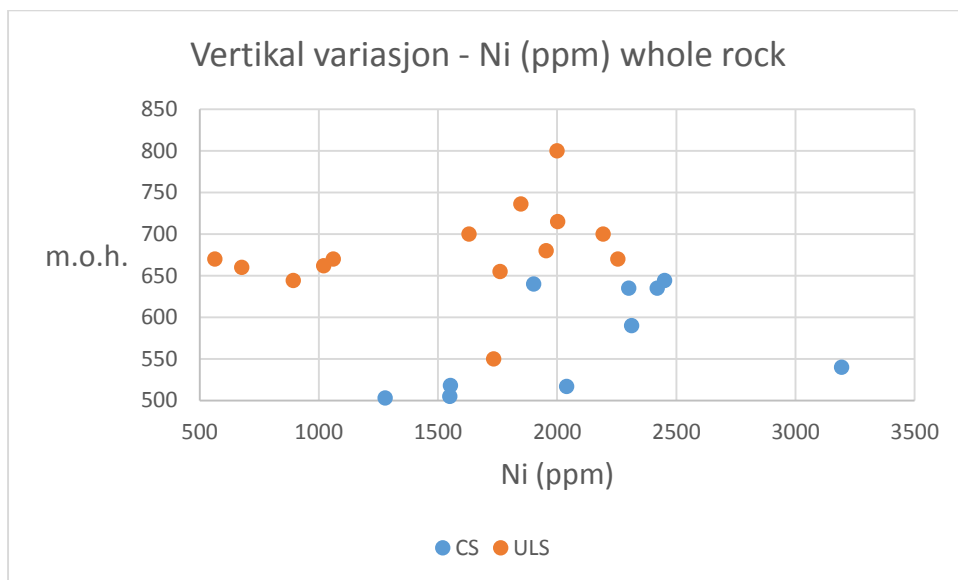


Figur 4.32 Ni i olivin plottet mot Ni i bulkanalyse
 Figure 4.32 Ni in olivine plotted against Ni in whole rock

Vertikal variasjon av Ni i whole rock-analyser:

Verdiene for nikkel i ULS indikerer ikke noen opplagt trend. Antallet analyser er for lavt til å kunne gi en god konklusjon på om mengden Ni stiger eller synker med økende høyde.

Verdiene på venstre side skriver seg fra prøver samlet nær marginalsonen, der bergartene er pyroksenittiske. Nikkelverdiene i CS er derimot noe tydeligere der det ser ut til å være en økende mengde Ni i bergarten med økende høyde.



Figur 4.33 Vertikal variasjon av bulkanalyser av Ni (ppm) gjennom ULS og CS.

Figure 4.33: Vertical variation of Ni (ppm) in ULS and CS. From whole rock analysis.

4.3.3 EPMA

EPMA-analysene er gjort på olivin, klinopyroksen og ortopyroksen fra ULS, LLS og CS. Det presiseres at alle analysene er punktanalyser i det gjeldende mineralet.

Grunnet begrenset tid på elektronmikroskopet ble det først gjort noen få analyser på olivinkorn der det ble undersøkt om kornene hadde en kjemisk sonering, altså en endring i kjemisk sammensetning fra kjernen av olivinkornet og mot kantene. En slik sonering ble ikke registrert, og alle prøvepunktene ble dermed sentrert midt på kornene i håp om at elektronstrålen ikke ville treffe andre mineraler lavere i tynnslipet. Dette sparte mye tid og arbeid, slik at et større utvalg prøver kunne bli analysert i løpet av oppholdet.

Olivins forsterittkomponent for de ulike seriene:

CS: $F_{079,9-85,7}$

ULS: $F_{077,2-85,2}$

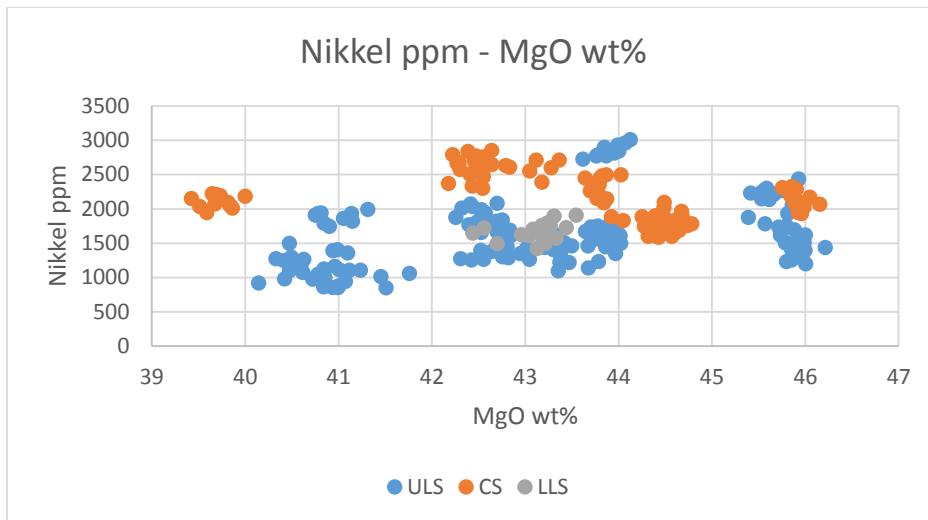
LLS: $F_{080,3-81,7}$

Olivinanalyser

Nikkelfordeling i CS, ULS og LLS:

Generelt en «rotete» fordeling av Ni i olivinene fra de tre seriene. Det kan argumenteres for at man ser en svak anrikning i ULS med økende wt% MgO, men høye verdier av Ni ses også i den mer Mg-fattige olivinen.

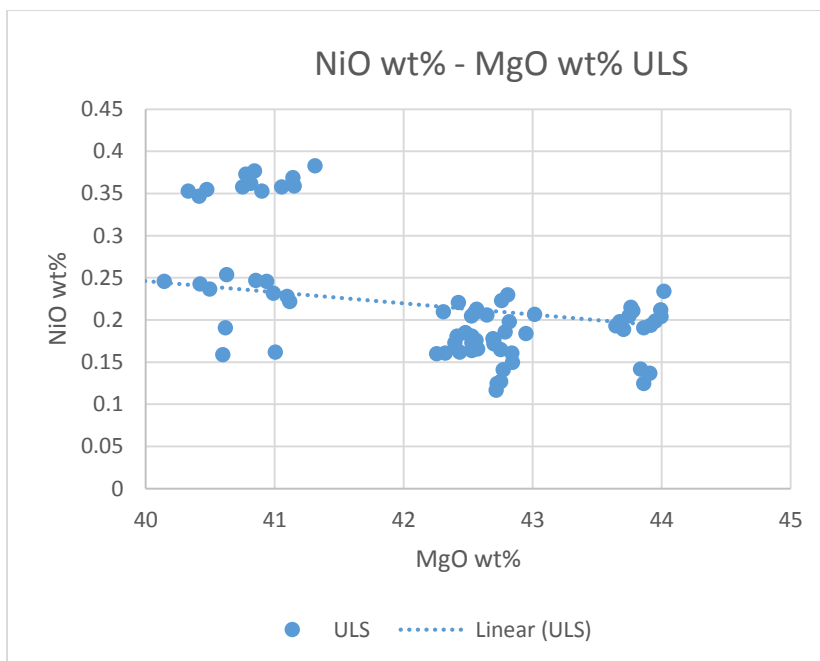
Det ble forsøkt å plote innholdet av Ni i små olivinkorn relativt til Ni i store olivinkorn. Dette gav ingen konkluderende resultater, men heller veldig spredte verdier, og tolkningen er at Ni-innholdet i olivin ikke har noen sammenheng med kornstørrelsen.



Figur 4.34 Fordeling av Ni i olivin gjennom CS, ULS og LLS.
 Figure 4.34 Distribution of Ni in olivine in CS, ULS and LLS.

NiO (wt%) plottet mot MgO (wt%) ULS:

På høyre side i diagrammet har vi de mest Mg-rike og primitive olivinene i ULS som har lavere verdier av NiO enn på venstre side der vi ser et høyere innhold av Fe-olivin.



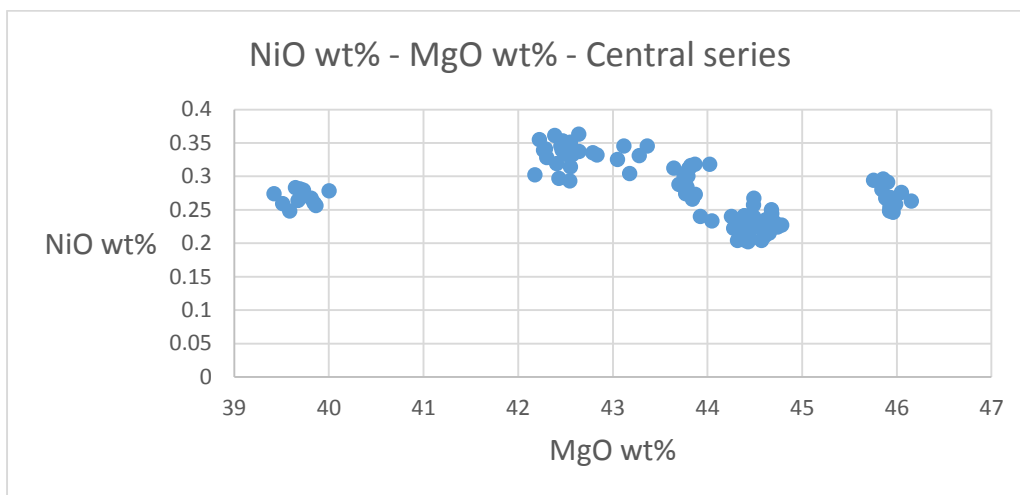
Figur 4.35 wt% Ni plottet mot wt% MgO i ULS.
 Figure 4.35 wt% Ni plotted against wt% MgO in ULS.

NiO (wt%) plottet mot MgO (wt%) CS:

Her vises også de mest primitive olivinene på høyre side av diagrammet.

Punktene lengst til venstre er analyser fra en prøve i umiddelbar nærhet til

Langstrandgabbroen. De lave verdiene anses dermed som et resultat av assimilering med gabbroen. Ellers på høyre side kan vi se den samme utviklingen som i ULS, de mest Mg-rike olivinene har lavere verdier av NiO enn de mer Fe-rike mot venstre. Det kan forklares ved at Ni har blitt fjernet fra smelten enten før eller samtidig som Mg-rik olivin krystalliserte fra smelten og muligens gått over i en sulfidsmelte.



Figur 4.36 wt% Ni plottet mot wt% MgO i olivin fra CS.

Figure 4.36 wt% Ni plotted against wt% MgO in olivine from CS.

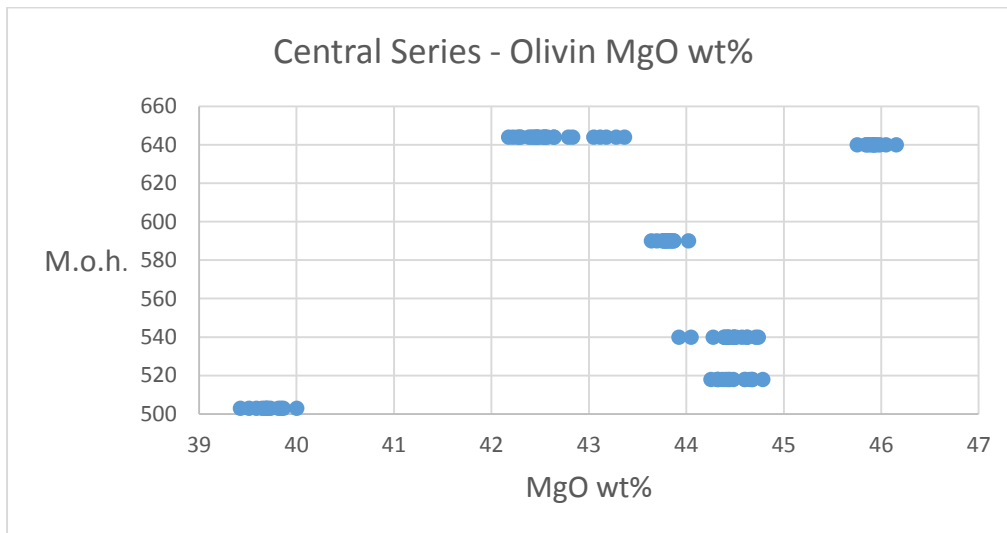
Vertikal variasjon i wt% MgO, Central series:

Diagrammet viser plotting av wt% MgO mot vertikal plassering av prøvene.

Den nederste verdien på rundt 39-40 wt% MgO skriver seg her også fra den mulig assimilerende prøven nevnt tidligere.

Trenden i wt% MgO viser en svakt minkende innhold av MgO etter hvert som man beveger seg oppover i CS. Et plutselig hopp mot høyre til en verdi på 46 wt% kan være en indikator på et magmakammeret har fått tilførsel på ny magma. Det kan diskuteres hvorvidt dette er representative verdier ettersom de er samlet fra kun en prøve og alene ikke danner et

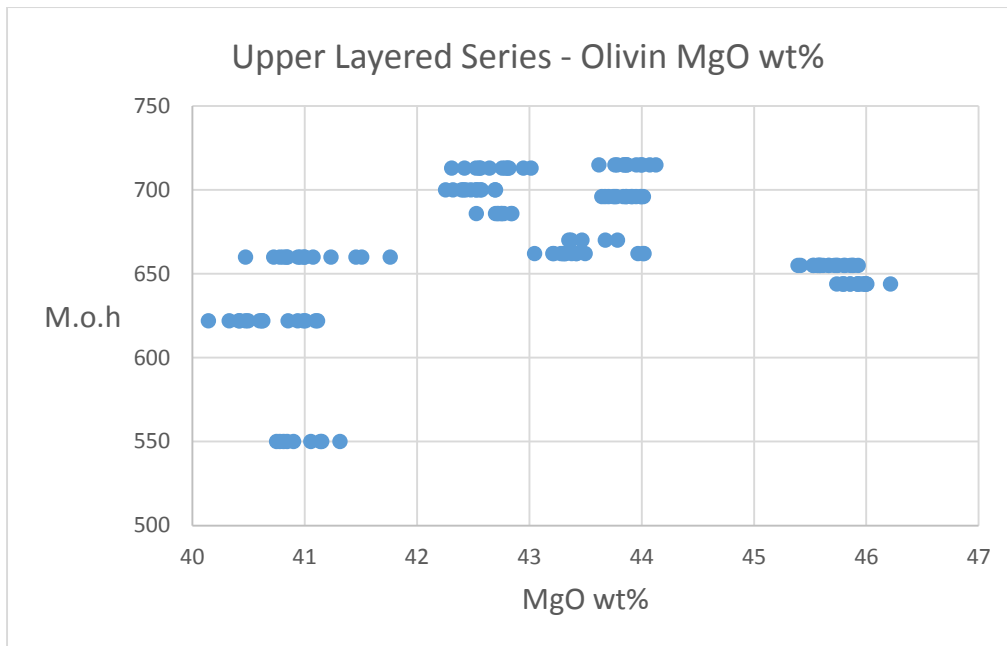
skikkelig grunnlag for denne tolkningen. Det ble forsøkt å sammenlikne denne høye verdien med Emblins (1985) analyser av olivin, men, da han ikke opererer med absolutt høyde i sine målinger (han bruker CS sin vertikale tykkelse på 0-400m som rammeverk) viser det seg vanskelig å finne noen korrelasjon. Prøven lengst til venstre er tatt helt sør i CS og er mest sannsynlig kontaminert av gabbro.



Figur 4.37 Vertikal variasjon av MgO wt%, CS.
 Figure 4.37: Vertical variation of MgO wt%, CS.

Vertikal variasjon i wt% MgO, Upper Layered Series:

Diagrammet viser en svakt mer Fe-rik olivin med økende høyde. Verdiene på venstre side av diagrammet kommer fra prøver nær bunnen av ULS, nær en mafisk/ultramafisk pegmatitt og like ved marginalsonen. Disse verdiene er med andre ord analyser fra bergarter i «ytterpunktene» av ULS og kan skyldes en del kontaminering som følge av assimilering med sidebergarten.

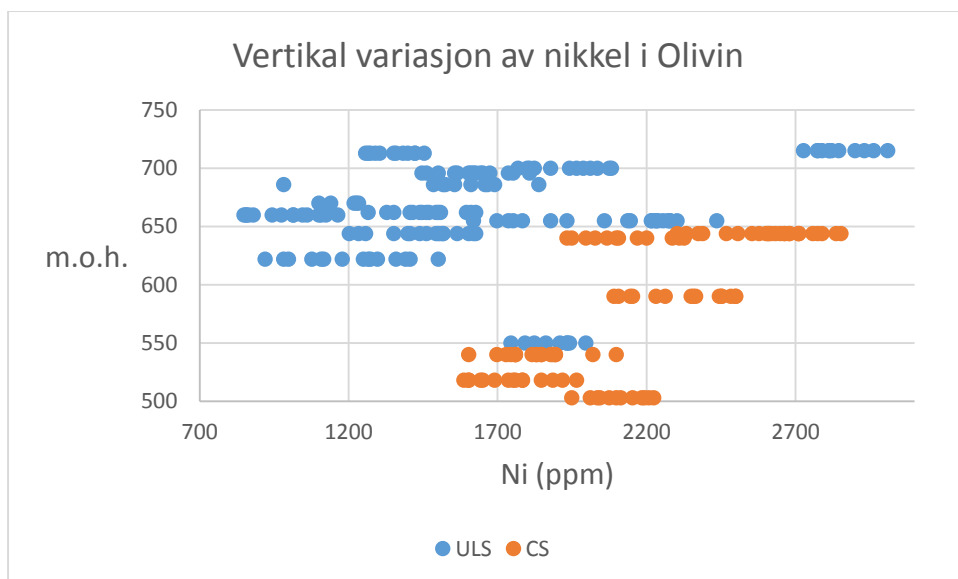


Figur 4.38 Vertikal variasjon av MgO wt% in ULS.
 Figure 4.38 Vertical variation of MgO wt% in ULS.

Vertikal variasjon av nikkel i olivin:

I følgende diagram er både CS og ULS inkludert. ULS viser ingen vertikal trend. Verdiene innenfor hver prøve varierer mye og gir ingen klar systematikk.

For CS stiger nikkel-innholdet med høyden, der wt% MgO tidligere ikke har vist den samme utviklingen, se figur 4.37. Ettersom figur 4.37 viser en olivin som blir progressivt rikere på Fe med høyde er det forventet at også nikkelinholdet i olivinen vil synke. Da Ni-innholdet tvert om viser seg å stige i høyden, i tillegg til bulk-analyser av bergartene som viser en økning av Ni kan dette peke på at magmakammeret var åpent og fikk en tilførsel av fersk magma.



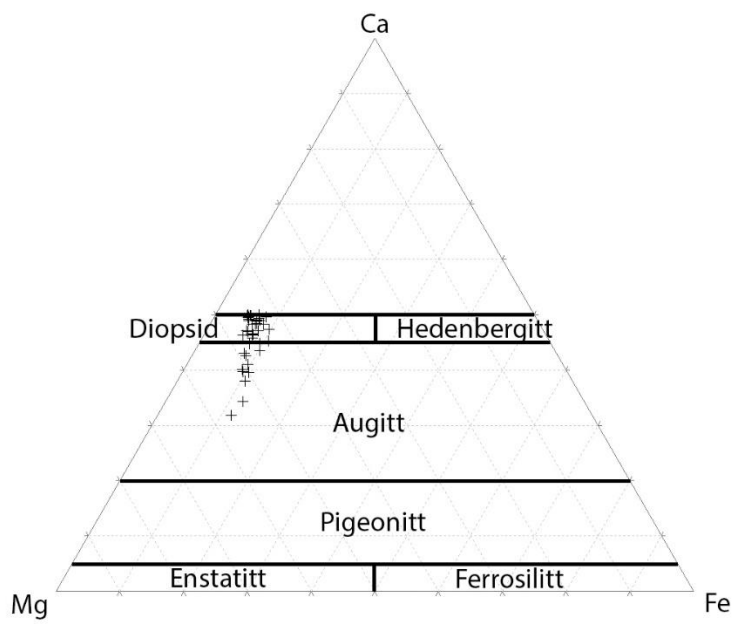
Figur 4.39 Vertikal variasjon av Ni (ppm) i olivin for ULS og CS.
 Figure 4.39 Vertical variation of Ni (ppm) in olivine in ULS and CS.

4.3.3.2 Pyroksen

Sammensetningen av klinopyroksen i ULS plottes følgende i et ternært plott:

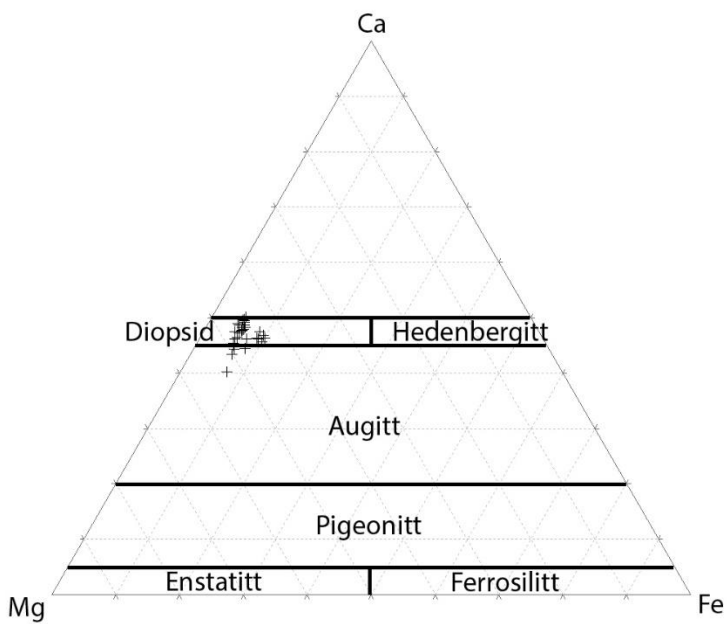
Tallene er basert på antall ioner fra EPMA-analysen.

Både ULS og CS klinopyroksen plottes hovedsakelig som diopsid, med noe mer augitt i ULS.



Figur 4.40: Triplot for klinopyroksen i ULS.
 Figure 4.40: Triplot of clinopyroxene in ULS

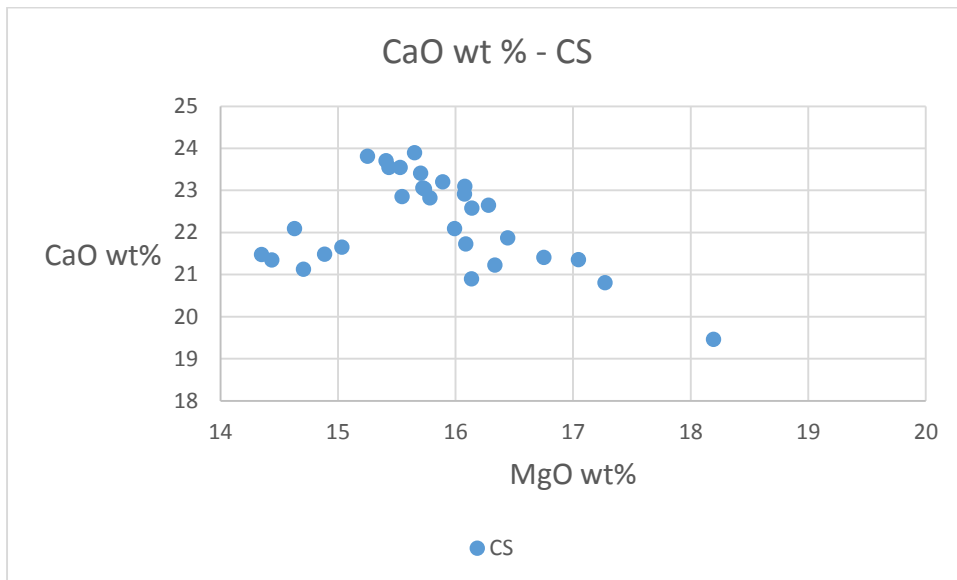
Samme plott for klinopyroksen i CS:



Figur 4.41: Triplot for klinopyroksen i CS.
 Figure 4.41: Triplot of clinopyroxene in CS.

CaO:

Viser en synkende trend med økende MgO%.

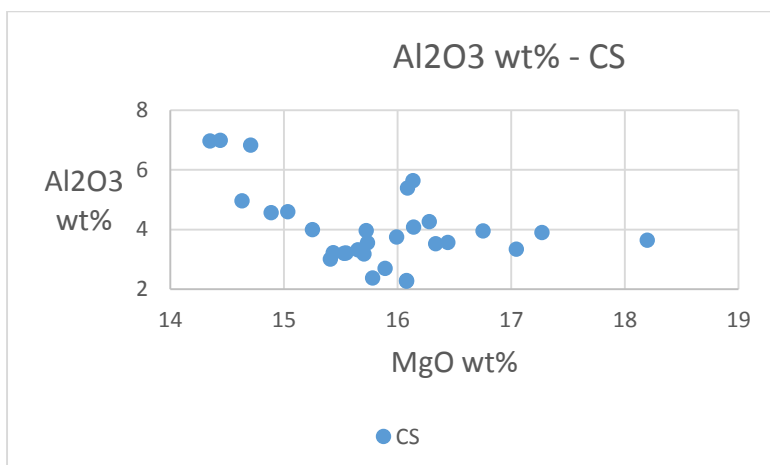


Figur 4.42: CaO wt% i cpx plottet mot MgO wt%

Figure 4.42: CaO wt% in cpx plotted against MgO wt%

Al₂O₃:

På samme måte som for hovedelementsanalyse ser vi her at Al₂O₃ har synkende verdier frem til wt% MgO= 16, der verdiene gjør et «hopp» opp fra rundt 2 wt% til 4-5 wt%.

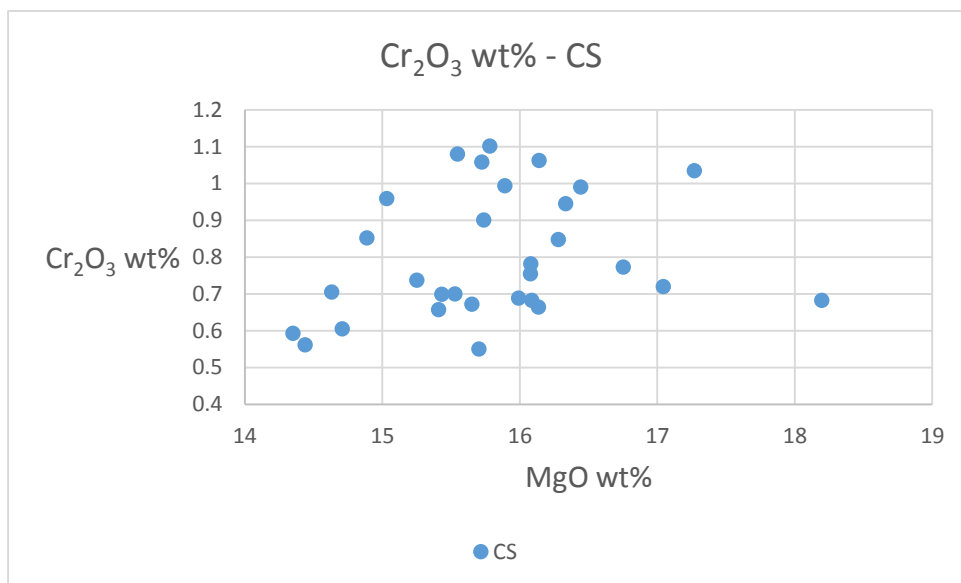


Figur 4.43: Al₂O₃ wt% i cpx plottet mot MgO wt%

Figure 4.43: Al₂O₃ wt% in cpx plotted against MgO wt%

Cr₂O₃:

Ingen klar trend i verdiene, men en økning av Cr med økende MgO er en naturlig tolkning ettersom Cr er et kompatibelt element og vil gå inn i en fast fase så snart den får muligheten.

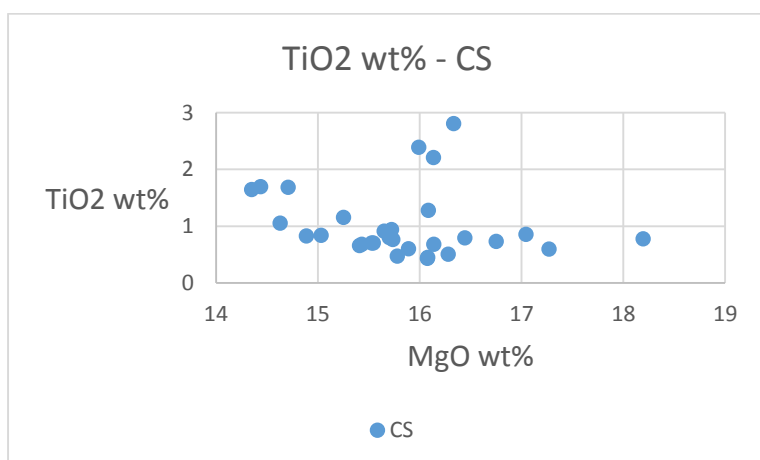


Figur 4.44: Cr₂O₃ wt% i cpx plottet mot MgO wt%

Figure 4.44: Cr₂O₃ wt% in cpx plotted against MgO wt%

TiO₂:

En noe synkende trend frem til wt% MgO= 16, der enkelte verdier er doblet. Videre økning av MgO i klinopyroksen ser ut til å stabilisere TiO₂ ved 0,5-1 wt%.



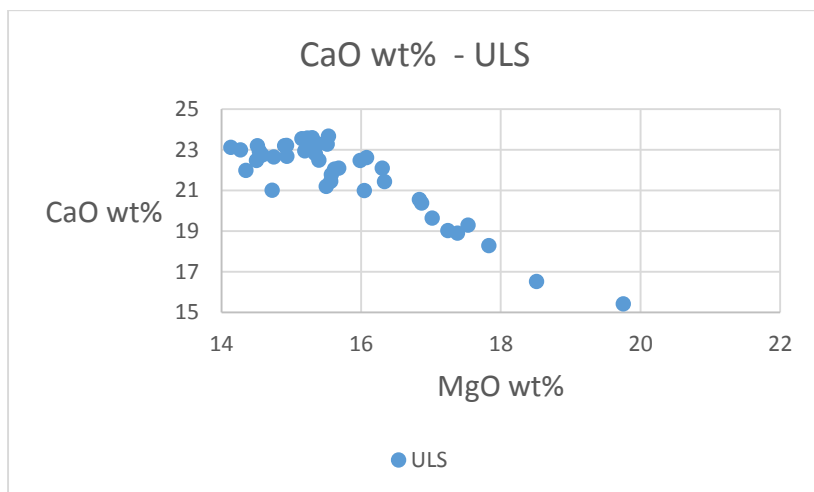
Figur 4.45: TiO₂ wt% i cpx plottet mot MgO wt%

Figure 4.45: TiO₂ wt% in cpx plotted against MgO wt%

Mineralkjemi for klinopyroksen i ULS:

CaO:

Klar negativ korrelasjon med MgO i klinopyroksen.

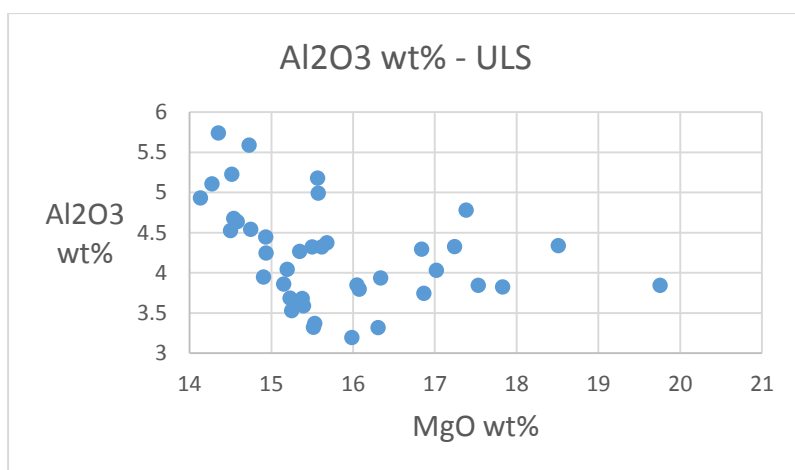


Figur 4.46: CaO wt% plottet mot MgO wt% i ULS.

Figure 4.46: CaO wt% plotted against MgO wt% in ULS.

Al₂O₃:

Verdiene synker frem til MgO= 16, for deretter å stige noe.

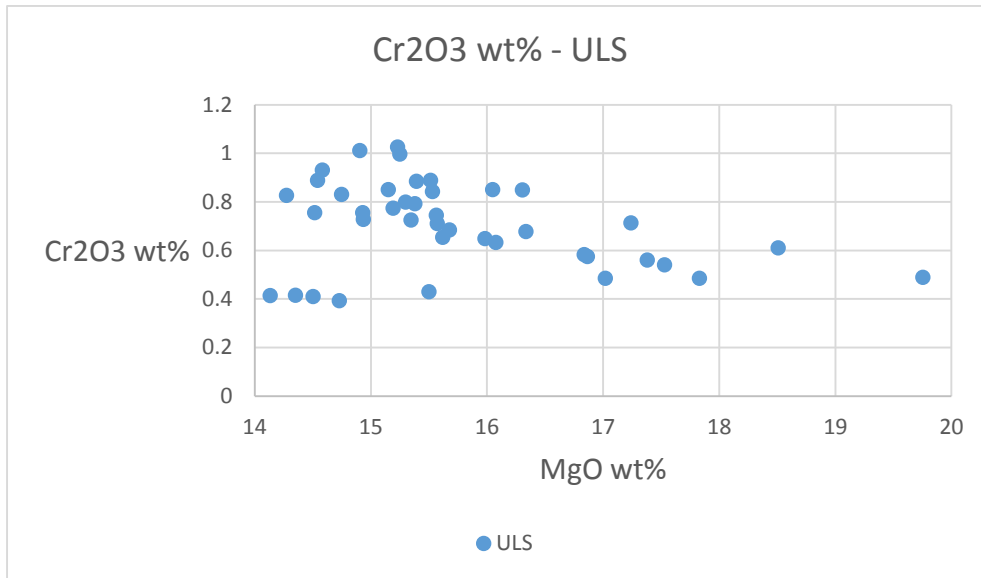


Figur 4.47: Al₂O₃ wt% plottet mot MgO wt% i ULS.

Figure 4.47: Al₂O₃ wt% plotted against MgO wt% in ULS.

Cr₂O₃:

Verdiene ser ut til å være relativt stabile, men har en svakt synkende grad med økende MgO.

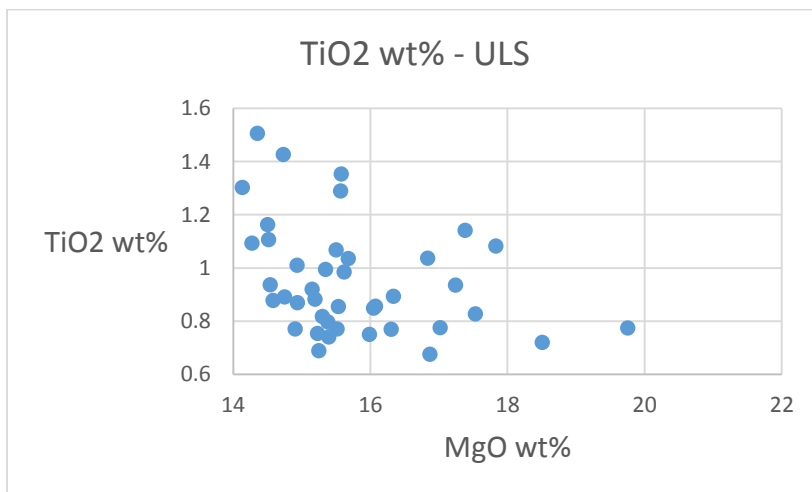


Figur 4.48: Cr₂O₃ wt% plottet mot MgO wt% i ULS.

Figure 4.48: Cr₂O₃ wt% plotted against MgO wt% in ULS.

TiO₂:

Veldig spredte data, men en generell betraktning er at TiO₂ synker med økende MgO



Figur 4.49: TiO₂ wt% plottet mot MgO wt%

Figure 4.49: TiO₂ wt% plotted against MgO wt%

Kapittel 5: Diskusjon

5.1 Reinfjord Ultramafiske Kompleks

Som nevnt i kapittel 4 ble det gjort en god del fall/fallvinkel-målinger under feltarbeidet. Det henvises til Endres masteroppgave for en grundig gjennomgang av dette temaet. I stedet vil det bli presentert et kortfattet sammendrag av den strukturgeologiske oppbygningen av RUK:

RUK viser et svakt fall på ca 9-34° mot Ø-NØ. Den østlige delen av ULS har en varierende fallvinkel, der delen nærmest Langstrandgabbroen viser et fall i vestlig retning. Dette fallet bryter med den generelle trenden i resten av RUK, og kan være en følge av magmakammerets «vegg» der de lagdelingene vil strekke seg opp langs «veggen». RUK har assimilert noe med Langstrandgabbroen da det er observert et godt antall gabbroxenolitter og «interfingering» mellom RUK og gabbroen. Der grensen mellom RUK og gabbroen ikke er en klar kontakt, er derimot RUKs grense mot granatgneisen en skarpere kontakt.

De tre ultramafiske seriene i RUK er fra eldst til yngst, LLS, ULS og CS.

5.2 Geokjemiske analyser

De geokjemiske analysene av LLS er ikke tatt med i alle diagrammene i denne delen. De er presentert som rådata i vedlegg C, D og E, dette er grunnet et lavt antall prøver i tillegg til at de prøver som ble samlet er forurenset av en nærliggende gabbroxenolitt.

5.2.1 Hovedelementer

Analysene av hovedelementer er plottet mot % $MgO/(MgO+Fe_2O_3)$. For Al_2O_3 , CaO , Cr_2O_3 , SiO_2 og TiO_2 viser plottene den samme utviklingen:

Fra M/FM opp til 69 er dataene spredt og viser ingen klar systematikk.

Fra M/FM 69 til ca. 73 er trenden for alle hovedelementene stigende verdier.

Fra M/FM 73 synker verdiene brått.

Denne trenden kan tyde på at det er snakk om en mulig tilførsel av ny smelte til magmakammeret. Tilførsel av ny magma vil kunne føre til den økningen dataene viser, med betydningen at magmakammeret er åpent. En annen forklaring på økningen kan være kontaminering fra sidebergarten. Etersom RUK intruderte i en gabbro er dette helt klart en

mulighet, men det ville da vært forventet å se noe høyere verdier av hovedelementene i RUK, og ikke kun innenfor et lite intervall.

Gjennomsnittlig innhold av MgO% i de forskjellige seriene synker med avstanden fra CS. Se tabell 5.1

	CS	ULS	LLS	UMZ
Gjennomsnitt MgO%	39,45889	33,67143	21,755	23,05

Tabell 5.1: Gjennomsnittlig innhold av MgO% fra hovedelementsanalyse.
Table 5.1: Average MgO% from major element analysis.

Det noteres at MgO% er noe høyere i UMZ enn i LLS. Disse dataene er basert på tre prøver fra UMZ og fire prøver fra LLS. Dette er et relativt svakt datagrunnlag for å kunne si noe om den gjennomsnittlige MgO% for disse seriene. De fire prøvene fra LLS ble samlet på et lite område, og viser sterkt redusert MgO%, mest sannsynlig grunnet assimilering med en nærliggende gabbroxenolitt. UMZ ligger som en sone inntil Langstrandgabbroen og er dannet som følge av assimilering med gabbroen. Store xenolitter og innhold av plagioklas som intercumulus blant olivin- og pyroksenkorn gjør at MgO% er forventet å være lavere for UMZ enn i LLS. Dette er også i tråd med Emblin (1985), sitat: «Marginal zone composition lie between those for the layered series and the Langstrand gabbro».

Dataene for CS og ULS er derimot mer representative grunnet et større utvalg prøver over et større område av både CS og ULS.

I tillegg til tolkning av de forskjellige diagrammene i kap 4.3.1 tyder disse tallene på at alle de nevnte hovedelementene stiger i innhold fra lave verdier i CS gjennom ULS, LLS og UMZ. Dette tolkes til å ha en direkte korrelasjon med minkende innhold av olivin (og MgO%) i samme rekkefølge.

5.2.2 Sporelementer:

Sporelementsanalysene for Ba, Cr, Co, Cu, Zn, viser mye av den samme trenden som vi har sett i hovedelementsanalysene. Ved M/FM ca. 70 begynner sporelementenes verdier å øke, for deretter å synke brått.

I figur 4.32 er Ni i olivin plottet mot Ni i bulkanalyse. Verdiene i diagrammet viser at ULS har en noe lineær økning av Ni i olivin med økende Ni-innhold i serien. CS viser derimot et

relativt stabilt nivå av Ni i olivin, mens bulkanalysene stiger fra ca 1250 til 3200 ppm. Som nevnt i kapittel 4 er den høyeste verdien fra en prøve i en sulfidmineralisert sone av CS.. Antallet prøver for denne analysen er dog ikke veldig høy og det stilles spørsmål til hvor dekkende fem prøver fra CS egentlig er. Dette skyldes at prøvene som ble analysert for hoved-/sporelement ikke dekker alle prøvene som ble analysert med EPMA. Et større antall analyser vil helt klart avdekke relasjonen mellom Ni i olivin og bulk.

Den vertikale variasjonen av bulk Ni i CS kan avleses i figur 4.33 der vi ser verdier rundt 1500-200 ppm nederst i CS for deretter å få en kraftig stigning til 3200ppm ved 550m.o.h. Lenger opp i CS er verdiene nede på 2000-2500 ppm igjen. Verdiene presentert i diagrammene er en mulig indikasjon på at det har foregått en separasjon av sulfider, som har gått inn i en egen fase. Dette er spesielt tydelig i felt, der prøvelokaliteten for de høyeste verdiene viser mineralisering av sulfider.

Figur 4.39 gir oss deretter et innblikk i variasjonen av Ni i olivin med høyde. Trenden er at olivin får en økning på ca 1000ppm Ni over en høyde på ca 150 meter. Dette gir klarhet i at Ni stiger i bergarten i tillegg til i olivin, men bulkanalysene viser likevel en større økning av Ni.

Plott av Ni i olivin mot bulk Cu i figur 4.30 viser at Ni i olivin blir raskt tappet så snart vi får nevneverdige mengder Cu i bergarten. Cu er et sterkt inkompatibelt element som vil gå inn i en sulfidfase raskt, fremfor å bli i silikasmelten (Robb, 2008), så denne sterke nedgangen i Ni i olivin og økte mengden Cu i bergarten er et godt tegn på at det kan ha forkommet en sulfidseparasjon.

5.2.3 EPMA:

Med disse analysene er det avdekket en stigende trend i Fo-komponent i olivin, med yngre alder på seriene. Olivinkumulatene i Reinfjord har altså blitt progressivt rikere på Mg etter hvert som de tre seriene ble avsatt. Internt i CS vises det en synkende verdi av Mg oppover i serien (figur 4.37). Dette er forventet, da Mg-olivin vil krystallisere først og danne et kumulat på bunnen av magmakammeret. Restsmelten blir progressivt rikere på Fe og følgelig serien bli fattigere på Mg etter hvert som olivin krystalliserer. For ULS er ikke dette like lett å tyde. ULS skal bestå av opptil syv interne enheter med varierende innhold av olivin, og høydedata av Mg-olivin viser ingen tydelig reduisering i Mg med høyden (figur 4.38). Dette fant heller ikke Bennett (1972, 1974).

Olivinsammensetningen for seriene ble gitt i kapittel 4.4 men repeteres her:

CS: F_{079,9-85,7}

ULS: F_{077,2-85,2}

LLS: F_{080,3-81,7}

For CS og ULS er det forsøkt å skape et bilde av den vertikale variasjonen i sammensetningen av hovedsakelig olivin, i tillegg til klinopyroksen. Figur 4.37 og 4.38 viser wt % MgO for olivin og den vertikale endringen fra prøver gjennom seriene. For ULS ser det ikke ut til å være noen klar systematikk med økende høyde. Analysene fra CS viser en svak nedgang i wt% MgO med økende høyde, men det kan diskuteres om trenden fremkommer i diagrammet som et resultat av et lavt antall prøver i CS. Flere analyser fra flere prøver tettere på hverandre kan gi en bedre innsikt i vertikal variasjon. Det velges likevel å anta at tallene for CS er representative og beskriver en fraksjonert krystallisering av smelten, der Mg-innholdet synker oppover i serien. Ved 640 meter får vi et hopp på flere prosentpoeng mot høyre i diagrammet. Økningen i Mg kan indikere at olivin har krystallisert fra en ny, mer Mg-rik smelte, men det vil være problematisk å konkludere med dette ut fra kun en prøve.

Den høye Mg-verdien som forekommer i ULS (figur 4.38) er fra prøvenr LA11003 som ligger like ved grensen mellom CS og ULS. Som tidligere nevnt i kapittel 1 er disse grensene å anse som overgangssoner og analyseresultatet kunne like gjerne vært en del av CS.

Bergarten har et betydelig innhold av klinopyroksen (ca. 33%) i tillegg til noen prosent ortopyroksen. Den bestemmes til en wherlitt og på grunnlag av det høye innholdet av cpx velges det å la Fo-verdien være en del av ULS.

Emblin (1985) observerte syv sykliske enheter gjennom ULS der hver serie består av en enhet med kumulat i bunnen og en øvre enhet med olivin-klinopyroksen, der alle enhetene bortsett fra nr. 4 og 6 har en svakt økende Fe-innhold oppover.

Disse sykliske enhetene ble ikke funnet under feltarbeidet i 2011/12, og hver av prøvene som er samlet fra ULS er adskilt med ca. 10-15 meter vertikalt. Resultatene gir dermed ingen god dekning for de syv enhetene Emblin beskriver. Den beste beskrivelsen som kan gjøres ang Mg-olivin i ULS er at den varierer stort og viser ingen tydelige tegn på jevnt stigende eller synkende innhold av Mg.

Nikkelinnholdet i olivin i ULS og CS er plottet i figur 4.39. For verdiene i ULS ser vi en stor spredning både innenfor hver prøve og totalt innenfor alle de analyserte prøvene. Det synes

ikke å være noen opplagt systematikk i den vertikale variasjonen og dette kan skyldes de forskjellige sykliske enhetene i ULS. Selv om prøvene fra ULS er spredt over en stor vertikal avstand gir de likevel et inntrykk av det varierende Ni-innholdet.

For CS ser vi en stigning i Ni-innhold med økende Fe-olivin (se også figur 4.35.) Den primitive Mg-olivinen som er forventet å holde på en større mengde Ni enn Fe-olivin viser altså det absolutt motsatte. Dette kan kun forklares ved at Ni må ha blitt fjernet fra smelten enten samtidig eller før Mg-olivin krystalliserte ut, og da muligens har gått inn i en sulfidsmelte som har separert seg fra magmaet. Som det tidligere er forklart stiger innholdet av Ni i olivin og bulk når vi beveger oss oppover i den mer Fe-rike delen av CS. Bulk-verdiene stiger mest, og det tolkes til at Ni har blitt fjernet fra smelten samtidig som Mg-rik olivin har krystallisert. Noe Ni har gått inn i olivin, men en større andel har funnet en annen smeltefase.

Klinopyroksen:

Alle mikrosondeanalysene av klinopyroksen gir et bilde av at mengden CaO, Al₂O₃, Cr₂O₃ og TiO₂ synker med økende MgO wt% i mineralet. Et lite «hopp» i verdiene kan ses ved wt% MgO= 16-17, der verdiene har steget noe, for så å igjen synke med økende MgO.

Unntaket er Cr₂O₃ i CS der verdiene ligger veldig spredt i diagrammet, og det virker derfor ikke naturlig å dra noen slutninger om hvorvidt den generelle trenden er stigende eller synkende for Cr₂O₃. Som for olivinanalysene er denne endringen.

Som for hovedelementsanalysen og sporelementsanalysen av bulk bergart gir disse verdiene er grunnlag for å tenke at smelten på et tidspunkt har fått en ny tilførsel av fersk magma som har endret det kjemiske innholdet i den krystalliserende smelten.

Bergartene i RUK:

Griffin, et al. (2013) argumenterer for at bergartene i Nordre Bumandsfjord representerer en dunittisk smelte som ved intrusjon i gabbrobergarter har blitt forurenset av klinopyroksen fra sidebergarten. Dette ser ikke ut til å være tilfellet i RUK.

Gjennom feltobservasjoner, alle analysene og undersøkelsene av tynnslip i mikroskop er det tydelig at bergartene i RUK er kumulater av hovedsakelig olivin og klinopyroksen, der klinopyroksen opptrer som interkumulat. Fe-innholdet i olivin øker svakt med stigende

høyde i CS som er en ytterligere indikasjon på at Mg-olivin har krystallisert først, sunket til bunnen, og restsmelten har blitt anriket på Fe. RUK tolkes dermed som et resultat av fraksjonert krystallisering, og ikke en dunitisk smelte som har blitt kontaminert i stor skala under emplasseringen. RUK har blitt tolket som den nedre delen av et tilførselsystem til et magmakammer som var mye større enn det vi i dag ser restene av (Larsen, 2011). Om så RUK ble kraftig kontaminert av sidebergarten, er det lite som tyder på dette i dagens blotninger.

Generell betraktning av RUKs opprinnelse og dannelse:

CS er tolket til å være den siste av tre magmapulser i RUK, men viser likevel et høyere innhold av MgO enn de tidligere intrusjonene. Temperaturen på magmaet skal ha vært om lag 100°C høyere enn for de lagdelte seriene. Det har blitt diskutert at den noe høyere temperaturen kan skyldes et allerede varmt tilførselsystem (Emblin 1985), men dette vil ikke nødvendigvis forklare de høyere MgO-verdiene. En mulig tolkning av det økende innholdet av MgO% og for så vidt økende Fo-komponent i olivin er at magmakammeret har vært åpent under emplasseringen av RUK og at man i løpet av intrusjonenes levetid har fått flere injeksjoner med ny fersk magma.

Om kilden til LLS, ULS og CS er den samme, og fra samme dybde i jordskorpen/mantelen, kan det argumenteres for at temperaturen må ha blitt progressivt høyere for å kunne danne den progressivt mer Mg-rike smelten. Det er lite sannsynlig at temperaturen på et statisk nivå i skorpen/mantelen vil stige «av seg selv».

En mer sannsynlig tolkning kan være at smelten har blitt dannet på et dypere nivå for ULS og ytterligere større dybde for CS, fra en del av skorpen/mantelen som er rikere på Mg. Krill og Zwaan (1987) presenterte en modell som tilsier at regimet som dannet magmaene i Sørøy dekkekomplekser er kontinental rifting.

Slik rifting vil tynne ut jordskorpen og senke trykket utøvd på de underliggende bergartene, og dermed kunne føre til en oppsmelting på et progressivt større dyp.

Kapittel 6: Konklusjon og forslag til videre arbeid

6.1: Konklusjon

Det er gitt en systematisk petrografisk og geokjemisk analyse av olivin og pyroksen sin petrografi og geokjemi. De vertikale endringer i Ni og Mg-olivin danner et bilde av RUC som den nedre delen av et forholdsvis åpent magmakammer der det har vært tilførsel av ny smelte. Analyser peker på at noe Ni kan ha blitt fjernet fra smelten enten før eller samtidig med krystalliseringen av de Mg-rike olivinkumulatene, og muligens gått inn i en sulfidsmelte som var separert fra den krystalliserende smelten.

Polerte tynnslip av bergartene viser at RUC er dannet som følge av fraksjonert krystallisering der Mg-rik olivin har blitt avsatt nederst som kumulmineral, og pyroksen opptrer som interkumulus-mineral med poikilitisk tekstur.

LLS har blitt avsatt i området først, deretter ULS og til slutt CS, der Mg-innholdet i olivin stiger fra hver serie i denne rekkefølgen. Internt i CS finner vi den mest Mg-rike olivinen nederst, for deretter å øke i Fe med høyden.

6.2: Conclusions

A systematic petrographic and geochemical analysis of olivine and pyroxene's petrography and geochemistry has been done. The vertical variations of Ni and Mg-olivine forms an understanding where RUC is the lower part of a somewhat open magma chamber where it has had a replenishment of new magma.

The analyses points towards some of the Ni having separated from the melt either before or during the crystallization of the Mg-rich olivine cumulates, and that Ni possibly has entered a liquid sulphide phase which was separated from the crystallizing melt.

Polished thin sections of the RUC rocks indicates that RUC is formed by fractional crystallization in which olivine has been deposited at the bottom of the chamber as a cumulus mineral and where pyroxene is acting as an intercumulus mineral with poikilitic texture.

LLS has been deposited in the area first, then ULS and finally CS. The Mg content of olivine is different for each of the series, where we in LLS find the lowest Mg-content and in CS the highest Mg-content of olivine. Within CS we find the most Mg-rich olivine at the bottom and an increase in Fe-content of olivine as we move higher up in the magma chamber.

6.3: Forslag til videre arbeid

For å danne et mer komplett bilde av den magmatiske utviklingen av de ultramafiske bergartene i Reinfjord er det behov for ytterligere innsamling av bergartsprøver og analyser i større skala og på et høyere detaljnivå internt i de forskjellige seriene. Bedre kartlegging og innsamling av prøver fra den nordøstlige delen av RUK kan være med på å skape en god forståelse av dannelsen og utviklingen av de ultramafiske bergartene i Reinfjord. Spesielt vil det være av interesse å an

Referanser:

Primærkilder:

BENNETT, M. C. 1971. The Reinfjord Ultramafic Complex. Norges geologiske undersøkelse - The Caledonian Geology of Northern Norway, 269, 165-170.

BENNETT, M.C. 1972. The Geology and petrology of the Reinfjord ultramafic complex. Troms, Northern Norway. Unpublished Ph. D. Thesis, University of Wales.

BENNETT, M. C. 1974. The emplacement of a high temperature peridotite in the Seiland Province of the Norwegian Caledonides. *Journal of the Geological Society* 1974, v.130; p205-226.

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 Undersokelse Bulletin*, 405, 1-40.

DALY, J. S., AITCHESON, S. J., CLIFF, R. A., GAYER, R. A., RICE, A. H. N. 1991. Geochronological evidence from discordant plutons for a Late Proterozoic orogen in the Caledonides of Finnmark, northern Norway. *Journal of the Geological Society, London* 148, 29–40.

EMBLIN, S. R. 1985. The Reinfjord ultramafic complex, Seiland Province: Emplacement history and magma chamber model. Unpub. PhD, Bristol- Bergen universities.

GRIFFIN, W. L., STURT, B. A., O'NEILL, KIRKLAND, C. L., O'REILLY, S. Y., 2013. Intrusion and contamination of high-temperature dunitic magma: the Nordre Bumandsfjord pluton, Seiland, Arctic Norway. *Contrib Mineral Petrol* (2013) 165:903–930

GRIFFIN, W. L., STURT, B. A., O'NEILL, KIRKLAND, C. L., O'REILLY, S. Y., 2013. Reply to dunite magma or ultramafic cumulates? A discussion of Griffin et al. "Intrusion and contamination of high-temperature dunite magma: the Nordre Bumandsfjord pluton, Seiland, Arctic Norway" *Contributions to Mineralogy and Petrology* © Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2013. Direct link to article: <http://link.springer.com/article/10.1007/s00410-013-0937-7/fulltext.html> .

- KRILL, A. G., ZWAAN, B., 1987. Reinterpretation of Finnmarkian deformation on western Soroy, northern Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, Volume 67, Issue 1, Pages 15-24.
- LARSEN, R. B. 2011. Ore-forming potential of the Seiland Igneous Province (SIP). Rapport for Nordic Mining.
- LeMAITRE, R. W. & International Union of Geological Sciences, 2002. *Igneous Rocks. A Classification and Glossary of Terms*. 2nd Edition. Cambridge University Press.
- McKERRROW, W. S., MAC NIOCAILL, C., DEWEY, J. F. 2000. The Caledonian Orogeny redefined. *Journal of the Geological Society*, London, Vol. 157, 2000, pp. 1149–1154.
- NALDRETT, A. J. 2004. *Magmatic Sulfide Deposits: Geology, Geochemistry and Exploration*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2004. ISBN 3-540-22317-7
- NALDRETT, A. J. 2005. A history of our understanding of magmatic Ni-Cu sulphide deposits. *The Canadian Mineralogist*. Vol. 43, pp 2069-2098.
- NORDIC MINING. 2012. Nordic Minings hjemmeside på internet. Online website. Visit: www.nordicmining.no
- OOSTEROM, M. G. 1963. The ultramafites and layered gabbro sequences: In the granulite facies rocks on Stjernøy (Finnmark, Norway). *Leidse Geologische Mededelingen*, 28, 177-296.
- PRESTVIK, T. 2001. Petrologi og Geokjemi. side 23-24. Vett & Viten AS 2001. ISBN: 82-412-0162-1.
- RAMBERG, I. B., BRYHNI, I., NØTTVEDT, A., RANGNES, K. (eds.) 2008. *The Making of a Land – Geology of Norway*, Trondheim. Norsk Geologisk Forening, 6xx p.
- ROBB, L. J. 2008. *Introduction to ore-forming processes*. Blackwell Publishing.
- 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. *Geol. Mag.* 143 (6), 2006, pp. 887–903. 2006, Cambridge University Press.
- ROBINS, B. 2013 Dunite magma or ultramafic cumulates? A discussion of Griffin et al. "Intrusion and contamination of high-temperature dunite magma: the Nordre Bumandsfjord

pluton, Seiland, Arctic Norway". [Contributions to Mineralogy and Petrology](#) November 2013, Volume 166, [Issue 5](#), pp 1539-1541.

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 (1975) 167-178

STATENS KARTVERK. 2012. Nettbasert kartverk. Online map. Direct URL: <http://norgeskart.no/adaptive2/default.aspx?gui=1&lang=2>

Sekundærkilder:

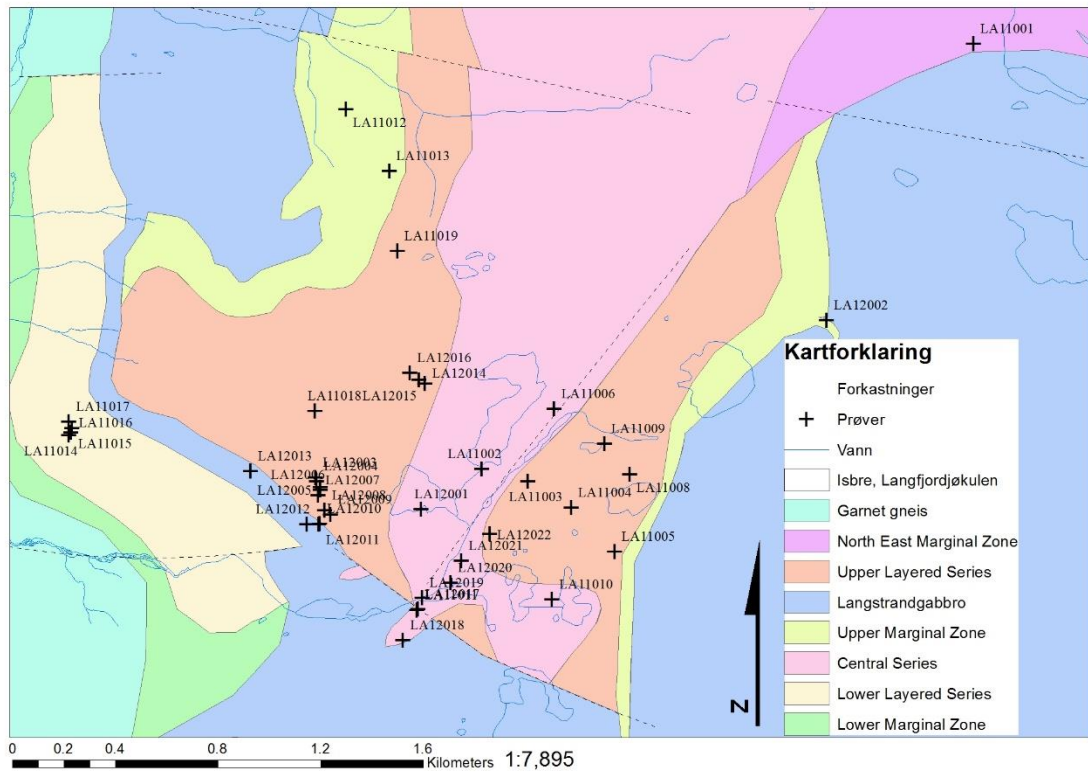
BRATTLI, B., 1992. Mikroteksturer i magmatiske og metamorfe bergarter. Institutt for Geologi og Bergteknikk, NTH, Trondheim 1992.

PARSONS, I., 1987. *Origins of Igneous Layering*. Series C: Mathematical and Physical Sciences – vol. 196. D. Reidel publishing Company.

PERKINS, D., 2011. *Mineralogy*. Third edition. Pearson Education Inc.

PRESTVIK, T., 2005. *Mineralogi – En innføring i krystallografi og mineralogi*. 2. utgave. Forlaget Vett & Viten.

Vedlegg A: Kart og prøvepunkter



Vedlegg B: Prøveliste

Prøvenummer	Koordinater		Feltnavn	Outcrop	Mineraler
	Øst	Nord			
LA11001	527440	7778992	Gabbro	Yes	Cpx, opx, ol, biotitt, plag
LA11002	525525	7777337	Dunite	Yes	ol, cpx
LA11003	525703	7777289	Dunite	Yes	ol, cpx, opx
LA11004	525872	7777186	Pyroksenite	Yes	
LA11005	526042	7777015	Pyroksenite	Yes	cpx, ol, opx
LA11006	525807	7777571	Dunite	Yes	olivin
LA11007	526195	7777295	Pyroksenite	Yes	ol, cpx, opx
LA11008	526100	7777316	Pyroksenite	Yes	cpx, opx, ol
LA11009	526002	7777434	Dunite	Yes	ol, cpx
LA11010	525798	7776829	Dunite	Yes	ol, cpx
LA11011	525272	7776786	Dunite	Yes	ol, cpx
LA11012	524995	7778736	Dunite	Yes	ol, cpx
LA11013	525164	7778497	Dunite	Yes	ol, cpx
LA11014	523914	7777467	Dunite	Yes	ol, cpx
LA11015	523924	7777478	Pyroksenite	Yes	ol, cpx, opx, biotitt
LA11016	523927	7777495	Gabbro	Yes	cpx, ol, plag, opx
LA11017	523915	7777520	Gabbro	Yes	plag, cpx, biotitt
LA11018	524874	7777561	Dunite	Yes	ol, cpx
LA11019	525195	7778184	Dunite	Yes	ol, cpx
LA12001	525287	7777179	Dunite	No	ol, cpx, plag
LA12002	526867	7777915	Trocktolite	Yes	ol, plag, cpx, biotitt
LA12003	524876	7777303	Pyroksenite	Yes	ol, cpx
LA12004	524880	7777289	Olivine-pyroksenite	Yes	ol, cpx, opx
LA12005	524894	7777265	Olivine-pyroksenite	Yes	ol, cpx, opx
LA12006	524894	7777255	Dunite	Yes	ol, cpx
LA12007	524886	7777233	Dunite	Yes	ol, cpx,
LA12008	524912	7777175	Trocktolite	Yes	ol, cpx, opx, plag
LA12009	524934	7777158	Olivine-pyroksenite	Yes	ol, cpx, opx
LA12010	524893	7777122	Pegmatittic gabbro	Yes	cpx, opx, plag, ol

LA12011	524889	7777121	Gabbro	Yes	cpx, opx, ol.
LA12012	524843	7777121	Troctolite	Yes	ol, cpx, plag, opx
LA12013	524624	7777328	Gabbro	Yes	ol, plag, cpx
LA12014	525303	7777668	Dunite	Yes	ol, cpx
LA12015	525280	7777682	Pyroksene- dunite	Yes	ol, cpx, opx
LA12016	525243	7777711	Olivine- pyroksenite	Yes	ol, cpx
LA12017	525276	7776790	Troctolite	Yes	ol, cpx, opx, plag,
LA12018	525217	7776669	Px-dunite	Yes	ol, cpx
LA12019	525291	7776834	Dunite	Yes	ol cpx
LA12020	525402	7776893	Dunite	Yes	ol, cpx
LA12021	525445	7776978	Dunite	Yes	ol, cpx, opx
LA12022	525556	7777084	Dunite	Yes	ol, cpx

Vedlegg C: Hoved og sporelementsanalyse – ALS

ICP-MS fra ALS

	SAMPLE	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	Cr ₂ O ₃	TiO ₂	MnO	P ₂ O ₅	SrO	BaO
	DESCRIPTION	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
MargZ	LA11-001	50,5	24,1	3,57	13,4	4,75	3,18	0,19	0,01	0,37	0,06	0,01	0,1	0,01
CS	LA11-002	38,5	0,21	15,2	0,51	43,9	0,07	0,01	0,06	0,05	0,19	0,02	<0,01	<0,01
ULS	LA11-003	44	1,28	10,95	8,12	34,2	0,23	0,01	0,39	0,3	0,16	0,03	<0,01	<0,01
ULS	LA11-004	48,5	2,82	8,46	15,2	23,7	0,37	0,01	0,74	0,59	0,15	<0,01	<0,01	<0,01
ULS	LA11-005	47,7	3,57	10,75	14,75	19,35	0,4	0,03	0,34	0,94	0,17	0,09	0,01	<0,01
CS	LA11-006	36,8	0,23	14,3	0,24	41	0,02	0,02	0,18	0,04	0,16	0,05	<0,01	<0,01
ULS	LA11-007	41,7	1,98	13,15	7,77	29	0,22	0,04	0,48	0,43	0,17	0,05	<0,01	<0,01
ULS	LA11-008	44,2	1,81	12,1	8,4	31,3	0,21	0,02	0,38	0,4	0,17	0,08	<0,01	<0,01
ULS	LA11-009	41,6	0,85	13,9	3,86	38,5	0,1	0,03	0,27	0,19	0,17	0,04	<0,01	<0,01
CS	LA11-010	38,2	0,85	19,75	0,96	40,8	0,03	0,01	0,5	0,26	0,23	0,02	<0,01	<0,01
CS	LA11-011	39,2	1,3	17,2	4,02	35,1	0,12	0,02	0,19	0,39	0,22	0,03	<0,01	<0,01
UMZ	LA11-012	40,6	1,9	13,35	5,74	31,7	0,17	0,01	0,28	0,3	0,17	0,01	<0,01	<0,01
UMZ	LA11-013	40	1	14,05	5,19	32,7	0,13	0,03	0,19	0,23	0,17	0,03	<0,01	<0,01
LLS	LA11-014	40,2	1,99	17,45	1,86	39,4	0,24	0,03	0,03	0,19	0,2	0,02	0,01	<0,01
LLS	LA11-015	47,4	5,68	9,05	12,7	18,65	0,65	0,13	0,53	0,93	0,15	0,1	0,01	<0,01
LLS	LA11-016	52,9	6,23	10,55	6,85	22,3	0,61	0,09	0,41	0,84	0,17	0,05	0,02	<0,01
LLS	LA11-017	51,5	20,9	3,76	13,35	6,67	2,66	0,18	0,06	0,48	0,07	0,04	0,11	0,01
ULS	LA11-018	38,3	0,34	16,9	0,82	38,6	0,02	<0,01	0,1	0,07	0,18	0,04	<0,01	<0,01
ULS	LA11-019	39,7	0,62	17,35	2,88	35,8	0,04	0,02	0,11	0,14	0,2	0,02	<0,01	<0,01

	SAMPLE	C	S	Ba	Ce	Cr	Cs	Dy	Er	Eu	Ga	Gd	Hf	Ho	La	Lu
	DESCRIPTION	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MargZ	LA11-001	0,07	0,04	56,6	3,9	110	<0,01	0,84	0,47	0,62	20,8	0,9	0,4	0,17	2,1	0,06
CS	LA11-002	0,1	0,07	1,1	<0,5	440	<0,01	0,08	0,05	0,03	0,6	0,08	<0,2	0,02	<0,5	0,01
ULS	LA11-003	0,05	0,04	1,9	2	2970	<0,01	0,77	0,38	0,27	2,5	0,88	0,3	0,14	0,6	0,04
ULS	LA11-004	0,13	0,03	1,4	3,8	6010	<0,01	1,72	0,8	0,57	5,3	2	0,6	0,33	1,2	0,09
ULS	LA11-005	0,09	0,27	2,1	5	2510	<0,01	2,43	1,13	0,75	7,1	2,66	1	0,45	1,3	0,13
CS	LA11-006	0,13	0,09	0,8	<0,5	1510	<0,01	<0,05	0,03	<0,03	0,8	0,05	<0,2	0,01	<0,5	0,01
ULS	LA11-007	0,17	0,09	1,6	2,8	3730	<0,01	1,15	0,54	0,37	3,9	1,32	0,5	0,22	0,8	0,06
ULS	LA11-008	0,07	0,06	2,4	2,6	2800	<0,01	1,02	0,53	0,34	3,4	1,21	0,4	0,19	0,8	0,05
ULS	LA11-009	0,07	0,06	2	1,4	2060	<0,01	0,45	0,22	0,15	1,7	0,52	0,2	0,09	0,5	0,02
CS	LA11-010	0,06	0,06	1,4	0,7	3770	<0,01	0,21	0,12	0,06	3	0,2	<0,2	0,04	<0,5	0,02
CS	LA11-011	0,06	0,03	3,7	3,5	1520	<0,01	1,19	0,58	0,4	3,4	1,36	0,6	0,22	1,1	0,07
UMZ	LA11-012	0,11	0,04	4,6	2,3	2130	<0,01	0,73	0,36	0,25	3,1	0,84	0,3	0,14	0,8	0,04
UMZ	LA11-013	0,05	0,06	1	1,5	1590	<0,01	0,67	0,31	0,2	2,1	0,76	0,2	0,12	0,5	0,04
LLS	LA11-014	0,07	0,4	7,9	1,2	260	<0,01	0,29	0,16	0,13	2,5	0,3	0,2	0,05	0,5	0,02
LLS	LA11-015	0,07	0,17	25,9	8	4040	0,05	2,28	1,08	0,77	9,1	2,6	1,2	0,43	2,9	0,12
LLS	LA11-016	0,07	0,09	28,8	5,6	3070	0,05	1,23	0,65	0,41	9,9	1,24	0,7	0,24	2,4	0,09
LLS	LA11-017	0,08	0,04	58,2	5,9	450	0,03	1	0,46	0,62	16,1	1,11	0,6	0,18	2,8	0,06
ULS	LA11-018	0,12	0,02	1,3	0,6	850	0,01	0,12	0,07	0,04	0,9	0,14	<0,2	0,02	<0,5	0,01
ULS	LA11-019	0,07	0,05	1,4	1,2	870	<0,01	0,34	0,16	0,1	1,4	0,36	0,2	0,06	0,5	0,02

	SAMPLE	Nb	Nd	Pr	Rb	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb	Th	Tl	Tm	U	V	W
	DESCRIPTION	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MargZ	LA11-001	0,2	2,7	0,56	0,7	0,76	<1	926	<0.1	0,13	<0.05	<0.5	0,06	<0.05	94	217
CS	LA11-002	<0.2	0,3	0,04	<0.2	0,07	<1	3,1	<0.1	0,01	<0.05	<0.5	<0.01	<0.05	14	107
ULS	LA11-003	0,3	2,2	0,41	<0.2	0,72	<1	20,8	<0.1	0,13	<0.05	<0.5	0,04	<0.05	57	117
ULS	LA11-004	0,4	4,4	0,77	<0.2	1,55	<1	35	<0.1	0,3	<0.05	<0.5	0,1	<0.05	187	243
ULS	LA11-005	0,4	6	1,04	<0.2	2,08	<1	39,2	<0.1	0,39	<0.05	<0.5	0,14	<0.05	266	203
CS	LA11-006	<0.2	0,2	0,04	<0.2	0,05	<1	1,5	<0.1	0,01	<0.05	<0.5	<0.01	<0.05	10	98
ULS	LA11-007	0,2	3,2	0,53	0,2	0,98	<1	22,3	<0.1	0,18	<0.05	<0.5	0,07	<0.05	108	232
ULS	LA11-008	0,3	2,7	0,49	0,2	0,91	<1	22,3	<0.1	0,18	<0.05	<0.5	0,06	<0.05	107	233
ULS	LA11-009	0,2	1,3	0,25	<0.2	0,44	<1	10,2	<0.1	0,07	<0.05	<0.5	0,03	<0.05	55	197
CS	LA11-010	0,2	0,5	0,1	<0.2	0,17	<1	4,6	<0.1	0,03	0,06	<0.5	0,02	0,39	62	212
CS	LA11-011	0,6	3,5	0,65	0,3	1,15	<1	13,8	<0.1	0,19	<0.05	<0.5	0,07	0,05	91	255
UMZ	LA11-012	0,3	2,2	0,41	<0.2	0,71	<1	35,6	<0.1	0,12	<0.05	<0.5	0,04	0,16	72	74
UMZ	LA11-013	0,2	1,7	0,29	<0.2	0,6	<1	14,5	<0.1	0,1	<0.05	<0.5	0,04	<0.05	73	122
LLS	LA11-014	0,5	0,9	0,18	0,2	0,27	<1	59,3	<0.1	0,05	<0.05	<0.5	0,02	<0.05	41	283
LLS	LA11-015	3,3	6,8	1,33	3	2,11	<1	114	0,2	0,38	0,26	<0.5	0,14	0,09	238	260
LLS	LA11-016	3	3,7	0,76	2,1	1,06	<1	141	0,2	0,19	0,27	<0.5	0,09	0,09	139	217
LLS	LA11-017	1,7	3,8	0,82	2,2	1,03	<1	879	0,1	0,16	0,21	<0.5	0,06	0,06	115	328
ULS	LA11-018	<0.2	0,4	0,08	<0.2	0,11	<1	4,5	<0.1	0,02	<0.05	<0.5	0,01	<0.05	8	89
ULS	LA11-019	1,1	1	0,2	<0.2	0,32	<1	8,6	<0.1	0,05	<0.05	<0.5	0,02	<0.05	109	171

	SAMPLE	Y	Yb	Zr	As	Bi	Hg	Sb	Se	Te	LOI	Total	Ag
	DESCRIPTION	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	%	ppm
MargZ	LA11-001	4,1	0,45	9	<0.1	0,01	0,087	<0.05	<0.2	0,01	0,5	100,8	<0.5
CS	LA11-002	<0.5	0,06	<2	<0.1	0,01	0,044	<0.05	0,3	0,08	2,2	100,9	<0.5
ULS	LA11-003	3,5	0,29	7	<0.1	0,01	0,048	<0.05	0,3	0,03	1,89	101,6	<0.5
ULS	LA11-004	7,7	0,62	14	<0.1	<0.01	0,122	<0.05	0,2	0,01	0,4	100,9	<0.5
ULS	LA11-005	10,7	0,94	22	<0.1	0,02	0,107	<0.05	0,6	0,04	0,69	98,79	<0.5
CS	LA11-006	<0.5	0,06	<2	<0.1	0,03	0,026	<0.05	0,5	0,1	6,65	99,69	<0.5
ULS	LA11-007	5	0,45	11	0,5	0,01	0,118	<0.05	0,3	0,05	0,68	95,67	<0.5
ULS	LA11-008	4,6	0,4	10	<0.1	0,01	0,12	<0.05	0,2	0,04	0,5	99,57	<0.5
ULS	LA11-009	2,1	0,19	5	<0.1	0,01	0,082	<0.05	0,2	0,05	0,4	99,91	<0.5
CS	LA11-010	1	0,16	3	<0.1	0,01	0,083	<0.05	<0.2	0,06	-0,7	100,9	<0.5
CS	LA11-011	5,2	0,47	16	<0.1	<0.01	0,105	<0.05	0,2	0,06	2,9	100,7	<0.5
UMZ	LA11-012	3,2	0,26	8	<0.1	0,02	0,031	<0.05	0,4	0,06	7,58	101,8	<0.5
UMZ	LA11-013	2,8	0,26	6	<0.1	0,01	0,037	<0.05	0,3	0,05	2,6	96,32	<0.5
LLS	LA11-014	1,4	0,16	4	<0.1	0,04	0,111	<0.05	1,1	0,13	0,1	101,7	<0.5
LLS	LA11-015	10,5	0,88	33	<0.1	0,02	0,118	<0.05	0,5	0,05	1,54	97,52	<0.5
LLS	LA11-016	6,3	0,57	25	<0.1	0,02	0,116	<0.05	0,4	0,1	0,7	101,7	<0.5
LLS	LA11-017	4,8	0,38	17	0,1	0,01	0,159	<0.05	0,2	0,02	1,69	101,5	<0.5
ULS	LA11-018	0,6	0,06	2	<0.1	0,01	0,03	<0.05	<0.2	0,05	6,34	101,7	<0.5
ULS	LA11-019	1,6	0,13	3	<0.1	0,01	0,067	0,05	0,2	0,06	0,19	97,07	<0.5

	SAMPLE	Cd	Co	Cu	Mo	Ni	Pb	Zn	Au	Pt	Pd
	DESCRIPTION	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
MargZ	LA11-001	<0.5	58	14	<1	34	<2	17	0,001	<0.005	0,002
CS	LA11-002	<0.5	171	135	<1	2420	<2	104	0,006	0,011	0,016
ULS	LA11-003	<0.5	109	132	<1	892	<2	65	0,001	<0.005	0,003
ULS	LA11-004	<0.5	86	26	<1	676	<2	45	<0.001	<0.005	0,002
ULS	LA11-005	<0.5	87	231	<1	563	<2	57	<0.001	<0.005	0,002
CS	LA11-006	<0.5	167	271	<1	2300	<2	95	0,002	<0.005	0,01
ULS	LA11-007	<0.5	136	110	<1	1020	<2	81	0,002	<0.005	0,002
ULS	LA11-008	<0.5	125	86	<1	1060	<2	69	0,001	<0.005	0,003
ULS	LA11-009	<0.5	151	97	<1	1760	<2	83	<0.001	<0.005	0,003
CS	LA11-010	<0.5	171	38	<1	2450	<2	139	0,001	<0.005	0,002
CS	LA11-011	<0.5	163	17	<1	1550	<2	131	<0.001	<0.005	0,003
UMZ	LA11-012	<0.5	125	165	<1	1270	<2	84	0,001	<0.005	0,001
UMZ	LA11-013	<0.5	146	161	<1	1150	<2	90	<0.001	<0.005	0,006
LLS	LA11-014	<0.5	202	572	<1	2140	<2	105	0,008	0,005	0,007
LLS	LA11-015	<0.5	87	224	<1	614	<2	51	0,003	<0.005	0,002
LLS	LA11-016	<0.5	87	116	<1	524	<2	70	0,001	<0.005	<0.001
LLS	LA11-017	<0.5	60	63	<1	133	<2	18	<0.001	<0.005	0,001
ULS	LA11-018	<0.5	153	25	<1	2000	<2	86	0,001	<0.005	0,003
ULS	LA11-019	<0.5	166	45	<1	1630	<2	115	0,002	<0.005	0,002

Vedlegg D: Hoved og sporelementsanalyse – NTNU

Hovedelementer:

Kalibrert program, hovedelement.

Prøve	Fe ₂ O ₃ (%)	TiO ₂ (%)	CaO (%)	K ₂ O (%)	P ₂ O ₅ (%)	SiO ₂ (%)	Al ₂ O ₃ (%)	MgO (%)	Na ₂ O (%)	MnO (%)
LA12 006	19,6	0,17	1,59	0,004	0,008	38,64	0,59	37,96	0	0,216
LA12 007	17,58	0,189	2,38	0,005	0,01	39,4	0,71	38,35	0	0,193
LA12 012	17,03	0,358	4,69	0,022	0,005	42,2	3,03	30,99	0,13	0,204
LA12 014	15,23	0,081	1,2	0,005	0,004	39,5	0,43	42,3	0	0,179
LA12 015	13,91	0,249	4,79	0,005	0,005	44,23	1,02	34,04	0	0,188
LA12 016	16,34	0,169	1,71	0,006	0,006	41,94	0,85	37,31	0	0,178
LA12 017	15,9	0,384	5,64	0,063	0,014	42,27	6,48	27,03	0,67	0,197
LA12 018	17,52	1,592	1,31	0,024	0,027	38,25	0,73	38,97	0	0,191
LA12 019	13,91	0,295	5,66	0,01	0,011	42,11	1,11	35,24	0	0,185
LA12 020	18,23	0,109	0,32	0,007	0,012	37,86	0,42	41,34	0	0,201
LA12 021	15,86	0,17	3,19	0,006	0,003	40,21	0,63	38,19	0	0,195
LA12 022	14,12	0,157	2,63	0,006	0,005	40,32	0,68	40,59	0	0,176

Sporelementer:

	Sc (PPM)	TiO2 (%)	V (PPM)	Cr (PPM)	MnO (%)	Fe2O3 (%)	Co (PPM)	Ni (PPM)	Cu (PPM)	Zn (PPM)	Ga (PPM)
LA12002	18	1,471	135	1829	0,246	20,559	202	1131	48	176	9
LA12003	34	0,55	136	3073	0,185	13,083	131	846	146	69	6
LA12004	23	0,382	87	1628	0,202	15,648	211	1392	74	94	5
LA12005	40	0,771	175	3604	0,171	11,756	127	1169	390	63	7
LA12006	10	0,175	47	1365	0,232	20,099	274	1954	50	134	5
LA12007	9	0,212	48	1038	0,206	17,701	234	2255	378	111	4
LA12008	21	0,387	86	1312	0,215	18,303	217	1575	104	108	6
LA12009	52	1,114	283	2470	0,175	10,959	106	622	236	55	9
LA12010	23	0,413	99	1002	0,137	10,363	120	710	36	61	12
LA12011	35	0,673	170	1228	0,202	16,076	188	1799	469	88	9
LA12012	20	0,393	96	836	0,218	17,746	201	1734	60	107	6
LA12013	28	0,525	131	461	0,106	5,765	97	210	80	33	14
LA12014	8	0,09	24	1274	0,191	15,059	221	2193	69	82	4
LA12015	22	0,249	61	1659	0,201	14,13	164	2002	78	80	4
LA12016	12	0,173	45	815	0,182	14,57	170	1847	147	88	3
LA12017	16	0,412	68	1106	0,205	15,535	138	1278	12	118	8
LA12018	9	1,654	107	890	0,193	16,555	188	2040	35	111	5
LA12019	20	0,321	70	2989	0,194	14,452	186	1552	166	75	5
LA12020	4	0,126	32	2369	0,213	18,937	295	3193	737	105	4
LA12021	14	0,148	39	1598	0,214	16,96	219	2312	85	89	4
LA12022	11	0,18	44	2355	0,187	14,172	186	1901	46	88	3

	As (PPM)	Rb (PPM)	Sr (PPM)	Y (PPM)	Zr (PPM)	Nb (PPM)	Mo (PPM)	Sn (PPM)	Sb (PPM)	Cs (PPM)	Ba (PPM)	La (PPM)
LA12002	4	6	121	8	27	2	1				5	23
LA12003		6	28	8	22	1	1		1		2	12
LA12004	6	5	21	6	19	2	1		2		3	26
LA12005	2	5	36	11	28	2	1		3			14
LA12006	6	6	11	3	13	1	1		2			22
LA12007	2	5	12	3	15	2	2		2			21
LA12008	3	7	62	5	17	2	1				1	26
LA12009	3	6	53	14	35	1	1		2			9
LA12010	4	4	372	5	17	2	1		1		20	9
LA12011	4	5	82	7	20	1	1				7	20
LA12012	2	5	76	5	17	1	1				1	21
LA12013	8	4	641	6	19	2	2		4		26	
LA12014		4	11	3	12	1			2		6	20
LA12015	2	5	17	3	14	2	1				2	14
LA12016		4	12	3	13	2	2		3		5	17
LA12017		5	245	4	20	2	1		3		28	24
LA12018		5	17	3	35	7	1		1		2	21
LA12019	2	5	21	6	19	2	1		3		5	17
LA12020	6	6	9	2	13	2	2		1			19
LA12021	4	6	15	3	14	2	1		2		4	24
LA12022		5	15	4	14	1	1		2		2	23

	Ce (PPM)	Pb (PPM)	Th (PPM)	U (PPM)
LA12002			3	1
LA12003		1	1	
LA12004		2	2	
LA12005	2		1	
LA12006			1	
LA12007		1	1	
LA12008		2	2	
LA12009		2	2	1
LA12010		2	2	1
LA12011		2	1	
LA12012		1		
LA12013		3	3	
LA12014		1	1	
LA12015		4	2	
LA12016		3	1	
LA12017		2	2	
LA12018		2	1	
LA12019		3	2	
LA12020		4	2	
LA12021		3	2	
LA12022		3	2	

Vedlegg E: Mikrosonderesultater:

Alle verdiene oppgis som wt%

Olivin:

LA11003:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
1 / 1 .	46,215	0,007	0,187	14,606	0,183	0,003	40,342	101,543
2 / 1 .	45,985	0,018	0,178	14,493	0,19	-0,004	40,105	100,969
3 / 1 .	45,855	0,006	0,218	14,757	0,179	-0,001	39,818	100,832
4 / 1 .	45,923	-0,009	0,194	14,562	0,199	0,009	40,016	100,902
5 / 1 .	45,928	0,003	0,146	14,641	0,193	0,001	39,881	100,793
6 / 1 .	45,943	0,017	0,184	14,396	0,204	0,001	40,1	100,843
7 / 1 .	46,004	0,01	0,185	14,427	0,153	0,005	39,847	100,632
8 / 1 .	45,997	0,012	0,203	14,74	0,178	0,003	39,935	101,068
9 / 1 .	45,987	0,012	0,177	14,524	0,193	0,001	39,924	100,818
10 / 1 .	45,969	0,012	0,176	14,386	0,172	0	39,717	100,433
11 / 1 .	45,784	0,017	0,167	14,572	0,192	-0,001	39,784	100,517
12 / 1 .	45,92	0,007	0,176	14,23	0,186	-0,001	39,715	100,235
13 / 1 .	45,855	0,016	0,193	14,545	0,16	0,002	39,593	100,365
14 / 1 .	45,797	0,004	0,172	14,353	0,157	-0,006	39,763	100,246
15 / 1 .	46	0,003	0,166	14,423	0,206	-0,012	39,729	100,527
16 / 1 .	45,737	0,005	0,197	14,6	0,207	-0,006	39,927	100,674
17 / 1 .	45,802	0,013	0,206	14,602	0,191	0,006	39,846	100,667

LA11005:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
1 / 1 .	41,76	-0,004	0,25	19,658	0,135	-0,003	39,087	100,89
2 / 1 .	41,455	0,001	0,263	19,968	0,129	-0,003	38,961	100,777
3 / 1 .	41,507	0,002	0,248	19,76	0,108	0,001	38,916	100,54
4 / 1 .	41,233	-0,006	0,237	20,026	0,141	0,003	38,844	100,485
5 / 1 .	41,001	0,015	0,275	20,247	0,112	0,001	38,805	100,456
6 / 1 .	41,074	0,005	0,261	19,846	0,12	0,004	38,595	99,904
7 / 1 .	40,961	-0,005	0,26	20,27	0,148	0,001	38,66	100,3
8 / 1 .	40,472	0,004	0,273	20,699	0,14	0	38,439	100,027
9 / 1 .	40,724	-0,006	0,296	20,834	0,124	-0,001	38,65	100,628
10 / 1 .	40,995	0	0,291	20,1	0,109	-0,004	38,658	100,152
11 / 1 .	40,839	0,004	0,283	20,196	0,11	0,002	38,912	100,345
12 / 1 .	40,94	0,009	0,294	20,138	0,109	-0,003	38,663	100,151
13 / 1 .	40,779	0,002	0,287	20,395	0,133	0,001	38,573	100,17
14 / 1 .	40,809	0,009	0,291	20,335	0,129	0,001	38,769	100,343
15 / 1 .	40,845	0,003	0,279	20,011	0,143	-0,003	38,732	100,013

LA11007

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
1 / 1 .	43,416	0,016	0,193	17,515	0,184	-0,005	39,177	100,501
2 / 1 .	43,046	0,011	0,227	17,472	0,161	-0,004	39,079	99,996
3 / 1 .	43,304	0,01	0,225	17,786	0,179	0,007	39,253	100,763
4 / 1 .	43,298	0,002	0,204	17,493	0,18	0,002	39,267	100,445
5 / 1 .	43,321	0,007	0,216	17,417	0,203	0	39,101	100,266
6 / 1 .	43,281	0,014	0,213	17,884	0,19	0,009	39,111	100,702
7 / 1 .	43,319	0,017	0,208	18,023	0,207	-0,001	39,141	100,916
8 / 1 .	43,42	0,01	0,222	17,64	0,192	0,001	39,295	100,78
9 / 1 .	43,496	0,006	0,237	17,472	0,186	-0,005	39,432	100,829
10 / 1 .	43,21	0,008	0,217	17,66	0,183	0,008	39,195	100,48
11 / 1 .	43,218	0,008	0,193	17,626	0,187	-0,003	38,859	100,092
12 / 1 .	43,376	0,005	0,223	17,639	0,169	-0,004	39,257	100,668
13 / 1 .	44,021	0,013	0,209	16,808	0,191	-0,002	39,471	100,715
14 / 1 .	44,013	0,01	0,189	17,029	0,205	0,001	39,249	100,697
15 / 1 .	43,968	0,007	0,206	17,177	0,172	0	39,166	100,695

LA11008:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	Total
1 / 1 .	43,352	0,004	0,225	17,205	0,14	0,071	-0,003	39,608	100,605
2 / 1 .	43,469	0,008	0,21	17,18	0,155	0,011	0,002	39,595	100,63
3 / 1 .	43,675	0,009	0,219	17,209	0,145	0,051	0	39,536	100,844
4 / 1 .	43,37	0,013	0,202	17,141	0,156	0,029	0,003	39,466	100,38
5 / 1 .	43,785	0,009	0,203	16,934	0,157	0,003	0,003	39,751	100,847

LA11009:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
1 / 1 .	45,884	0,008	0,193	14,735	0,216	-0,001	40,021	101,057
2 / 1 .	45,733	0,004	0,196	14,759	0,206	0,007	39,706	100,61
3 / 1 .	45,718	0,002	0,19	14,958	0,221	-0,005	39,506	100,594
4 / 1 .	45,86	0,009	0,167	14,612	0,262	0,007	39,886	100,803
5 / 1 .	45,583	0,008	0,215	14,899	0,287	-0,003	39,653	100,644
6 / 1 .	45,392	0,01	0,2	14,962	0,239	-0,001	39,566	100,369
7 / 1 .	45,928	0,015	0,166	14,821	0,31	0,15	39,97	101,36
8 / 1 .	45,566	0,014	0,183	15,066	0,29	0,064	40,012	101,194
9 / 1 .	45,59	0,005	0,155	15,174	0,284	0,008	39,813	101,03
10 / 1 .	45,415	0,002	0,226	15,156	0,284	0,005	39,808	100,896
11 / 1 .	45,586	0,002	0,188	14,921	0,293	-0,004	39,876	100,867
12 / 1 .	45,526	0,007	0,192	14,997	0,285	-0,001	39,567	100,574
13 / 1 .	45,664	0,014	0,178	14,753	0,282	0,001	39,721	100,614
14 / 1 .	45,532	0,021	0,174	14,802	0,273	-0,003	39,666	100,468
15 / 1 .	45,745	0,026	0,209	14,924	0,289	-0,001	39,951	101,144
16 / 1 .	45,615	0,01	0,197	14,745	0,272	-0,003	39,766	100,605
17 / 1 .	45,664	0,009	0,185	14,922	0,282	0,003	39,521	100,585
18 / 1 .	45,8	0,003	0,204	15,036	0,223	0,007	39,798	101,072
19 / 1 . UTGÅR	0,021	-0,003	0,017	0,317	-0,005	0	-0,062	0,355
20 / 1 .	45,876	0,02	0,219	14,867	0,29	-0,007	39,875	101,148
21 / 1 .	45,812	-0,002	0,17	14,712	0,246	-0,002	39,869	100,81
22 / 1 .	45,569	0,01	0,171	14,673	0,227	0,001	39,647	100,297

LA11010:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
1 / 1 .	43,279	0,007	0,225	17,629	0,331	0,124	39,592	101,187
2 / 1 .	42,552	-0,001	0,244	18,353	0,314	0,019	39,511	100,994
3 / 1 .	42,176	0,012	0,241	18,568	0,302	0,007	39,344	100,652
4 / 1 .	42,544	0,011	0,218	18,438	0,293	-0,002	39,163	100,668
5 / 1 .	42,79	0,008	0,243	18,331	0,335	0,051	39,491	101,249
6 / 1 .	43,049	0,014	0,216	17,963	0,325	0,191	39,437	101,195
7 / 1 .	42,289	0,007	0,244	18,92	0,341	0	39,325	101,126
8 / 1 .	42,521	-0,002	0,213	18,599	0,332	0,01	39,302	100,978
9 / 1 .	42,301	0,006	0,241	18,833	0,328	0	39,32	101,028
10 / 1 .	43,177	0,009	0,214	17,557	0,304	0,124	39,547	100,932
11 / 1 .	43,116	-0,002	0,223	17,49	0,345	0,211	39,446	100,832
12 / 1 .	43,365	0,002	0,245	17,37	0,345	0,168	39,298	100,794
13 / 1 .	42,478	0,004	0,209	18,82	0,341	-0,001	39,308	101,16
14 / 1 .	42,551	0,011	0,242	18,323	0,351	0	39,386	100,864
15 / 1 .	42,269	0,011	0,273	18,504	0,339	-0,002	39,151	100,547
16 / 1 .	42,833	0,006	0,217	18,123	0,332	0,026	39,307	100,843
17 / 1 .	42,575	-0,001	0,255	18,318	0,333	0	39,126	100,607
18 / 1 .	42,385	0,011	0,253	18,514	0,361	0,001	39,336	100,86
19 / 1 .	42,641	0,002	0,249	18,211	0,363	-0,003	39,381	100,848
20 / 1 .	42,406	0,014	0,222	18,608	0,319	-0,002	39,206	100,775
21 / 1 .	42,643	0,011	0,237	18,582	0,337	0,013	39,373	101,197
22 / 1 .	42,431	-0,006	0,256	18,599	0,297	0,007	39,408	100,997
23 / 1 .	42,465	0,002	0,242	18,388	0,339	0,006	39,331	100,774
24 / 1 .	42,471	-0,001	0,223	18,485	0,353	0	39,334	100,866
25 / 1 .	42,223	0,024	0,244	18,525	0,355	-0,004	39,257	100,629
26 / 1 .	42,45	0,01	0,231	19,019	0,345	-0,003	39,409	101,464

LA11014:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
1 / 1 .	43,5470	0,017	0,1990	17,6760	0,243	0,007	39,542	101,232
2 / 1 .	43,308	0,015	0,205	17,399	0,241	-0,004	39,444	100,611
3 / 1 .	43,216	0,012	0,241	17,6	0,226	0,002	39,437	100,734
4 / 1 .	43,177	0,003	0,216	17,564	0,224	0,008	39,512	100,705
5 / 1 .	43,44	-0,003	0,215	17,387	0,22	0,002	39,518	100,782
6 / 1 .	43,209	0,001	0,208	17,528	0,224	0,004	39,495	100,669
7 / 1 .	43,33	-0,004	0,193	17,292	0,2	0,003	39,533	100,551
8 / 1 .	43,04	0,007	0,223	17,48	0,205	-0,001	39,382	100,337
9 / 1 .	43,115	0,013	0,217	17,675	0,216	0,006	39,446	100,688
10 / 1 .	43,193	0,003	0,184	17,51	0,195	0	39,468	100,552
11 / 1 .	42,958	0,05	0,212	17,15	0,207	-0,001	39,361	99,938
12 / 1 .	43,127	0,007	0,216	17,427	0,181	0	39,401	100,359
13 / 1 .	43,214	-0,001	0,207	17,645	0,19	-0,003	39,414	100,67
14 / 1 .	43,242	0,009	0,217	17,333	0,229	0	39,502	100,53
15 / 1 .	43,083	0,009	0,219	17,321	0,217	0	39,443	100,292
16 / 1 .	43,205	0,008	0,195	17,347	0,216	0,001	39,42	100,391
17 / 1 .	43,269	0,004	0,233	17,739	0,224	0,001	39,213	100,684

LA11015:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
1 / 1 .	42,557	0,008	0,227	18,595	0,219	0,001	39,378	100,985
2 / 1 .	42,438	0,018	0,224	18,413	0,21	0	39,325	100,628
3 / 1 .	42,7	0,004	0,194	17,956	0,19	-0,001	39,377	100,421

LA11019:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
1 / 1 .	42,527	0,011	0,253	18,763	0,25	0,003	39,045	100,851
2 / 1 .	42,7	0,001	0,226	18,078	0,265	-0,002	39,228	100,497
3 / 1 .	42,529	0,005	0,215	18,483	0,253	0,006	39,295	100,787
4 / 1 .	42,561	0,008	0,239	17,986	0,229	0,005	39,162	100,191
5 / 1 .	42,573	0,013	0,214	18,373	0,247	0,002	39,159	100,582
6 / 1 .	42,255	0,011	0,211	18,363	0,239	0,003	39,225	100,307
7 / 1 .	42,321	0,002	0,239	18,309	0,256	0,008	39,194	100,33
8 / 1 .	42,396	0,001	0,235	18,371	0,225	0,002	39,342	100,571
9 / 1 .	42,413	0,008	0,215	18,382	0,264	0,007	39,172	100,46
10 / 1 .	42,478	-0,006	0,217	18,245	0,23	0,003	39,226	100,399
11 / 1 .	42,434	0,006	0,23	18,613	0,259	-0,012	39,295	100,837
12 / 1 .	42,692	0,005	0,246	17,949	0,232	-0,003	39,325	100,449

LA12003:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
1 / 1 .	43,015	0,01	0,221	18,101	0,181	-0,001	39,38	100,907
2 / 1 .	42,947	0,013	0,189	18,124	0,172	0,007	39,177	100,63
3 / 1 .	42,818	0,013	0,207	18,473	0,164	0,006	39,25	100,931
4 / 1 .	42,644	0,001	0,256	17,955	0,176	0,003	39,23	100,265
5 / 1 .	42,758	0,001	0,225	18,322	0,166	-0,006	39,104	100,576
6 / 1 .	42,423	0,009	0,215	18,126	0,16	0,005	38,929	99,866
7 / 1 .	42,554	0,006	0,226	18,322	0,161	0,001	39,17	100,438
8 / 1 .	42,565	0,003	0,244	18,189	0,173	-0,003	38,965	100,139
9 / 1 .	42,787	0,015	0,226	17,991	0,181	0,005	39,286	100,491
10 / 1 .	42,806	-0,007	0,218	18,065	0,185	0,002	39,073	100,349
11 / 1 .	42,308	0,001	0,243	18,989	0,162	0,113	38,74	100,556
12 / 1 .	42,525	0	0,236	18,17	0,178	-0,004	39,288	100,397

LA12004:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
1 / 1 .	43,95	0,012	0,194	17,21	0,207	-0,006	39,598	101,171
2 / 1 .	43,86	-0,001	0,229	16,869	0,184	-0,001	39,684	100,826
3 / 1 .	43,995	0,002	0,224	17,087	0,198	-0,004	39,529	101,036
4 / 1 .	43,746	-0,004	0,197	16,991	0,206	-0,006	39,534	100,675
5 / 1 .	43,777	-0,002	0,214	17,196	0,223	-0,004	39,39	100,799
6 / 1 .	43,705	0,004	0,226	17,297	0,221	-0,004	39,314	100,767
7 / 1 .	43,861	0,002	0,201	17,113	0,209	-0,002	39,378	100,763
8 / 1 .	43,645	0	0,232	17,123	0,213	0,001	39,365	100,579
9 / 1 .	43,673	-0,001	0,227	17,06	0,186	-0,012	39,622	100,767
10 / 1 .	43,916	-0,001	0,217	16,803	0,23	-0,007	39,544	100,71
11 / 1 .	43,993	0,003	0,221	16,859	0,21	-0,004	39,582	100,869
12 / 1 .	44,016	0,008	0,193	17,03	0,205	0,011	39,533	100,997
13 / 1 .	43,761	0,003	0,192	17,289	0,199	-0,005	39,604	101,049
14 / 1 .	43,908	-0,001	0,236	16,88	0,191	0	39,462	100,677
15 / 1 .	43,835	0,011	0,243	16,903	0,204	-0,006	39,546	100,742

LA12005:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
1 / 1 .	42,843	0,01	0,232	17,904	0,205	0,001	39,396	100,59
2 / 1 .	42,528	0,003	0,233	18,072	0,211	-0,006	39,332	100,38
3 / 1 .	42,772	-0,006	0,201	17,772	0,189	0,004	39,487	100,425
4 / 1 .	30,108	0,144	0,185	15,523	0,125	0,004	38,657	84,747
5 / 1 .	42,724	0,009	0,232	18,182	0,193	-0,001	39,11	100,449
6 / 1 .	42,751	0,001	0,21	18,005	0,198	-0,008	39,232	100,399
7 / 1 .	42,716	0,024	0,235	18,087	0,194	-0,002	39,259	100,515
8 / 1 .	42,698	0,009	0,211	17,746	0,212	0,002	39,238	100,116
9 / 1 .	42,752	0,01	0,237	17,751	0,234	-0,008	39,247	100,231
10 / 1 .	42,837	0,014	0,234	17,624	0,215	0,001	39,385	100,31

LA12009:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
1 / 1 .	40,617	0,005	0,234	20,787	0,137	-0,003	38,798	100,577
2 / 1 .	41,005	0,002	0,274	20,337	0,142	0,008	38,788	100,557
3 / 1 .	40,598	0,003	0,235	20,904	0,15	0,004	38,707	100,602
4 / 1 .	41,096	0,013	0,239	20,264	0,173	-0,006	38,78	100,566
5 / 1 .	41,115	0,006	0,254	20,513	0,141	-0,002	38,91	100,939
6 / 1 .	40,989	0,007	0,249	20,181	0,179	0,006	38,702	100,313
7 / 1 .	40,422	0,002	0,282	20,813	0,125	0,001	38,738	100,384
8 / 1 .	40,495	0,007	0,262	21,078	0,165	0,002	38,461	100,471
9 / 1 .	40,143	0,015	0,275	21,091	0,117	-0,005	38,556	100,197
10 / 1 .	40,938	0,008	0,25	20,562	0,177	0,003	38,829	100,768
11 / 1 .	40,852	-0,001	0,28	20,379	0,127	0,006	38,883	100,527
12 / 1 .	40,628	0,007	0,247	20,702	0,161	0,003	38,678	100,424
13 / 1 .	40,473	0,007	0,261	20,797	0,191	-0,001	38,781	100,509
14 / 1 .	40,328	0,012	0,272	21,25	0,162	0	38,632	100,656
15 / 1 .	40,414	0,006	0,276	21,104	0,159	-0,003	38,631	100,591

LA12012:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
16 / 1 .	40,844	0,001	0,239	20,187	0,228	0,009	38,76	100,268
17 / 1 .	40,9	-0,002	0,222	20,451	0,222	0,004	38,88	100,679
1 / 1 .	41,15	-0,008	0,244	19,822	0,232	0,004	38,964	100,417
19 / 1 .	40,75	0,006	0,247	20,331	0,243	0,005	38,841	100,422
20 / 1 .	41,054	0,004	0,241	20,426	0,237	0,003	38,897	100,864
21 / 1 .	41,14	0	0,249	20,092	0,246	0,003	38,911	100,643
22 / 1 .	40,777	0,002	0,236	20,2	0,246	-0,004	38,941	100,402
23 / 1 .	40,813	0,009	0,242	20,001	0,247	0,001	38,862	100,177
24 / 1 .	41,313	0,004	0,241	20,16	0,254	0,002	38,943	100,917

LA12015:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
25 / 1 .	43,781	0,003	0,221	16,758	0,355	0,007	39,669	100,795
26 / 1 .	43,868	0,004	0,194	16,865	0,353	-0,003	39,62	100,903
27 / 1 .	43,619	-0,002	0,214	16,705	0,347	0,004	39,697	100,585
28 / 1 .	44,073	0,008	0,195	16,556	0,377	0,01	39,628	100,846
29 / 1 .	43,762	0,005	0,207	16,568	0,353	0	39,586	100,482
30 / 1 .	43,869	0	0,176	16,502	0,359	-0,005	39,513	100,42
31 / 1 .	43,84	0,012	0,234	16,421	0,358	0,004	39,727	100,597
32 / 1 .	43,952	0,003	0,202	16,685	0,358	0	39,707	100,908
33 / 1 .	43,846	0,003	0,218	16,551	0,369	-0,006	39,586	100,573
34 / 1 .	43,993	0,001	0,169	16,043	0,373	0,004	39,68	100,263
35 / 1 .	44,003	0,021	0,192	16,314	0,362	0,007	39,638	100,538
36 / 1 .	44,126	0,011	0,204	16,213	0,383	0,004	39,74	100,681

LA12017:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
37 / 1 .	39,422	0,009	0,292	21,74	0,274	0	38,633	100,372
38 / 1 .	39,813	-0,008	0,229	21,647	0,267	0,005	38,514	100,475
39 / 1 .	39,513	0,009	0,258	21,901	0,259	-0,006	38,583	100,524
40 / 1 .	39,693	0,01	0,264	21,529	0,281	0,007	38,414	100,199
41 / 1 .	39,587	-0,001	0,252	21,876	0,248	0,009	38,556	100,528
42 / 1 .	39,648	-0,006	0,246	21,498	0,283	0,002	38,517	100,195
43 / 1 .	39,842	0,016	0,28	21,515	0,26	0,005	38,603	100,522
44 / 1 .	39,864	0,011	0,288	21,733	0,256	-0,004	38,432	100,584
45 / 1 .	40,001	0,004	0,28	21,53	0,278	-0,006	38,543	100,637
46 / 1 .	39,733	0,013	0,28	21,453	0,279	0	38,347	100,106
47 / 1 .	39,703	0	0,273	21,76	0,269	0,01	38,662	100,678
48 / 1 .	39,675	0,007	0,27	21,901	0,264	0,001	38,413	100,532

LA12019:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
1 / 1 .	44,323	-0,001	0,229	15,91	0,221	-0,005	39,678	100,36
2 / 1 .	44,601	0,006	0,192	15,898	0,227	0,008	39,576	100,509
3 / 1 .	44,429	-0,003	0,227	15,935	0,202	0	39,626	100,419
4 / 1 .	44,678	0,009	0,227	15,74	0,244	0,005	39,504	100,408
5 / 1 .	44,403	-0,007	0,203	15,935	0,204	0,004	39,642	100,391
6 / 1 .	44,482	-0,001	0,198	15,848	0,224	0,011	39,413	100,176
7 / 1 .	44,317	0,003	0,193	16,069	0,204	0,001	39,565	100,352
8 / 1 .	44,674	0	0,206	15,767	0,25	-0,002	39,634	100,532
9 / 1 .	44,253	0,009	0,199	16,178	0,24	-0,007	39,741	100,621
10 / 1 .	44,784	0,003	0,185	15,375	0,227	0,003	39,617	100,194
11 / 1 .	44,328	0,009	0,225	15,911	0,223	-0,004	39,599	100,295
12 / 1 .	44,651	0,006	0,22	15,853	0,215	0,002	39,357	100,303
13 / 1 .	44,366	0	0,214	15,865	0,235	-0,003	39,701	100,382
14 / 1 .	44,601	0,004	0,188	15,854	0,21	0	39,596	100,453
15 / 1 .	44,447	0,008	0,202	15,728	0,209	-0,005	39,666	100,26

LA12020:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
16 / 1 .	44,048	0,015	0,202	15,984	0,233	-0,002	39,298	99,78
17 / 1 .	43,924	0,007	0,237	15,909	0,24	0,003	39,667	99,987
18 / 1 .	44,627	0,008	0,196	15,595	0,233	0	39,559	100,217
19 / 1 .	44,434	0,01	0,165	15,804	0,235	0,005	39,784	100,437
20 / 1 .	44,572	0,005	0,236	15,551	0,204	-0,005	39,423	99,99
21 / 1 .	44,388	0,007	0,219	15,732	0,241	0,007	39,608	100,201
22 / 1 .	44,415	0,019	0,207	15,847	0,216	0,001	39,483	100,188
23 / 1 .	44,488	0,02	0,218	15,662	0,267	0,006	39,75	100,412
24 / 1 .	44,486	0,007	0,206	15,755	0,257	-0,005	39,528	100,24
25 / 1 .	44,44	0,012	0,21	15,8	0,224	0	39,665	100,352
26 / 1 .	44,275	0,004	0,2	16,407	0,222	-0,001	39,457	100,564
27 / 1 .	44,392	0,008	0,225	15,802	0,241	-0,006	39,678	100,346
28 / 1 .	44,711	0,005	0,204	15,718	0,231	-0,005	39,481	100,349
29 / 1 .	44,424	0,004	0,198	15,631	0,22	0,004	39,547	100,028
30 / 1 .	44,511	0,01	0,217	15,69	0,224	0,01	39,534	100,195
31 / 1 .	44,488	0,006	0,207	15,792	0,239	0,009	39,591	100,333
32 / 1 .	44,74	0,002	0,203	15,599	0,224	0,001	39,411	100,18
33 / 1 .	44,619	0,011	0,211	15,564	0,235	0,003	39,73	100,373

LA12021:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
34 / 1 .	43,848	0,008	0,223	16,472	0,268	0	39,433	100,253
35 / 1 .	43,839	0,004	0,22	16,404	0,266	-0,002	39,427	100,16
36 / 1 .	43,772	0,005	0,211	16,632	0,299	-0,007	39,203	100,123
37 / 1 .	43,77	0,004	0,228	16,229	0,274	0	39,486	99,991
38 / 1 .	43,806	0,003	0,199	16,386	0,312	-0,002	39,321	100,025
39 / 1 .	43,643	0,007	0,187	16,389	0,312	0,006	39,516	100,061
1 / 1 .	43,698	0,009	0,217	16,539	0,288	0,007	39,51	100,268
41 / 1 .	44,024	0,008	0,213	16,283	0,318	0,005	39,591	100,442
42 / 1 .	43,869	0,011	0,21	16,334	0,318	0,01	39,391	100,144
43 / 1 .	43,783	0	0,198	16,509	0,284	0,003	39,407	100,184
2 / 1 .	43,824	0	0,22	16,353	0,316	0,008	39,401	100,123
45 / 1 .	43,753	0,001	0,218	16,663	0,301	0,002	39,49	100,429
3 / 1 .	43,871	0,018	0,209	16,335	0,273	-0,003	39,509	100,216
4 / 1 .	43,793	0,013	0,219	16,365	0,3	0	39,297	99,987
5 / 1 .	43,8	0,003	0,192	16,801	0,311	-0,004	39,456	100,563

LA12022:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	NiO	Cr2O3	SiO2	Total
49 / 1 .	46,155	0,01	0,16	13,71	0,263	0,002	40,123	100,422
50 / 1 .	45,927	0,009	0,176	13,884	0,254	0,002	39,726	99,978
51 / 1 .	45,882	0,006	0,187	13,868	0,267	-0,004	39,913	100,123
52 / 1 .	45,987	0,011	0,192	13,631	0,258	0,008	39,832	99,918
53 / 1 .	45,932	0,003	0,158	13,923	0,268	-0,003	39,901	100,184
54 / 1 .	45,924	0,007	0,151	13,913	0,248	-0,009	39,684	99,927
55 / 1 .	45,841	0,003	0,167	13,855	0,28	-0,001	39,947	100,092
56 / 1 .	45,904	0,004	0,165	14,047	0,291	-0,001	39,827	100,238
57 / 1 .	45,855	-0,005	0,184	13,874	0,296	0,001	39,965	100,174
58 / 1 .	45,961	0,003	0,16	13,792	0,246	0,005	39,839	100,007
6 / 1 .	46,049	0,002	0,188	14,082	0,276	-0,002	39,812	100,409
7 / 1 .	45,755	0,01	0,197	13,86	0,294	0,005	40,1	100,221

Pyroksen:

LA11003:

Formula	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
1 / 1 .	0,579	15,514	23,293	0,083	3,493	3,323	0,889	51,992	0,771	99,937
2 / 1 .	0,57	15,532	23,679	0,076	3,28	3,369	0,842	51,798	0,855	100,001
3 / 1 .	0,531	16,304	22,106	0,093	3,761	3,319	0,849	52,014	0,77	99,746

LA11005:

Formula	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
1 / 1 .	0,507	15,501	21,215	0,163	5,749	4,322	0,429	50,807	1,068	99,762
2 / 1 .	0,597	14,502	22,487	0,135	5,029	4,528	0,41	50,493	1,163	99,344
3 / 1 .	0,59	14,133	23,127	0,141	4,861	4,934	0,414	49,904	1,303	99,408

LA11007:

Formula	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2
1 / 1 .	0,645	14,582	22,747	0,16	4,443	4,639	0,93	50,446	0,878
2 / 1 .	0,539	14,935	22,692	0,111	4,406	4,249	0,728	50,804	0,869
3 / 1 .	0,582	14,541	22,948	0,142	4,205	4,678	0,888	50,128	0,937
4 / 1 .	0,56	14,749	22,653	0,097	4,23	4,541	0,831	50,413	0,891
5 / 1 .	0,397	18,509	16,525	0,173	7,449	4,34	0,61	51,433	0,72
6 / 1 .	0,678	14,274	23,007	0,123	3,975	5,109	0,827	49,877	1,093

LA11008:

Formula	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2
1 / 1 .	-0,029	28,463	0,529	0,276	12,947	2,833	0,415	54,074	0,214
2 / 1 .	-0,028	28,308	0,31	0,24	12,943	3,67	0,389	53,926	0,127
3 / 1 .	0,001	28,955	0,345	0,273	12,435	3,076	0,383	54,354	0,128
4 / 1 .	0,54	15,192	22,96	0,094	4,331	4,043	0,774	51,251	0,883
5 / 1 .	0,499	14,517	23,207	0,121	4,182	5,228	0,755	50,492	1,107
6 / 1 .	0,506	15,346	22,824	0,116	4,005	4,269	0,725	51,153	0,995
7 / 1 .	0,414	17,24	19,034	0,16	6,407	4,329	0,713	51,038	0,935
8 / 1 .	0,504	14,931	23,226	0,133	4,214	4,445	0,755	51,176	1,01

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
1 / 1 .	30,232	0,916	0,258	11,587	2,622	0,313	54,166	0,32	100,414
2 / 1 .	30,205	0,968	0,25	11,422	2,757	0,315	54,255	0,329	100,5
3 / 1 .	30,785	0,515	0,237	11,207	2,096	0,234	54,757	0,22	100,052
4 / 1 .	30,211	0,604	0,239	11,772	2,585	0,326	54,245	0,316	100,298
5 / 1 .	30,289	0,737	0,233	11,609	2,705	0,296	54,213	0,313	100,396
6 / 1 .	30,282	0,518	0,229	11,746	2,748	0,383	54,421	0,232	100,558
7 / 1 .	30,67	0,347	0,224	11,349	2,487	0,305	54,625	0,255	100,263
8 / 1 .	29,871	1,081	0,215	11,563	2,88	0,371	53,989	0,374	100,344
9 / 1 .	14,641	23,545	0,122	3,994	5,071	0,705	49,97	1,175	99,224

LA11009:

Formula	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
1 / 1 .	0,542	15,378	23,307	0,131	3,364	3,68	0,792	51,662	0,797	99,652
2 / 1 .	0,53	15,298	23,6	0,117	3,082	3,603	0,799	51,478	0,818	99,325
3 / 1 .	0,612	15,229	23,584	0,083	3,073	3,686	1,025	51,879	0,754	99,923
4 / 1 .	0,595	15,249	23,353	0,115	3,255	3,529	0,996	51,904	0,689	99,685
5 / 1 .	0,648	14,904	23,218	0,099	3,387	3,947	1,011	51,417	0,771	99,403
6 / 1 .	0,555	15,15	23,559	0,099	3,278	3,862	0,85	51,421	0,92	99,694
7 / 1 .	0,488	15,984	22,486	0,131	3,88	3,196	0,648	51,837	0,75	99,4

LA11014:

Formula	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
1 / 1 .	0,016	30,105	0,809	0,202	11,139	3,518	0,207	54,62	0,264	100,88
2 / 1 .	-0,004	30,367	0,689	0,215	11,113	3,336	0,202	54,423	0,242	100,586
3 / 1 .	0,017	30,158	0,813	0,225	11,038	3,43	0,21	54,489	0,296	100,676
4 / 1 .	0,592	17,115	18,566	0,142	6,477	5,195	0,59	50,61	1,105	100,392
5 / 1 .	0,64	16,392	20,096	0,154	5,857	5,389	0,375	50,819	1,024	100,746

LA11015:

Formula	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
1 / 1 .	0,053	28,235	2,798	0,243	11,375	3,237	0,388	54,29	0,343	100,961
2 / 1 .	0,022	28,91	1,376	0,202	11,9	3,535	0,405	54,252	0,163	100,765
3 / 1 .	0,637	15,278	20,593	0,145	5,902	5,493	0,666	50,094	1,469	100,277
4 / 1 .	0,618	15,425	20,445	0,145	6,014	5,738	0,696	49,885	1,476	100,44
5 / 1 .	0,33	20,073	13,052	0,187	8,563	4,854	0,693	51,586	0,642	99,981
6 / 1 .	0,541	15,631	20,888	0,137	5,509	4,886	0,741	50,786	0,88	99,999
7 / 1 .	0,09	25,324	0,12	0,109	10,042	0,051	0,006	56,921	-0,007	92,663
8 / 1 .	-0,002	30,252	0,67	0,266	11,721	2,193	0,128	55,366	0,2	100,796

LA11019:

Formula	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
1 / 1 .	0,545	15,394	22,499	0,146	5,018	3,589	0,884	51,08	0,74	99,895
2 / 1 .	0,444	16,048	21,007	0,154	6,29	3,849	0,85	50,593	0,849	100,084
3 / 1 .	0,484	17,019	19,645	0,159	5,888	4,031	0,485	51,608	0,775	100,095
4 / 1 .	0,443	16,866	20,387	0,149	5,212	3,746	0,574	51,585	0,675	99,636
5 / 1 .	0,391	17,83	18,303	0,17	6,554	3,826	0,485	51,303	1,082	99,946

LA12003:

Formula	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
1 / 1 .	0,514	16,076	22,631	0,107	4,069	3,798	0,632	51,557	0,856	100,24
2 / 1 . UTGÅR	0,015	30,355	0,555	0,25	11,314	2,641	0,257	54,664	0,277	100,329
3 / 1 . UTGÅR	0,01	30,231	0,308	0,228	11,618	2,561	0,264	54,866	0,178	100,264
4 / 1 .	0,443	17,529	19,298	0,114	5,646	3,846	0,54	51,652	0,827	99,894
5 / 1 .	0,604	16,335	21,45	0,146	4,852	3,935	0,677	51,293	0,893	100,184
6 / 1 .	0,404	19,754	15,426	0,191	7,194	3,843	0,489	52,045	0,774	100,12

LA12004:

Formula	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
1 / 1 .	0,509	16,836	20,569	0,131	4,895	4,295	0,582	51,358	1,037	100,21
2 / 1 .	0,611	15,678	22,107	0,119	4,635	4,376	0,684	50,808	1,035	100,052
3 / 1 .	0,593	15,618	22,068	0,125	4,578	4,323	0,653	51,178	0,985	100,12

LA12005:

Formula	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
1 / 1 .	0,512	17,38	18,915	0,153	5,696	4,78	0,56	51,158	1,141	100,296
2 / 1 .	0,598	15,573	21,789	0,104	4,586	4,992	0,71	50,423	1,353	100,129
3 / 1 .	0,597	15,564	21,464	0,142	4,741	5,179	0,745	50,194	1,289	99,914
4 / 1 .	0,017	30,583	0,337	0,226	10,833	2,715	0,358	54,538	0,165	99,771
5 / 1 .	0,004	30,622	0,761	0,21	10,596	2,516	0,343	55,123	0,143	100,318

LA12009:

Formula	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
1 / 1 .	0,592	14,351	21,998	0,14	5,808	5,742	0,415	49,854	1,506	100,407
2 / 1 .	0,591	14,728	21,018	0,143	6,325	5,591	0,392	49,864	1,427	100,079

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
3 / 1 .	26,867	0,369	0,262	15,462	3,4	0,154	53,133	0,189	99,837
4 / 1 .	26,534	0,551	0,341	16,533	2,414	0,113	52,22	1,652	100,358
5 / 1 .	26,677	0,527	0,292	15,788	3,084	0,271	53,331	0,26	100,229
6 / 1 .	28,45	0,653	0,259	13,121	3,345	0,205	53,784	0,217	100,034
7 / 1 .	27,5	0,833	0,242	13,843	3,664	0,236	53,583	0,186	100,089
8 / 1 .	28,21	0,66	0,229	13,68	2,882	0,222	54,093	0,102	100,078

LA12012:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
9 / 1 .	27,922	1,076	0,168	12,726	3,804	0,387	53,222	0,344	99,65
10 / 1 .	27,961	1,665	0,285	12,501	3,534	0,341	53,612	0,442	100,341
11 / 1 .	27,736	1,743	0,259	12,526	3,586	0,364	53,299	0,329	99,842

LA12015:

Formula	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
12 / 1 .	30,445	1,468	0,192	10,258	1,767	0,352	55,584	0,139	100,204
13 / 1 .	30,102	2,226	0,178	10,027	1,7	0,305	55,451	0,138	100,127
14 / 1 .	30,898	0,645	0,205	10,638	1,87	0,33	55,553	0,214	100,354
15 / 1 .	29,919	1,653	0,226	10,413	2,036	0,324	55,183	0,118	99,871
16 / 1 .	30,133	1,433	0,209	10,456	1,883	0,36	54,943	0,158	99,575
17 / 1 .	29,511	1,075	0,222	10,748	1,924	0,307	54,167	0,183	98,137

LA12017:

Formula	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
18 / 1 .	0,791	14,35	21,477	0,124	5,763	6,965	0,593	50,087	1,648	101,798
19 / 1 .	0,785	14,438	21,348	0,134	5,999	6,987	0,562	50,319	1,696	102,27
20 / 1 .	0,794	14,707	21,126	0,183	5,97	6,826	0,605	50,85	1,688	102,751
21 / 1 .	0,75	14,886	21,48	0,188	5,291	4,566	0,852	51,17	0,83	100,013
22 / 1 .	0,808	14,631	22,092	0,122	5,259	4,96	0,705	50,903	1,055	100,535
23 / 1 .	0,787	15,032	21,649	0,133	5,529	4,596	0,959	51,005	0,841	100,533

LA12019:

Formula	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
1 / 1 .	0,602	15,703	23,409	0,107	3,58	3,178	0,55	52,701	0,803	100,632
2 / 1 .	0,643	15,545	22,85	0,132	3,687	3,208	1,08	52,309	0,704	100,159
3 / 1 .	0,69	15,89	23,201	0,123	3,492	2,697	0,994	52,868	0,602	100,558
4 / 1 .	0,503	15,65	23,894	0,107	3,149	3,315	0,672	52,266	0,916	100,473
5 / 1 .	0,492	15,251	23,811	0,09	3,218	4	0,737	51,717	1,156	100,473
6 / 1 .	0,561	17,044	21,349	0,102	3,958	3,34	0,72	52,627	0,858	100,559

LA12020:

Formula	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
7 / 1 .	0,645	16,139	22,579	0,097	3,489	4,078	1,063	51,895	0,681	100,667
8 / 1 .	0,67	16,751	21,402	0,095	3,598	3,953	0,773	51,844	0,735	99,822
9 / 1 .	0,577	18,195	19,46	0,114	4,499	3,642	0,683	52,155	0,78	100,106
10 / 1 .	0,931	16,136	20,894	0,052	3,362	5,64	0,664	49,928	2,213	99,82
11 / 1 .	0,474	15,991	22,09	0,102	4,511	3,748	0,689	49,972	2,392	99,968
12 / 1 .	0,909	16,086	21,728	0,089	3,489	5,387	0,683	50,315	1,282	99,97
13 / 1 .	0,481	17,27	20,807	0,115	3,969	3,895	1,035	51,897	0,595	100,065
14 / 1 .	0,659	16,279	22,648	0,09	3	4,266	0,848	51,393	0,509	99,691
15 / 1 .	0,508	16,334	21,22	0,11	4,892	3,522	0,945	50,006	2,808	100,344

LA12021:

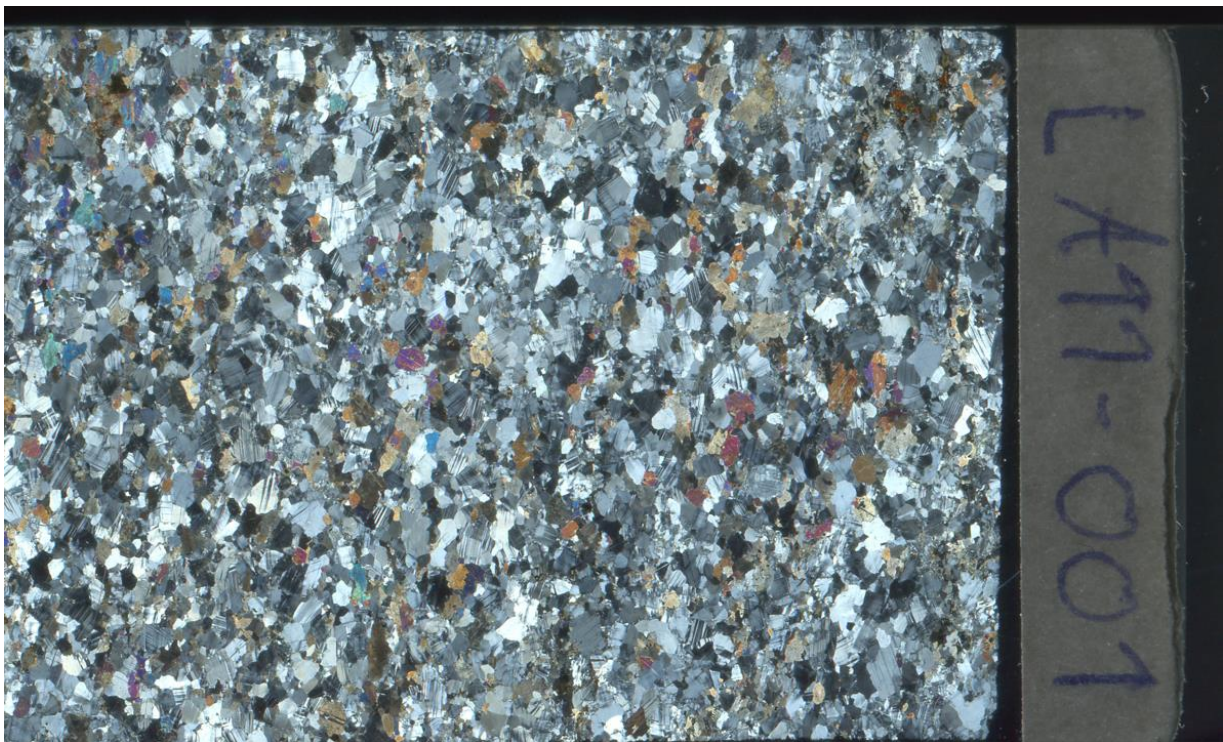
Formula	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
16 / 1 .	0,598	15,528	23,543	0,136	3,401	3,205	0,7	52,406	0,704	100,221
17 / 1 .	0,557	15,432	23,545	0,109	3,31	3,223	0,699	52,428	0,683	99,986
18 / 1 .	0,549	15,408	23,705	0,103	3,225	3,005	0,657	52,533	0,657	99,842
19 / 1 .	0,638	15,781	22,823	0,089	3,759	2,373	1,102	52,691	0,475	99,732
20 / 1 .	0,566	16,079	23,096	0,095	3,649	2,269	0,782	52,983	0,448	99,967
21 / 1 .	0,575	16,077	22,916	0,113	3,633	2,291	0,755	53,008	0,434	99,8

LA12022:

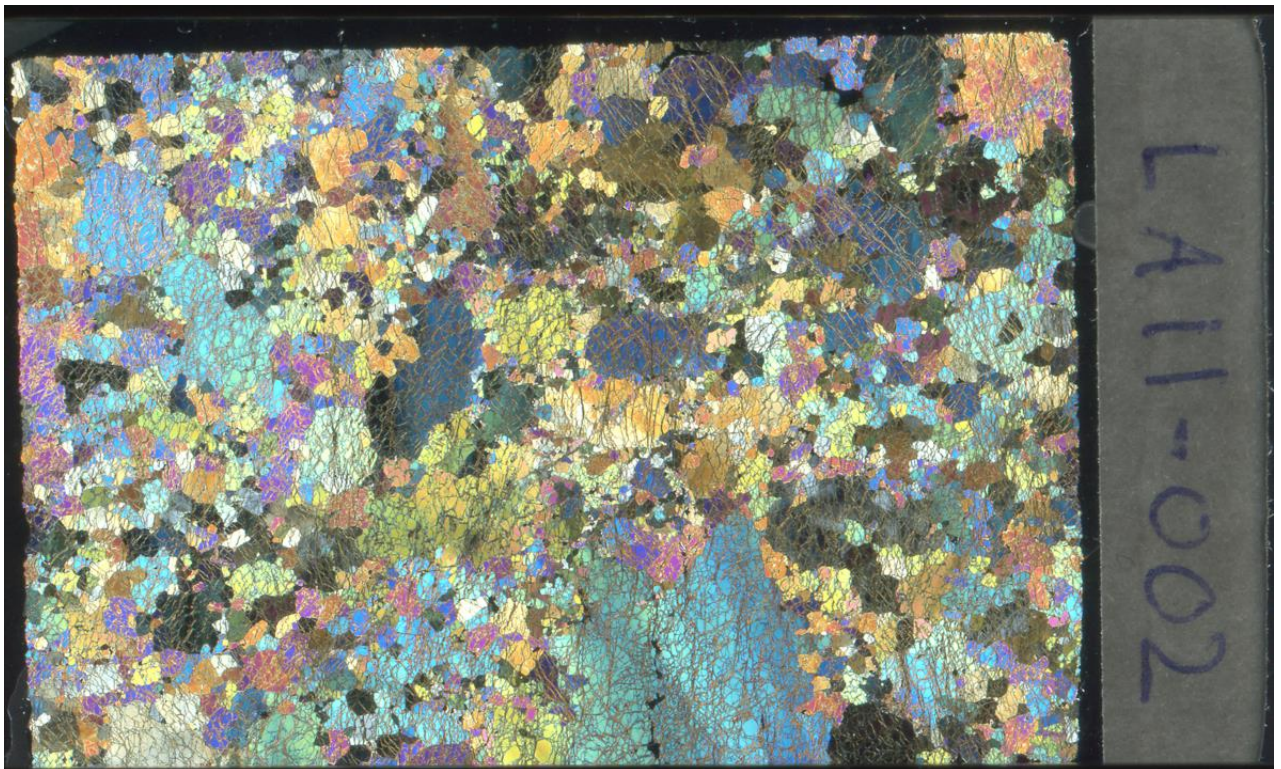
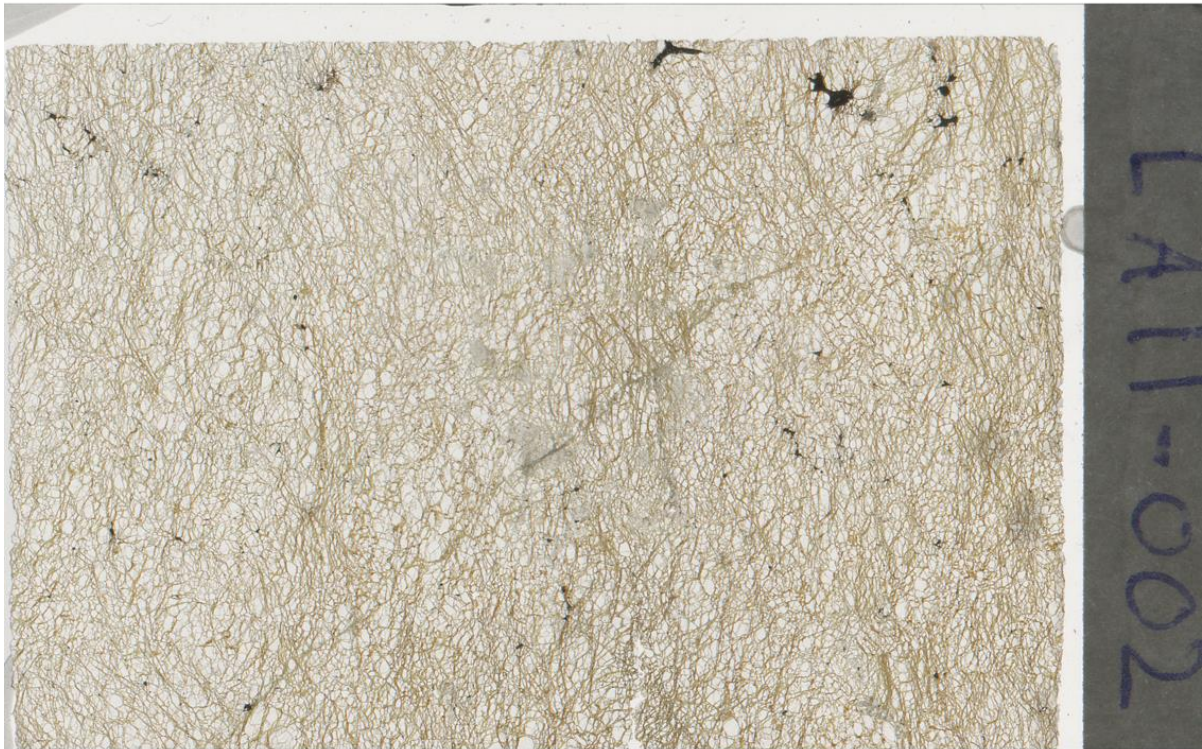
Formula	Na2O	MgO	CaO	MnO	FeO	Al2O3	Cr2O3	SiO2	TiO2	Total
22 / 1 .	0,658	15,736	23,032	0,12	3,053	3,55	0,901	52,307	0,764	100,122
23 / 1 .	0,664	16,443	21,867	0,107	3,338	3,563	0,99	52,329	0,794	100,095
24 / 1 .	0,72	15,723	23,059	0,107	2,815	3,958	1,058	52,048	0,944	100,431

Vedlegg F: Scan av tynnslip

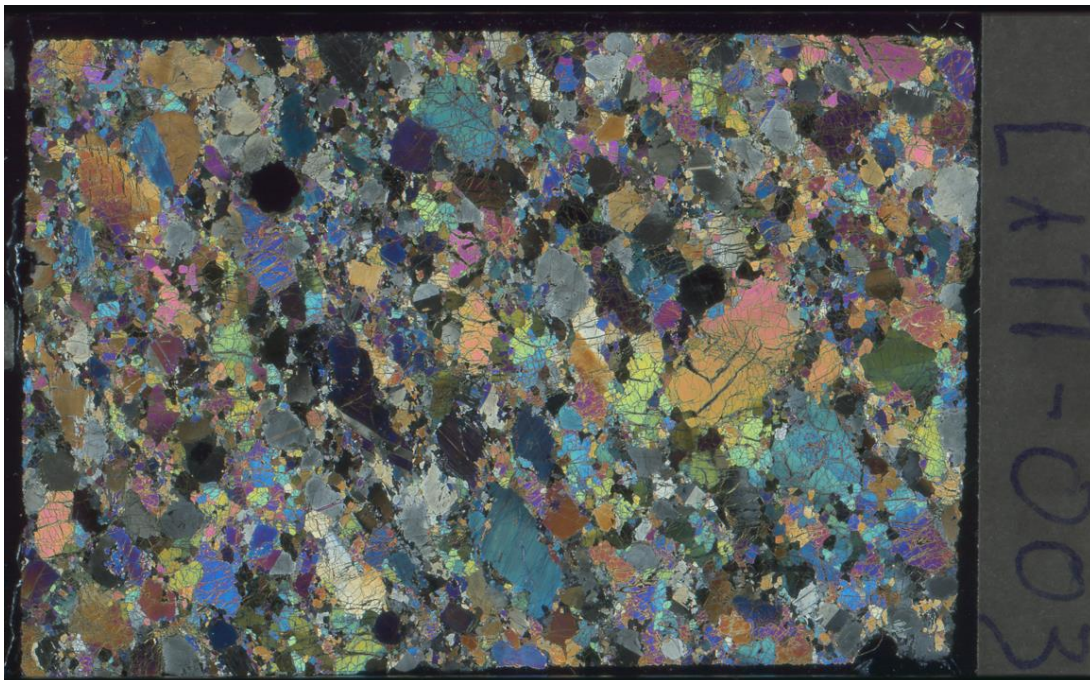
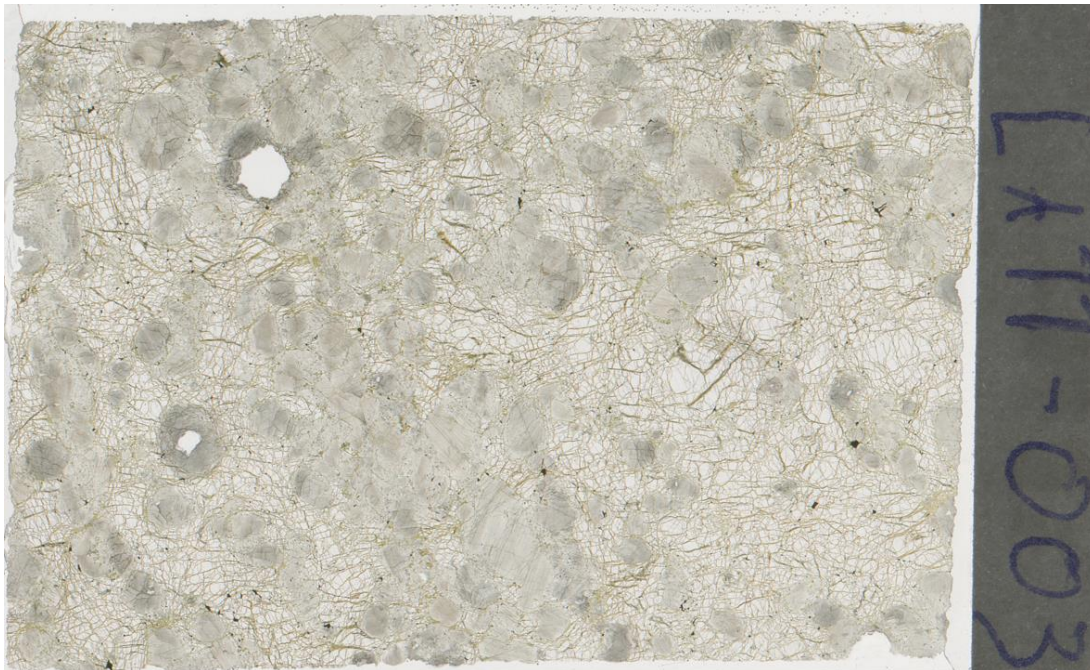
LA11001



LA11002



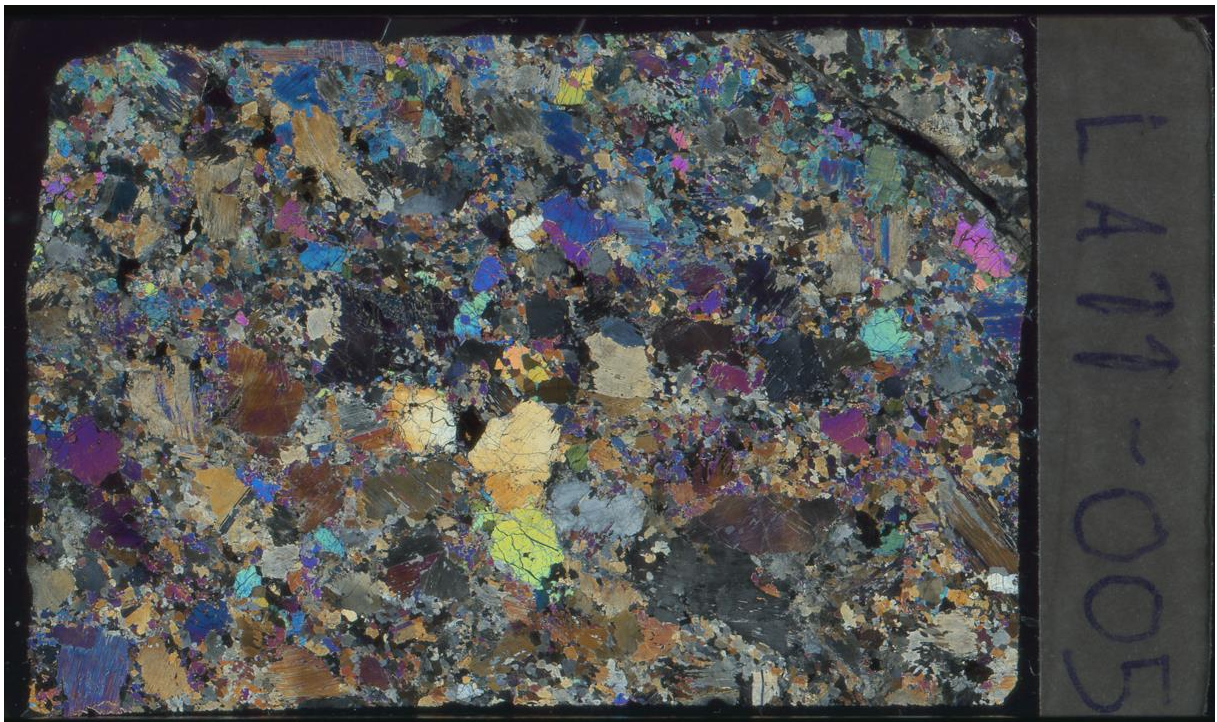
LA11003



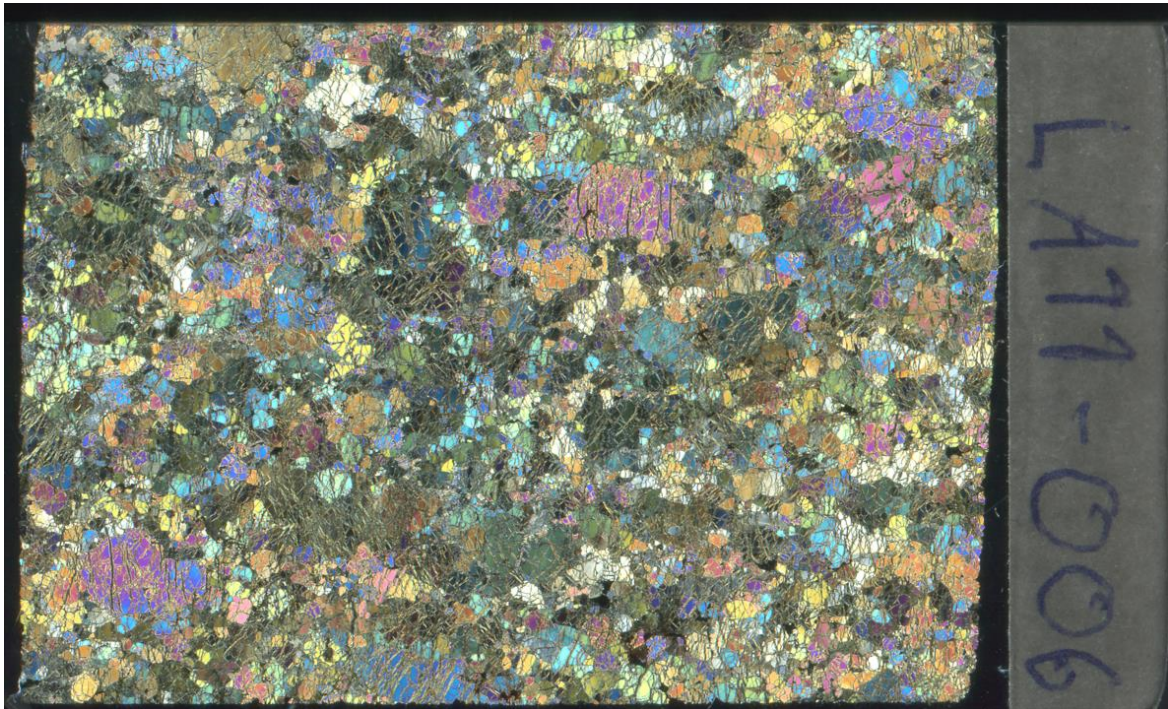
LA11004

Dette slippet ble dessverre knust, og er ikke undersøkt i mikroskop.

LA11005



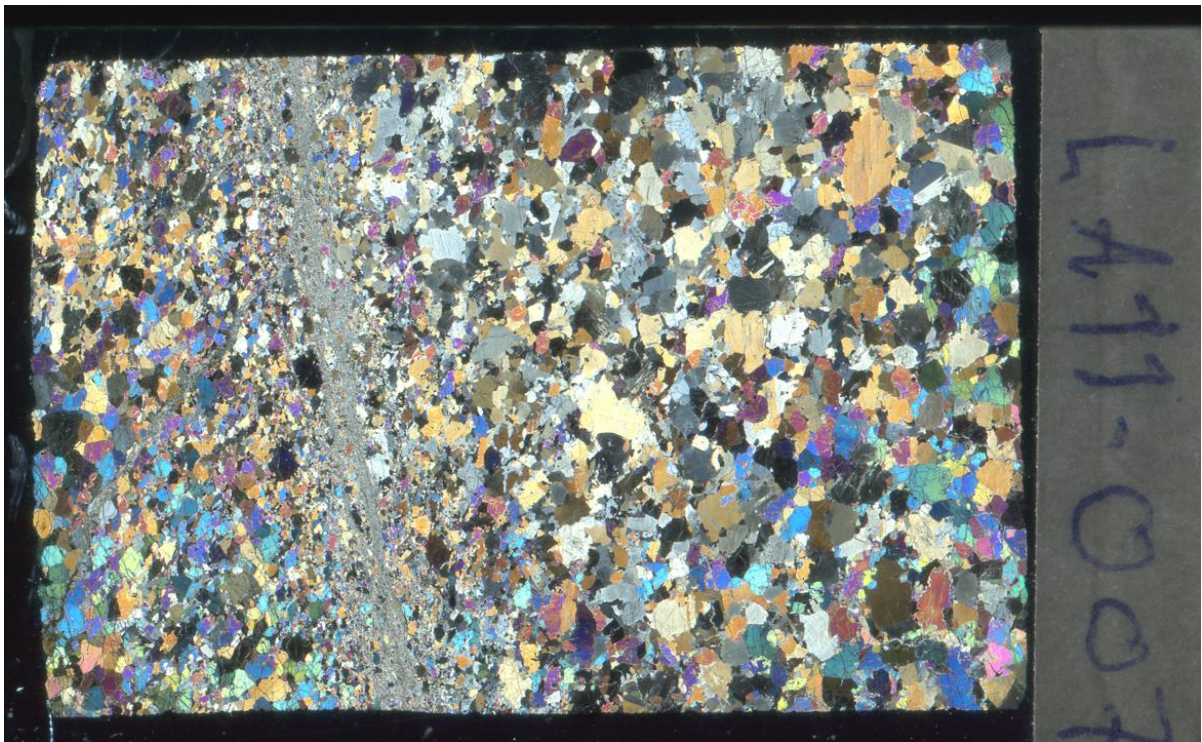
LA11006



LA11007

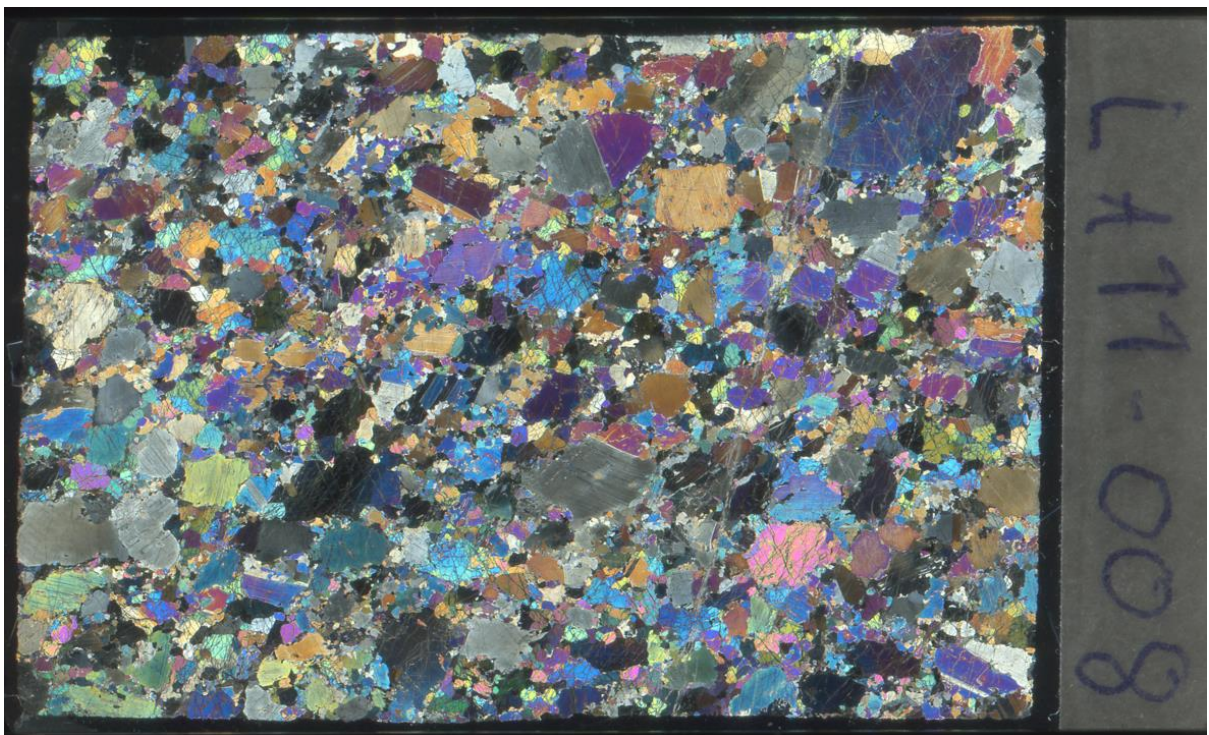


LA11-007

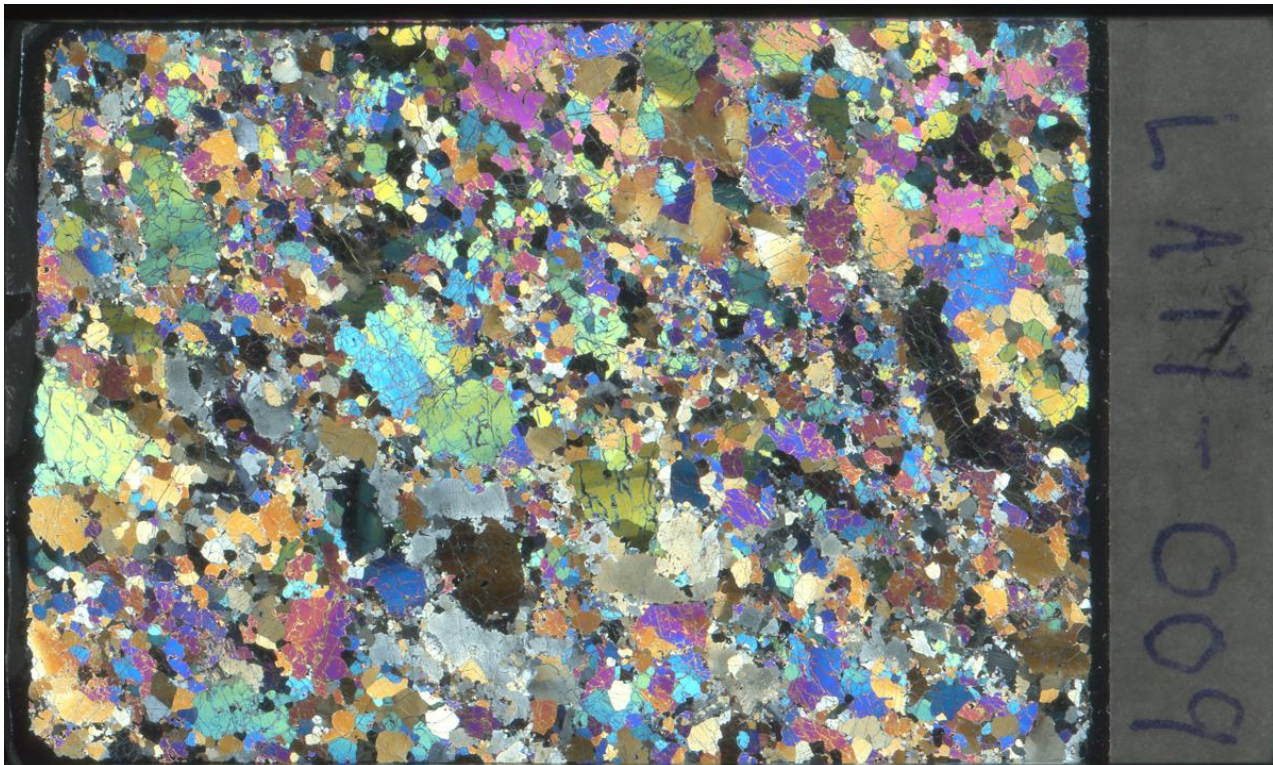


LA11-007

LA11008



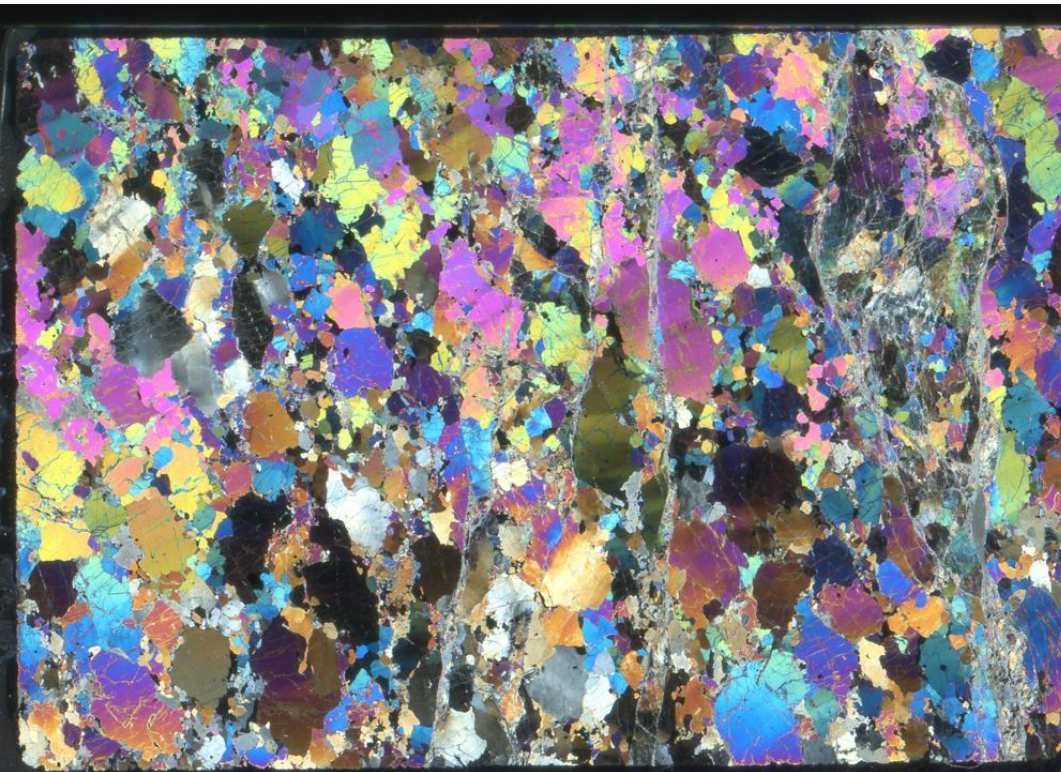
LA11009



LA11010

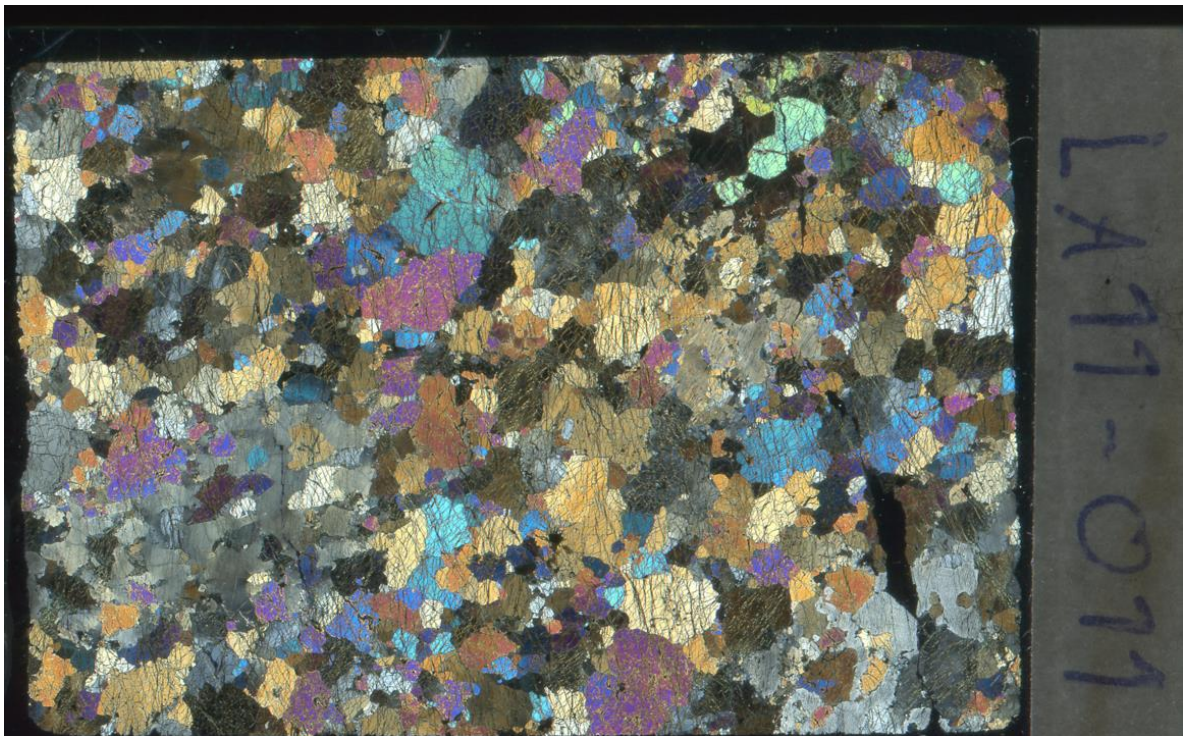


LA11-010

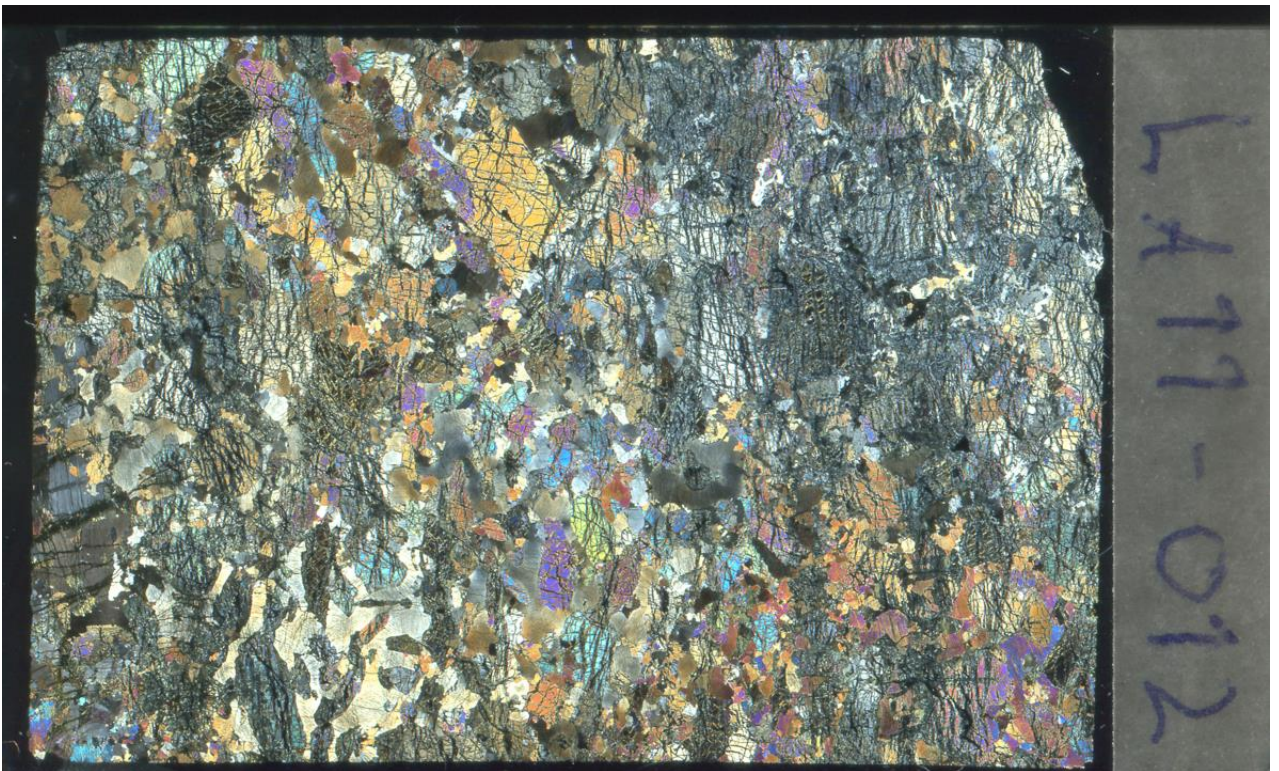


LA11-010

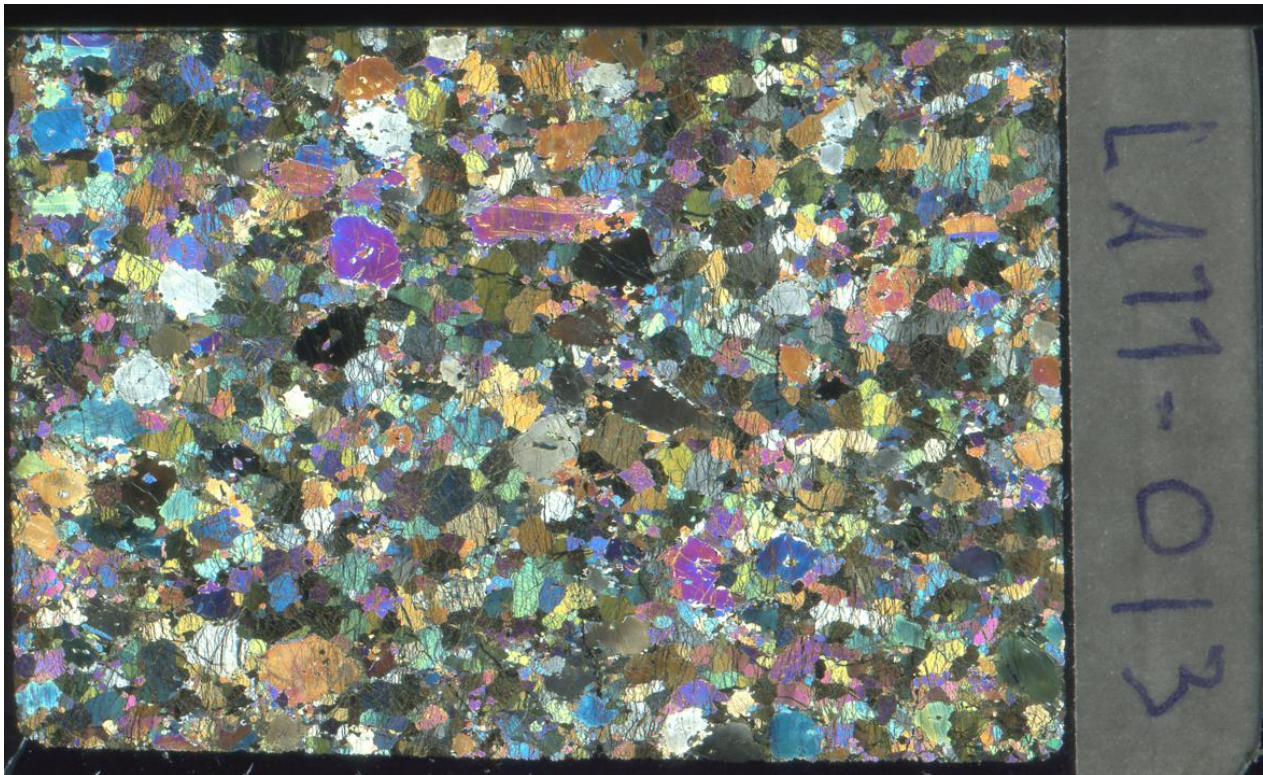
LA11011



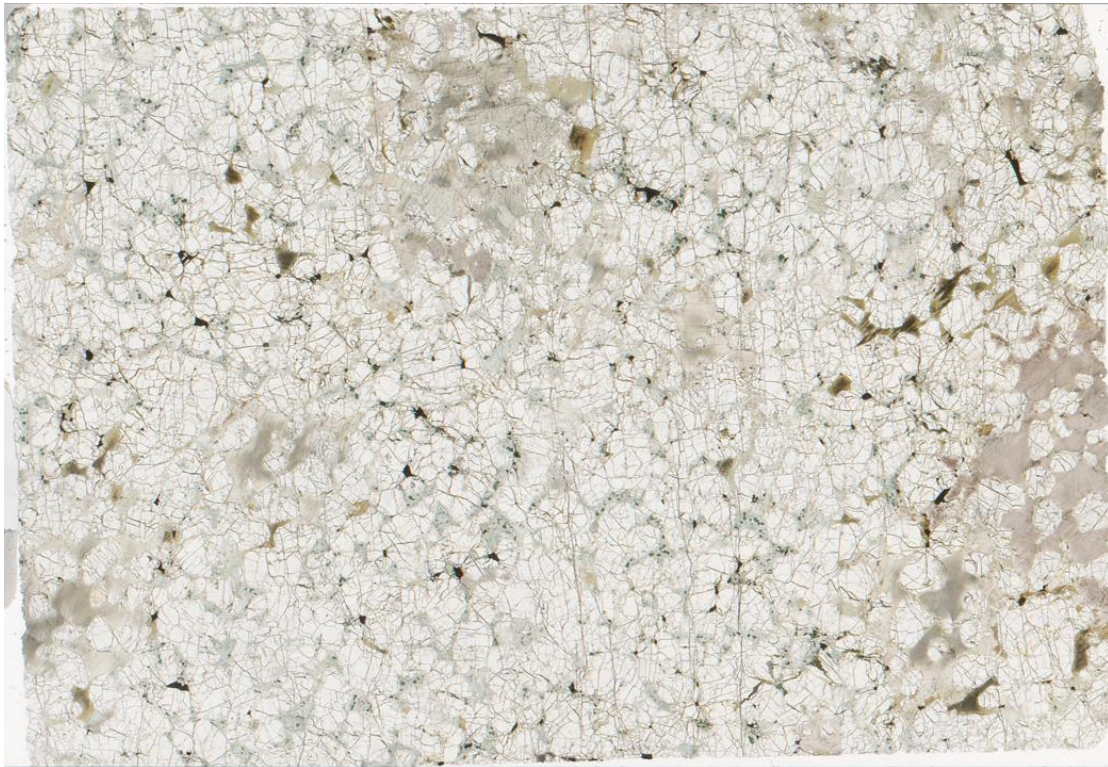
LA11012



LA11013



LA11014



LA11-014



LA11-014

LA11015



LA 11-015

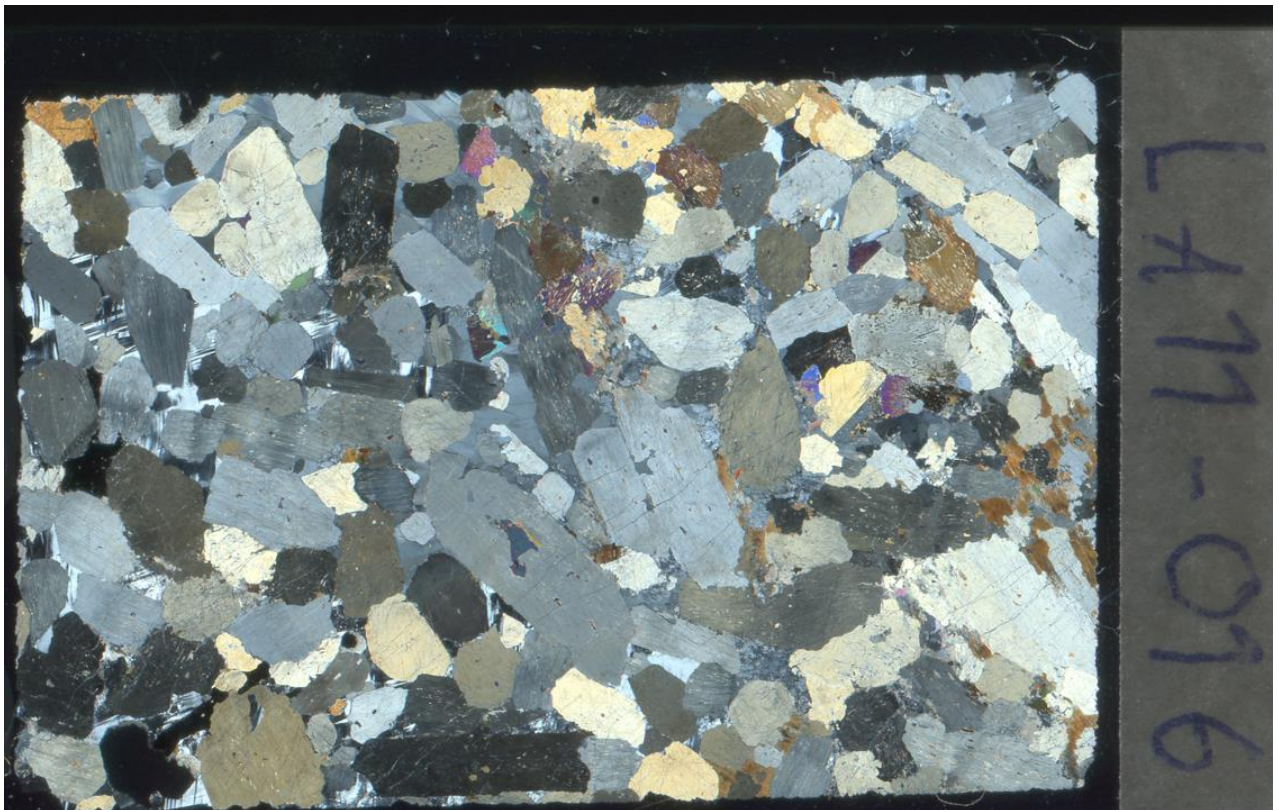


LA 11-015

LA11016

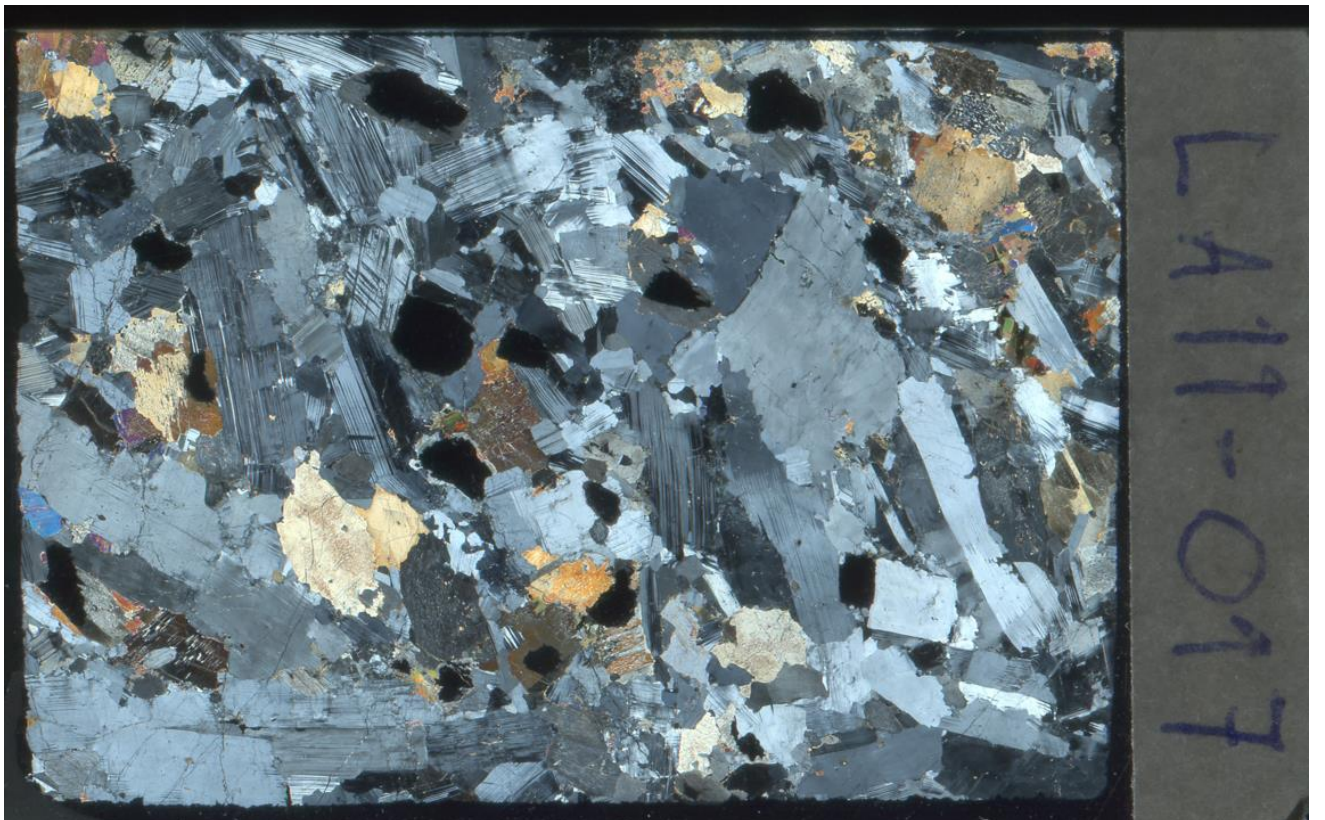
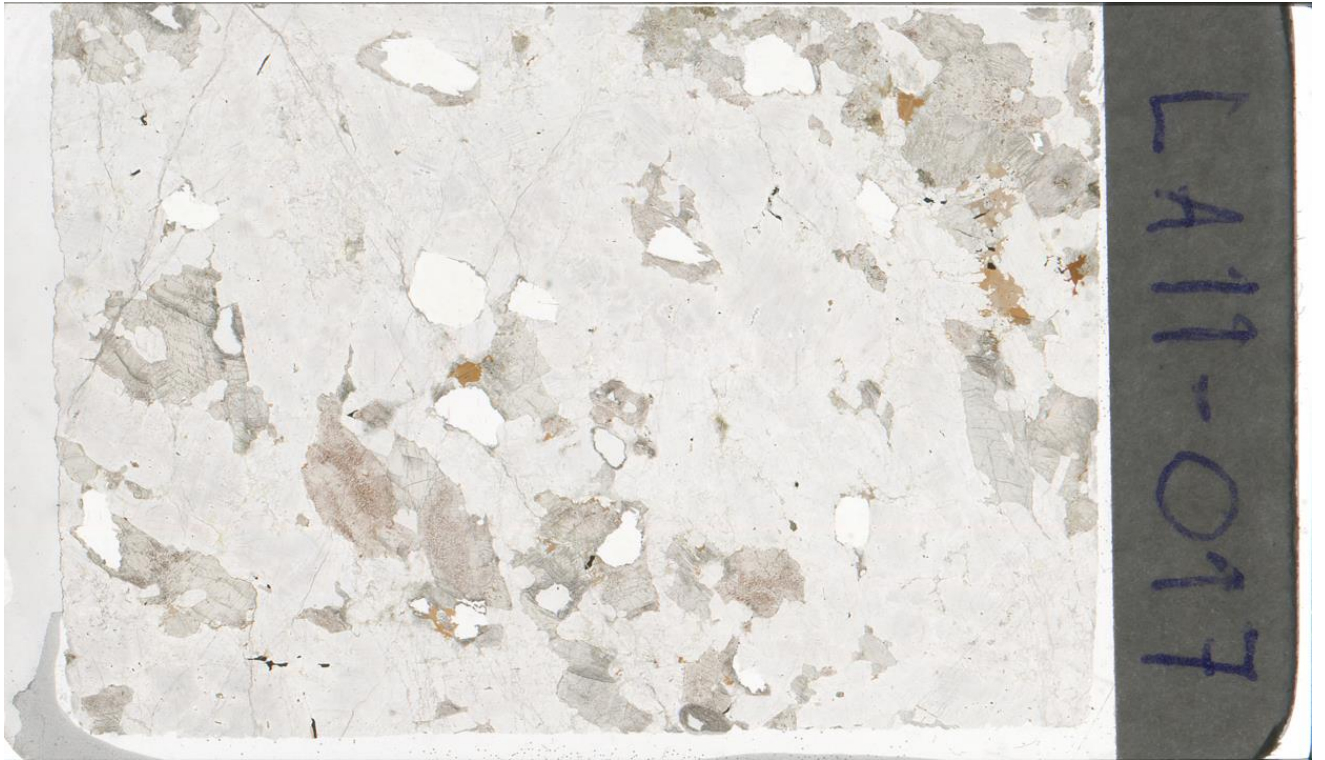


LA11-016

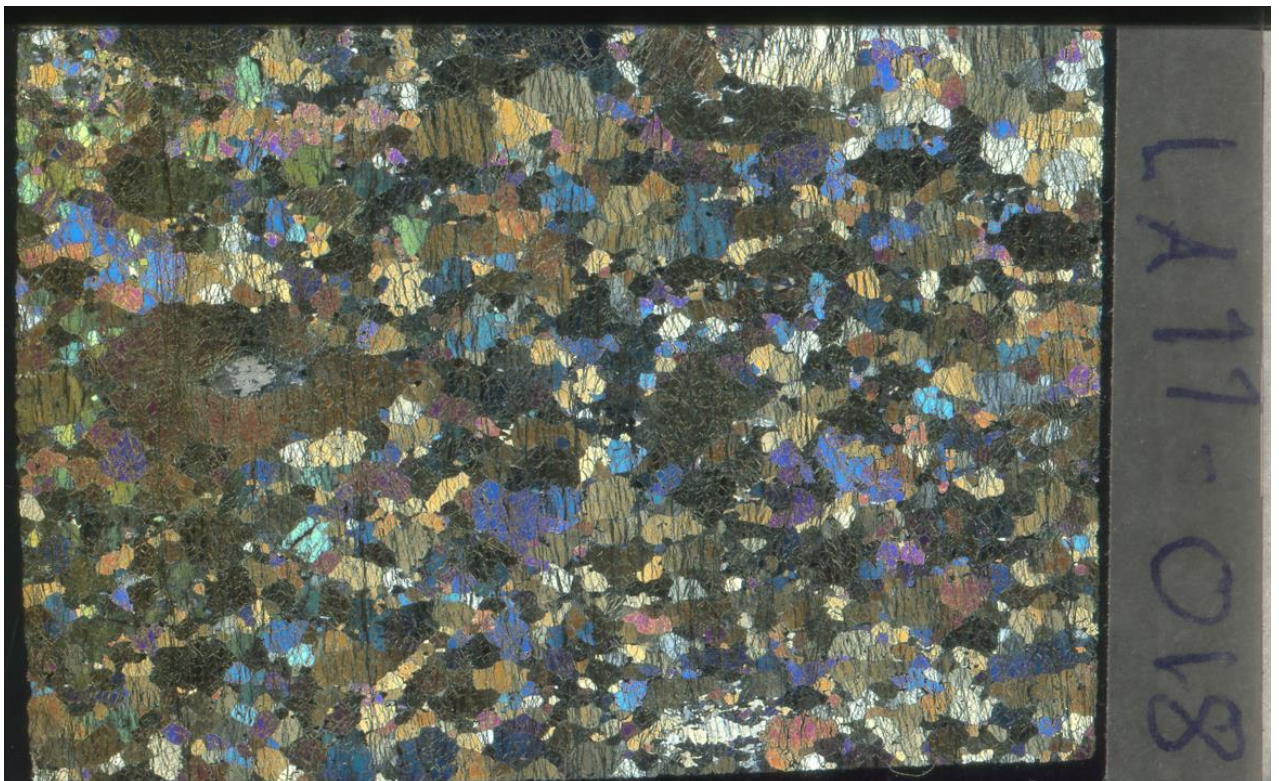


LA11-016

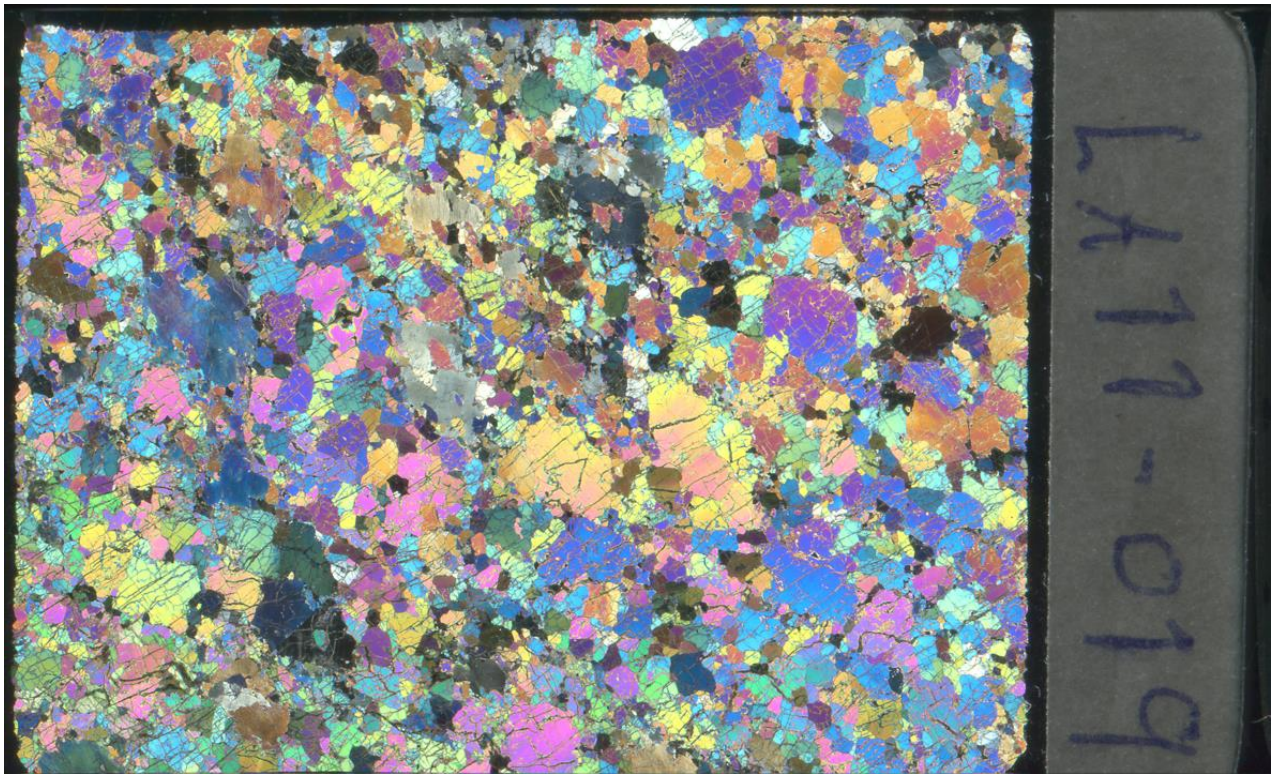
LA11017



LA11018



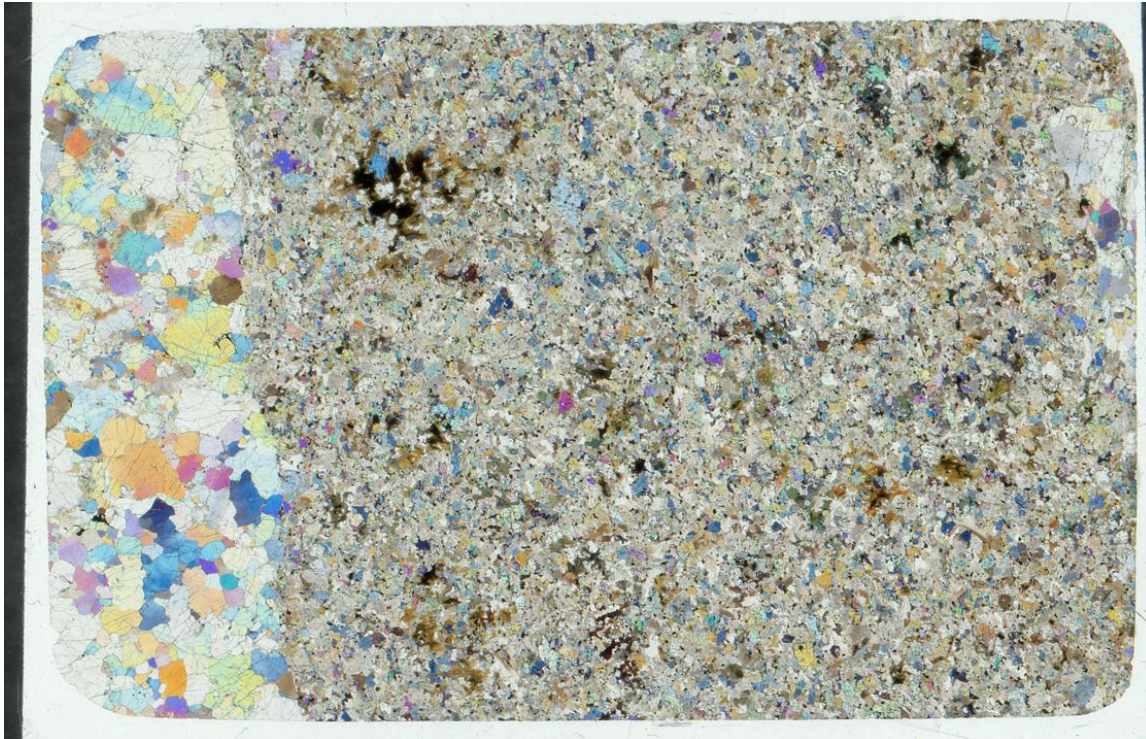
LA11019



LA12001

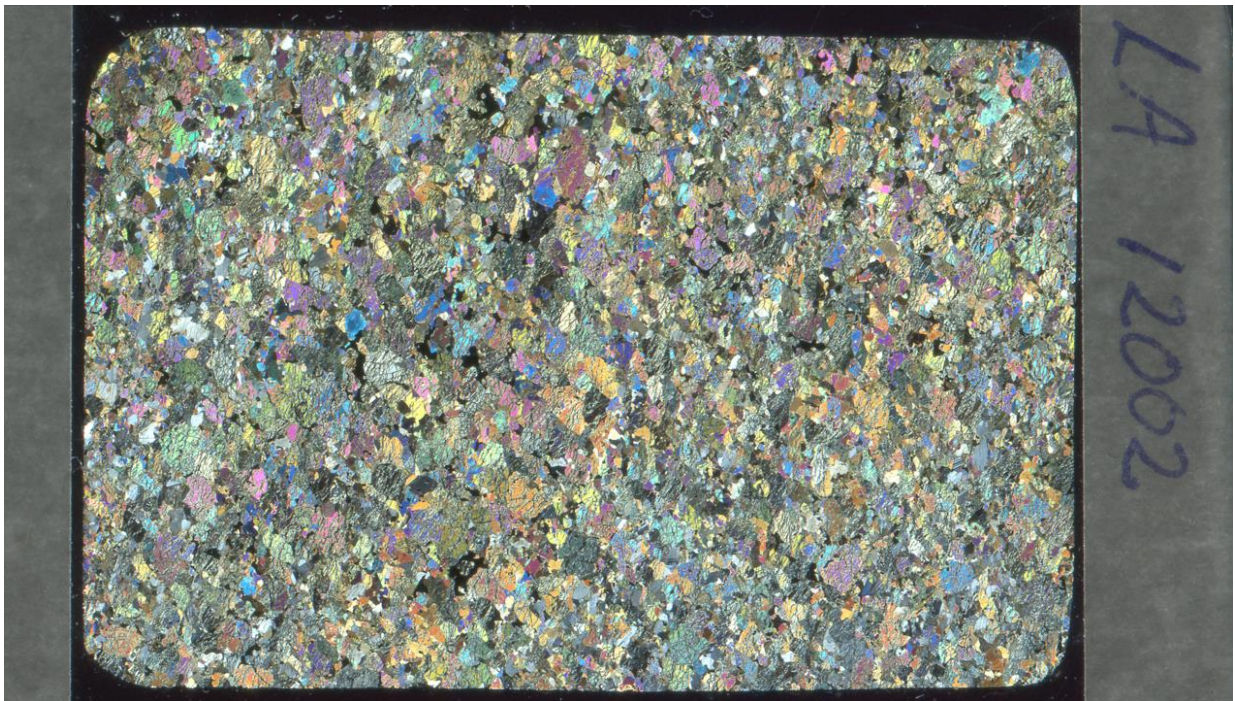


LA 12001

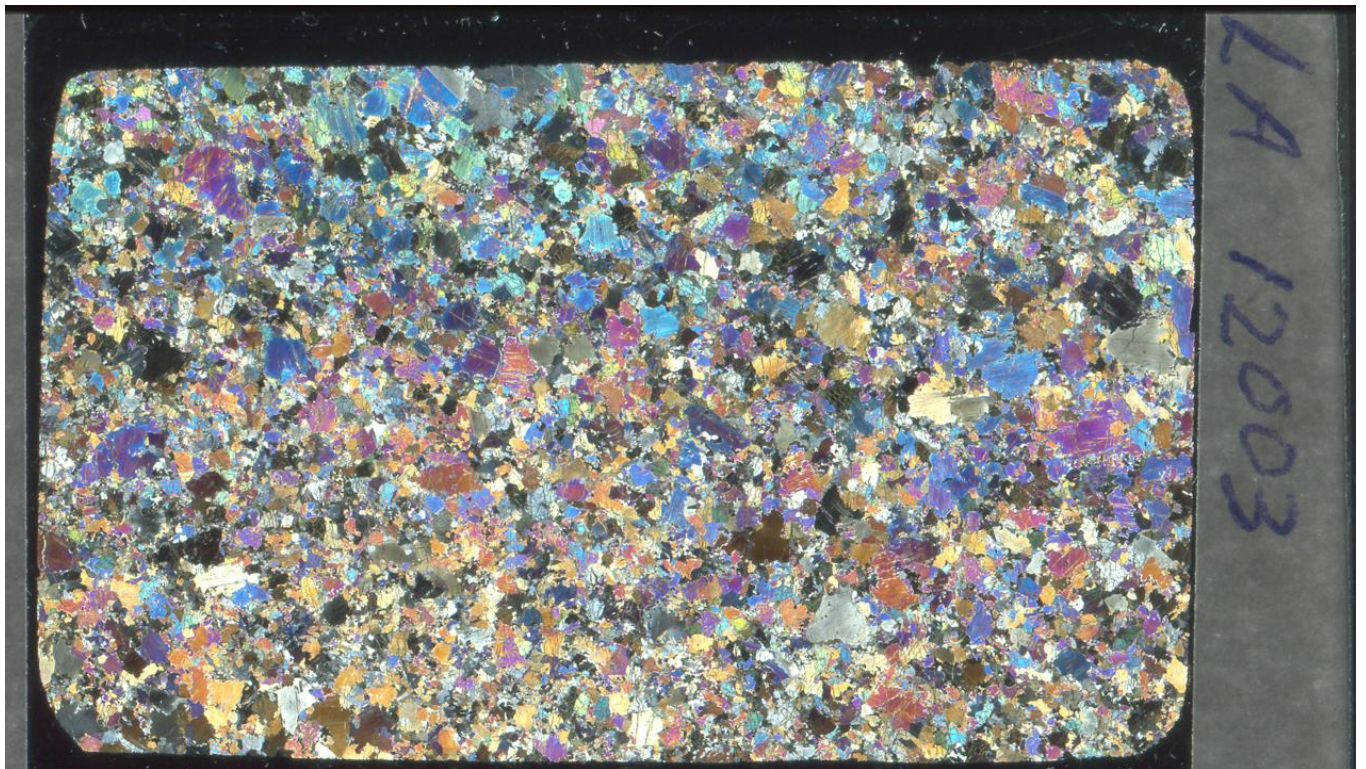


LA 12001

LA12002



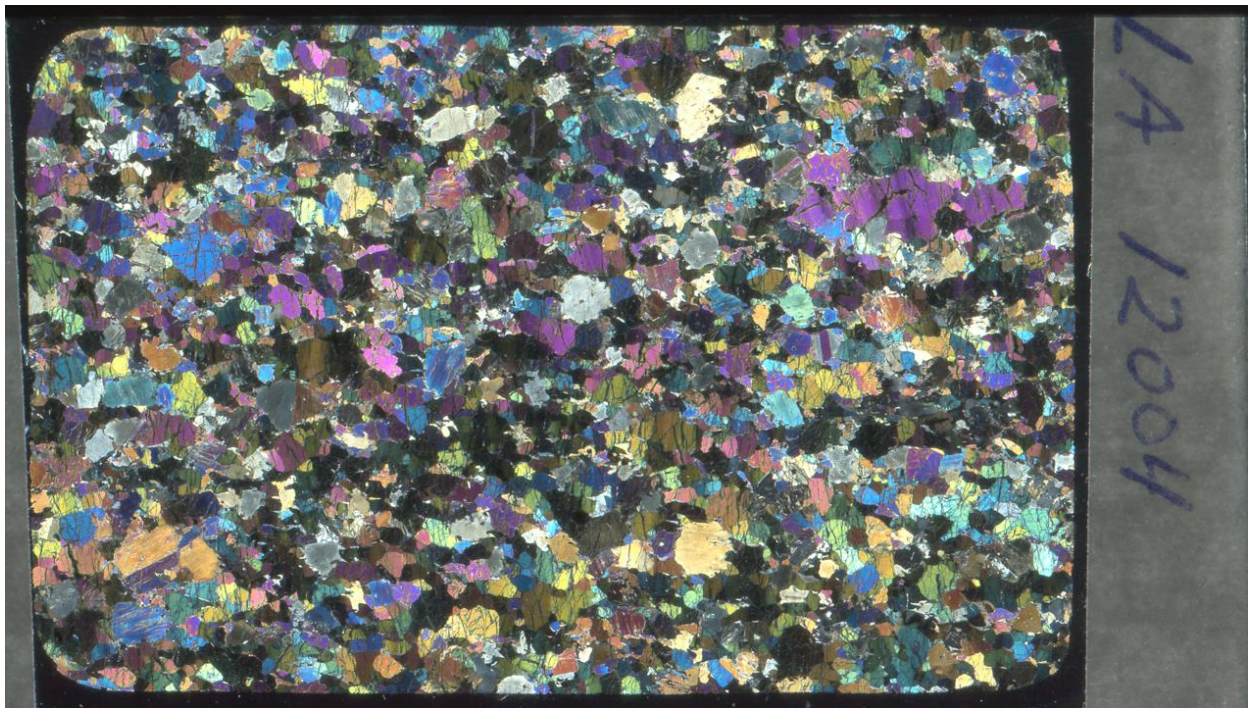
LA12003



LA12004



LA 12004

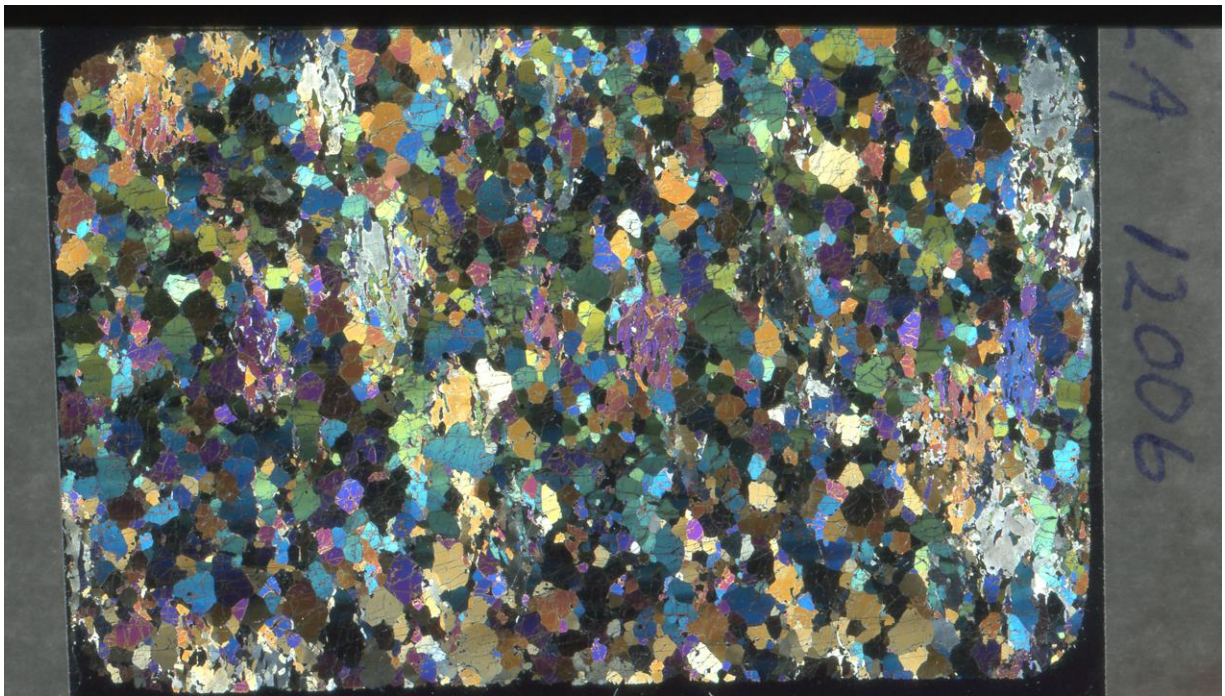


LA 12004

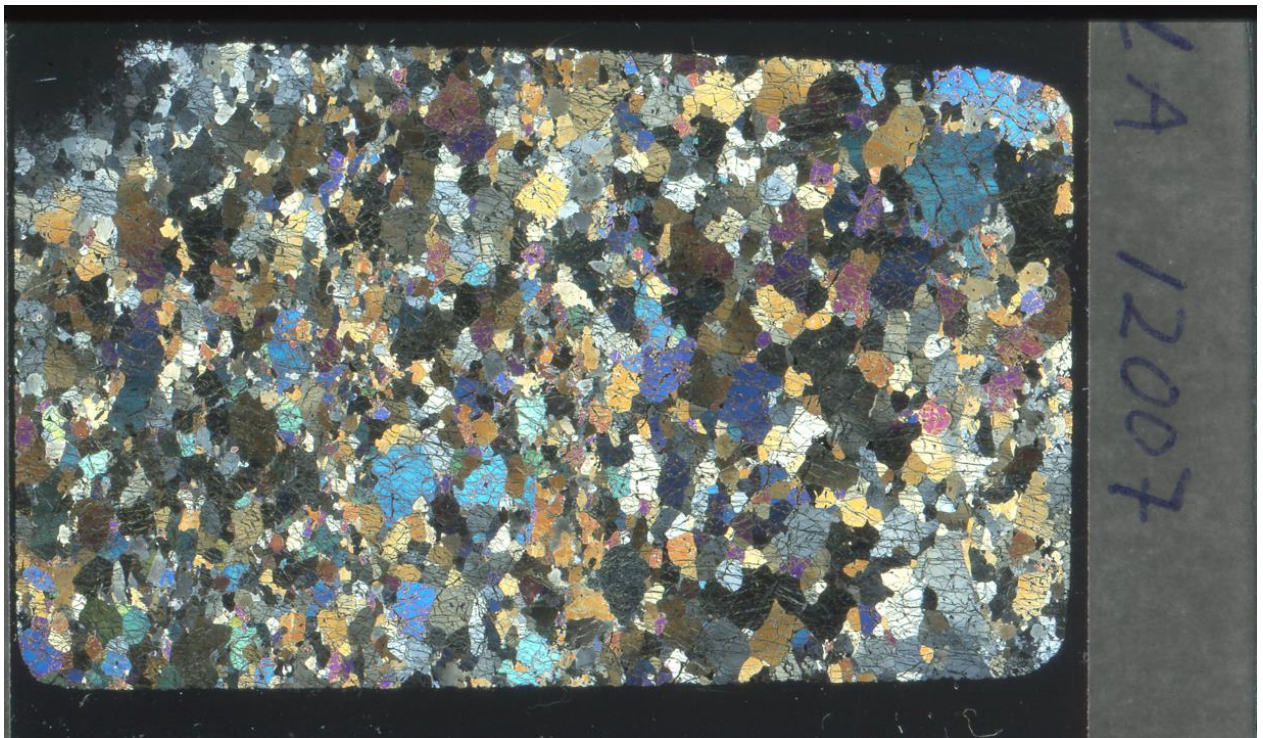
LA12005



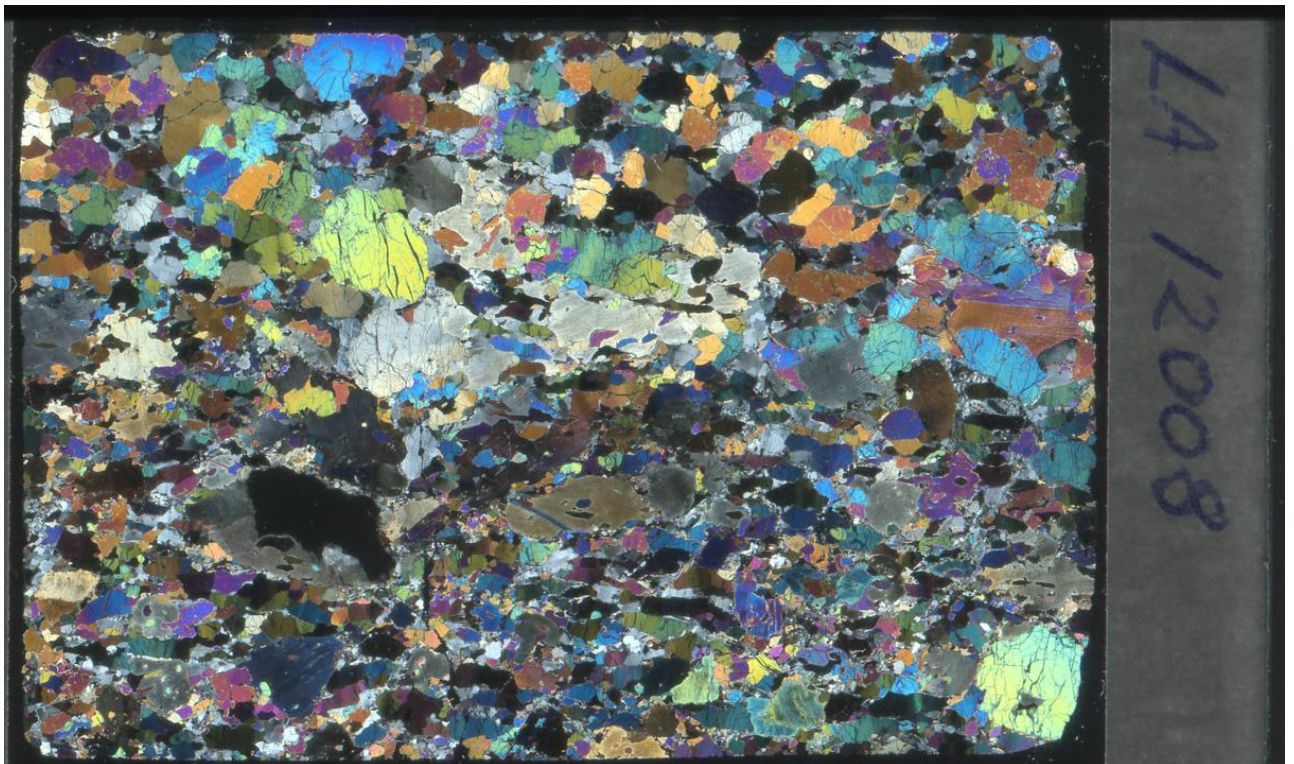
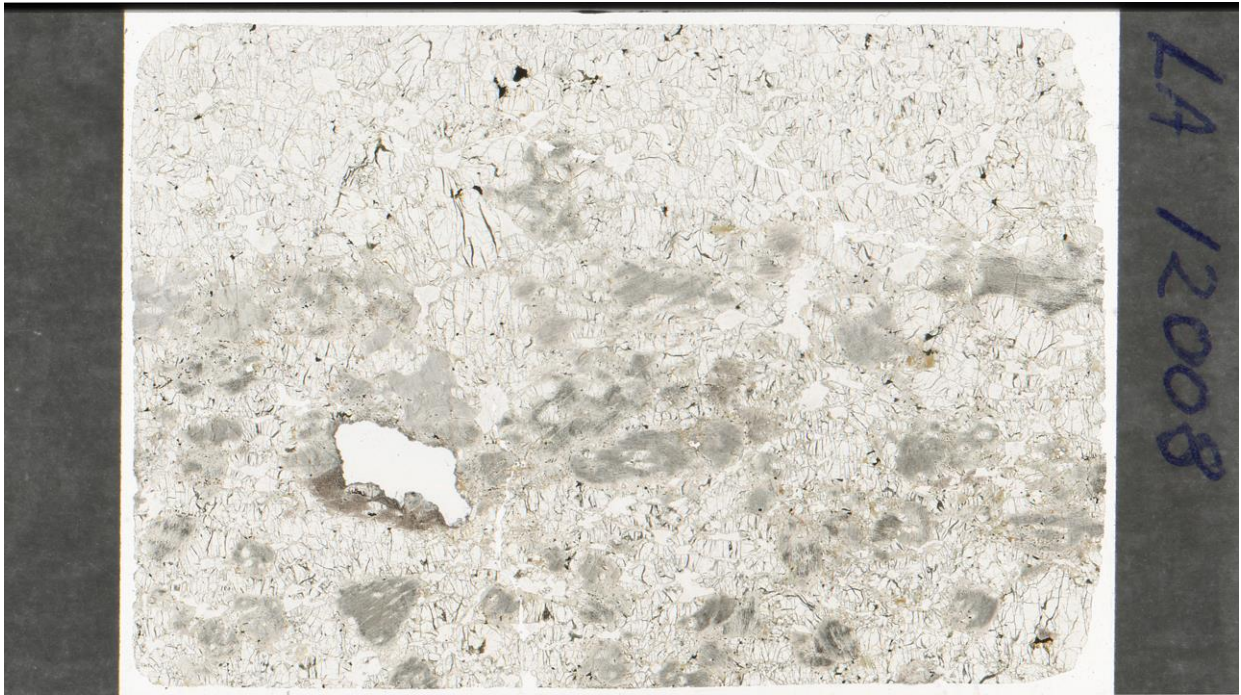
LA12006



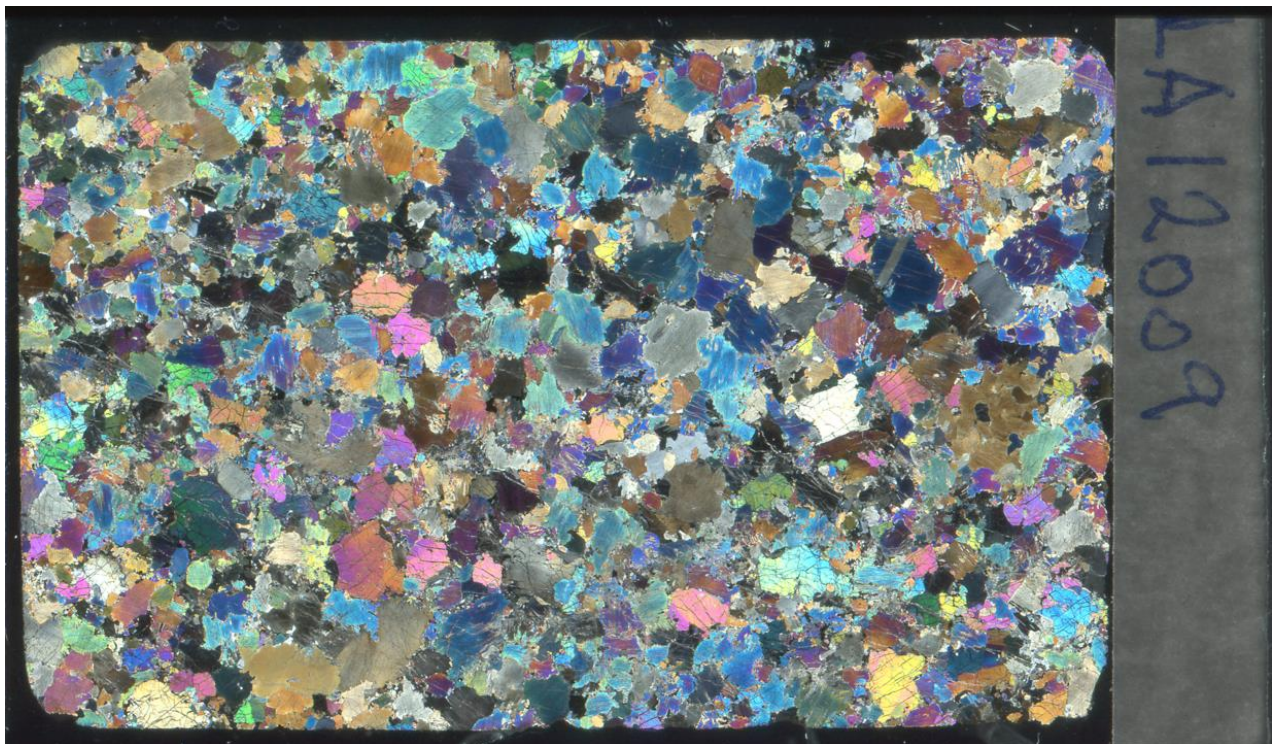
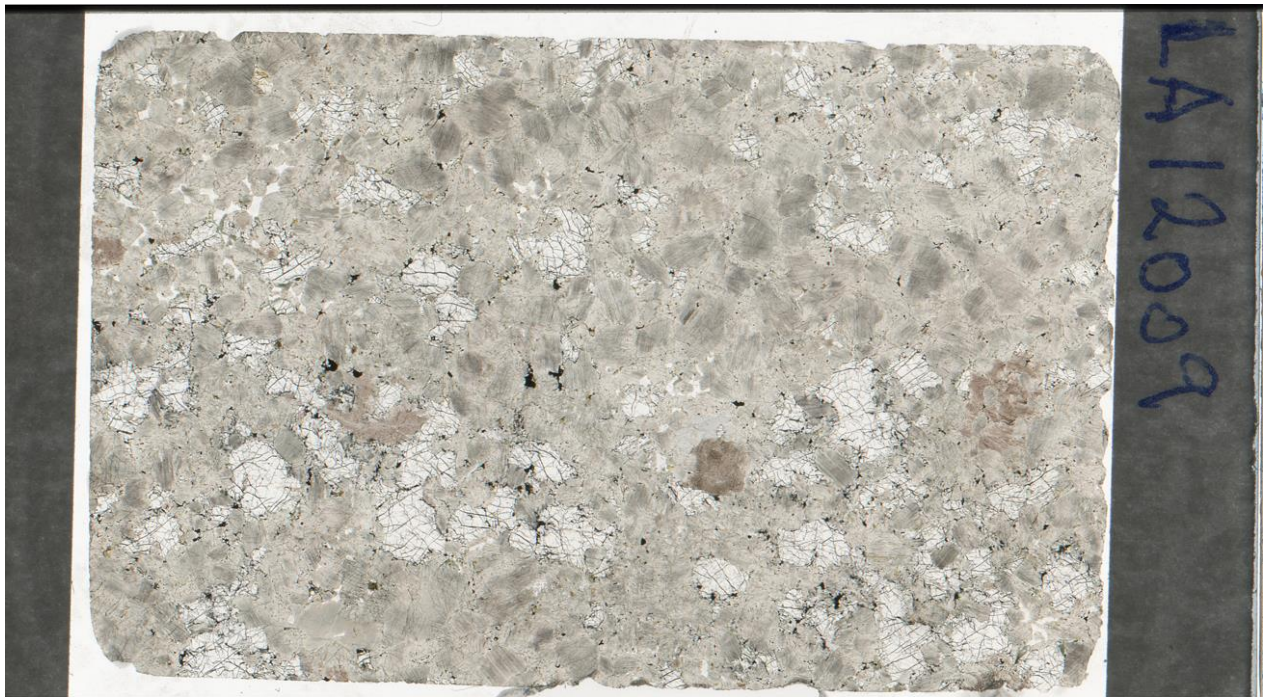
LA12007



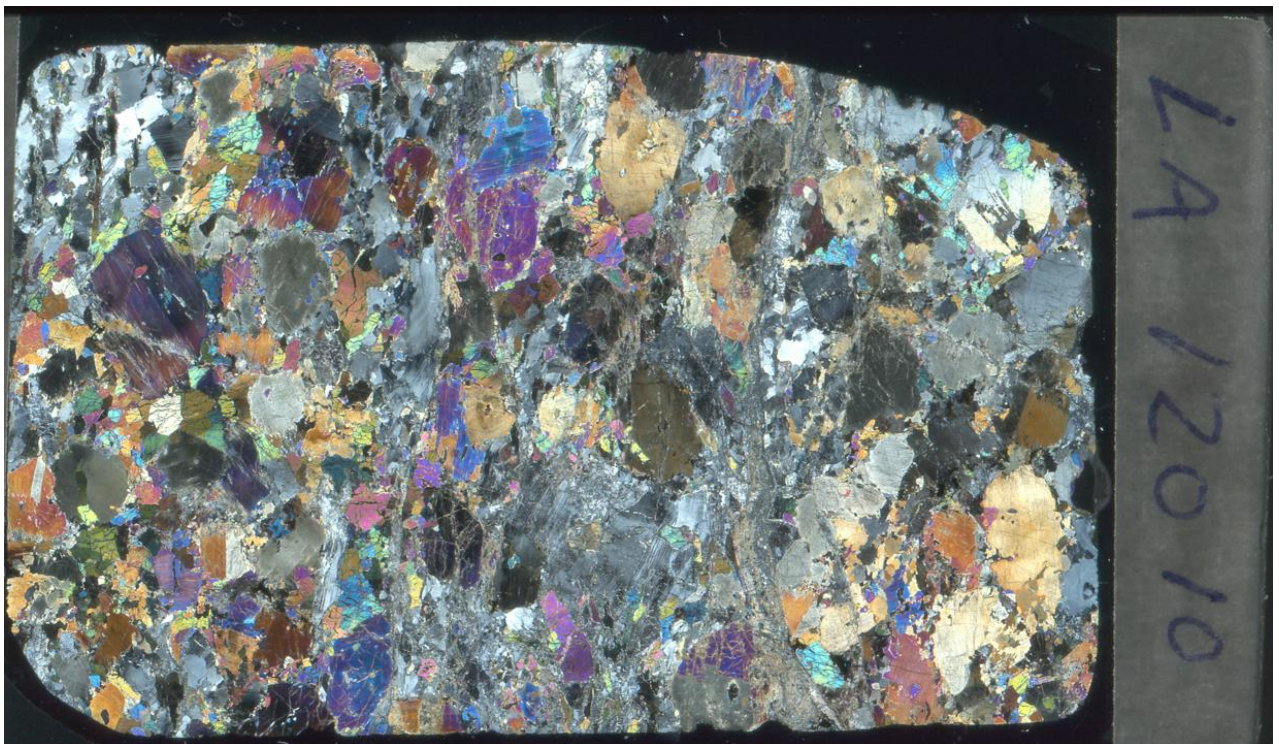
LA12008



LA12009



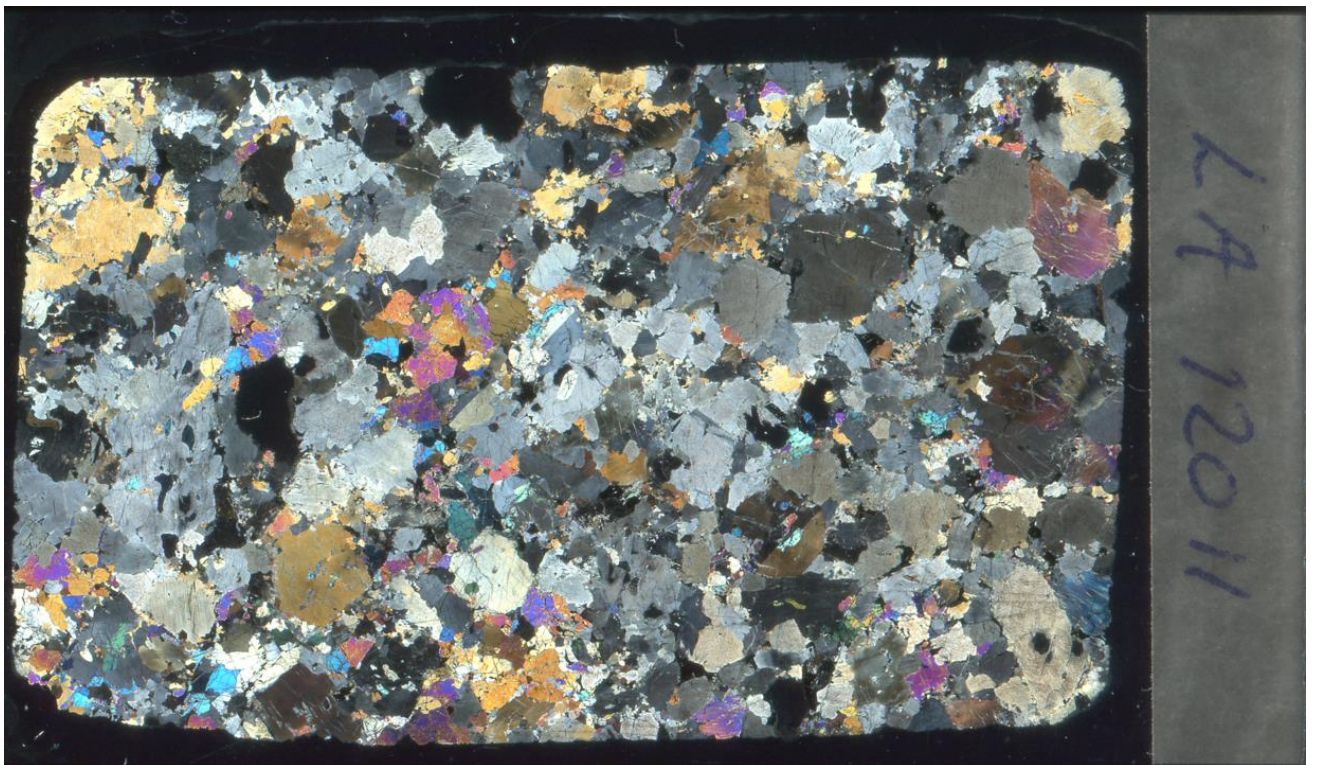
LA12010



LA12011

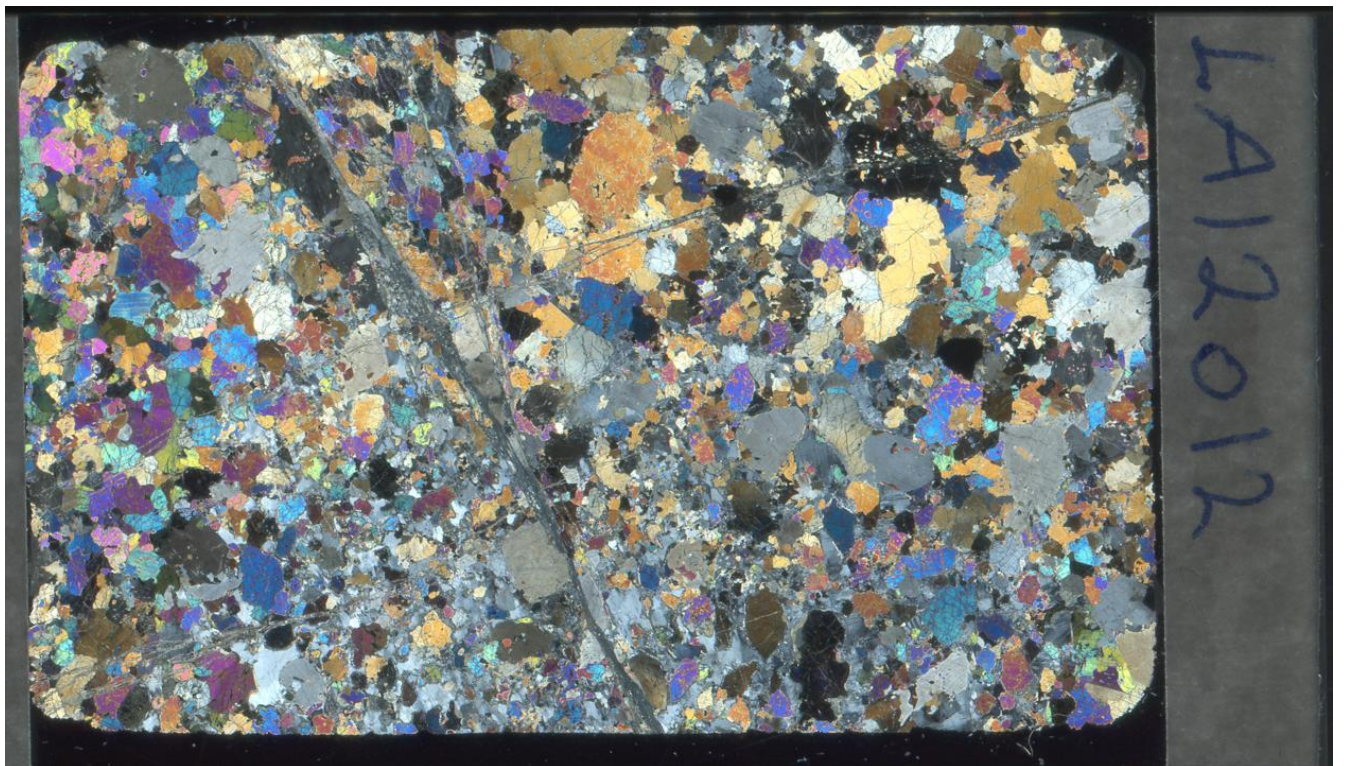


LA 12011

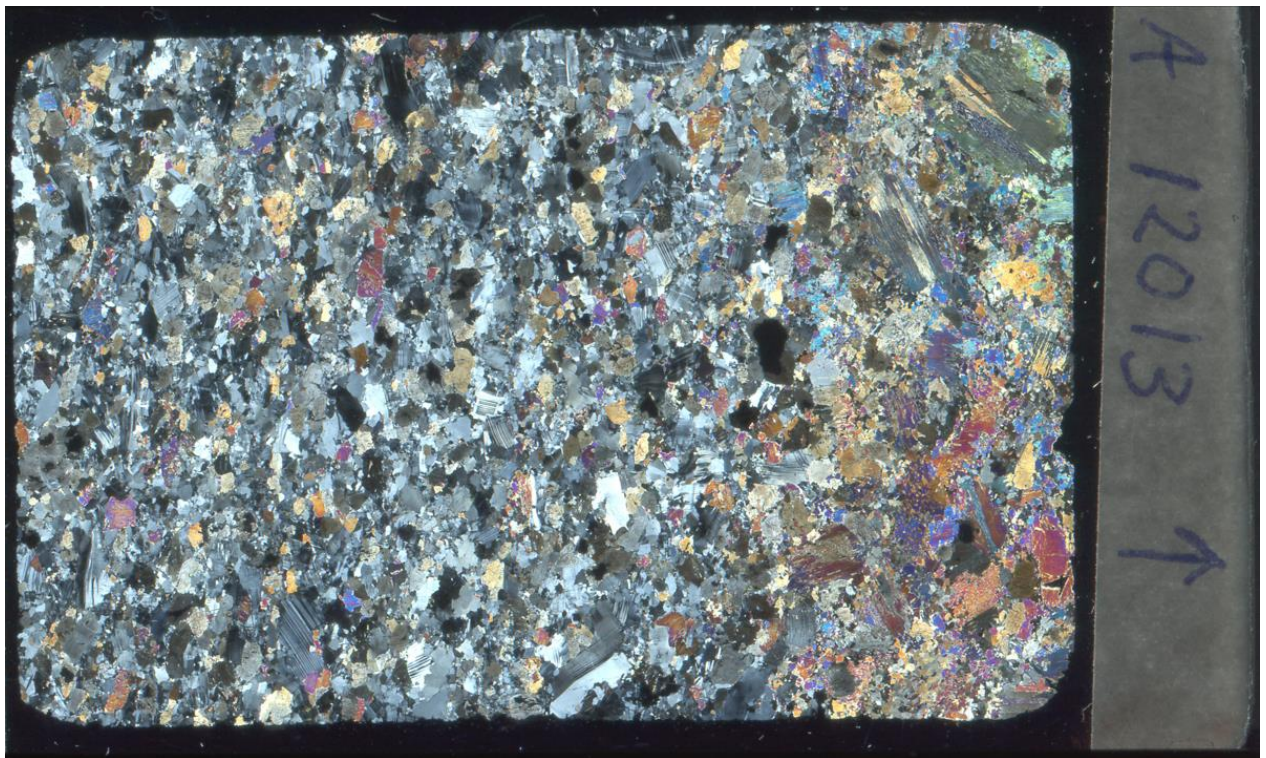


LA 12011

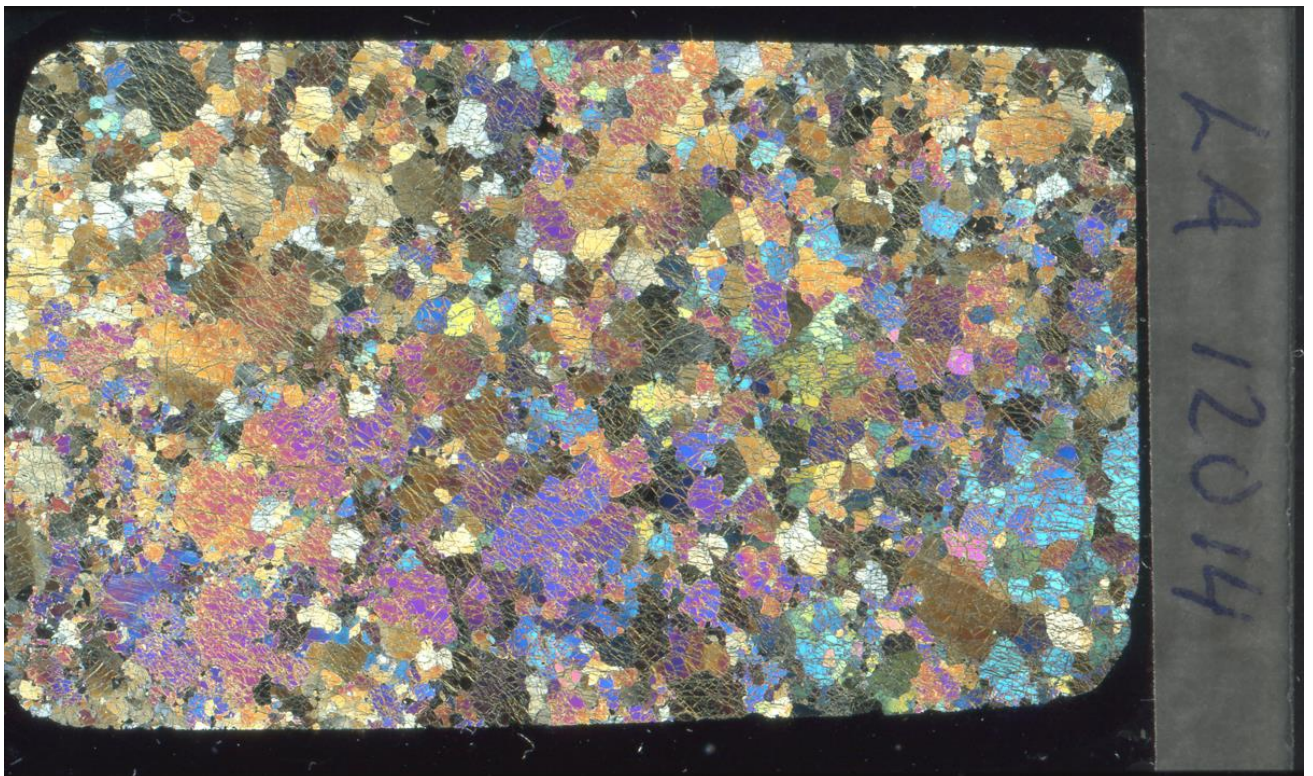
LA12012



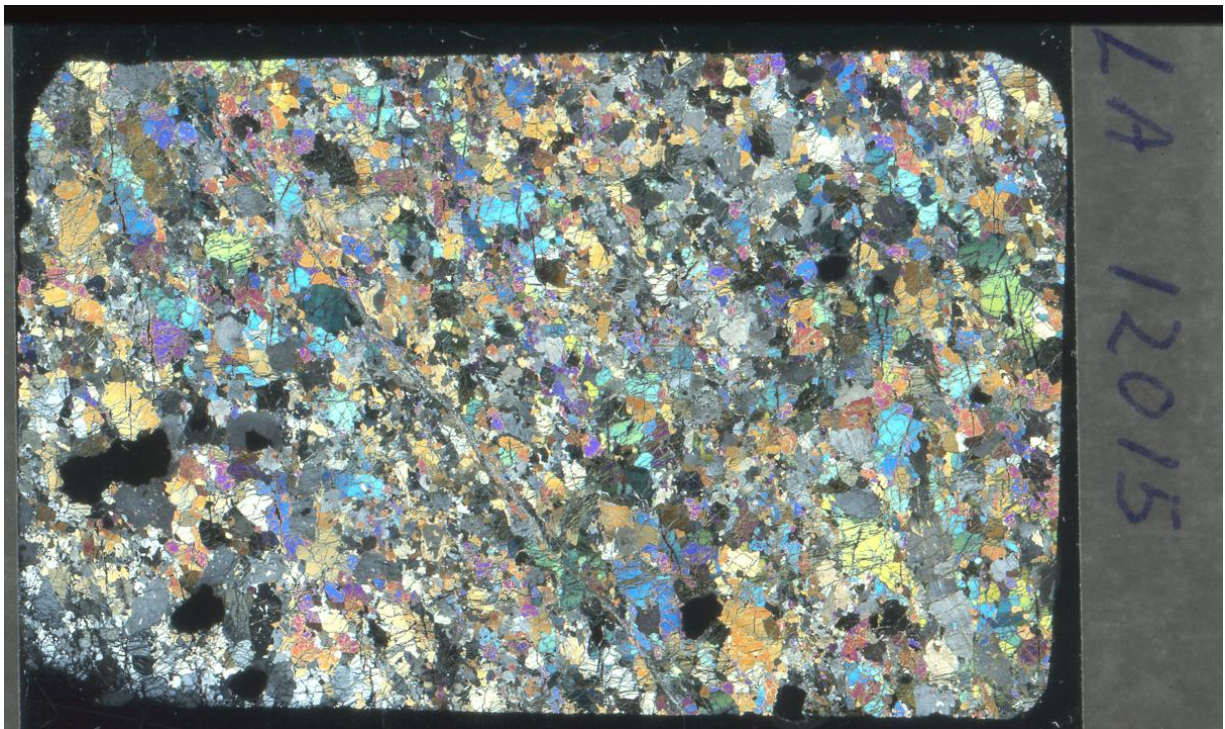
LA12013



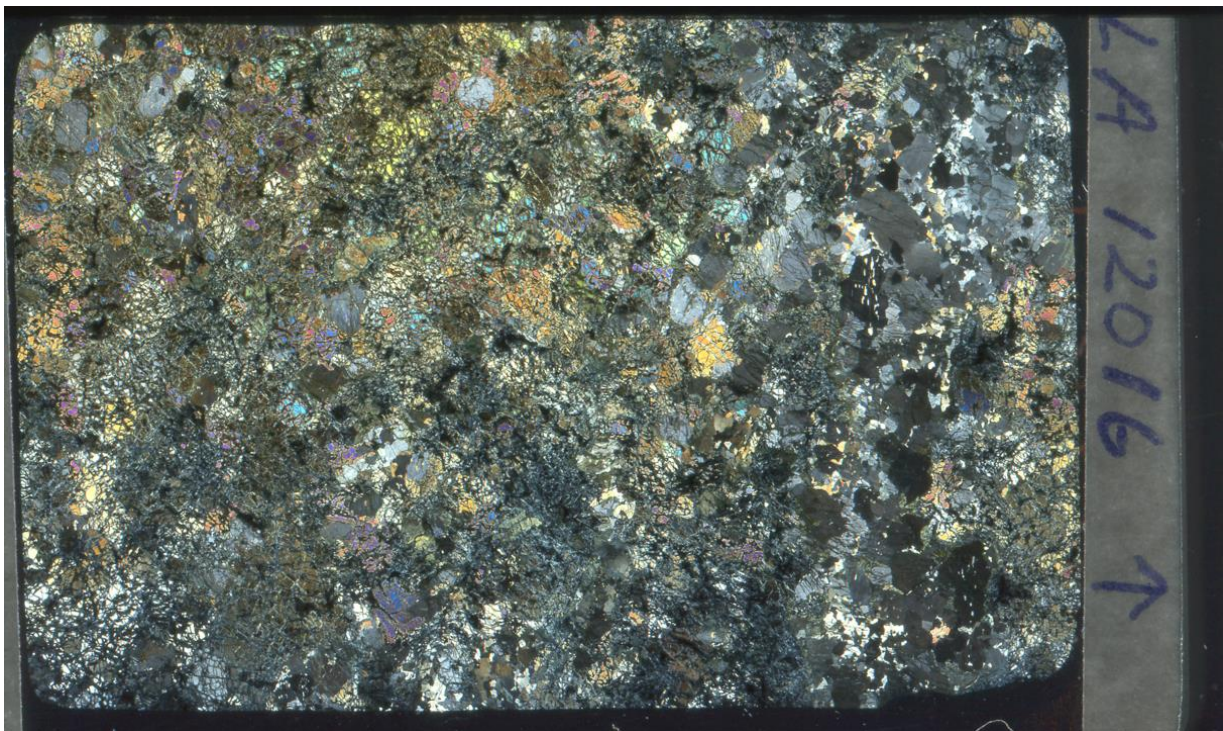
LA12014



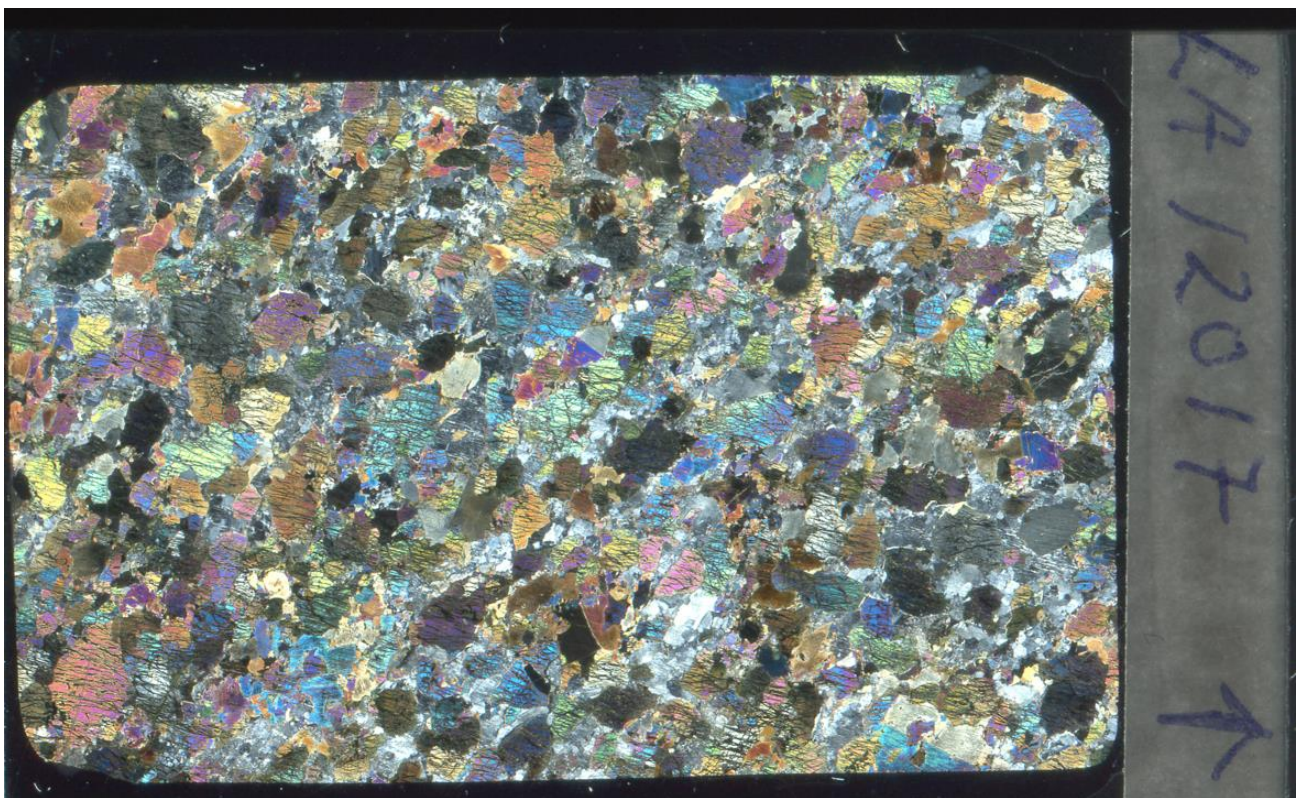
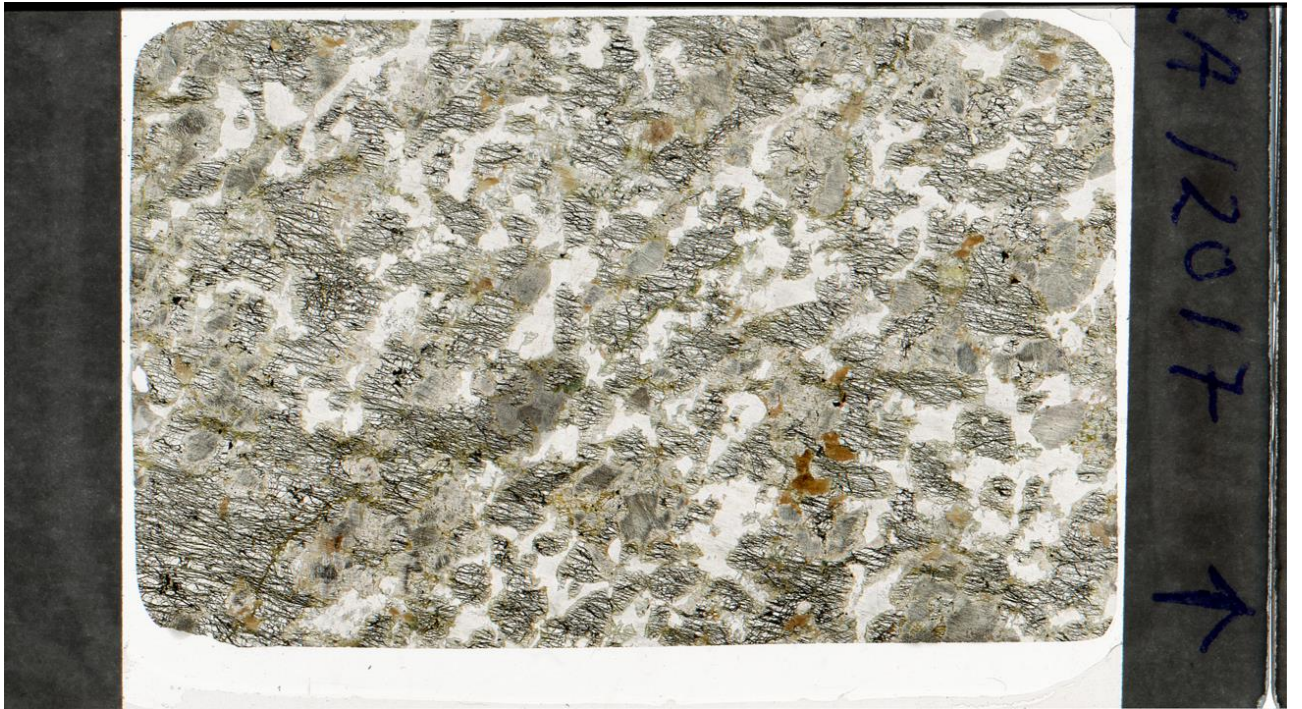
LA12015



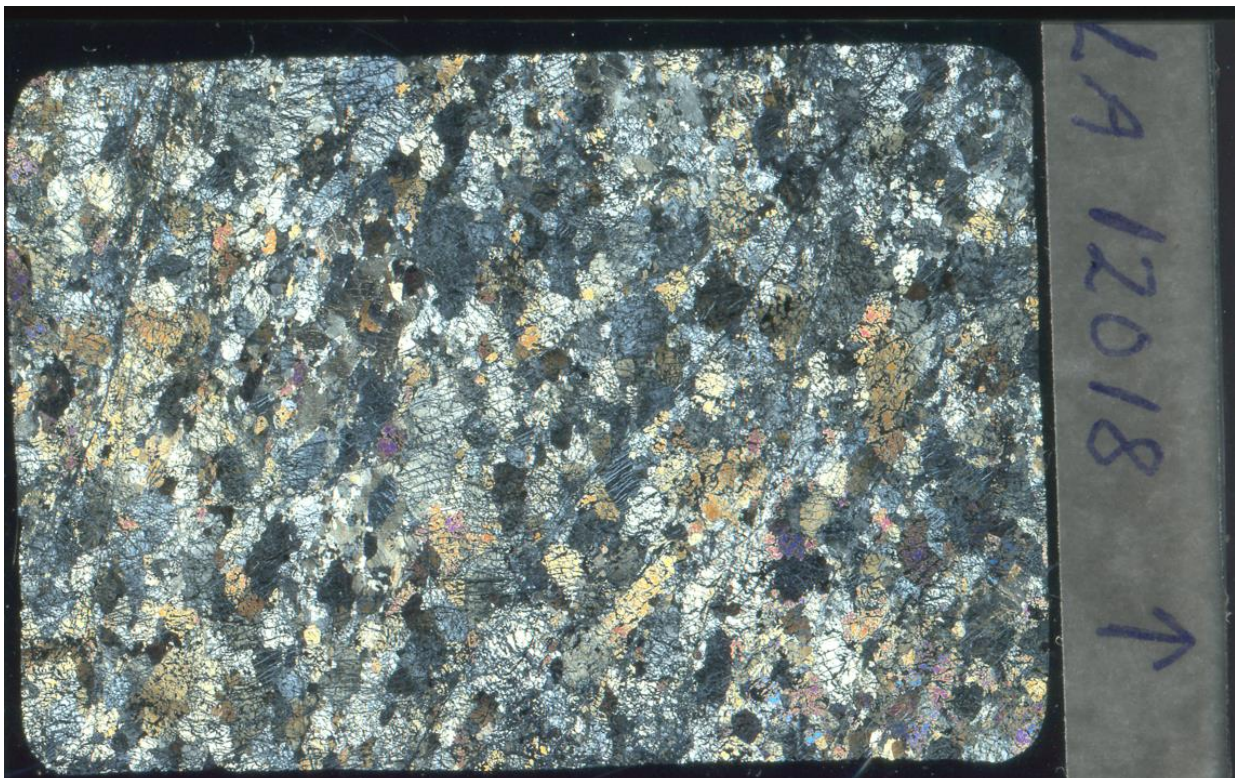
LA12016



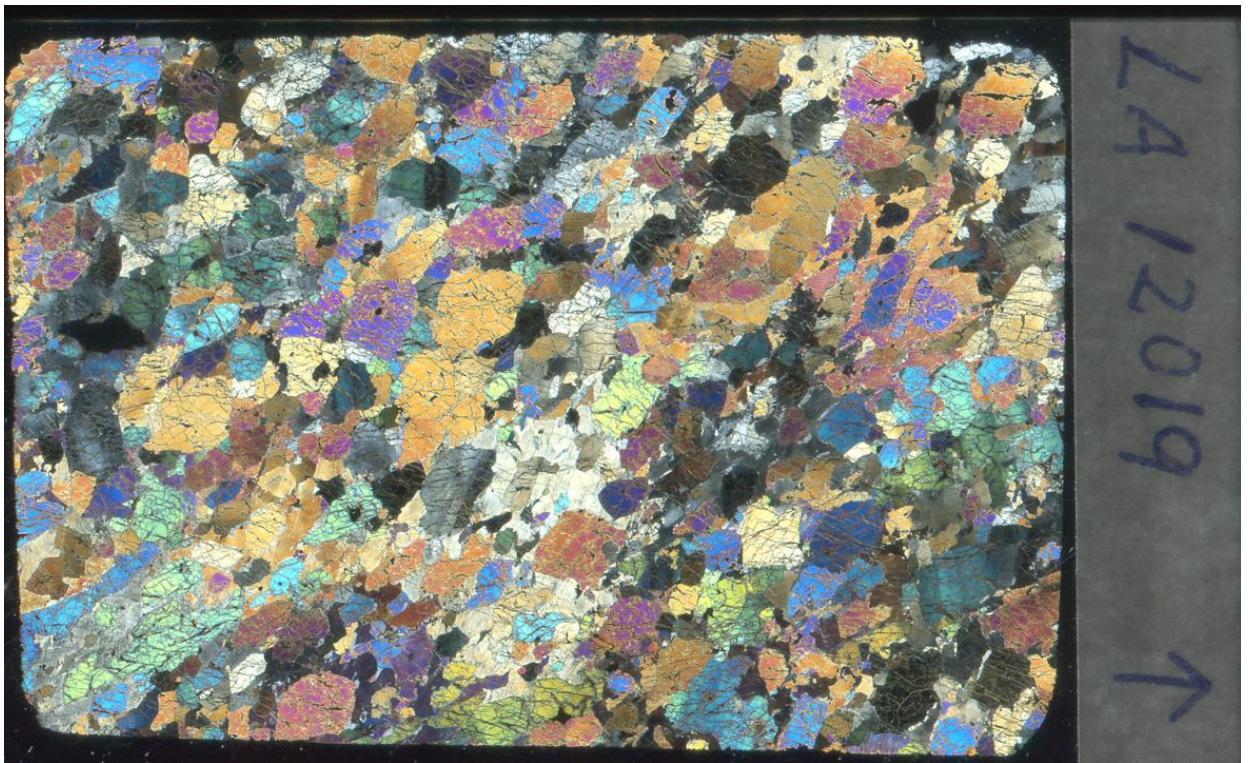
LA12017



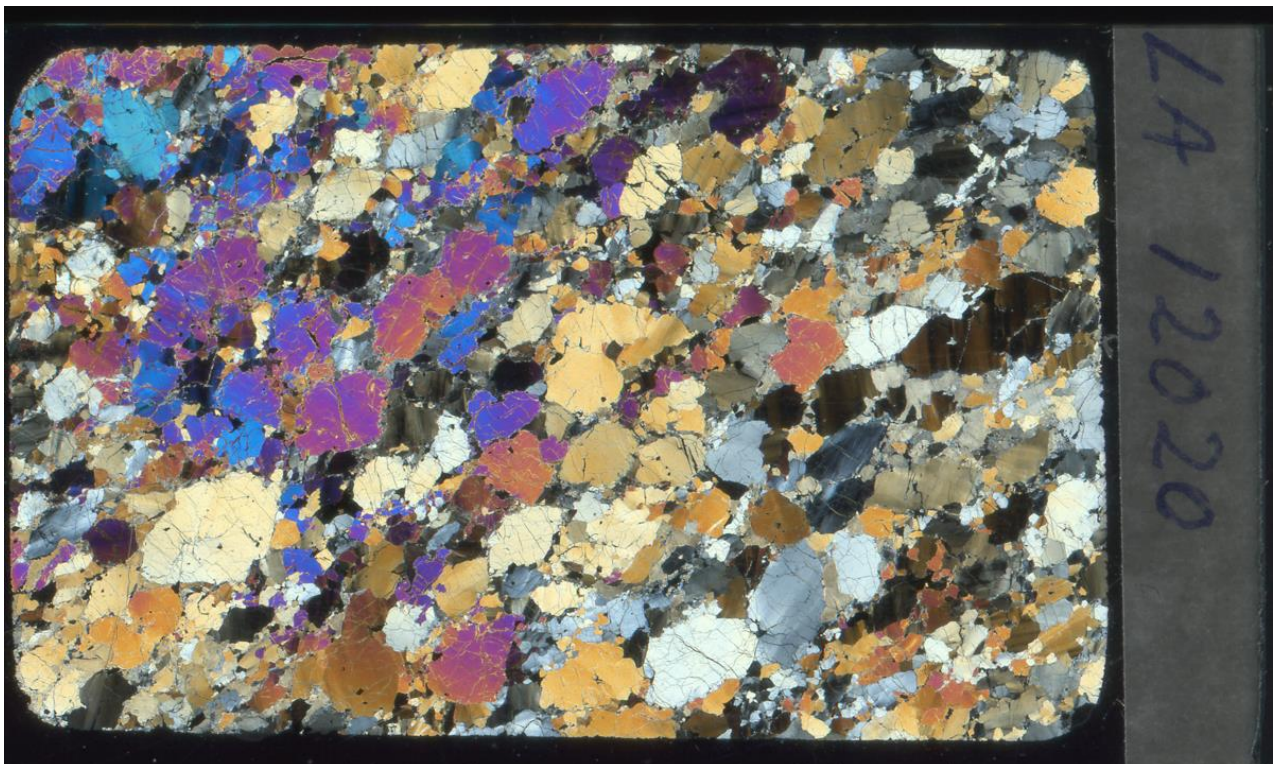
LA12018



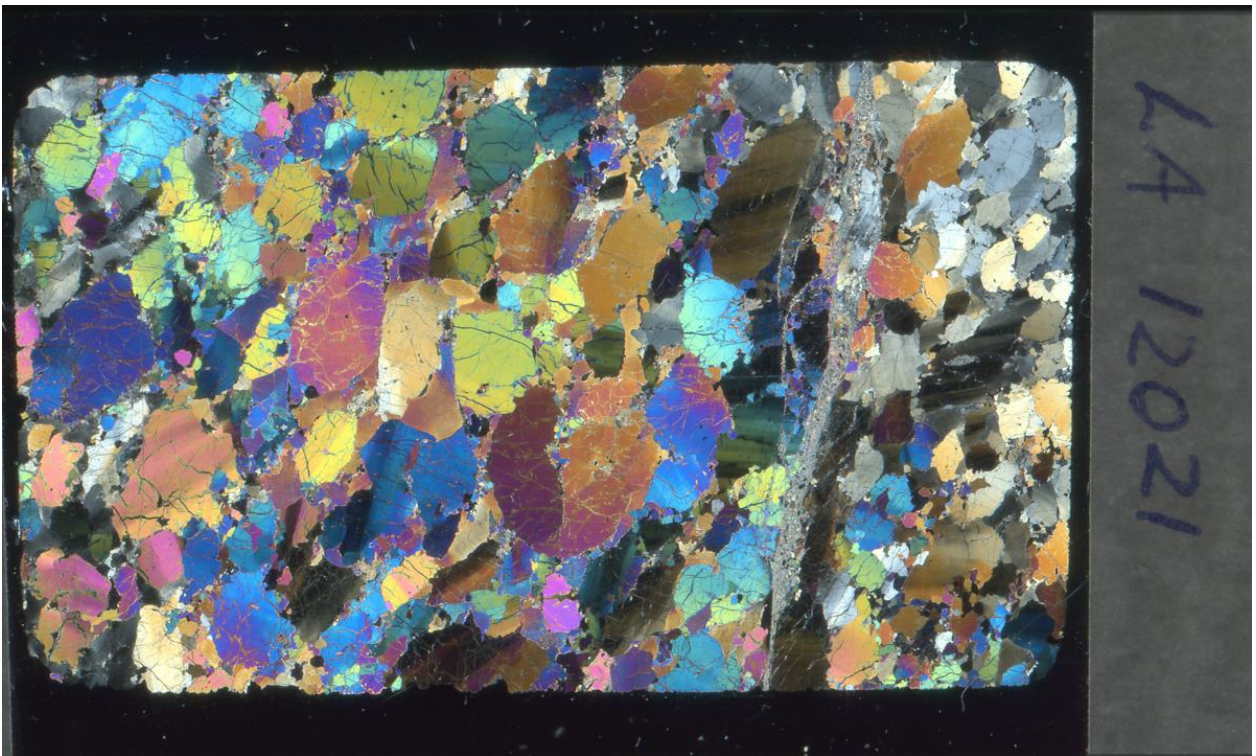
LA12019



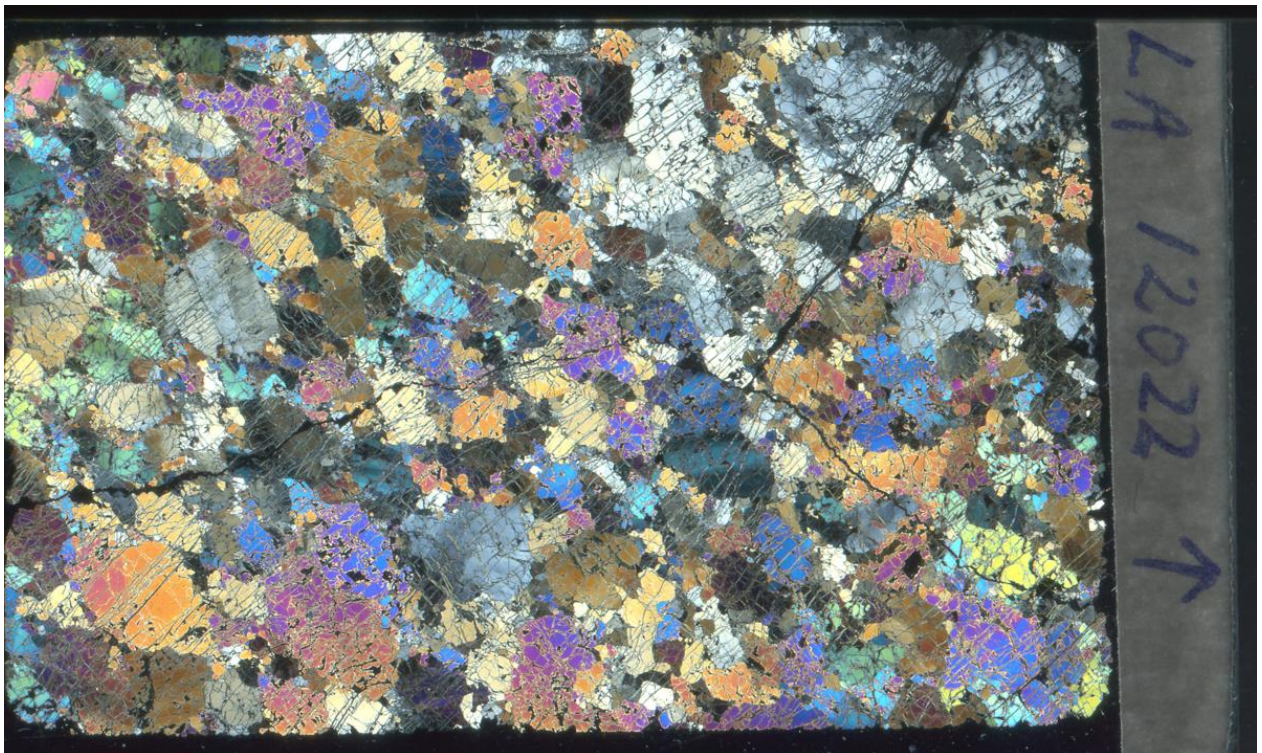
LA12020



LA12021



LA12022



Vedlegg G: Analysebetingelser – EPMA

For olivin:

Common informations :

File Name : Ni_Olivine.qtiSet

File Date : Jan/23/13-9:22 AM

Comment :

Column conditions :

Cond 1 :

HV (kV) : 15 I (nA) : 30

Size (μm) : 0.

Scanning : On

RasterLength (μm) : 1.00

Xtal informations :

Xtal parameters:

Ca Ka 1 Sp1 PET (2d= 8.75 K= 0.000144)

Mg Ka 1 Sp2 LTAP (2d= 25.745 K= 0.00218)

Ni Ka 1	Sp3	LLIF	(2d= 4.0267	K= 0.000058)
Fe Ka 1	Sp3	LLIF	(2d= 4.0267	K= 0.000058)
Mn Ka 1	Sp3	LLIF	(2d= 4.0267	K= 0.000058)
Cr Ka 1	Sp4	LPET	(2d= 8.75	K= 0.000144)
Si Ka 1	Sp5	TAP	(2d= 25.745	K= 0.00218)

Pha parameters :

Elt. Line Spec	Xtal	Bias	Gain	Dtime	Blin	Wind	Mode
			(V)		(μ s)	(mV)	(mV)
Ca Ka 1	Sp1	PET	1303	939	2		Inte
Mg Ka 1	Sp2	LTAP	1320	2902	2		Inte
Ni Ka 1	Sp3	LLIF	1820	347	2		Inte
Fe Ka 1	Sp3	LLIF	1825	352	2		Inte
Mn Ka 1	Sp3	LLIF	1825	352	2		Inte
Cr Ka 1	Sp4	LPET	1831	810	2		Inte
Si Ka 1	Sp5	TAP	1314	2767	2		Inte

Acquisition informations :

Elt. Line Spec	Xtal	Peak	Pk Time	Bg Off1	Bg Off2	Slope/IBg	Bg Time	Calibration	
		Intensity	(S)			(S)		(cps/nA)	
Ca Ka 1	Sp1	PET	38388	60	-800	800	30		
		craug_AlSp2_SiSp5_CaSp1_CaSp4_001				70.0			
Mg Ka 1	Sp2	LTAP	38497	30	-1000	1000	15	Aoli_MgSp2_SiSp5_001	1082.2
Ni Ka 1	Sp3	LLIF	41160	30	-800	800	15	niolivine_NiSp3_001	324.1
Fe Ka 1	Sp3	LLIF	48084	10	-800	800	5	Fayalite2_FeSp3_001	331.8
Mn Ka 1	Sp3	LLIF	52202	20	-800	800	10	rhodonite_MnSp3_001	190.9
Cr Ka 1	Sp4	LPET	26133	50	-800	800	25	Achromite_CrSp4_001	866.4
Si Ka 1	Sp5	TAP	27737	20	-1000	1000	10	Aoli_MgSp2_SiSp5_001	354.1

For ortopyroksen:

Common informations :

File Name : Lars opx.qtiSet

File Date : Jan/23/13-8:1 AM

Comment :

Column conditions :

Cond 1 :

HV (kV) : 15 I (nA) : 30

Size (µm) : 0.

Scanning : On

RasterLength (µm) : 1.00

Xtal informations :

Xtal parameters:

Si Ka 1	Sp5	TAP	(2d= 25.745	K= 0.00218)
Mn Ka 1	Sp3	LLIF	(2d= 4.0267	K= 0.000058)
Fe Ka 1	Sp3	LLIF	(2d= 4.0267	K= 0.000058)
Al Ka 1	Sp2	LTAP	(2d= 25.745	K= 0.00218)
Cr Ka 1	Sp4	LPET	(2d= 8.75	K= 0.000144)
Ca Ka 1	Sp1	PET	(2d= 8.75	K= 0.000144)

Ti Ka 1 Sp4 LPET (2d= 8.75 K= 0.000144)
Mg Ka 1 Sp5 TAP (2d= 25.745 K= 0.00218)

Pha parameters :

Elt.	Line Spec	Xtal	Bias	Gain	Dtime	Blin	Wind	Mode
				(V)		(μ s)	(mV)	(mV)
Si Ka 1	Sp5	TAP	1314	2767	2			Inte
Mn Ka 1	Sp3	LLIF	1825	352	2			Inte
Fe Ka 1	Sp3	LLIF	1821	358	2			Inte
Al Ka 1	Sp2	LTAP	1320	2902	2			Inte
Cr Ka 1	Sp4	LPET	1840	819	2			Inte
Ca Ka 1	Sp1	PET	1309	949	2			Inte
Ti Ka 1	Sp4	LPET	1829	788	2			Inte
Mg Ka 1	Sp5	TAP	1319	2831	2			Inte

Acquisition informations :

Elt.	Line Spec	Xtal	Peak	Pk Time	Bg Off1	Bg Off2	Slope/IBg	Bg Time	Calibration
				(S)			(S)		(cps/nA)
Si Ka 1	Sp5	TAP	27735	30	-1000	1000	15	hypersthene_MgSp2_SiSp5_001	
			504.1						
Mn Ka 1	Sp3	LLIF	52202	20	-800	800	10	rhodonite_MnSp3_001	190.9
Fe Ka 1	Sp3	LLIF	48079	30	-800	800	15	Fayalite2_FeSp3_001	331.8
Al Ka 1	Sp2	LTAP	32463	30	-1000	1000	15		
								craug_AlSp2_SiSp5_CaSp1_CaSp4_001	173.2
Cr Ka 1	Sp4	LPET	26127	30	-800	800	15	Achromite_CrSp4_001	866.4
Ca Ka 1	Sp1	PET	38387	40	-800	800	20		
								craug_AlSp2_SiSp5_CaSp1_CaSp4_001	70.0
Ti Ka 1	Sp4	LPET	31400	20	-1000	1000	10	TTiO2_TiSp4_002	1568.2
Mg Ka 1	Sp5	TAP	38463	30	-1000	1000	15	Trem_MgSp2_MgSp5_001	231.2

For klinopyroksen:

Common informations :

File Name : Lars cpx.qtiSet

File Date : Jan/24/13-10:23 AM

Comment :

Column conditions :

Cond 1 :

HV (kV) : 15 I (nA) : 20

Size (μm) : 0.

Scanning : On

RasterLength (μm) : 1.00

Xtal informations :

Xtal parameters:

Si Ka 1	Sp5	TAP	(2d= 25.745	K= 0.00218)
Mn Ka 1	Sp3	LLIF	(2d= 4.0267	K= 0.000058)
Fe Ka 1	Sp3	LLIF	(2d= 4.0267	K= 0.000058)
Na Ka 1	Sp2	LTAP	(2d= 25.745	K= 0.00218)
Al Ka 1	Sp2	LTAP	(2d= 25.745	K= 0.00218)
Mg Ka 1	Sp5	TAP	(2d= 25.745	K= 0.00218)

Cr Ka 1	Sp4	LPET	(2d= 8.75	K= 0.000144)
Ca Ka 1	Sp1	PET	(2d= 8.75	K= 0.000144)
Ti Ka 1	Sp4	LPET	(2d= 8.75	K= 0.000144)

Pha parameters :

Elt.	Line Spec	Xtal	Bias	Gain	Dtime	Blin	Wind	Mode
				(V)		(µs)	(mV)	(mV)
Si Ka 1	Sp5	TAP	1314	2767	2			Inte
Mn Ka 1	Sp3	LLIF	1825	352	2			Inte
Fe Ka 1	Sp3	LLIF	1819	349	2			Inte
Na Ka 1	Sp2	LTAP	1323	2951	2			Inte
Al Ka 1	Sp2	LTAP	1320	2902	2			Inte
Mg Ka 1	Sp5	TAP	1319	2831	2			Inte
Cr Ka 1	Sp4	LPET	1840	819	2			Inte
Ca Ka 1	Sp1	PET	1309	949	2			Inte
Ti Ka 1	Sp4	LPET	1829	788	2			Inte

Acquisition informations :

Elt.	Line Spec	Xtal	Peak	Pk Time	Bg Off1	Bg Off2	Slope/IBg	Bg Time	Calibration
			Intensity	(S)			(S)		(cps/nA)
Si Ka 1	Sp5	TAP	27735	30	-1000	1000	15		
						478.0			
Mn Ka 1	Sp3	LLIF	52202	20	-800	800	10	rhodonite_MnSp3_001	190.9
Fe Ka 1	Sp3	LLIF	48091	30	-800	800	15	Fayalite2_FeSp3_001	331.8
Na Ka 1	Sp2	LTAP	46362	10	-1000	1000	5	Talbite_NaSp2_SiSp5_001	176.5
Al Ka 1	Sp2	LTAP	32463	30	-1000	1000	15		
						173.2			
Mg Ka 1	Sp5	TAP	38463	30	-1000	1000	15	Trem_MgSp2_MgSp5_001	231.2
Cr Ka 1	Sp4	LPET	26127	30	-800	800	15	Achromite_CrSp4_001	866.4
Ca Ka 1	Sp1	PET	38387	60	-800	800	30		
						70.0			
Ti Ka 1	Sp4	LPET	31400	20	-1000	1000	10	TTiO2_TiSp4_002	1568.2

