

Geokjemiske analyser av molybdenitt og andre sulfider i granittiske bergarter fra Knaben

Stine Kjønsvik Bang

Geologi

Innlevert: mai 2015

Hovedveileder: Rune Berg Larsen, IGB

Medveileder: Bjørn Eske, IGB

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for geologi og bergteknikk

Sammendrag

Masteroppgaven presenterer geokjemiske analyser (Laserablasjon, LA-ICP-MS, mikrosonde, EMPA, sveipeelektronmikroskop, SEM, og induktivt koblet plasma – atom emisjonspektrometer og massespektrometer, ICP-AES/MS) av molybdenittførende bergarter fra Knaben med tilhørende petrologiske beskrivelser. Molybdenittforekomstene på Knaben karakteriseres av sen-Mesoproterosoisk alder i forbindelse med konvergerende tektonisk regime knyttet til den Svekonorgeniske fjellkjeden. Forekomsten er foreslått til å representere siste fraksjonerte smelter fra Ksp-rik porfyrisk biotittrik granitt, som et resultat av fraksjonell krystallisering. Forekomsten har en molybdenkonsentrasjon oppmot 0, 2 vektprosent. På Knaben forekommer mineraliseringen som to hovedtyper, disseminert molybdenitt og pegmatitt- og kvartsåre relatert molybdenitt. Disseminert molybdenitt er som regel finkornet med single korn som er jevnt fordelt i leukokratisk mediumkornet granitt som representerer en magmatisk forekomst eller en kombinasjon av oppsmelting av eldre bergarter. Grovere molybdenitt er også konsentrert i kontaktsoner mellom leukokratisk mediumkornet granitt og porfyrisk feltspatrik granitt. Molybdenitt knyttet til pegmatitter og kvartsårer opptrer som regel i aggregater i Ksp-rik porfyrisk biotittrik granitt, flasergneis og amfibolitter. Geokjemiske data kan ikke bekrefte hvor molybden kommer fra, men sporelementer og petrografiske observasjoner bidra til å øke forståelsen i dannelsen av mineraliseringen. REE-mønster og feltobservasjoner kan peke på at eldre deformerte bergarter spiller en rolle i dannelsen av molybdenitt. Deformerte bergarter kan ha bidratt med reduserende forhold, foreksempel ved at svovel ble tilført i smelten, og fremmer krystallisering av molybdenitt. For å danne tilsvarende høye Mo-konsentrasjoner i smelten, uten å være knyttet til hydrotermale prosesser, kreves det høye oksidasjonsforhold og relativt lave temperaturer. I det svovel ble introdusert i smelten, har molybdenitt blitt krystallisert. Dette innebærer at det kan ha vært et skifte fra høye til lave oksidasjonsforhold. Laseranalyser av disseminert molybdenitt avslører mer homogene verdier av Se (selen), enn molybdenitt knyttet til pegmatitter og kvartsårer, som har mer spredning. Dette kan indikere at Se^{2-} har substituert for S^{2-} i svovelrike pegmatitter og kvartsårer. Analyser av molybdenitt viser gjennomsnittlig 5 ppm Re, som er en del mindre enn typiske porfyrtpeforekomster som er preget av «epitermal overprint». Bulkkjemi i de disseminerte Mo-rike granitter og porfyrganitter viser stor variasjon i REE-konsentrasjon. Modellering av denne REE-fordelingen tyder på at variasjonen skyldes ulik krystalliseringsgrad ved at kumuler og smeltefaser er til stede i prøvene.

Abstract

This master thesis presents a geochemical (Laser ablation, LA-ICP-MS, scanning electron microscope, SEM, electron micro probe analyzer, EMPA, and inductively coupled plasma - atomic emission spectroscopy and mass spectrometry, ICP-AES/MS) and petrological study of molybdenite bearing rocks at Knaben. The Knaben molybdenite deposits formed in the late Meso-proterozoic in a convergent setting associated with the Sveconorwegian orogeny. The molybdenite deposits are suggested to be related to the last evolved melt of Ksp-rich porphyritic biotite granite as a result of fractional crystallization. This ore-deposit has a molybdenite concentration up to 0.2 weight percent.

Two major types of mineralization have been recognized at Knaben, disseminated molybdenite and pegmatite- and quartz vein molybdenite. Disseminated molybdenite is usually fine-grained with single grains, which is evenly distributed in leucocratic medium-grained granite which represents a magmatic ore-deposit or a combination of partial melting of older rocks at Knaben. Coarser grains of molybdenite are also concentrated in contact zones along Ksp-rich porphyritic granite and leucocratic medium-grained granite. Pockets of molybdenite are often associated with pegmatites and quartz veins in the foliation of Ksp-rich porphyritic biotite granite, flasergneis granite and amphibolites. Geochemical data cannot confirm the source of the molybdenite, however trace element and petrographic observations can give a better understanding of the formation of the mineralisation. REE-pattern and field outcrops suggest that the older, metamorphic rocks at Knaben play a role in the formation of the molybdenite. These rocks may contribute with reducing agents such as sulfur to the melts, triggering crystallization of molybdenite. To get significant high Mo concentration in the melt without entering the hydrothermal stage, it requires a high oxygen fugacity and relatively low temperatures. At the point which the sulfur was introduced in the melt, molybdenite was crystallized. This suggests that the conditions shifted from high to low oxygen fugacity. Laser data of disseminated molybdenite reveal more homogeneous amounts of trace element of selen (Se) compared to molybdenite associated with pegmatites and quartz veins, which have more heterogeneous concentrations. This may indicate that Se^{2-} has substituted for S^{2-} in sulfur rich pegmatites and quartz veins. Analysed molybdenite grains from Knaben have an average of 5 ppm Re, which is less than more common porphyry type deposits characterized by epithermal overprint. Whole rock in the disseminated Mo-rich granites and the porphyry granites show high variations in REE-concentration. Modelling this distribution seems to be the cause of different degrees of crystallization with presence of cumulates and melt phases in the samples.

Forord

Masteroppgaven er skrevet ved Institutt for Geologi og Bergmekanikk (IGB) ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) i samarbeid med Norges Geologiske Undersøkelse (NGU) som har gitt tilgang til instrumenter og finansiert store deler av analysetaking og feltarbeid.

Hovedveileder fra NTNU har vært Professor Rune Berg Edland Larsen, og medveiledere førsteamanuensis Bjørn Eske Sørensen fra NTNU. Veiledere fra NGU har vært Dr. Trond Slagstad og Dr. Nolwenn Coint.

Først og fremst vil jeg gjerne takke Rune og Bjørn for gode idéer og engasjement til prosjektet, og alle fra laboratoriet fra IGB som har hjulpet til med tilbredelse av prøver, veiledning og metodeutførelse.

På NGU vil jeg særlig takke Trond og Nolwenn for god oppfølging og engasjement i felt og gjennom året. Takk til Øyvind Skår for assistanse til metodeutførelse på laboratoriet og Julian Schilling for petrologiske diskusjoner og idéer.

Takk til masterstudent Martin A. Stormoen som ordnet tak over hodet under feltarbeid, og gjennom prosjektet inkludert meg i faglige diskusjoner. Takk til medstudent Trond Harstad som en engasjert feltassistent som har hamret og bært stein.

Jeg vil også takke medstudentene på lesesalen for hyggelige stunder og kakefredag, særlig Anette Utgården Granseth som alltid setter av tid til diskusjon. Siste takk går til Vegard Finset Fjeldheim som har korrekturlest og gitt meg gode tips, og stipendiat Leif-Erik Ryland Pedersen ved UiB som har gitt gode, faglige råd.

Stine Kjønsvik Bang, Trondheim 15.05.15

Innhold	
Sammendrag	i
Abstract	iii
Forord	v
Innhold	vii
1. Introduksjon	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven	1
1.2 Geografisk område.....	2
1.3 Regional geologi og tidligere arbeid	2
2. Teori	12
2.1 Malmforekomster	12
2.2 I-type og S-type granitter	12
2.3 Malmdannede faktorer	14
2.4 Porfyrforekomster (Cu og Mo)	19
2.5 Magmautvikling; sporelementer og REE.....	29
3 Metode	31
3.1 Feltarbeid	31
3.1 Feltutstyr	31
3.2 Prøvetaking.....	31
3.3 Preparering	31
3.5 Petrografiske undersøkelser	33
3.6 Geokjemiske analyser.....	33
3.7 Feilkilder	38
4 Resultater	41
4.1 Feltobservasjon.....	41
4.2 Generell bergartsbeskrivelse for Knaben	41
4.3 Lokalteter	44
4.4 Geokjemiske analyser.....	108
5 Diskusjon	128
5.1 REE.....	128
5.2 Molybdenitt	134
5.3 Mo-forekomst gjennom delvis oppsmelting av flasergneis	136
5.4 Magmatisk Mo-forekomst med opprinnelse fra porfyrgranitt	137
5.5 Pegmatitt og kvartsåre-relatert molybdenittmineralisering	138

5.6 Sporelementer i molybdenitt på Knaben.....	140
6 Konklusjon og fremtidig arbeid	143
6.1 Konklusjon	143
6.2 Fremtidig arbeid	144
7 Referanser	145

Appendiks

A- Bulkkjemidata

B- Mikrosonde data

C- Laserdata

D- Digital appendiks inkluderer bilder av analysepunkt, skannet tynnslip og tynnslipbeskrivelse i excel

Figurliste

Figur 1 Geografisk kart over Sør-Norge og Knabens	2
Figur 2 Geologisk kart over hovedlitologiene i SV-Skandinavia	3
Figur 3 Geologisk kart over sør-vest Norge	6
Figur 4 Kart etter Bugge (1963).....	7
Figur 5 Geologisk kart av (Stormoen, 2015)	8
Figur 6 Molybdenittmineraliseringer	9
Figur 7a) Klassifisering av magnetittserier og ilmenittserie	13
Figur 8a) Tabell over sporelementer som typisk substituerer for hovedelementer.....	16
Figur 9a) Trykk-temperaturplott.....	18
Figur 10 Modellen viser opprinnelse og dannelse til Cu, Mo og W	20
Figur 11a) Diagram	23
Figur 12 Modell av sonerte hydrotermale forekomster	23
Figur 13 Eksperimentelle data.....	24
Figur 14 Diagram viser ulike granittiske sammensetninger	26
Figur 15 Flytskjema	28
Figur 16 Modell som viser fraksjonering av sporelementer gjennom delvis smelting	30
Figur 17a) Tynnslip i profil.....	32
Figur 18a) Prinsippet bak lasermåling.....	36
Figur 19 Prinsipp om høy usikkerhet.....	39
Figur 20 Profil fra underjordsgruven på Knaben 2	42
Figur 21 Geologisk kart av Knabensonen med prøver.....	43
Figur 22a) Håndstykke fra KN 2	44
Figur 23a) Dagbruddet ved Knaben 2	45
Figur 24 Underjord i Knaben 2	46
Figur 25 Tynnslip av KN 2	47
Figur 26 Tynnslip av KN 2	48
Figur 27 Tykkslip av KN 24	49
Figur 28 Tykkslip av KN 2.7	50
Figur 29 Tynnslip av KN 2.3.....	52
Figur 30 Lokalitet tilhørende SØR 1.1.....	53
Figur 31a) Risnafeltet.....	54
Figur 32 Prøve SØR 1.2	55
Figur 33a) Inngang til Bragold gruve	56
Figur 34a) Håndstykke av SØR 1.3.....	57
Figur 35a) Lokalitet tilhørende prøve SØR1.4	58
Figur 36 Tynnslip av SØR 1.4	59
Figur 37 Tynnslip av SØR 1.4	60
Figur 38 Kontakt mellom porfyrgranitt og grå granitt	61
Figur 39a) Grovkornet molybdenitt i foliasjonsplanet i grå granitt	62
Figur 40 Lokaliteten til KN 3.3 og KN 3.4.....	63
Figur 41a) Kvartsåre i porfyrgranitt ved prøve KN 3.1	64
Figur 42 Nærbilde fra prøve KN 3.1.	65

Figur 43a) 6 cm tykk kvartsåre i foliasjonen til porfyrgranitt	66
Figur 44a) Håndstykke.....	67
Figur 45 Tynnslip av KN 3.1.....	69
Figur 46 Tynnslip av KN 3.1.....	70
Figur 47 Profil av graven på Kvina.....	71
Figur 48 Kvina	72
Figur 49a) Lokalitet til prøvene KV 1.1, KV 1.2, KV 1.3	73
Figur 50 Håndstykke	74
Figur 51 Grovkornet molybdenitt sammen med biotittrike (<1 cm) bånd	74
Figur 52a) Boundinert pegmatitt.....	75
Figur 53 Tynnslip av KV 1.2.....	77
Figur 54 Tynnslip av KV 1.2.....	78
Figur 55a) Håndstykke av ØRN 1.1	79
Figur 56a) Grovkornet molybdenitt i langs foliasjonen til porfyrgranitt.....	80
Figur 57 Tynnslip av ØRN 1.1	82
Figur 58a) Skisse fra øverste del av Knaben 1	84
Figur 59a) KN1.1	86
Figur 60a) Lokalitet til prøve KN 1.3	87
Figur 61a) Tynnslip av KN 1.1	89
Figur 62a) Lokalitet til prøve KN 1.4	91
Figur 63ab) Grovkornet molybdenitt i lommer i kvartsåre i flasergneis.....	92
Figur 64 Tynnslip av KN 1.4.....	93
Figur 65 Tynnslip av KN 1.4.....	94
Figur 66 Tynnslip KN 1.4	95
Figur 67 Håndstykke av prøve R1.1	97
Figur 68a) 4 cm tykk røykkvartsåre	98
Figur 69 Tynnslip av R 1.1	100
Figur 70 Xenolitt av flasergneis inni porfyrgranitt	102
Figur 71 Grovkornet molybdenitt.....	103
Figur 72a) Grovkornet molybdenitt langs kvartsåre	104
Figur 73 Tynnslip R 1.2.....	106
Figur 74 Tabelloversikt over prøvene.....	107
Figur 75a) Klassifisering av granittene på Knaben	108
Figur 76a) Spiderdiagram av REE for bulkkjemi	109
Figur 77 Spiderdiagram viser REE fordelingen av apatitt.....	110
Figur 78 Spiderdiagram viser REE fordelingen av apatitt.....	111
Figur 79 Tertiærplott basert på CaO, NaO ₂ og K ₂ O- vektprosent.....	112
Figur 80 Mikrosondedata av apatitt	113
Figur 81 Klassifikasjon for Ca-rike amfiboler.....	114
Figur 82 Viser mikrosondedata av biotitt	117
Figur 83 Viser mikrosondedata av biotitt	118
Figur 84 Mikrosondedata viser Mo og S-innholdet (%) i molybdenitt.....	119
Figur 85 Viser Mo og S i vektprosent i magnetkis.....	121
Figur 86 Kant-kjerne analyser av svovelkis med Mo og S i %	122

Figur 87 Kant-kjerne analyser i kobberkis med Mo og S i %.....	123
Figur 88 Laserdata viser Re og W (ppm) i molybdenitt	125
Figur 89 Viser kjerne-kant analyse fra molybdenitt fra amfibolitt.....	126
Figur 90 Viser Se og W innhold i molybdenitt	127
Figur 91 Viser fordelingen av REE	129
Figur 92 REE-modellering av smelte og kumulatfasene	132
Figur 93a) REE-Modellering av ulike kumulat- og smeltefaser	133
Figur 94 Partisjonskoeffisienter	133
Figur 95 Oppsummering over ulike molybdenittmineraliseringer.....	135
Figur 96a) Viser forholdet mellom gjennomsnittlig Se og W	142

1. Introduksjon

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Molybdenittutvinning i Knaben i Kvinesdal har pågått siden slutten av 1800-tallet, men opprinnelsen til molybdenittforekomstene er ikke helt forstått. Molybdenittforekomstene på Knaben skiller seg ut fra tradisjonelle geologiske modeller som omhandler molybden- og kobberporfyrforekomster. Porfyrforekomster forbindes hovedsakelig med sprekke dannelse («stockwork») som fylles med høye malmkonsentrasjoner. Slike systemer inneholder omvandlingssoner der fluider omvandler store deler av bergmassen (Robb, 2005, Seedorff et al., 2005). Molybdenittforekomstene på Knaben ble dannet under relative tørre forhold, med et trykk opptil 4 kbar, og ingen tegn til omvandlingssoner, verken årer eller i bergmassen. Masterstudent Martin A. Stormoen har gjort detaljkartlegging i Knaben med fokus på strukturgeologi, tektonikk, magmatiske strukturer og foreslår en tektonisk modell som baseres på kinematiske indikatorer, som tilsier at Knabensonen har gjennomgått deformasjon som karakteriseres av skyvedekker øst- topp til vest (Stormoen, 2015).

Molybdenittmineraliseringen er knyttet til slike strukturer og ligger langs foliasjonsretninger Ø-S. Stormoen's feltobservasjoner er kombinert med petrologi, zirkon U/Pb-dateringer og bulkjemi. Denne oppgaven legger vekt på mineraliseringen og dokumentasjon av ulike type mineraliseringer i de respektive bergartene på Knaben. Ved hjelp av geokjemiske analyser og petrologisk tilnærming kan dette øke forståelsen til molybdenittdannelsen. Oppgaven er en del av et større prosjekt i Sør Norge i regi av NGU, med Trond Slagstad som prosjektleder, og dekker dateringer, regional kartlegging og 3D-modellering.

1.2 Geografisk område

Knaben ligger i Kvinesdal, 50 km nord-øst for Flekkefjord i Vest-Agder. Topografien er preget av undulerende peneplan karakterisert av iseroderte daler og relativt lite vegetasjon. Feltarbeidet begrenses til Øyevatnet i Sør og Smalvatn i nord (ca 8 km) og dekker en bredde på 2 km fra vest til øst, med Knaben 2 gruve i midten. Langs strekningen N-S ligger det tidligere prøvesprengninger, skjerp og gruver som gir relativt ferske brudd i bergartene. Gruven på Knaben 2 ligger på 670 moh, og resten av de undersøkte områdene ligger i høyder fra 750-900 moh.



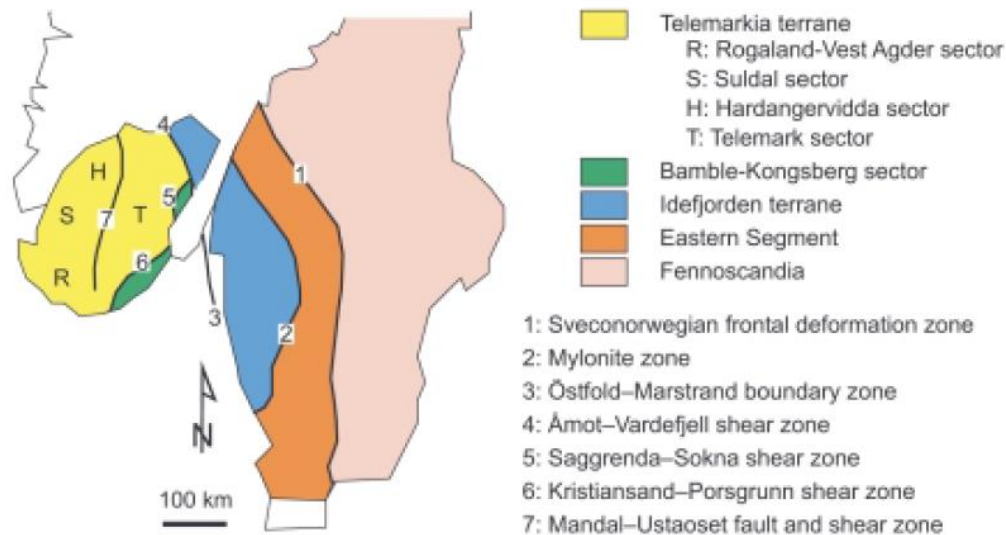
Figur 1 Geografisk kart over Sør-Norge og Knabens beliggenhet i Vest-Agder. Kart hentet fra kartverket.

1.3 Regional geologi og tidligere arbeid

1.3.1 Fennoskandia, en aktiv subduksjonssone-margin

For ca 1,9 milliarder år siden kolliderte Fennoskandina sammen med flere kontinenter og dannet superkontinentet Columbia (Korja et al., 2006, Lahtinen et al., 2009). Perioden mellom 1,9 og 0,9 milliarder år er sør-vestlig del av Fennoskandinavia blitt sett på som en aktiv, langvarig subduksjonssone-margin (Roberts and Slagstad, 2014, Bingen et al., 2008). Argumentasjonen rundt subduksjonssone-marginen bygger på gjentatte episoder av ekstensjonsrelatert mafisk magmatisme og bassengdannelse mellom 1,6 og 1,22 Ga (Karlstrom et al., 2001, Brewer et al., 2004, Bingen et al., 2002). Den vestlige delen av Fennoskandinavia inkluderer Telemark, Hardangervidda, Suldal og Rogaland-Vest Agder, som Bingen et al. (2005) kaller Telemarkterrenget. Kart av Bingen et al. (2005) viser et forenklet regionalt geologisk bilde av

Sør Norge og Sør Sverige, i forbindelse med Fennoskandinavia med eldste til yngste bergarter fra øst til vest.



Figur 2 Geologisk kart over hovedlitologiene i SV-Skandinavia (Bingen et al., 2005).

1.3.2 Magmatisme relatert til subduksjonsregime

Pedersen et al. (2009) har gjort U-Pb dateringer av Setedalsområdet som går helt tilbake til 1550 Ma, som dokumenterer alderen på den eldste, eksponerte bergarten i Telemark. Det påpekes flere perioder med magmatisk aktivitet mellom 1600-1500, 1320-1220 og i starten av 1215 millioner år, der juveline kilder avslører mafisk magmatisme med opprinnelse fra smelte av mantelen. Med Hf-isotoper og U-Pb isotoper fra zirkon har Pedersen et al. (2009) påvist 100 millioner år med regional magmatisme (1320- 1220 millioner år) preget av juveline kilder, og med tiden mer bidrag fra eldre skorpe. De eksisterende bergartene ble derfor sterkt påvirket og resulterte i regional gneisdannelse. Magmatismen etter 1215 millioner år er knyttet til anorogenisk granittisk/ryolittisk magmatisme karakterisert av høy FeO/MgO-forhold, som tyder på mer oppsmelting av den eldre skorpen Pedersen et al. (2009). Andersen et al. (2007) har datert granittiske bergarter i Telemark (1160-1150 Ma) og påpeker at de må ha dannet i sammenheng med ekstensjons-relatert vulkanisme eller en kombinasjon sammen med mafisk, mantel-derivert magma stigende gjennom nedre skorpe.

1.3.3 Svekonorvegiske provins

Forløpet etter 1,1 milliarder år tilbake er svært omdiskutert med tanke på hvordan subduksjonsmarginen utviklet seg til dannelsen av den Svekonorvegiske provinsen for ca 1,1-

0,9 milliarder år siden (Roberts et al., 2013, Slagstad et al., 2013, Roberts and Slagstad, 2014). Det er to hovedforslag for denne dannelsen; Et kontinent kolliderte med subduksjonsfronten, der alder for maksimum kontinentoppbygning er estimert til 1050 millioner år (Bingen et al., 2008). Bingen et al. (2008) viser til regional høygradsmetamorfose i Rogaland-Vest Agder, mellom 1035 til 970 millioner år som en konsekvens av denne kollisjonen, etterfulgt av en dekompresjon fra 970-955 millioner år tilbake. Det andre forslaget støttes blant annet av Slagstad et al. (2013) og Bybee et al. (2014) med utelukkelse av kontinent-kontinent kollisjon, men heller en fortsettelse på den langvarige subduksjonen i sørvest for Fennoskandinavia, som resulterte i dannelse av 200 km langt magmatisk, granittisk belte.

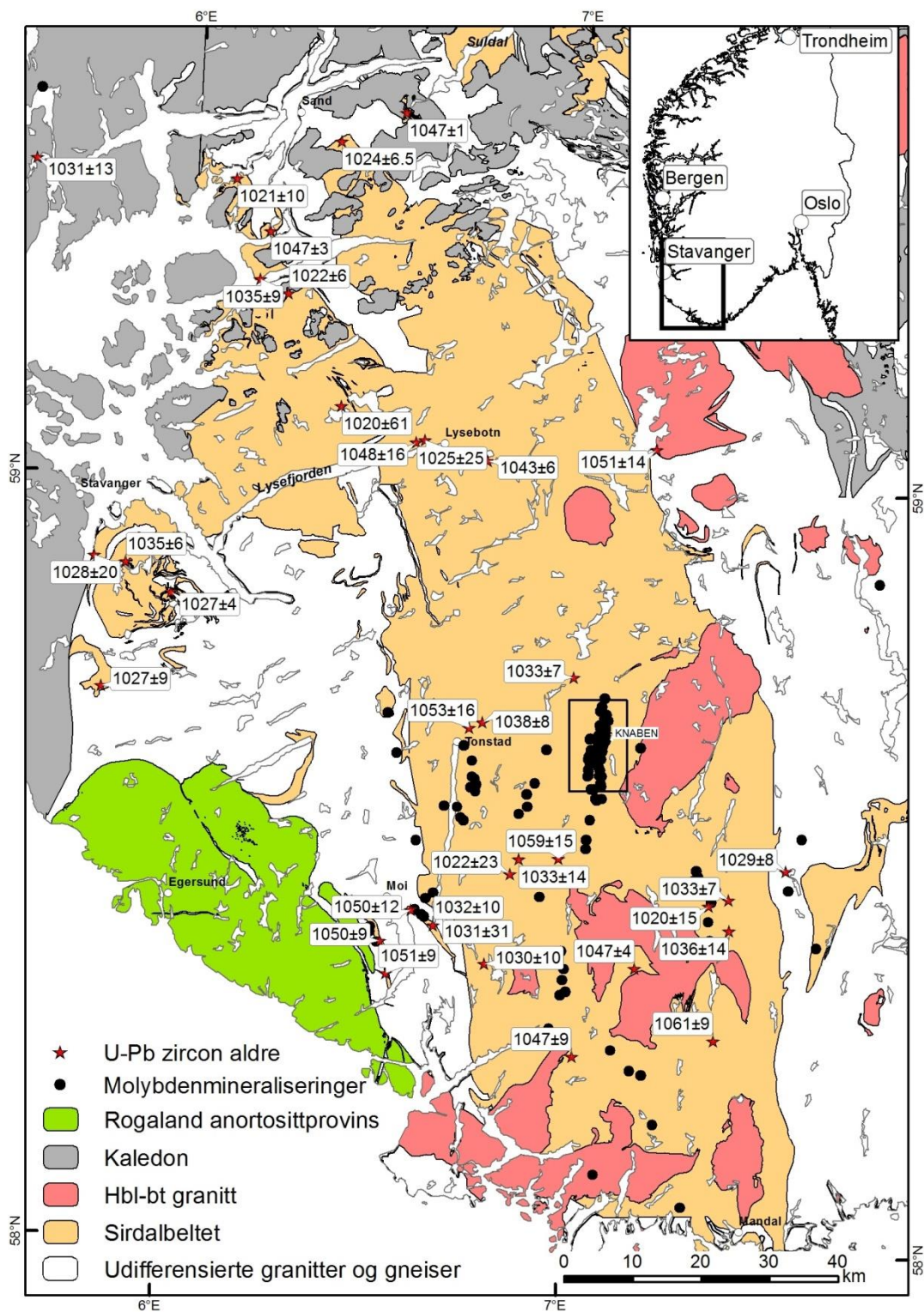
1.3.4 Sirdalsbeltet

Slagstad et al. (2013) har definert et magmatisk belte, primært bestående av granitter, som strekker seg fra Mandal til Haugesund med en bredde på 50 km (Figur 3). Dette beltet kalles Sirdalsbeltet og U-Pb dateringer viser at denne magmatismen oppstod mellom 1060 til 1020 millioner år siden (Coint et al., 2015). Slagstad et al. (2013) foreslår en subduksjonsforløpelse, som inndeles i tre perioder. Sirdalsbeltet som første periode med en relativt bratt subduserende havbunnskorpe (1060-1020 Ma) og magmatisme, etterfulgt av en flatere subduksjonsvariant (1020-990 Ma) som kjennetegner en periode med høytemperatur og medium-trykk metamorfose, men uten magmatisme. Forløpet fra 990-920 Ma kjennetegner en tilsvarende geometrisk lik subduserende plate som Sirdalsbeltet og tilsvarende ekstensjonsregime, med oppsmelting av nedre skorpe. Slagstad et al. (2013) opplyser at granittene i Sirdalsbeltet har en kalk-alkalin komposisjon, som tyder på et opphav fra mantelen. Andersen et al. (2007) har undersøkt zirkoner fra A-type granittiske intrusjoner i Telemark, som påpeker en periode fra 1168-918 millioner år som en konsekvens av en ekstensjon av skorpen eller mafisk mantel-derivert magma gjennom nedre skorpe.

Sirdalsbeltet intruderte eldre, deformerte mesoproterisoiske granitter i sør og metavulkanitter (1,5- 1,35 Ma) i nord, og derfor opptrer disse eldre bergartene som xenolitter, orientert N-S (Slagstad et al., 2013). Granittene tilhørende Sirdalsbeltet er tidligere omtalt som granittisk gneis (Lysberg, 1976), og strekker seg flere kilometer lange og flere hundre meter brede soner. Coint et al. (2015) redegjør derfor at Sirdalsbeltet ikke preges av svekonorvegisk høygradsmetamorfose, men derimot en sone rik på deformerte xenolitter, og i tillegg lokal deformasjon og senere metamorfose (< 1020 Ma), som følge av intrusjonene. Xenolittene i

den sørlige delen av Sirdalsbeltet tilhørende Knaben, er granittiske gneiser som er datert til 1257 ± 6 millioner år og er omtalt som flasergneis, øyegneis og Knabengneis (Bingen et al., 2014). Det er også observert amfibolittfragmenter og migmatitiske grå gneiser (Coint et al., 2015), mens lengre sørvest indikerer mineralogien i xenolittene høyere metamorfosegrad opp mot granulitt-facies, som er en konsekvens av intrusjoner av granitter, heller enn orogenkollaps som støttes av Bingen et al. (2006).

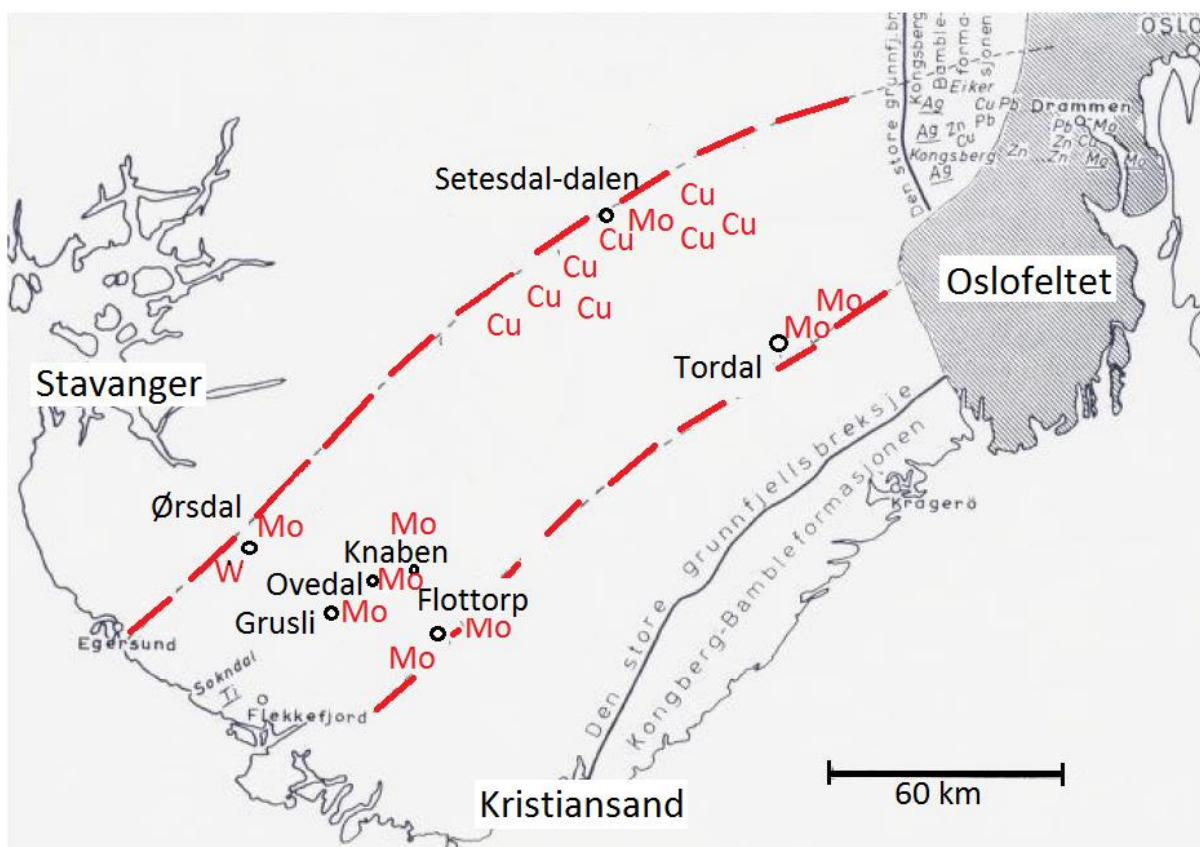
Store deler av Sirdalsbeltet domineres av porfyrisk-biotittførende granitt og noe mindre andel granodioritter (Coint et al., 2015). Sirdalsbeltet er lokalt rik på molybdenitt, særlig den sørøstlige marginen, lokalisert som en eller flere N-S gående soner på Knaben.



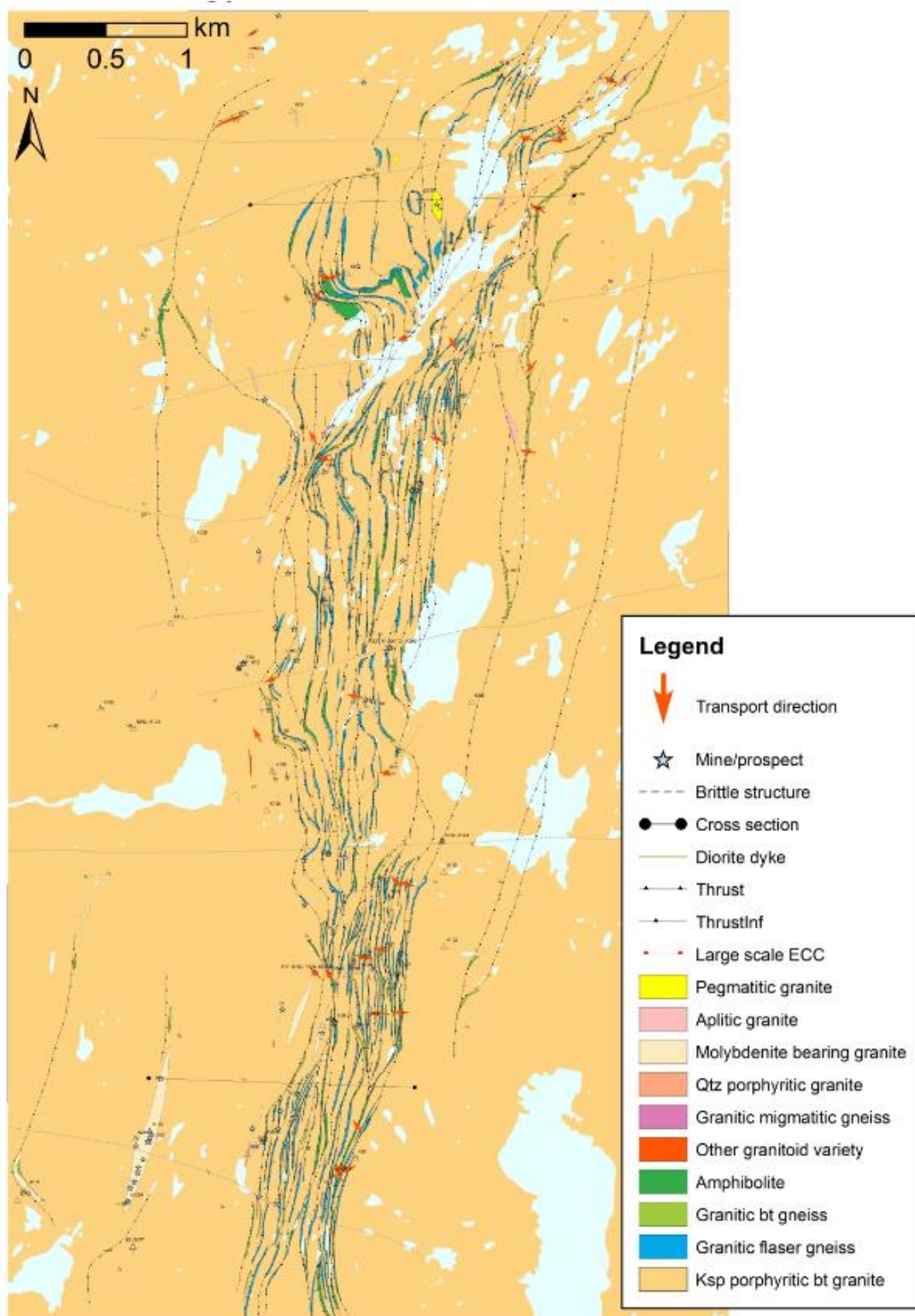
Figur 3 Geologisk kart over sør-vest Norge som viser hovedlithologier og U-Pb zirkon- dateringer og molybdenittmineraliseringer i sørlige del av Sirdalsbeltet. Hornblende-biotitt granitt er senere intrusjoner i Sirdalsbeltet (Slagstad et al., 2013).

1.3.5 Molybdenitt på Knaben og i Sør Norge

Knaben er ikke den eneste molybdenforekomsten i Norge. Bugge (1963) har skissert flere kopper- og molybdenittmineraliseringer langs strekningen fra Soknedal til Drammensfjorden (Figur 4). Knaben er hovedsakelig kjent for gruveaktivitet av molybdenitt som går tilbake helt til slutten av 1800-tallet (1885-1973). Fra 1918-1973 var hovedgruven Knaben 2, med molybdenittførende, mediumkornet, ekvigranular granitt. Denne malmforekomsten refereres ofte til den grå granitt, som har en konsentrasjon på opptil 0,20 vektprosent (Lysberg, 1976). Knabensonen dekker et område på ca 20 km² der porfyrgranitter dominerer, og en N-S gående xenolitiskone bestående av flaser gneis og amfibolitter sammen med molybdenittførende granitter. Kart av (Stormoen, 2015) viser litologien på Knaben og en tydelig xenolitt-rik sone over 1 km bred som avtar i nord. Stort sett faller samtlige bergarter ca 30 grader øst og retning N-S. Hovedgruvene fra sør til nord, er Knaben 2, Knaben 1 og Kvina, der Knaben 2 ligger nær bebyggelse og blant annet Knaben leirskole.



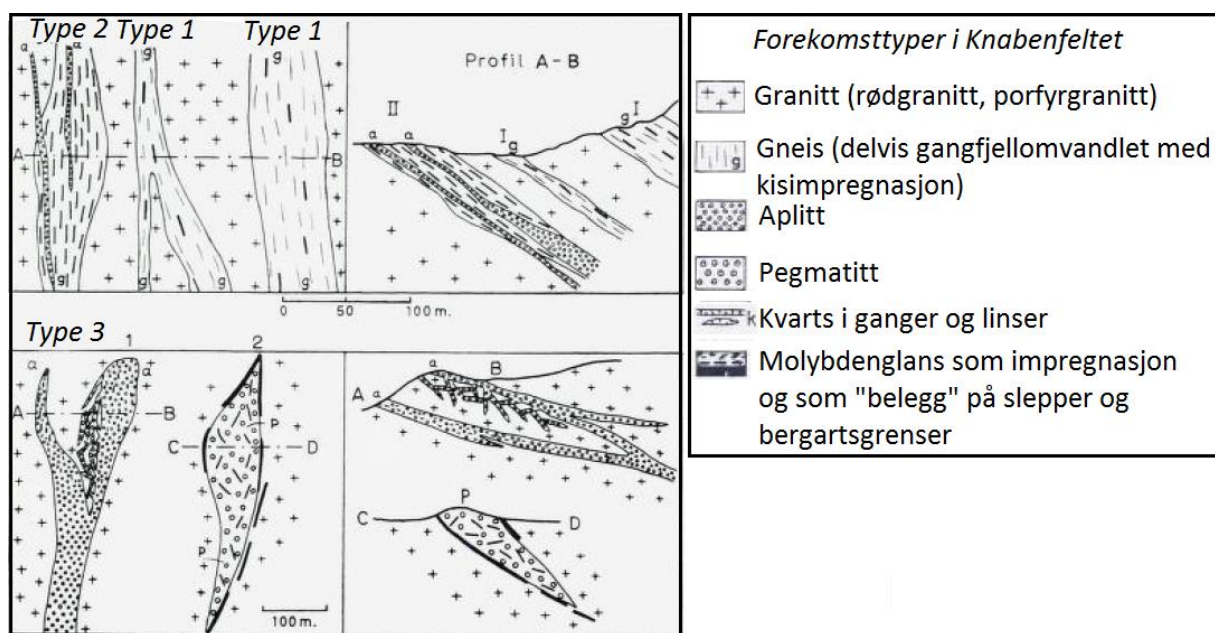
Figur 4 Kart etter Bugge (1963) med gangforekomster (Cu, Mo, W) som strekker seg ca 300 km fra Soknedal i sørvest til Drammensfjorden i nordøst.



Figur 5 Geologisk kart av (Stormoen, 2015) inkludert nord-sørgående strukturer, gruver og mindre skjerp.

1.3.6 Tidligere studier av molybdenitt på Knaben

I 1918 klassifiserte Brøgger (1918) molybdenittmineralisering i tre ulike typer; 1) Finkornet molybdenitt i kvarts eller i mindre aggregater av melanokratiske mineraler, 2) Molybdenitt i lommer, som større aggregater (mm-cm) langs foliasjonen spredt gjennom bergarten, 3) Molybdenitt i sprekker og årer sammen med røykkvarts til mørkere kvarts, avhengig og noen ganger uavhengig av bergartens foliasjon. I følge Brøgger (1918) er forekomsten på Knaben 2, kilden til alle tre mineraliseringene, der type 1 (grå granitt) beskrives som en enorm, flytende slire fra den opprinnelige, mer størknede granitten. Sliren ble anriket på sulfidrik gassfase (pneumatolytisk) som tilførte molybdensulfid. Molybdenitt krystalliserte på et stadie mellom biotitt og før kvarts krystalliserte. Ved økt krystallisering ble molybdenitt utfelt som lommer langs foliasjonsplanet der magmaet fortsatt var i bevegelse, og senere som utfelt sammen med kvarts i årer og langs sprekker. Senere beskrev Bugge (1963) molybdenittmineraliseringene på Knaben som fem ulike typer og skissert dem deretter (Figur 6). Type 1 har molybdenitt i de eldste mineraliserte gneissoner i forbindelse med fahlbånd. Type 2 har molybdenitt som impregnasjon i gangfjell og kvartsganger, mens type 3 er molybdenitt i aplitt og pegmatitt. Type 4 er molybdenitt i kvartsganger og –linser og type 5 er molybdenittførende kvartsgangdrag. Sistnevnte representerer kun en lokalitet (Hommen). Bugge (1963) mener at molybdenittmineraliseringen er forbundet med intrusjonen av aplitter og pegmatitter av type 3.



Figur 6 Molybdenittmineraliseringer Type 1, 2, 3 (Bugge, 1963).

Doktorgradsstudent Leake (1972) utforsket ideèn om flasergneis som molybdenkilde. Han beskrev flasergneis som lagdelt feltspatrik gneis med horisontale sulfidrike fahlband, hovedsakelig magnetikis, som et resultat av høygradsmetamorfose. Leake (1972) foreslo at senere sirkulering av hydrotermale løsninger økte oksygenfugasiten, som resulterte i dekomposisjon av magnetkis og dannelse av magnetitt og en utløsning av svovel. Svovel ble deretter mest sannsynlig transportert som et ionekompleks i den hydrotermale løsningen og kunne utfelle molybdenitt dersom Mo var til stede i sidebergarten. Reaksjonen nedenfor viser molybdenittdannelsen i følge Leake (1972); $6 \text{FeS} + 3 \text{Mo} + 8\text{O} = 3 \text{MoS}_2 + 2 \text{Fe}_3\text{O}_4$

Lysberg (1976) trekker også konklusjonen at molybdenkilden er forbundet med flasergneis som har gjennomgått anatexis under den Svekonorvegiske orogenese, og deretter avsettes molybdenglans i yngre granitter og pegmatitter. Lysberg påpeker manglende mineralisering lengre nord, der flasergneis tynner ut.

Rui (1980) fastslo at mesteparten av molybdenitt forekommer i smale kvarts-molybdenittårer, trolig kontrollert av skjærsoner. Rui (1980) omtalte flasergneis som rustrike gneissoner, med fahlbånd med disseminert molybdenitt, som også representerer mineralisering i skjærsoner.

Bingen et al. (2014) foreslår modeller som både inneholder magmatiske og metamorfe prosesser som er ansvarlig for molybdenittmineralisering, men påpeker at det trengs mer bevis for videre konklusjon. Den ene modellen støtter flasergneis som molybdenkilde, der hydrotermale væsker i granittisk magmatisme (c. 1036 millioner år), mobiliserte molybden som et sporelement i vannrike mineraler (biotitt, magnetitt, ilmenitt) og utfelte molybdenitt lokalt, der svovel var tilgjengelig. Andre forslag av Bingen støtter en magmatisk utvikling, der molybden gikk inn i væskefasen/volatiler som ble dannet i residual magmaen og ble transportert med væsken og utfelt som molybdenitt i sidebergart eller i den eksisterende væsken.

Müller et al. (2015) har analysert kvarts for ulike skjerp og gruver på Knaben, med «titan i kvarts geotermobarometer» som indikerer at bergartene som er assosiert med molybdenittmineralisering har væskeinnslutninger av magmatisk dannelse. Det er kun kvarts fra senere kvartsårer fra Nedre Roma gruve og skjerp nord for Smalavatn som har hydrotermale væskeinnslutninger. Krystalliseringstemperatur for den grå granitten tilhørende Knaben 2 er estimert til å krystalliseres ved $733 \pm 21^\circ\text{C}$ og at pegmatittiske kvartsbånd med grovkornet molybdenitt krystalliserte ved $714 \pm 46^\circ\text{C}$ (Müller et al., 2015).

Stormoen (2015) foreslår en tektonisk modell som baseres på kinematiske indikatorer som tilsier at Knabensonen har gjennomgått deformasjon som karakteriseres av skyvedekker øst-

topp til vest. Molybdnittmineraliseringen er knyttet til slike strukturer og ligger langs foliasjonsretninger Ø-S. Det er minst tre generasjoner pegmatitter og kvartsårer. Foliasjonsparallelle pegmatitter og kvartsårer er mineraliserte med diffuse grenser og ofte boundinerte, som er trolig dannet under varme omgivelser før bergartene var størknet. Horisontale kvartsårer og pegmatitter er noe senere og kutter foliasjonen i granittene og er noe Mo-rik og må ha blitt dannet under kompresjonsregime. Siste generasjon av pegmatitter og kvartsårer er mer eller mindre vertikale, umineraliserte med skarpere kontakter som kutter litologier.

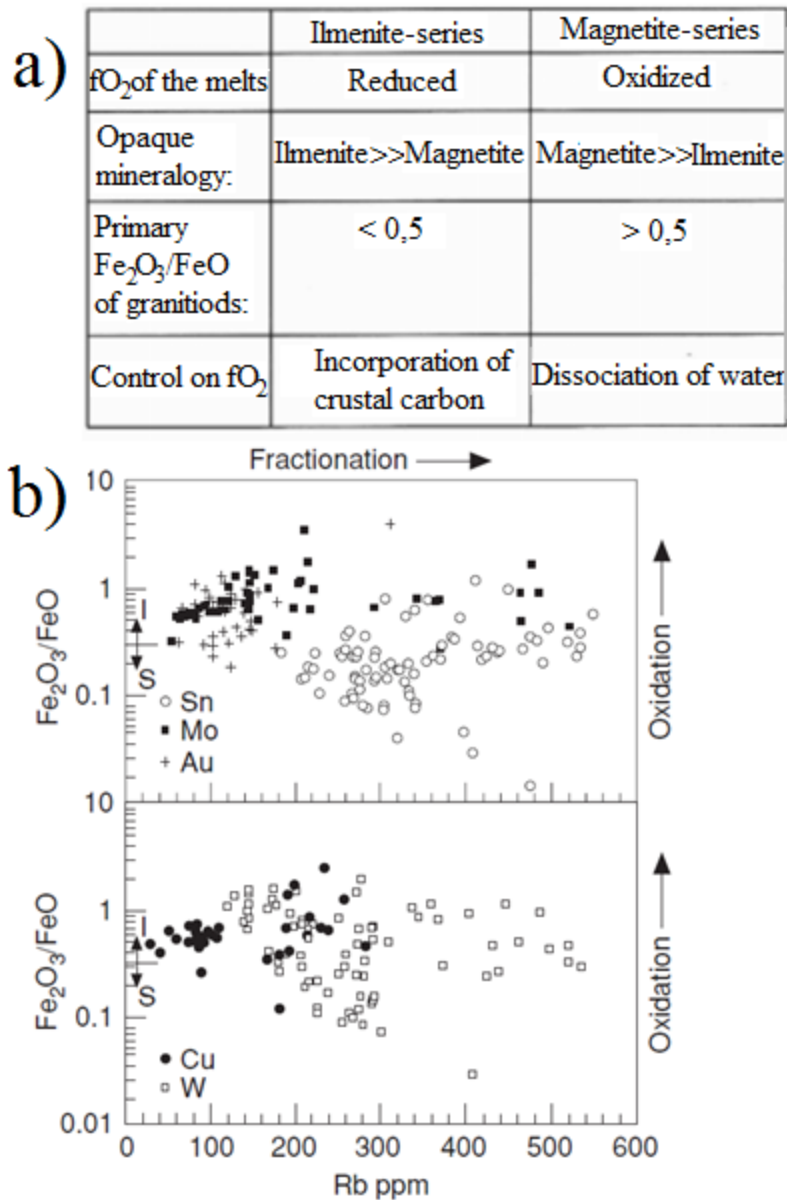
2. Teori

2.1 Malmforekomster

For å forstå dannelsen bak malmforekomster må man kjenne til faktorer som er avgjørende og hvordan de potensielle malmelementene oppfører seg i ulike geologiske systemer. Teorikapittelet tar hovedsaklig for seg malmforekomster knyttet til I-type porfyrgranitter, der man typisk får dannet molybden- og kobberforekomster. Underveis opplyses viktige faktorer som kan være avgjørende i slike malmdannede prosesser.

2.2 I-type og S-type granitter

For granittiske bergarter knyttet til malmforekomster, står I- og S-type granitter fra SIAM klassifikasjonssystemet sentralt (Chappell and White, 2001). Disse inndeles på grunnlag av protolitten som ble oppsmeltet under dannelsen av det granittiske magmaet. I-type granitt («igneous») dannes typisk ved oppsmelting av en magmatisk amfibolitt, -hvorimot en S-type («sedimentary») granitt dannes ved oppsmelting av sedimentære litologier. Delvis oppsmelting av en magmatisk protolitt vil anrike smelten på Cu, Mo, Zn, Au og har en høyere oksygenfugasitet (fO_2) enn S-type granitter som kan sees på Fe_2O_3 og FeO-forholdet. Blevin and Chappell (1992) har delt I- og S-type granitter etter forholdstallet 0,3- der Fe_2O_3/FeO forholdet $> 0,3$ peker mot en I-type granittisk sammensetning og $< 0,3$ for S-type granitt. Ishihara (1988) foreslår derimot et forholdstall på 0,5 (Figur 7a). I-type granitter er typisk karakterisert av magnetitt-serie granittoider ($Fe^{2+} Fe^{3+}_2O_4$), fremfor ilmenittserie granittoider ($Fe^{2+} Ti^{4+} O_3$) som karakteriserer S-type granitter der Sn og W er hovedmalmforekomster (Ishihara, 1981). Figur 8 viser I- og S-type granitter med mineralisering av Mo, Au, Sn, Cu og W som funksjon av økende fraksjoneringsgrad. I-type granitter domineres av Mo, Cu, W og Au, mens S-type granitter preges av Sn, W og Au-mineralisering. Fraksjoneringsgraden fremgår av Rb- konsentrasjonen for granitter i Lachlan orogenet (Blevin and Chappell, 1992).



Figur 7a) Klassifisering av magnetittserier og ilmenittserie av granittiske bergarter av Ishihara (1988) hentet fra Rosa (2005), basert på oksygenfugasitet (fO_2) av granittisk smelte b) Diagrammet viser mineraliserte (Mo, Au, Sn, Cu og W) I- og S-type granitter som skilles med Fe_2O_3/FeO - forhold på 0,3, som funksjon av økende fraksjoneringsgrad. Fraksjoneringsgraden fremgår av Rb-konsentrasjonen for granitter i Lachlan orogenet. Modifisert versjon av Robb (2005) etter Blevin and Chappell (1992).

2.3 Malmdannede faktorer

Prinsippet om magmatisk malmdannelse handler hovedsakelig om prosesser og forhold som gir anormalt store konsentrasjoner av metaller i et magma. Gjennom delvis oppsmelting og konsentrering av metaller, er det avgjørende at metallet har en inkompatibel oppførsel slik at det ikke blir fjernet fra smelten av tidlige krystalliserende faser. En annen viktig faktor er dannelse av en hydrotermal fluidfase på et riktig tidspunkt.

2.3.1 Delvis oppsmelting

Delvis oppsmelting er en prosess der kun en del av bergarten smelter, og genererer ny magma som er mindre mafisk enn kildebergarten som smeltes (Turcotte, 1987). Hovedsakelig forekommer delvis oppsmelting ved subduksjonssoner og midthavsrygger. Mineraler ved lavest kystallisasjonstemperatur vil være de første til å smeltes og enkelte sporelementer som ikke substituerer for andre elementer går heller inn i smeltefasen enn i andre krystalliserende mineraler.

2.3.2 Sporelement, substituering og fordelingskoeffisient

Sporelement er definert som et element i en bergart med mindre konsentrasjon enn 0,1 vektprosent eller 1000 ppm (Rollinson, 1993). Gjennom delvis oppsmelting vil sporelementer enten gå til smeltefasen eller bli værende i det faste materialet, og dette kontrolleres av Goldschmidts regel (Goldschmidt, 1937). Goldschmidts regel slår fast at substitusjonsprosesser foregår mellom elementer som har lik ioneradius og ioneladning, slik at elementer kan erstatte hverandre i krystallgitteret. Substitusjon blir vanskeligere når forskjellen mellom ioneradius (r) og ioneladning (z) blir større slik at krystallgitteret ikke tillater bytting av sine eksisterende elementer. Dersom to elementer har samme radius, men ulik ladning, vil den med høyst ladning gå inn i krystallgitteret fremfor i smelten, og den med minst ladning gå i smelten. Generelt er det ionepotensiale (z/r) som styrer om et element er kompatibelt eller inkompatibelt. Et inkompatibelt element har vanskeligheter for å substituere for eksisterende elementer i krystallgitteret hos mineraler, og forblir i residualsmeden. Kompatible elementer har lik ioneradius og ioneladning som elementer i mineralfasen, og vil derfor kunne substituere for disse.

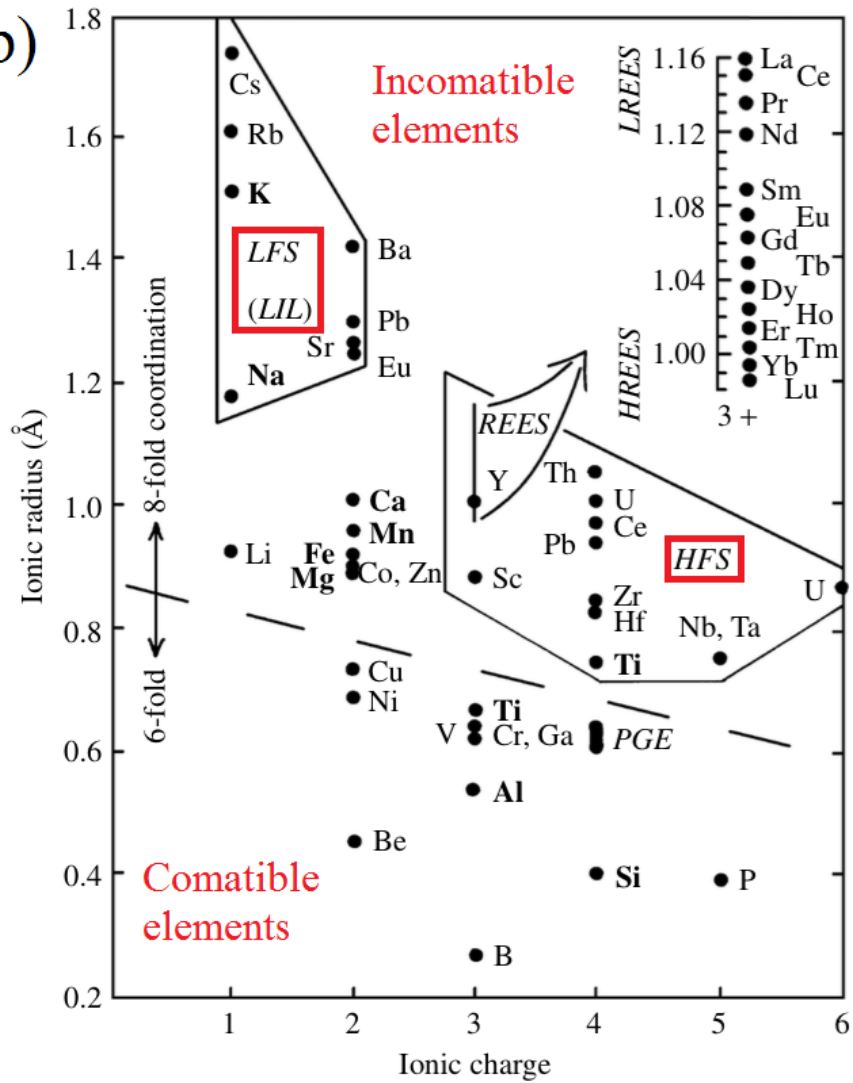
Partisjonskoeffisienten til elementet vil påvirke dette forløpet, og er et uttrykk for empiriske konstanter knyttet til elementet og dets vertsmineal. Partisjonskoeffisienten sier noe om hvor kompatibelt/inkompatibelt elementet er, og er et forhold mellom konsentrasjonen av element i mineral/fast stoff og konsentrasjonen av det samme elementet i en smelte. Om forholdet er høyere enn 1, vil elementet være kompatibelt, slik at elementet konsentreres i mineralet. Er

partisjonskoeffisienten under 1 vil elementet være inkompatibelt og konsentres i smeltefasen (McIntire, 1963). Dette forholdet er også avhenging av hvilken bergart elementet er i og de andre mineralene og elementene som er til stede i smelteprosessen, i tillegg til trykk og temperatur. Inkompatible elementer deles inn i to grupper (Figur 8a); elementer med høy ladning og liten ioneradius, HFS («High Field Strength») og elementer med lav ladning og stor ioneradius, LIL («Low Ion Lithophile»), der de sistnevnte er mer mobile, særlig når en hydrotermal fluid er til stede (Ragland, 1989). Figur 8a viser gruppering av hoved- og sporelementer med hensyn til ioneradius og ioneladning, og inndelingen av HFS og LIL (Ragland, 1989). Hovedelementer og sporelementer kan substituere for hverandre og Figur 8b viser typiske elementer som substitueres (Winter, 2010).

a)

Major element	Substituting trace element(s)
Si	Ge, P
Ti	V
Al	Ga
Fe	Cr, Co, Ni
Mg	Cr, Co, Ni
Ca	Sr, Eu, REE's
Na	Eu
K	Rb, Ba, Sr, Eu

b)

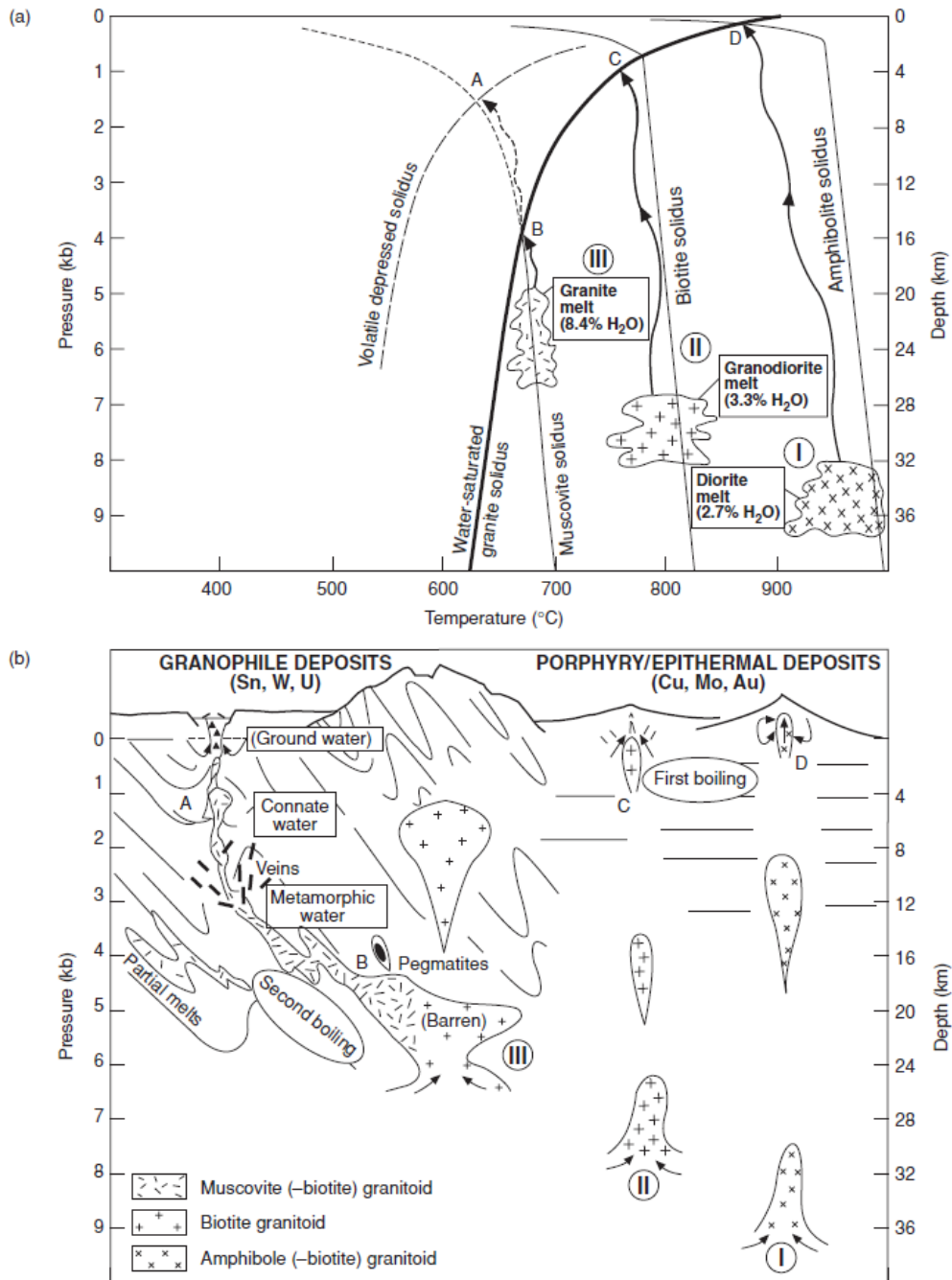


Figur 8a) Tabell over sporelementer som typisk substituerer for hovedelementer (Winter, 2010)

b) Diagram viser fordelingen av elementer med hensyn til ioneradius og ioneladning, og viser hvilke som lettest vil substituerer for hverandre (Ragland, 1989)

2.3.3 Rollen av vanntilførsel

Vann spiller en stor rolle i dannelsen av mange typer malmforekomster, og omtales ofte som hydrotermale fluider. Magmatisk vann, sjøvann fra subdukerende havbunnskorper og meteorisk vann, er flere vannkilder som kan påvirke magmautviklingen. Nedbrytning av vannrike mineraler (f.eks. glimmermineraler) bidrar også med vann. Sirkulerende fluider kan tiltrekke metaller på veien og oppnå høye konsentrasjoner som øker potensialet for malmforekomster. I denne sammenhengen er mengde vann en avgjørende parameter. S-type granitter kan ha dobbel så mye vann som I-type granitter. Vannkilden er primært dehydrering av mineraler som amfibol, biotitt og muskovitt. Diagram i Figur 9a, viser på hvilket stadie ulike protolitter blir dannet og deres potensielle vanninnhold. Diagramet viser oppsmelting av ulike protolitter ved ulikt trykk og temperatur med varierende mengde vanninnhold. En vannrik S-type (8,4 % H₂O) smelte dannes fra en muskovittrik sedimentær protolitt (Figur 9a i III), som ikke vil migrere langt før den når vannmetting ved punkt B (markert langs soliduskurve for granitt) siden muskovitt har høyest vanninnhold og større potensiale for vannmetting ved relativt høye trykk. Typisk vil denne smelten resultere i en ikke-malmførende intrusjon (Figur 9b i III), siden vannmetting skjer på et tidlig stadie, og ingen elementer rekker å lage komplekser med OH-ionene. Dersom store mengder inkompatible elementer konsentreres i residual smelten, og med tid kan H₂O-fluid-metting forekomme ved «second boiling» i scenario Figur 9b-B og danne pegmatitter og andre malmforekomster. I-type vil derimot migrere lengre opp i skorpen før den er helt krystallisert, foreksempel ved oppsmelting av en amfibolittrik protolitt. Protolitter med minst vanninnhold, foreksempel en dioritt (I) med kun 2,7 % H₂O vil migrere lengst, og på veien oppsamle malmpotensielle elementer (Cu, Mo, Au) og muligens separere dem fra den krystalliserende smelten ved «first boiling» (Figur 9b ved IIC og ID).



Figur 9a) Trykk-temperaturplott viser hypotetiske soner med oppsmelting av ulike protolitter som følger en $25\text{ }^{\circ}\text{C km}^{-1}$ geotermal grad. Hver protolitt følger et teoretisk adiabatisk nedkjølingsforløp med reduserende $1,5\text{ }^{\circ}\text{C kbar}^{-1}$ som illustreres av tre ulike soliduslinjer som funksjon av solidus for vannmettning. Langs de tre soliduslinjene for hver protolitt, stiger magma opp mot skorpen inntil systemet når vannmetting, illustrert med granittsolidus, og smelten krystalliseres i punkt B, C, D b) Diagrammet viser profil fra skorpen med ulike smelteforløp vist med hensyn til dybde og trykk og deres metallkonsentrasjoner under de samme forholdene i a (Strong, 1988).

2.3.4 Fordeling av metaller gjennom delvis oppsmelting

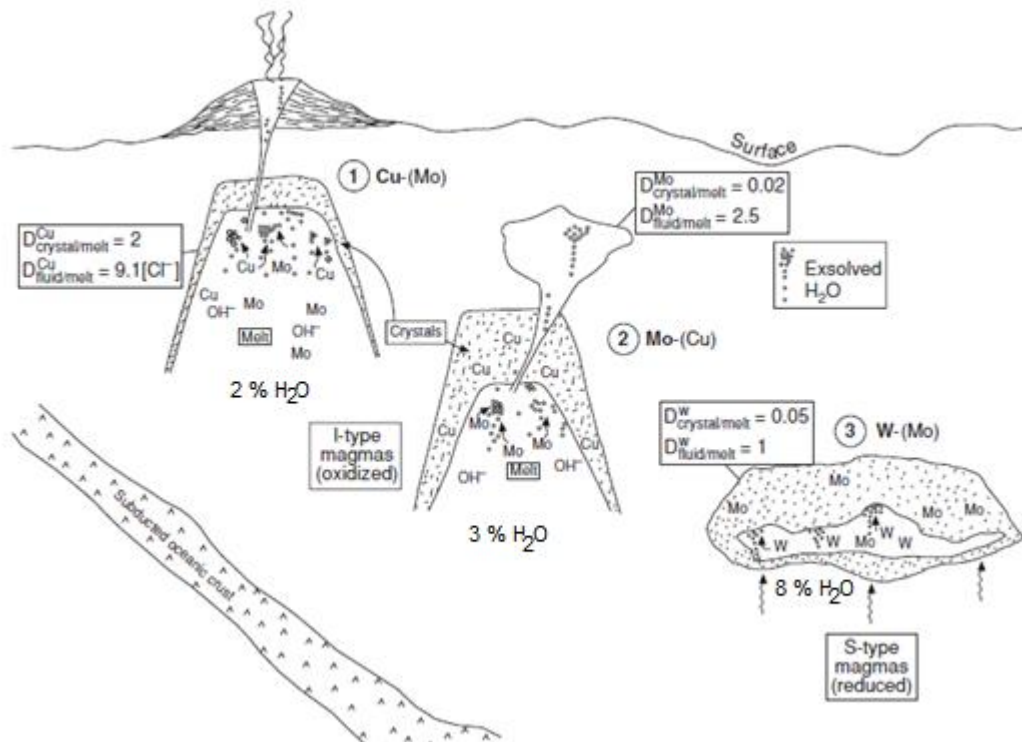
Økonomiske metaller utgjør ofte noe av mineralets kjemiske formel. Når en bergart blir oppsmeltet, genereres ny smelte som vil stige og eventuelt med redusert trykk («first boiling»), eller ved krystallisering («second boiling») oppnå vannmettning. I slike tilfeller vil smelten separere en vannmettet fluidfase, som er lettere enn silikatsmelten. Metaller kan bli redistribuert fra å være i et fast materiale til å være frie ioner, der enkelte enten foretrekker silikatrik smelte, magmatisk H₂O-fluid, eller krystalliserer som sporelement i andre mineralfaser og blir ikke en malmforekomst. H₂O-fluid derimot, har vesentlig lavere tetthet i forhold til silikatsmelten og krystallene, så denne fasen vil konsentreres i øvre deler av magmakammeret og potensielt utvikle malmforekomst. Temperatur, trykk, når smelten blir vannmettet, oksygenfugasitet, pH, fordelingskoeffisient («partition coefficient») er alle faktorer som påvirker metallenes oppførsel. Fordelingskoeffisient, D_i , for metaller mellom silikatsmelte og en separert magmatisk H₂O-fluid i en smelte bestemmes av H₂O-fluid/silikatsmelte (OH-rik smelte/OH-fattig smelte) for komponent i (Candela, 1989).

Dette forholdet er ikke en konstant, men avhenger av faktorene nevnt ovenfor. Fluid/smelte fordelingen er mer komplisert i forhold til krystall/smelte fordelingen (kompatibel/inkompatibel), ettersom fluid/smelte avhenger av vannmetting, og inkompatible sporelementer avhenger av løsligheten til både fluid og magmaet som de kommer fra (Candela, 1989). Innholdet i H₂O-fluid kan spille en stor rolle. Foreksempel om H₂O-fluid har høy klorkonsentrasjon, vil spesifikke metaller bli mer tiltrukket til denne fasen, enn til silikatsmelten. Dette gjelder ikke alle metaller, men er typisk for Cu. Det er tydelig at begge fluid/smelte og krystall/smelte fordelingskoeffisienter spiller en stor rolle for metallenes fordeling i krystalliserende granittisk magma. Disse parameterne, sammen med granitttype, plasseringen, og når vannmetning oppstår i forhold til krystalliseringsgrad, kan si noe om opprinnelsen og utviklingen til mange magmatiske, hydrotermale malmforekomster (Robb, 2005).

2.4 Porfyrforekomster (Cu og Mo)

Porfyrforekomster er magmatisk-hydrotermale forekomster der sulfidrike og oksidrike mineraler er utfelt fra vannrike løsninger ved lavere temperaturer (Seedorff et al., 2005). Globalt sett er porfyrforekomster verdens viktigste kilde til Cu og Mo (Sinclair, 2007). Mo er vanligvis assosiert med Cu-porpyrforekomster, som kalles molybden-kobber-porfyrtype/Mo (Cu) forekomster som tilhører I-type granitter i oksiderte soner i sammenheng med smelteprosesser tilknyttet subduksjon av havbunns skorpe (Robb, 2005). Figur 10 viser typiske

Cu-og Mo porfyrganittforekomster for scenario 1 og 2. Cu (Mo) porfyrganitter har Cu som hovedbestand og mindre Mo, mens Mo (Cu) porfyrganitter har Mo som hovedmineralisering. Den mest kritiske faktoren er konsentrasjon og oppførselen av OH^- under krystallisasjon av magmaet, som bestemmer utviklingen av Cu (Mo) og Mo (Cu) porfyrganitter.



Figur 10 Modellen viser opprinnelse og dannelse til Cu, Mo og W forekomster, som assosieres med smelteprosesser nært subduksjonsoner av havbunnskorpe. Cu (Mo) har relativt lite vanninnhold (2 %), der kildebergarten er en amfibolitisk protolitt. Mo (Cu) har høyere vanninnhold (3 %) ettersom kildebergarten er en biotittrik protolitt. Elementenes fordelingskoeffisienter, D , for både krystall/smelte og H_2O -fluid/smelte (eventuelt klor-rik for Cu) er markert. Partisjonskoeffisienten for molybdenitt i krystall/smelte $\ll 1$, oppfører seg heretter som et inkompatibel element, mens D for H_2O -fluid/smelte foretrekker Mo H_2O -fluid. Modifisert av Robb (2005) etter Strong (1988).

2.4.1 Kobber (Cu) i en granittisk smelte

Cu (Mo) porfyritisk granittsmelte har generelt lite vanninnhold og dannes ofte fra oppsmelting av en amfibolitt ved høye temperaturer dypt i den kontinentale skorpen (scenario 1 vist i Figur 10). Figuren illustrer Cu oppførsel i en situasjon med krystalliserende smelte og en situasjon med klorrik H₂O-fluid/smelte. Cu kan oppføre seg som et kompatibelt element i en krystalliserende granittisk smelte ($D_{\text{krystall/smelte}} = 2$) gitt at mafiske mineraler er til stede som danner ikke-malmførende intrusjoner. Dette er foreksempel om Cu²⁺ substituerer for Mn²⁺ eller Fe²⁺ i Mn- og Fe-rike mineraler, og ender opp som sporelementer i biotitt og andre sulfider. Siden magmaet er plassert i et lavtrykks regime (Figur 10 scenario 1), vil systemet oppnå vannmetting tidlig, før noen mineraler rekker å krystallisere og ved «first boiling» vil gassrik fase (H₂O-fluid) bli utskilt fra silikatsmelten, og ekstrahere Cu fra smelten. Figur 10 scenario 1 viser effekten av klor i fluiden som påvirker konsentrasjonen av Cu ($D_{\text{fluid/smelte}} = 9,1$). Derfor oppfører Cu seg også som et inkompatibel element, ettersom Cu ikke inkorporeres i mineralfaser, men blir med oppstigende hydrotermale fluider («exovled H₂O i figur 10 scenario 2) og konsentres som forekomst lengre oppe i skorpen. I samme situasjon med lav krystalliseringsgrad og med hensyn til Mo i scenario 1, motvirker dette Mo-anrikning i smelten og kun deler av Mo går i H₂O-fluider ved tidlig vannmetting. Partisjonskoeffisienten for Mo er relativt liten (H₂O-fluider/smelte = 2,5) så mindre konsentrasjon forventes i den oppstigende gassfasen (H₂O-fluider) i scenario 1.

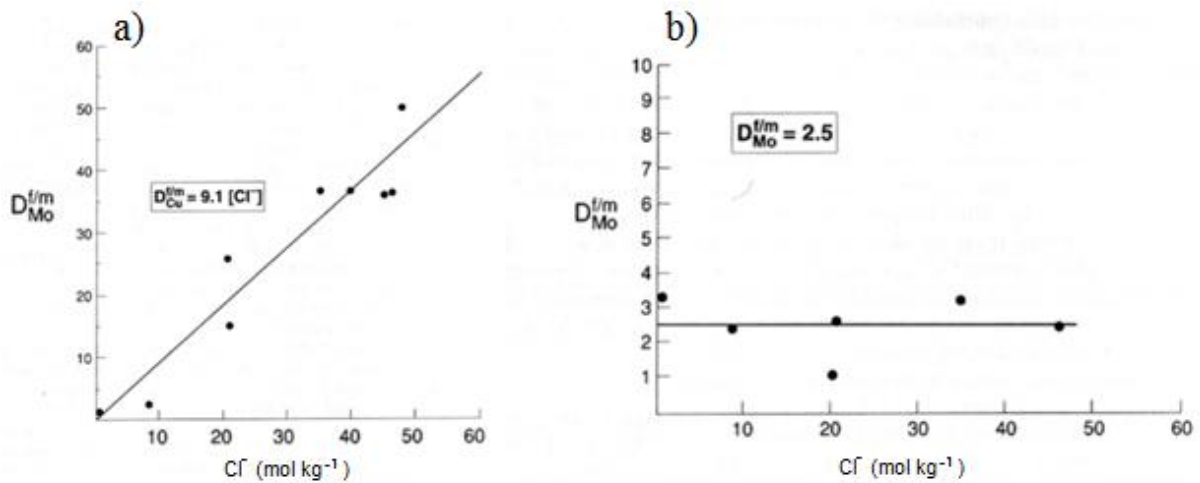
Forsøk utført av Candela and Holland (1984) med granittisk smelte og koeksisterende klor og fluor-rik H₂O-fluid er gjort for å se effekten av Cu og Mo-konsentrasjonen. Figur 11a viser at Cu-konsentrasjonen øker ved økt klorinnhold i H₂O-fluid (gassfasen), mens konsentrasjonen av Mo er uavhengig av om klor er til stede (Figur 11b). Effekten av fluor i H₂O-fluid vil ikke ha noen betydning for verken Cu eller Mo.

2.4.2 Molybden (Mo) i en granittisk smelte

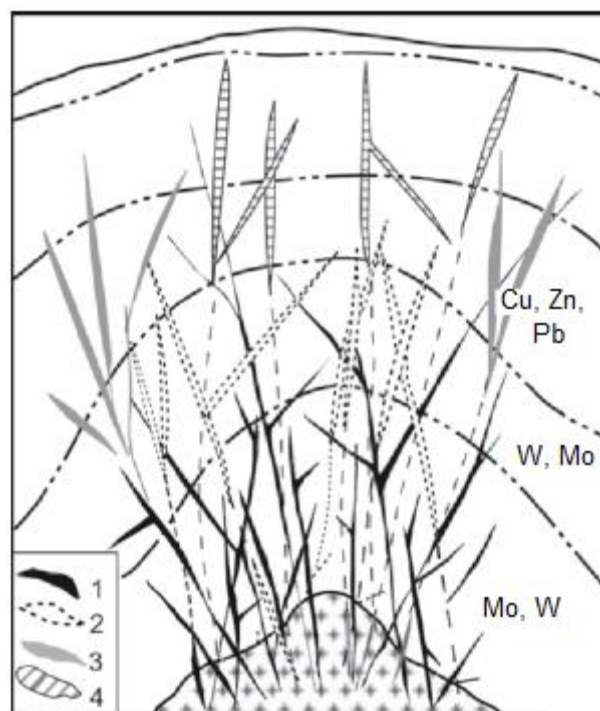
Mo er mer inkompatibelt enn Cu, siden Mo er et inkompatibelt element i forhold til de fleste mineraler som dannes under krystallisering av en granittisk smelte (Candela, 1989). Partisjonskoeffisienten for Mo, $D_{\text{krystall/smelte}} \ll 1$, som tilsvarer at Mo foretrekker å være i smelten heller enn å krystalliseres i andre mineraler. Ettersom nedkjøling og krystallisering foregår, vil smeltekomposisjonen endre seg, anrikes mer i Mo, og vanninnholdet øke og til slutt bli vannmettet. På dette tidspunktet vil smelten skille ut en vannrikfase som Mo blir transportert med («second boiling») (Lowenstern et al., 1993). Utviklingen av Mo-rik porfyrganitt tilsvarende scenario 2 i Figur 10, krever at riktige forhold er til stede. Mo (Cu)

porfyrisk smelte har mer vanninnhold enn Cu (Mo) porfyrisk smelte, som avhenger av protolitten. Dersom den er biotittrik, vil den tilføre mer vann til smelten. Når magmaet har høyere vanninnhold, tillates det større grad av krystallisering som gir Mo mulighet til å kunne anrike smelten. Dette fører til at Cu vil bli inkorporert i krystalliserende faser. Når magmasystemet oppnår vannmettning, konsentres Mo i H₂O-fluid, og kan deretter stige gjennom overliggende bergarter som enten vil følge sprekkesystem, eller infiltrere sidebergaten og migrere gjennom porer og mikroårer og spre seg lateralt deretter (Chen and Grapes, 2007). En slik prosess vil ikke favorisere potensial Mo-forekomst, grunnet liten konsentrasjon og stor spredning av Mo. Ved vannmetting vil ofte det hydrostatiske trykket overstige trykket i magmaet, og ekspandere sidebergarten og danne sprekker. På denne måten oppkonsentreres Mo som stiger opp sammen med H₂O-fluider (Figur 12).

Som nevnt oppfører Mo seg stort sett som et inkompatibelt element i en krystalliserende smelte, men Mo er til dels kompatibel i enkelte mineralfaser i bestemte bergartstyper, som kan inkorporere Mo i deres krystallfaser dersom det er tilstrekkelige forhold. Mahood and Hildreth (1983) har estimert empiriske fordelingskoeffisienter for Mo i mineral og tilhørende bergartstyper som avslører relativt høye partisjonskoeffisienter i magnetitt (29) og ilmenitt (11) for silikarike ryolitter, og i magnetkis (161) for ryolitter. Mo har noe lavere fordelingskoeffisienter i peraluminøse granitter for biotitt og K-feltspat (1,58-1,77) (Bea et al., 1994).



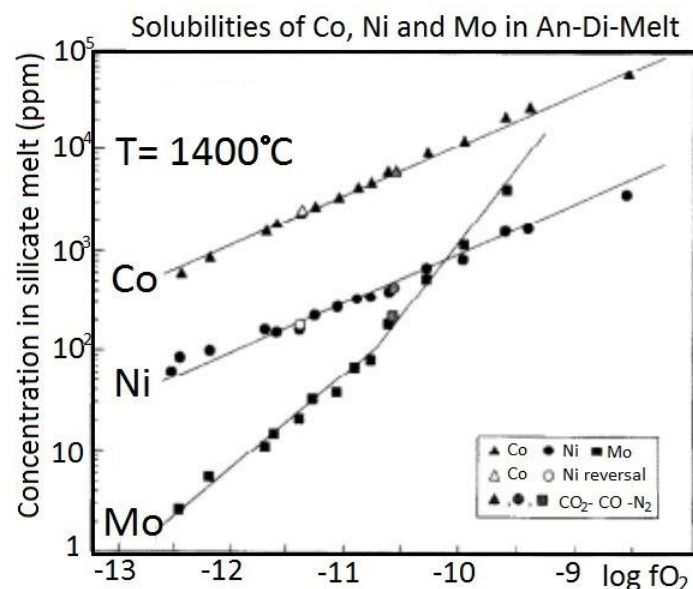
Figur 11a) Diagram viser korrelasjon mellom Cl og Cu med partisjonskoeffisient 9,1 (basert på forsøk på 750°C med 1,4 kbar) for H_2O -fluid (Cl-rik)/silikarik smelte, slik at økende Cu styres av økende Cl i H_2O -fluid b) Det er ingen korrelasjon mellom økende Cl i H_2O -fluid og Mo-konsentrasjon. Mo er uavhengig av væskens Cl-innhold, men vil fortsatt fordele seg i fluid ($f/m = 2,5$). Partisjonskoeffisient for Mo, $D^{f/m} = 2,5 \pm 1,6$, er basert på forsøk på 750°C med 1,4 kbar. Modifisert av Robb (2005) etter Candela and Holland (1984).



Figur 12 Modell av sonerte hydrotermale forekomster ved stigende H_2O -fluid som utfeller metaller langs sprekken. Typisk vil Mo oppkonsentreres nært intrusjonen. 1;Mo-åre, 2;W-åre, 3; sulfid-åre, 4;karbonat-åre. Etter Lin (2005) hentet fra Chen and Grapes (2007).

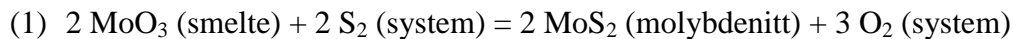
2.4.3 Molybdenittdannelse

Molybden (Mo) er særlig knyttet til dannelsen av molybdenitt (MoS_2), som ofte assosieres med porfyrgranittforekomster. I hydrotermale løsninger er Mo som regel til stede som molybdenoksid (MoO_3) eller $\text{MoO}_2(\text{OH})_2$ med høyere oksidasjonstall (Mo^{+6}) (Candela and Holland, 1984, Stein et al., 2003, Audétat et al., 2011). Det kreves derfor en reduisering av Mo^{+6} til Mo^{+4} for å danne MoS_2 (Stein et al., 2003), som avhenger av oksygenfugasitet ($f\text{O}_2$), svovelfugasitet ($f\text{S}_2$), trykk og temperatur. For å danne molybdenitt, må sulfurkomplekset i eventuelle fluider eller smelte også være redusert, HS^- (S^{-2}) fremfor SO_2^4 (S^{+6}) (Robb, 2005). For å oppnå høye Mo-konsentrasjoner i en smelte, kreves det høy Mo-løslighet i smelten, som avhenger blant annet av temperatur, trykk og $f\text{O}_2$ (Holzheid et al., 1994, Isuk and Carman, 1981). Isuk and Carman (1981) har undersøkt maksimum løslighet for Mo i alkalisilikariske fluider og koeksisterende gassfaser på rundt 650°C , med en stagnerende løslighet ved høyere temperatur og høyere løslighet ved økt trykk ($< 680\text{ kbar}$). Eksperiment av Holzheid et al. (1994), viser silikatsmelte med konstant oksygenfugasitet ($-10,3\text{ log } f\text{O}_2$), der Mo-konsentrasjonen minker fra ca $1000 - 120\text{ ppm}$ i temperaturer fra $1350 - 1430\text{ C}^\circ$ (Figur 13). For å oppnå Mo-konsentrasjon over 1000 ppm i silikatsmelte, trengs det høy oksygenfugasitet ($-9,5\text{ log } f\text{O}_2$) ved 1400 C° (Holzheid et al., 1994).

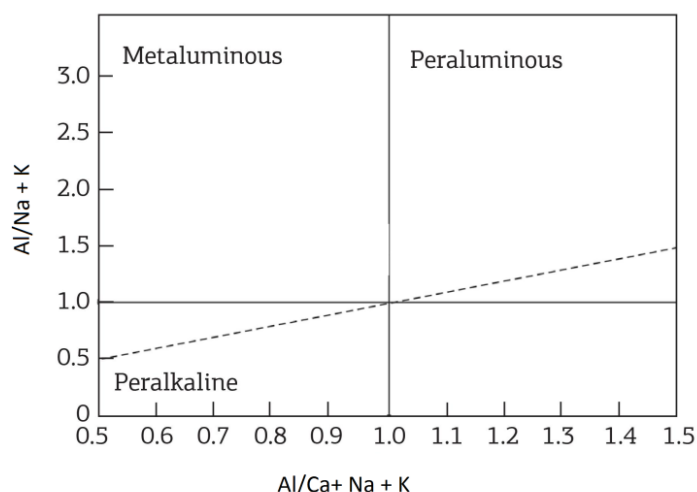


Figur 13 Eksperimentelle data viser konsentrasjon av Co, Ni og Mo som funksjon av oksygenfugasitet i silikamelte (Anortitt-diopsid eutektisk sammensetning) med konstant temperatur 1400°C . Eksperiment gjort under atmosfære $\text{CO}_2\text{-CO-N}_2$ som er markert med symboler (Etter Holzheid et al. (1994)). Partisjonskoeffisient for Mo er hentet fra Schmitt et al. (1989) med metal/silikatsmelte $\log f\text{O}_2$; -13: 4265, -12: 155, -11: 5,6.

Løsligheten av molybdenitt kan beskrives som følgende (Audétat et al., 2011);



I følge (1) må Mo-konsentrasjonen av MoS₂-mettede smelter, øke med økt $f\text{O}_2$ i systemet eller reduksjon av $f\text{S}_2$ i systemet. Begge variablene er en funksjon av temperatur. Løsligheten av molybdenitt kan kalkuleres dersom smelten har nådd metting av magnetkis, der mengden av Mo i smelten brukes til å estimere $f\text{O}_2$ og $f\text{S}_2$ for systemet dersom temperatur er kjent (Audétat et al., 2011). Audétat et al. (2011) bekrefter at Mo-konsentrasjoner i ryolittiske magmatiske fluider er svært lave i forhold til magmatisk- hydrotermale fluider. Molybdenitt er naturlig hydrofobisk og kan lett stige sammen med vannrike fluider, som tilfredsstillende en model basert på Mo-transport via magmatiske fluider (Audétat et al., 2011). Kilden til molybden ved dannelse av Mo-forekomster er foreslått som magmatisk opprinnelse typisk fra alkaline magmaer (Audétat, 2010). Mo-porfyrforekomster er inndelt i to hovedtyper; der den ene er assosiert med kalk-alkaline magmaer, som er mindre utviklet, lav fluor-innhold og lav Mo-konsentrasjon. Denne gruppen er assosiert med mer ryolittisk-alkaline magmaer som er mer utviklet, og preges av høyere fluor og høyere Mo-konsentrasjon (Kula C, 2000). Peralkaline magmaer inneholder høyere konsentrasjoner av Mo i forhold til metaluminøse magma, som muligens skyldes stabile Mo⁶⁺ og Mo⁴⁺ i peralkaline silikatvæsker (Lowenstern et al., 1993). Ulike sammensetninger for granitter bestemmes av aluminium, natrium, kalium og kalsium-innhold og klassifiseres som met- eller peraluminøse eller peralkaline granitter (Figur 14). Peralkaline magma kan inneholde mindre magnetitt, ilmenitt og titanitt i forhold til metaluminøse magma, og kan derfor unngå at Mo inkorporeres som sporelement i disse mineralfasene. Lowenstern et al. (1993) påpeker at Mo i peralkaline systemer oppnår knapt høyere konsentrasjoner enn 30 ppm i silikatsmelter, så konsentrasjonen i Mo-porfyrforekomster er mest sannsynlig et resultat av fluidtransport enten under pre-, syn- eller postmagmatisk krystallisasjon (Lowenstern et al., 1993).



Figur 14 Diagram viser ulike granittiske sammensetninger basert på aluminium (Al), natrium (Na), kalium (K) og kalsium (Ca)- innhold (Maniar and Piccoli, 1989)

Kvarts forekommer typisk sammen med molybdenitt i molybdenittforekomster (Isuk and Carman, 1981), og eksperimentelt transporteres Mo i vannrike alkali-silikariske smelte, stort sett som silikatkomplekser ($\text{MoSi}_2\text{O}_5^{+2}$ og MoSi_2O_6) og etterhvert oppkonsentreres kompleksene via fraksjonering i magmasmelten. Når en fluid oppnår gassmetting, vil Mo-silikatkompleks destabiliseres, og Mo-ionene skilles fra SiO_2 -molekylene, og utfelling av molybdenitt (om tilgjengelig svovel) og kvarts som egne faser (Isuk and Carman, 1981). Molybdenitt er en vanlig aksessorisk fase i silikariske magma, der magmatisk molybdenitt metting forekommer hyppigst i ryolittiske magma

2.4.4 Hydrotermale omvandlingssoner (porfyrtype granitter)

Omvandlingssoner forbindes med magmatisk hydrotermal aktivitet, der til stedevarrelse av sirkulerende fluider under lavt trykk og temperatur stammer fra magmatiske bergarter (Pirajno, 2009). Fluidene påvirker sidebergartene og endrer deres mineralsammensetning ved nedbrytning og utfelling av nye mineraler for å oppnå likevekt. Det finnes ulike prosesser av omvandling, som karakteriserer ulike omvandlingssoner som er oppsummert i Figur 15. Prosesser som kontrollerer stabiliteten av silikatmineraler og pH i løsningen, er hydrogen ion metasomatose (H^+ eller OH^- konsumeres av silikatmineraler), og dermed frigis metallioner i løsningen, som vil påvirke pH-verdien. Utveksling av kationer er også en vanlig reaksjon, der Na^+ byttes ut for K^+ og motsatt, for å oppnå likevekt i systemet. Et eksempel på dette foregår i feltspat når Na^+ erstatter K^+ i mikrolin, som endrer seg til albitt ($\text{KAlSi}_3\text{O}_8 + \text{Na}^+ \rightarrow \text{NaAlSi}_3\text{O}_8 + \text{K}^+$) (Pirajno, 2009).

Porfyrgranitter har ofte konsensentriske omvandlingssoner som representerer ulike mineralsammensetninger, forårsaket av hydrotermal omvandling som avhenger av temperatur- og trykkg regime, sidebergartskomposisjon, fluidinnhold og graden av reaksjon mellom fluid og bergart og den såkalte fluid/bergart ratio. Omvandlingssone nær kjernen til intrusjonen kalles «potassic» omvandling, og overlapping av de ulike omvandlingssonene er vanlig (Seedorff, 2005). Nedenfor blir omvandlingssonene utredet med hensyn til petrologi, prosesser og temperaturregimer.

«Potassic» omvandling (K-metasomatose)

«Potassic» omvandling som også kalles K-metasomatose, representerer høyeste temperaturregime (450-600° C) og dannes næmest kjernen til intrusjonen. Denne omvandlingen er stort sett preget av K-feltspat, kvarts, biotitt, og sulfider (kobberkis, svovelkis, og molybdenitt). Biotitt er vanligvis grønn og rik på jern, og K-feltspat er ofte rød som skyldes hematitt inklusjoner (Pirajno, 2009). Omvandlingssonen kan også ha små mengder av anhydritt, karbonater og apatitt. Titanrike biotitter brytes ofte ned til rutil.

«Phyllic» omvandling

«Phyllic» (seritisering) omvandling forekommer som et skall utenpå den kalsiske omvandlingen, der kontakten mellom dem er gradvis, mens k-feltspat og biotitt øker jo nærmere sonen til potassic omvandling. Phyllic omvandling foregår i lavere temperaturer, der hydrolyse/destabilisering av feltspat danner serisitt (Pirajno, 2009), grunnet til stedeværelse av H, OH, K, og S, som danner kvarts, muskovitt, svovelkis og frigir Na, Mg, Ti, Fe, og K. Mindre kloritt og spor av rutil er vanlig. K-feltspat er totalt serisert i innerste kjerne og plagioklas har ofte serisitt i tvillingplan og dens kløv. Originale biotittkorn kan gjenkjennes på tross av seritisingen, siden den ofte har god orientering. Svovelkis kan utgjøre høye vektprosent fra 2-30 %, og en del varierende mengde disseminert kobberkis (Pirajno, 2009, Lowell and Guilbert, 1970).

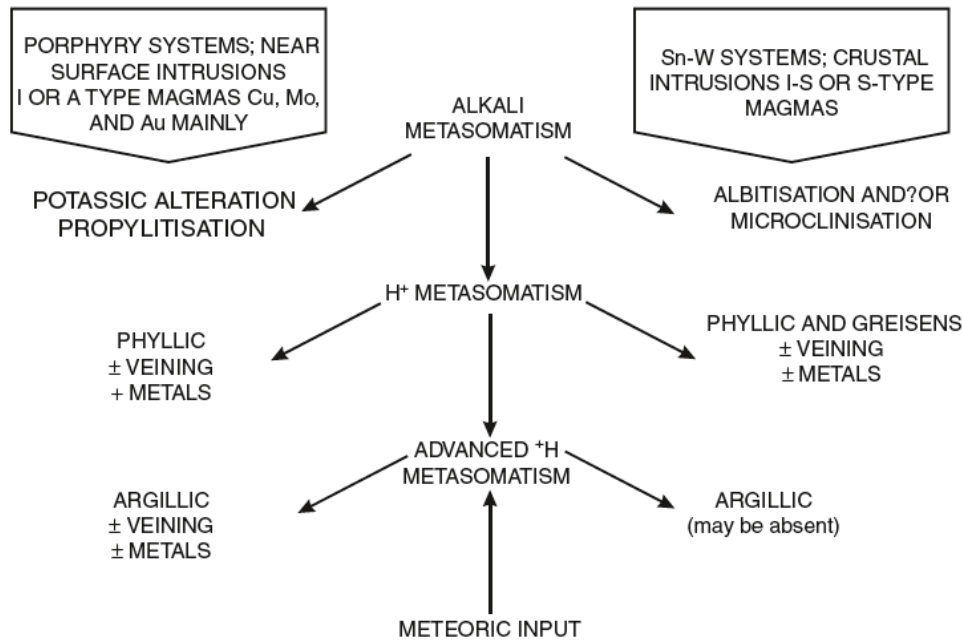
«Propylitic» omvandling

Yttersonen kalles «propylitic» omvandling, som skyldes H⁺-metasomatose, derav en økning i vanninnholdet. Denne sonen er hovedsakelig karakterisert av kloritt og epidot, og mindre biotitt, kalsitt, clinozoisitt, zoisitt, og albitt i temperaturer rundt 200-350° C (Robb, 2005). Kloritt og karbonater kan ofte erstatte biotitt langs kløv, eller erstattes totalt (Cameron, 1993). Plagioklas er ofte upåvirket.

«Argillic» omvandling

Leireomvandling er karakterisert av dannelsen av leireminerale gjennom intens H⁺-metasomatose rundt 100-300° C (Pirajno, 2009). Omvandlingen forekommer som regel utenpå den serisittiske sonen, ved hjelp av meteorisk vann (lav pH). Denne sonen kan

inndeles i to grupper; intermediær og «advanced». Sistnevnte er karakterisert som en ekstrem form for frigjøring av Na^+ og K^+ grunnet meteorisk vann som bryter ned alt av feltspat og mafiske silikater. I intermediate omvandling omvandles plagioklas til kaolinitt og til montmorillonitt typisk i periferi av porfyrssystemer (Robb, 2005).

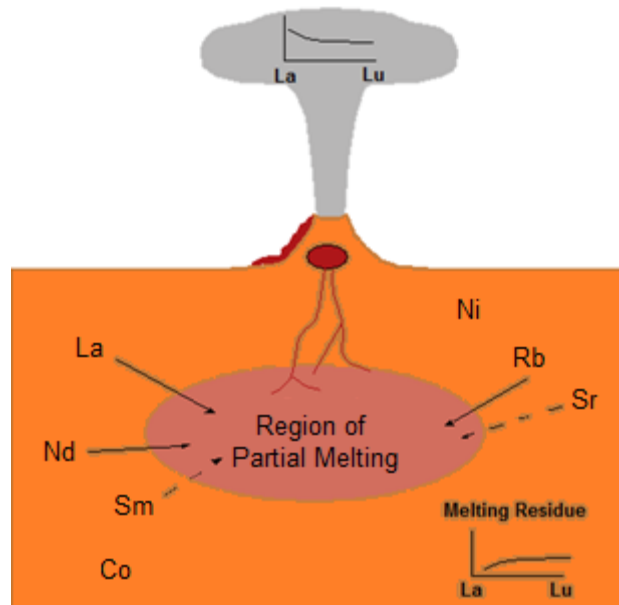


Figur 15 Flytskjema som illustrerer prosessene som fører til de ulike omvandlingssonene for I-, A- og S-type porfyrgranittiske systemer (Pirajno, 2009). Alkalimetasomatisme frigjør H^+ , som reduserer alkali/ H^+ forholdet, og destabiliserer feltspat og glimmer, med ny vekst av andre minerafaser (greisen er et Cornish gruveuttrykk for grovkornet kvartsmuskovitt med eksotiske mineraler) og serisitisk omvandling. Avansert H^+ -metasomatisme skyldes meteorisk vann (lav pH), og grad av oksidering, hvor «argillic» omvandling vil forekomme.

2.5 Magmautvikling; sporelementer og REE

Hovedelementer er ofte brukt til å klassifisere bergarter og utforske hypoteser om deres opprinnelse og smelteutvikling. Ulike faser i en magmasmelte tar selektivt til seg enkelte elementer eller ekskluderer dem fra sine faser. Sporelementer er svært sensitiv til magmatiske krystalliserings- og smelteprosesser og kan derfor gi informasjon om smeltens utviklingen av et magma. Det finnes mange sporelementer, men ikke alle er like nyttifulle. REE (Rare Earth Element») er en forkortelse for de sjeldne jordartselementene og ved hjelp av deres signatur i en bergart eller mineraler, kan dette fortelle hvordan smelten/magmaet har utartet seg (Figur 16). Mafiske mineraler og plagioklas er vanligvis REE-bærere, mens for mer silikarike bergarter er det aksessoriske mineraler som zirkon, apatitt, xenotime, monasitt og allanitt som utgjør REE-budsjettet (London and Černý, 2008). Etter monasitt, er allanitt det viktigste LREE-rike mineralet (Bea et al., 1994). Aksessoriske mineraler blir ofte dannet når residuالمelten blir mettet på enkelte inkompatible elementer, og danner egne faser.

REE har like ladninger 3^+ , men deles inn i to hovedgrupper basert på kompartibilitet og egenvekt. Den første gruppen består av de mest inkompatible elementene med lettere egenvekt, LREE («Light-REE»); La, Ce, Pr, Nd, Sm og Eu. Den siste gruppen er den mest kompatible gruppen og består av de tyngre, HREE («Heavy»-REE); Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb og Lu. Fordelingen av REE fremvises som regel i et spiderdiagram med konsentrasjon mot de ulike elementene. Konsentrasjonen av hvert element sammenlignes med en standard, som viser elementer som er anriktet eller utarmet med utgangspunkt i denne standarden. REE-signaturer kan foreksempel indikere hvilke mineraler som har krystallisert og tatt til seg enkelte REE-elementer. Ved økt smelteutvikling vil enkelte elementer øke konsentrasjon i spesifikke mineraler. Denne kunnskapen kan være nyttig dersom man vet hvilke mineraler som er til stede i en bergart og man kan dermed anta hvilke elementer som har krystallisert i de ulike mineralene. Eu er et av disse elementene, som ofte substituerer for Ca^{2+} i plagioklas (dersom Eu^{3+} oksideres til Eu^{2+}). Jo mer Eu som krystalliseres i plagioklas, jo mindre konsentrasjon av Eu blir igjen i smelten. På denne måten kan man si noe om smeltens utvikling illustrativt via spiderdiagram, der Eu-anomali enten er positiv eller negativ. Dersom Eu-anomalien er positiv, representerer dette kumulatfasen som har krystallisert plagioklas som har tatt til seg mer Eu i forhold til de andre krystalliserende mineralene i magmaet. Om resten av smelten separeres fra magmaet med plagioklas (fraksjonering), og krystalliseres lengre vekk, vil den vise en negativ Eu-anomali (Winter, 2010).



Figur 16 Modell som viser fraksjonering av sporelementer gjennom delvis smelting , med spiderdiagram viser forventet REE-fordeling for residual smelten og den oppstigende smelten. Residualsmelten er anrikt av de mest kompatible elementene (HREE) og den oppstigende smelten er anrikt på LREE (Allmendinger, 2009).

3 Metode

3.1 Feltarbeid

Feltarbeidet har foregått i to omganger, den første fra 2 til 11 juni 2014, og den siste fra 15. til 19. september sammen med representanter fra NGU, veiledere fra NTNU og masterstudent Martin A. Stormoen fra NTNU. Vi har bodd i privat hytte i området og herfra hatt muligheten til å gå til nærmeste lokaliteter, og for de mer distanserte lokalitene har vi kjørt bil.

3.1 Feltutstyr

I tillegg til bruk av generell geologisk feltutstyr, ble håndholdt magnetometer godt brukt. Magnetometeret ble brukt for å få en indikasjon av det magnetiske utslaget av bergartene. Det gav stor nytte av å kunne separere bergartene ved hjelp av SI-kontrastene fra instrumentet som ofte kunne bekrefte om det var en ikke-mineralisert bergart eller en mineralisert bergart, ettersom det noen ganger var vanskelig å skille mellom granittene på øyemål.

3.2 Prøvetaking

Ettersom Knaben er et gruvesamfunn er området preget av mindre og større gruver og skjerp som har blitt sprengt for videre leting etter molybdenitt. En del av disse er forvitret og sprengingen har tydelig markert sine spor og begrenser utvalget av prøvetaking. Generelt er granittene på Knaben meget harde, og gjør det utfordrende å slå ut ferske prøver ved bruk av hammer og slegge. Samtlige lokaliteter ble dokumentert med fotografi og de med tilknyttet prøver ble skissert, og koordinater ble registret med GPS. Det er blitt prøvetatt 40 håndstykker fra 15 ulike skjerp og gruver. Totalt 60 kg med stein ble transportet med Posten fra Kvinesdal til Trondheim.

3.3 Preparering

En del av prøvene ble videre brukt til petrologiske og kjemiske formål. Disse ble sagd, lagd tynnslip av, og tilsvarende prøver måtte gjennom knusing for kjemiske analyser.

3.4 Saging

All prøvene ble sagd i skiver på 1,5 cm tykke. Retningen på sagingen ble utført normalt på bergartens foliasjon. Sagingen ble gjort av diamantsag ved IGB på NTNU med veiledning av Gunnar Vistnes.

3.5 Tynnslippepreparasjon

18 prøver ble valgt til preparering for polerte væskeslip med $< 100 \mu\text{m}$ tykkelse og dimensjon $28 * 48 \text{ mm}$. 12 av disse ble gjort ved IGB på tynnsliplaboratoriet og 6 ble

Metode

produsert på NGU-laboratoriet. Av samme steinklosser ble 12 preparert for polerte væskeslip av 27-32 μm og dimensjon 28 *48 mm ved IGB på tynnsliplaboratoriet. Prøvene ble valgt med hensyn til de prøvene som best representerer molybdenittmineralisering av ulike typer. Figur 17 viser oppbyggingen av et polert tynnslip i profil, resultatet av steinkloss og et polert tynnslip overfra. En liten skive fra steinklossen limes på en glassplate, som slipes ned til ønsket tykkelse og gjerne poleres.



Figur 17a) Tynnslip i profil med glassplate, epoxy og prøvemateriale b) Steinkloss c) Polert tykkslip ca 100 μm med dimensjon 28 *48 mm.

3.5 Petrografiske undersøkelser

Petrografiske undersøkelser ble utført med polarisasjonsmikroskop med både gjennomlys og pålys med 50- 400x forstørrelse. Fotografering er foretatt med Leica DM2500P mikroskop med ProgRes CT3 kamera.

3.6 Geokjemiske analyser

Geokjemiske analyser er foretatt ved flere laboratorier. Mikrosondeanalyser er gjort på elektronmikroskoplaboratoriet ved IGB på NTNU med veiledning av Morten Peder Raanes. Laserablasjon er gjort på NGU-laboratoriet med veiledning fra Øyvind Skår, og elektronmikroskopanalyser er utført på NGU med Anette Utgården Granseth som veileder. Bulkjemianalyser er utført av «Australian Laboratory Services» i Sverige og i Irland.

3.6.1 Mikrosonde, EMPA

Mikrosonden som ble benyttet var JEOL JXA-8500F Electron Probe Micro analyzer (EMPA), som kombinerer oppløsningen til et sveipelektronmikroskop (SEM) med mulighet for røntgenanalyser av punkt (ntnu.no, 2015). Energidispersivt spektrometer (EDS) og krystalspektrometer (WDS) ble benyttet. EDS ble benyttet for å raskt kunne kvantifisere elementer under forsøket som en garanti for å treffe riktig minerafase eller å unngå dem. WDS utfører mer nøyaktige analyser enn EDS, ettersom den teller en bølgelengde om gangen og mengdene kan bestemmes kvantitativt.

Preparasjon

Før forsøket ble mineralene i tynnslipet markert med tusj for å kunne finne tilbake til ønsket analysepunkt under forsøket. Tynnslipene ble deretter karbonbehandlet.

Utførelse

Metoden ble brukt for analyse av hovedelementer i silikater og sulfider. Silikatene ble oppgitt som oksider, mens sulfidene ble oppgitt som elementer. Standarder ble brukt fra mineraler der elementene er oppført i parentes. For silikatene ble albitt (Na, Al), diopsid (Mg, Ca), granat (Fe), sandin (K), apatitt (P, F), kobberoksid (Cu), kvarts (Si), rodonitt (Mn), tugtupitt (Cl), benitoitt (Ti), cubic zirkonia (Zr) brukt. Standarder benyttet i hovedelementer for sulfider ble pentlanditt (Ni), svovelkis (Fe, S), molybdenitt (Mo), cupritt (Cu), kromoksid (Cr), benitoitt (Ti), kobberoksid (Cu) og (V) benyttet som standarder. Standardene for silikater er oppført i appendiks B.2 og standarder for sulfider er oppført i appendiks B.1. Talletiden ble satt til 10 sekunder for hvert mineral uten om benitoitt (Ti) i sulfidene, molybdenitt (Mo), og albitt (Al) som ble satt til 20 sekunder. Det ble brukt en strålediameter på 1 µm, strømkilde på 20 nA og

en elektronstrålespenning på 15 keV. Bakgrunnsinformasjon om standardene kan finnes i Astimex standardhefte (Astimex).

3.6.2 Induktivt koblet plasma – atom emisjonsspektrometer og massespektrometer (ICP-AES og -MS)

Bulkkjemianalyser av 9 prøver ble utført ved bruk av induktivt koblet plasma – atom emisjonspektrometer og massespektrometer. Preparasjonen av prøvene ble utført på laboratoriet i Sverige i regi av «Australian Laboratory Services» og derfra ble prøvene sendt til Irland for analyse av bulkkjemi. Oversikt over alle metodekodene, instrumentene er listet opp i tabell i appendiks A.1 hentet fra den offisielle nettsiden til «Australian Laboratory Services» (ALS), og utdypet videre i kapittel om utførelse av bulkkjemianalyser.

Preparasjon av prøve, PREP- 31

Prøvens vekt ble registret og finknust til 70 % av materialet kunne siktes gjennom 2 mm's åpning. Prøven ble så splittet til 250 g som ble pulverisert til over 85 % kunne siktes gjennom 75 µm's åpning.

Utførelse av bulkkjemianalyser

Sporelement, ME-MS81

En preparert prøve (0,200 g) ble godt blandet med litium metaborat flux (0,90 g) og smeltet i ovn ved 1000 °C. Deretter ble blandingen nedkjølt og oppløst i 100 mL 4 % HNO₃/ 2 % HCl₃ løsning. Denne løsningen ble analysert med ICP-MS.

Hovedelement (oksider), ME-ICP06

En preparert prøve (0,200 g) ble godt blandet med litium metaborat/litium tetraborat- løsning (0,90 g), og smeltet i en ovn på 1000 °C. Dette ble så avkjølt og oppløst i 100 mL av 4 % salpetersyre/2 % saltsyre. Deretter ble denne løsningen analysert med ICP-AES og resultater ble korrigert for spektral interferens. Oksidkonsentrasjonen er kalkulert fra den bestemte elementkonsentrasjonen.

Hovedelement (oksider), OA-GRA05

En prøve (0,1 g) ble plassert i ovn på 1000 °C i en time, deretter avkjølt, og veid. Prosentvis tap av vekt ble kalkulert utifra vektforskjellen.

Sporelement for basemetaller, ME-4ACD81

For analyse av basemetallene (Ag, As, Cd, Co, Cu, Li, Mo, Ni, Pb, Sc, Tl) ble det i tillegg til ME-MS81 metoden, tilført HF og HClO₄. Løsningen «four acid digestion» (HCl, HNO₃, HF, HClO₄) er nødvendig for å løse opp samtlige basemetaller. Denne løsningen ble analysert med ICP-AES.

Elementer for malmkonsentrasjon ME-OG62

En preparert prøve ble oppløst med (HCl, HNO₃, HF, HClO₄) og deretter fordampet til den ble tørr. Saltsyre og deionisert vann ble tilført for videre oppløsning og prøven ble oppvarmet for å så bli avkjølt til romtemperatur. Prøven ble overført til en flaske (100 mL) og deretter tynnet ut med deionisert og homogenisert vann. Løsningen ble deretter analysert med ICP-AES.

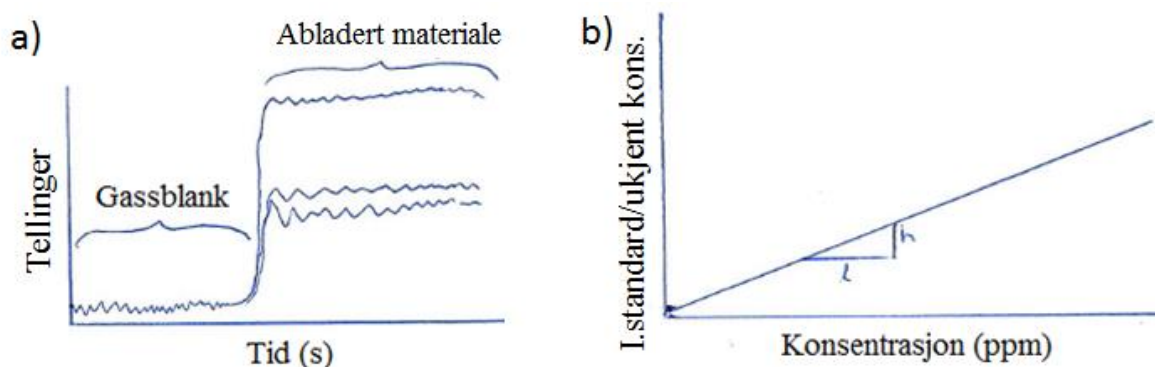
Laserablasjon (LA-ICP-MS)

Instrumentet ved NGU er en New Wave UP 193FX Excimer laser, koblet til en Thermo Element XR single collector high resolution ICP-MS. Induktivt koblet plasma massespektrometri (ICP-MS) er en instrumentell kjemisk analysemetode for å bestemme konsentrasjon av grunnstoffer. Laserablasjon er en destruktiv metode, som skyter laserstråle mot et materiale som blir abladert. Det abladerte materiale blir transportert for element- og isotopanalyse. Instrumentet har blitt brukt for analyse av sporelementer i apatitt og sulfider, derav molybdenitt, svovelkis og kobberkis. Innstillinger, standarder og behandling av data er ytterligere beskrevet nedenfor.

Utførelse

Metoden målte antall tellinger per sekund, der standarder ble brukt til å konvertere antall tellinger per sekund til konsentrasjon av et element. Dette er mulig så lenge standarden har en kjent konsentrasjon. Før laseren startet å kjøre, ble tellinger per sekund og konsentrasjon av gassblanken for ca 40 sekunder målt. Her ble bakgrunnsdata registrert, for å kunne separere bakgrunnsdata fra lasermålinger. Dette illustreres grafisk i (Figur 18a). Etter registrering av bakgrunnsdata, ble laseren kjørt i 40-50 sekunder på et mineral, og dens sporelementer ble registrert i massespektrometeret. Standarder har kjente konsentrasjoner og benyttes for å korrigere for drift i systemet. Drift i systemet kan ofte skje og vil føre til variasjon i signal/antall tellinger i løpet av en dag. Massespektrometeret vil ikke nødvendigvis gi samme antall tellinger tidlig på dagen som antall tellinger senere på dagen, og vil derfor resultere i ulik konsentrasjon. Derfor brukes standarder som kompensasjon for signaltap, og etter hver analyse vil denne korrigere for at signalet har blitt svakere, med utgangspunkt i standardens konsentrasjon.

Intern standard brukes til å finne konsentrasjonen av et element. Forholdet mellom intern standard og ukjent element plottes i y-akse for antall tellinger per sekund, mot konsentrasjon av den interne standarden på x-aksen. Forholdet mellom antall tellinger per sekund og konsentrasjon for intern standard er konstant, så derfor kan elementets konsentrasjon leses av på x-aksen (Figur 18b). Et materiale med lik konsentrasjon gjennom hele ablasjonen, kan ha ulik abladeringsevne, som gjør at signalet/tellinger varierer. Derfor benyttes interne standarder for å korrigere for ulik signal. For reduksjon av data ble GLITTER software package versjon 4.4.4 brukt (Van Achterbergh et al., 2001). Denne programvaren har kun kapasitet til en intern standard (GLITTER).



Figur 18a) Prinsippet bak lasermåling med antall tellinger per sekund, der registrering av gassblank gjøres først for å kunne trekke fra dette fra analysene av det abladerte materialet **b)** Linær graf viser normaliserte verdier (Intern standard/ukjent konsentrasjon for antall tellinger per sekund) mot konsentrasjon (ppm) for intern standard. På denne måten kan ukjent konsentrasjon kalkuleres ved å løse for den ukjente verdien ($y = ax + b$).

Utførelse for apatittanalyse

Laseren ble brukt med en frekvens på 10 Hz, laser energi på 4.0 J/cm^2 og en spot size på $20 \mu\text{m}$ ble brukt til linje skann med en fart på $2 \mu\text{m/sekund}$. Alle elementene i apatitt ble målt i $300 \text{ M}/\Delta\text{M}$ (lav oppløsning). 0.45 l/min He ble brukt som transportgass gjennom prøvekommeret, sammen med 0.9 l/min Ar-gass og transportert til massespektrometeret. Følgende isotoper ble målt; Si^{29} , P^{31} , Ca^{44} , Ti^{47} , Mn^{55} , Sr^{88} , Y^{89} , Zr^{90} , La^{139} , Ca^{140} , Pr^{141} , Nd^{143} , Nd^{144} , Eu^{151} , Sm^{152} , E^{153} , Gd^{158} , Tm^{159} , Dy^{163} , Ho^{165} , Er^{167} , Tm^{169} , Yb^{171} , Lu^{175} , Th^{232} and U^{238} . Måletiden for apatittanalysene var først 40 sekund med gassblank og deretter 40

sekunder med datainnsamling. Ca-innholdet fra mikrosondeanalysene ble brukt som intern standard. Til kalibrering ble standard NIST SRM 610 og verdier fra Pearce et al. (1997) brukt.

Utførelse for sulfidanalyse

Laseren ble brukt med en frekvens på 10 Hz, med laser energi på 4.0 J/cm^2 og en spot size på $35 \text{ }\mu\text{m}$ ble brukt til linje skann med en fart på $2 \text{ }\mu\text{m/sekund}$. Flere av elementene som ble analysert i sulfidmineralene ble målt i 3000 M/ Δ M (medium oppløsning) for å unngå interferens. 0.45 l/min He gass ble brukt som transportgass gjennom prøvekommeret, sammen med 0.9 l/min Ar-gass og transportert til massespektrometeret. Måletiden for sulfidanalysene var først 40 sekund med gassblank og deretter 50 sekunder med datainnsamling. Følgende isotoper ble målt; S^{34} , Fe^{57} , Co^{59} , Ni^{60} , Cu^{65} , Zn^{66} , Ga^{69} , Ge^{74} , As^{75} , Se^{77} , Mo^{95} , Mo^{98} , Ag^{107} , In^{115} , Sn^{118} , Sb^{121} , Te^{125} , W^{182} , Re^{185} , Os^{189} , Au^{197} , Pb^{204} , Pb^{208} , Bi^{209} and U^{238} .

Svovel ble brukt som intern standard og svovelkonsentrasjonen i kobberkis, molybdenitt og svovelkis fra mikrosondeanalysene ble brukt. Til kalibrering for alle elementene, utenom Re og U, ble sulfidstandard MASS-1 fra «U. S. Geological Survey Geochemical Reference Materials and Certificates» (USGU) brukt, og verdiene som ble brukt er oppført i GeoReM-databasen. For elementene Re og U ble NIST SRM 610 brukt som standard og Se fra MASS-1 som intern standard.

Sveipeelektronmikroskop (SEM)

Sveipeelektronmikroskopet ved NGU er et 1450VP scanning-elektronmikroskop fra LEO Electron Microscopy Ltd med røntgenanalysesystem fra Oxford Instruments. SEM'en ble brukt til å semikvantifisere elementinnholdet i enkelte mineraler.

Utførelse

Instrumentet ble brukt til punktanalyse av inklusjoner/ukjengjennlige elementer i molybdenittkorn. Analysene ble utført med energidispersivt spektrometer (EDS). Elektron-deteksjon ble utført med tilbakespredte elektroner (BSE) og bilder (BSE-bilder) ble tatt for å dokumentere hvor på prøven analysene ble utført. Det ble brukt en arbeidsavstand (WD) på 15 mm, en strømkilde på $70 \text{ }\mu\text{A}$, og en elektronakselerasjonsspenning på 15 keV.

3.7 Feilkilder

Dokumentasjon

Feilkilder kan fort oppstå i forbindelse med forveksling av prøver under hele arbeidet, helt fra innsamling av prøver til utførelsen av tynnslip og kjemiske analyser. Notater og merkinger av analyser kan ofte forveksles når man skal håndtere hundrevis av analyser. Feilkilder må særlig tas i betraktning når det gjelder geokjemiske analyser, der drifting i instrumenter, analyser nær deteksjonsgrenser, overlapping og spektral interferens kan forekomme. Kalibreringsprosesser inngår i fleste kjemiske analysemetoder, og kan bidra til avvik.

Kalibrering

Som regel måles konsentrasjoner opp mot kjente standarder eller kalibreringskurver basert på kjente standarder. Derfor er det viktig at disse standarderne blir analysert så nøyaktig som mulig for å unngå systematisk feil. Konsentrasjonen fra mikrosondeanalysene for Ca i apatitt, S i molybdenitt, svovelkis og kobberkis ble brukt som interne standarder for laserablasjonen. Om standarden for Ca fra apatitt i mikrosondeanalysene ikke var nøyaktige nok, vil dette påvirke laserablasjonsanalysene.

Toppunktoverlapping og spektral interferens

Overlapping av elementer i massespektrometer kan fort skje dersom flere elementer har samme bølgelengde eller energi, og det kan være vanskelig å separere elementer fra hverandre. Derfor kan overlappingen gi en høyere verdi, så denne effekten må kalkuleres og fjernes. Dette er en effekt som kan oppstå ved bruk av EDS, der foreksempel Th og Au sender ut samme energi når de blir truffet av elektronstrålingen.

Deteksjonsgrense og usikkerhet

Det er stor usikkerhet knyttet til denne metoden, og ved bruk av standarder, statistikk, akkrediterte metoder og datareduksjon, vil dette kunne redusere usikkerheten til analysene.

Deteksjonsgrensen er en nedre grense som settes, hvor man kan med en gitt sannsynlighet påstå at et målesignal er større enn bakgrunnen (gassblanken). Denne grensen er som regel satt til tre ganger større enn standardavviket til gassblanken og er ulik for hver analyse. Grunnen til bruk av deteksjonsgrenser er å forhindre å oppgi resultater som er påvirket av støy, forurensing etc.

Usikkerhet og deteksjonsgrense (ppm) er illustrert i

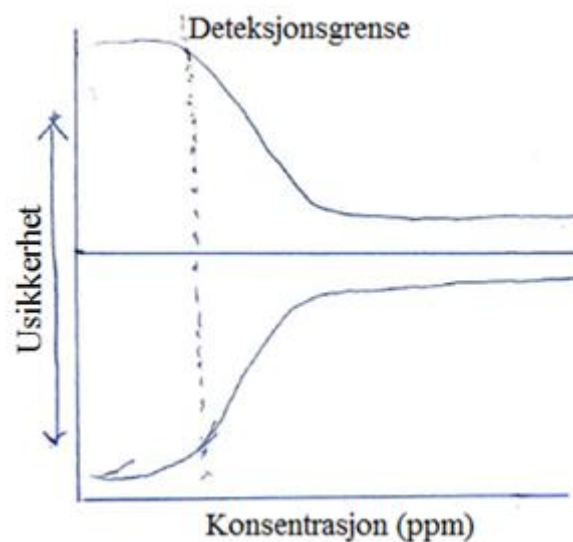
Figur 19, og dersom analyser nærmer seg deteksjonsgrensen, jo større vil usikkerheten bli (80-90 %). Om konsentrasjonen til analysene er over 5 ganger deteksjonsgrensen, vil usikkerheten bli betraktelig mindre. Deteksjonsgrensene for laserablasjonsanalysene kan finnes i appendiks C.

Mikrosonde

En del data for hovedelement analyser på apatitt og biotitt for prøve KN 2, gav lave totale vektprosent for apatitt og biotitt. Det er mulig dette skyldes oppladning, som vil oppstå dersom ikke tynnslipet er godt nok dekket med karbon som gjør tynnslipet ledende for elektronstrålen, og eventuelt at noe fosfor i apatitt fordampes, enn å bli registrert i massespektrometeret.

Bulkkjemi

ALS Geokjemisk avdeling er ledende innen leveranse av analytiske tjenester innenfor gruve- og prospekteringsbransjen. Avdelingen utfører kvalitetssikre seritfiserte prosedyrer som tilfredsstillende alle krav om internasjonale standarder, og ved utførelse av oppdrag oppgis det referansestandarder som dokumentasjon om at analysedataer ligger innenfor bestemte verdier. Den mest kritiske delen av laboratoriearbeidet er knusingen for å lage en mest mulig homogen analyseprøve med utfordring å få prøven til å representere bergarten på best mulig måte. Noen av prøvene som ble analysert er knyttet til kvartsårer, og vil derfor ikke kunne representere hele bergartens bulkkjemi.



Figur 19 Prinsipp om høy usikkerhet jo nærmere deteksjonsgrensen og lavere konsentrasjon.

Laserablasjon

Det er stor usikkerhet knyttet til denne metoden, og ved bruk av standarder, statistikk, akkrederte metoder og datareduksjon, vil dette kunne redusere usikkerheten til analysene. Fortsatt er det en utfordring å få nøyaktige analyser under selve laseroperasjonen. Gassen som blir utløst og frakter med seg sporelementer til massespektrometeret kan ofte være uregelmessig, og påvirke analysene. Registrering av elementene som ablateres fra prøven til deteksjonskammeret krever en viss tid, slik at de kan rekke å bli registrert før en ny ablasjon. Dersom det er for liten tid for elementene til å bli registrert, vil ikke analysene gjenspeile den sanne konsentrasjonen. Drifting i systemet kan ofte skje og vil føre til reduksjon i signal/antall tellinger i løpet av en dag. Massespektrometeret vil ikke nødvendigvis gi samme antall tellinger tidlig på dagen som antall tellinger senere på dagen, og vil derfor resultere i ulik konsentrasjon. Derfor brukes det interne standarder som vil kompensere for signaltap, og etter hver analyse, vil standarden forhindre at signalet har blitt svakere, og tar utgangspunkt i vektprosenten av den interne standarden.

Presisjonen til apatittanalysene er bedre enn 10 % for alle elementene og fra 1-7 % nøyaktighet på sporelementene til repeterte målinger av standarden NIST SRM 612. Nøyaktigheten for sulfidanalysene var vanskelig å måle ettersom ingen andre sulfidstandarder er tilgjengelig, mens presisjonen til sulfidanalysene er 10-20 %. Når det gjelder molybdenittanalysene kan eventuelle inneslutninger som ikke er synlige være et problem. Molybdenitt ligger pakket oppå hverandre, så det kan være vanskelig å unngå inneslutninger dersom de ligger under en av de analyserte områdene.

4 Resultater

4.1 Feltobservasjon

Kapittelet om feltobservasjoner og beskrivelser utgjør en stor del av masteroppgaven ettersom NGU ønsker mest mulig dokumentasjon. Kun et lite utdrag av dette blir nevnt i diskusjonen. Feltobservasjoner utgreier lokaliter, bergartsbeskrivelser, petrografiske beskrivelser og petrologiske beskrivelser inndelt for hver lokalitet.

4.2 Generell bergartsbeskrivelse for Knaben

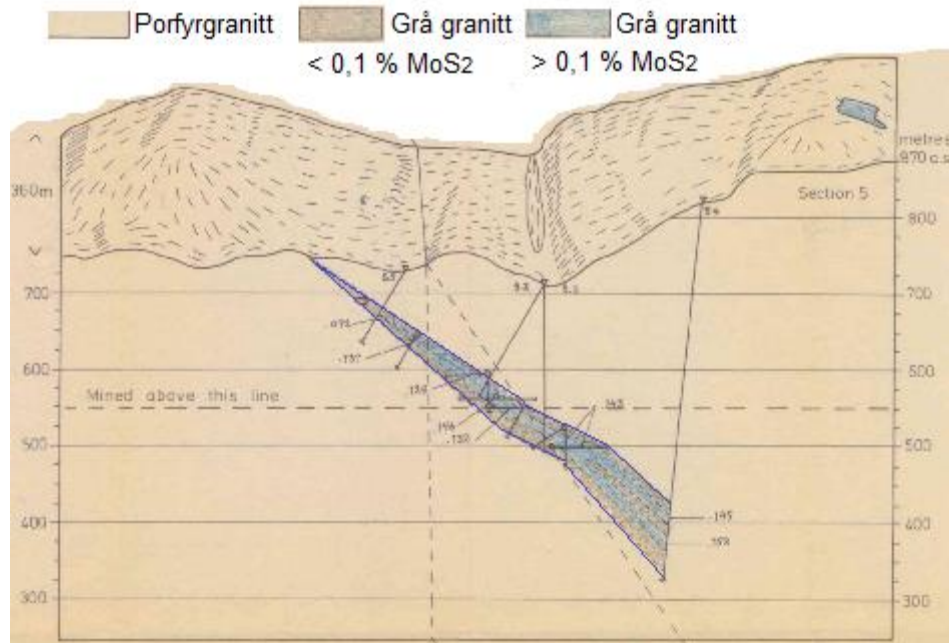
Denne oppgaven legger vekt på molybdenittmineralisering, og med derfor fokus på bergarter som er knyttet til molybdenitt. Det er ikke oppgavens hensikt å skille andre bergarter på Knaben som ikke er mineraliserte, så derfor blir bergartsbeskrivelsene mer generelle. Hovedtypene som er beskrevet er hovedmalmgranitten (grå granitt), porfyrgranitt (K-feltspat porfyrisk granitt), eldre, deformert granitt (flasergneis), og amfibolitt. Litologiene faller mer eller mindre fra 22-40 grader sørøst med strøk N-S. Videre i kapittelet er lokaliteter beskrevet og som ofte representerer prøvenummer og inkluderer petrografiske beskrivelser.

4.3 Grå granitt i hovedgruven på Knaben 2

Hovedmalmen i Knabenområdet er omtalt som grå granitt og dukker opp som linser i porfyrgranitt (Figur 21). Bergarten inneholder disseminert molybdenitt med en konsentrasjon opp til 0,2 %. Granitten er leukokratisk, ekvigranular og har svak foliasjon, med mediumkornet anhedral, hvit feltspat, røykkvarts, biotitt og disseminert molybdenitt. Bergarten har som regel magnetisk susceptibilitet fra $0,01-1 \cdot 10^{-4}$. Alderen er estimert til å være mellom 1036-1028 millioner år (Bingen et al., 2015).

4.4 Porfyrgranitt

Porfyrgranitt er den mest dominerende bergarten i Knabenområdet og svært heterogen. Bergarten varierer i farge, foliasjon, fenokrystallstørrelse og innhold av biotitt. Kvartsårer og pegmatitter som ligger i foliasjonen er ofte mineralisert i kontakten og inne i selve åren med grovkornet molybdenitt. Av den grunn varierer den magnetiske susceptibiliteten fra $3-25 \cdot 10^{-4}$, der lavere magnetisk susceptibilitet finnes i de mineraliserte områdene. Vertikale kvartsårer og pegmatitter uten mineralisering kutter hovedlitologiene. Porfyrgranitter ved Knaben sonen er datert til aldre mellom 1060-1020 millioner år (Coint et al., 2015).



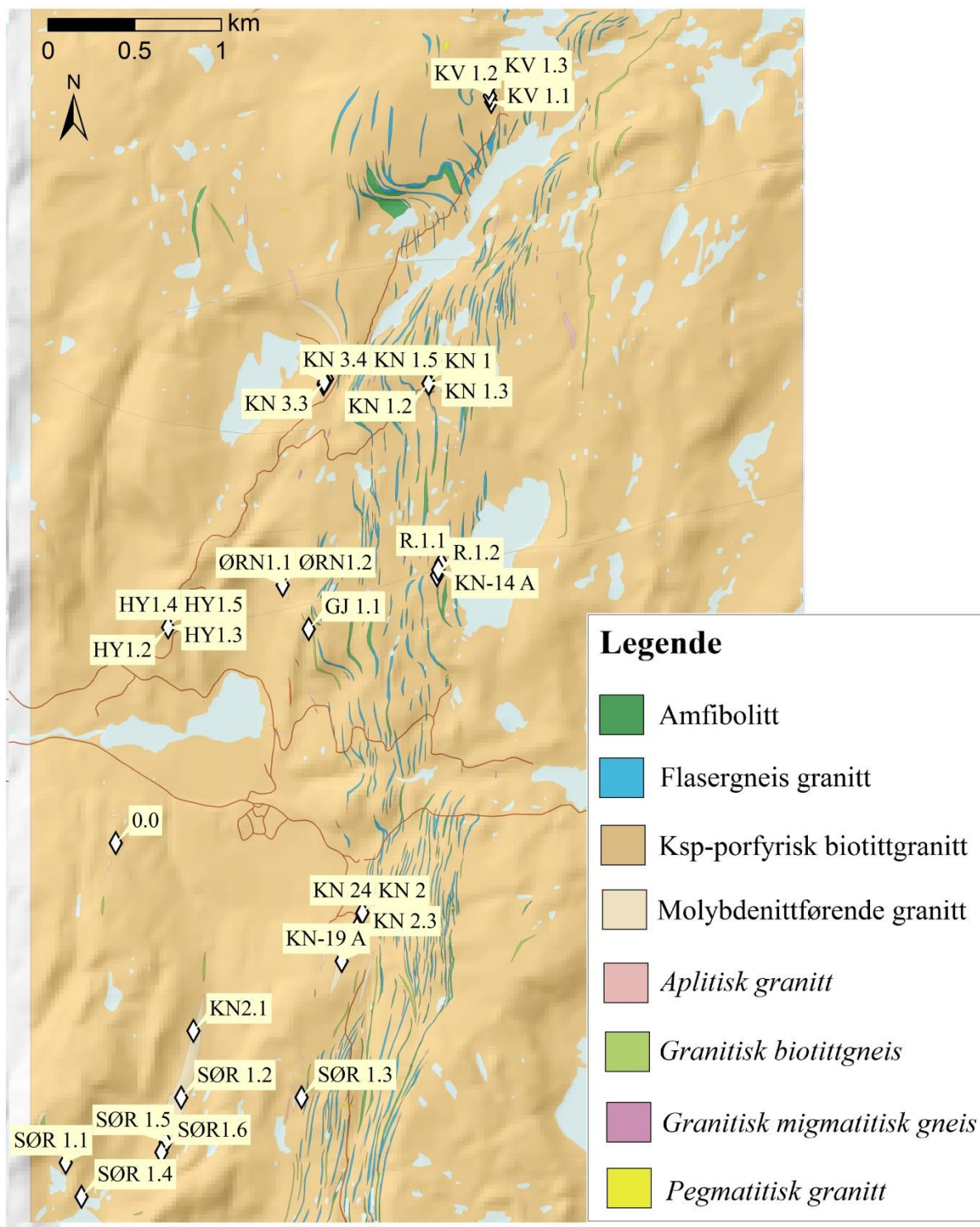
Figur 20 Profil fra underjordsgruven på Knaben 2 , laget av Rui (1980) basert på borehullsdata.

4.5 Flasergneis

Flasergneis tilhører en eldre generasjon av deformerte bergarter som er datert til 1257 ± 6 millioner år (Bingen, 2014). Denne bergarten er svært karakteristisk grunnet den grovkornede bølgeaktige øyestrukturen av kalifeltspat som kan bli opp til 5 cm lange. Flasergneis ligger i porfyrgranitt som schlirens som strekker seg N-S i den xenolittrike sonen (Figur 21) og er ofte assosiert med grovkornet molybdenitt, sammen med kvartsårer og pegmatitter. Den magnetiske susceptibiliteten varierer fra 0,5 til $40 \cdot 10^{-4}$ avhengig om det er mineralisering er til stede.

4.6 Amfibolitt

Amfibolitt utgjør flere schlirens i den xenolittrike sonen N-S, og derfor antas å være eldre enn porfyrgranittene. Amfibolitt har også molybdenittførende kvartsårer og pegmatitter i foliasjonen.



Figur 21 Geologisk kart av Knabensonen med prøver . markert. Prøvetaking er gjort for amfibolitt, flasergneis, Ksp-porfyrisk biotittgranitt (porfyrganitt) og molybdenførende granitt (grå granitt). Kart fra Stormoen (2015).

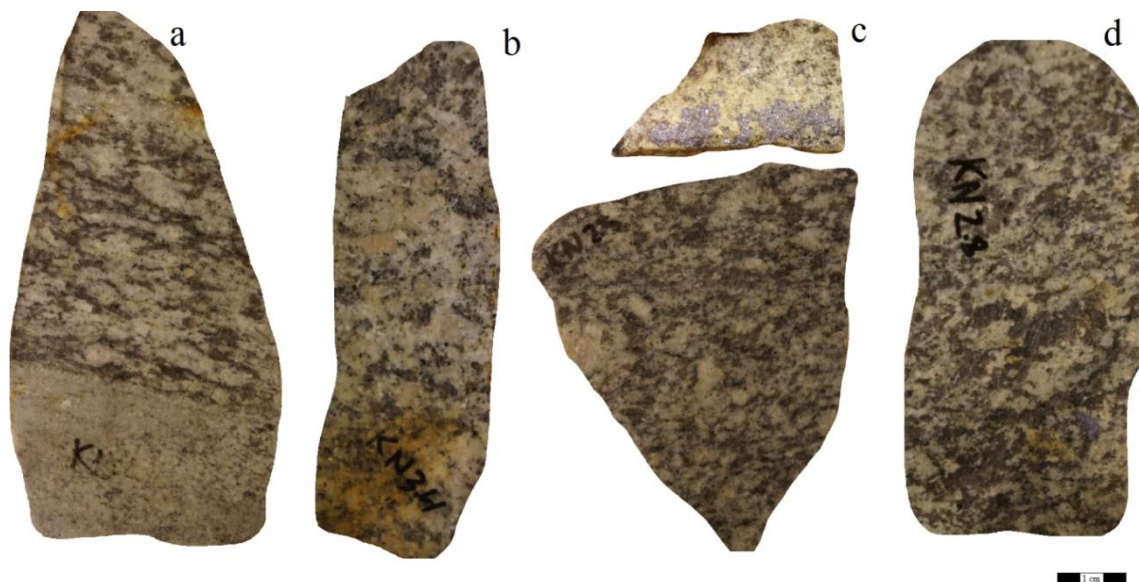
4.3 Lokalteter

4.3.1 Knaben 2 ved dagbruddet

Gravedrift på Knaben 2 har både vært fra underjordsdrift og dagbrudd, fra den «grå granitt» som har en molybdenkonsentrasjon opp til 0,2 %. Fra 1918 til 1973 har det blitt produsert 8,6 millioner tonn malm (NGU, 2013). Grå granitt har form som en linse med lengde lengre enn 1300 meter og med en bredde på 400 meter, med en mektighet opp til 40 meter. Underjord finnes flere xenolitter av porfyrgranitt i grå granitt (Figur 24).

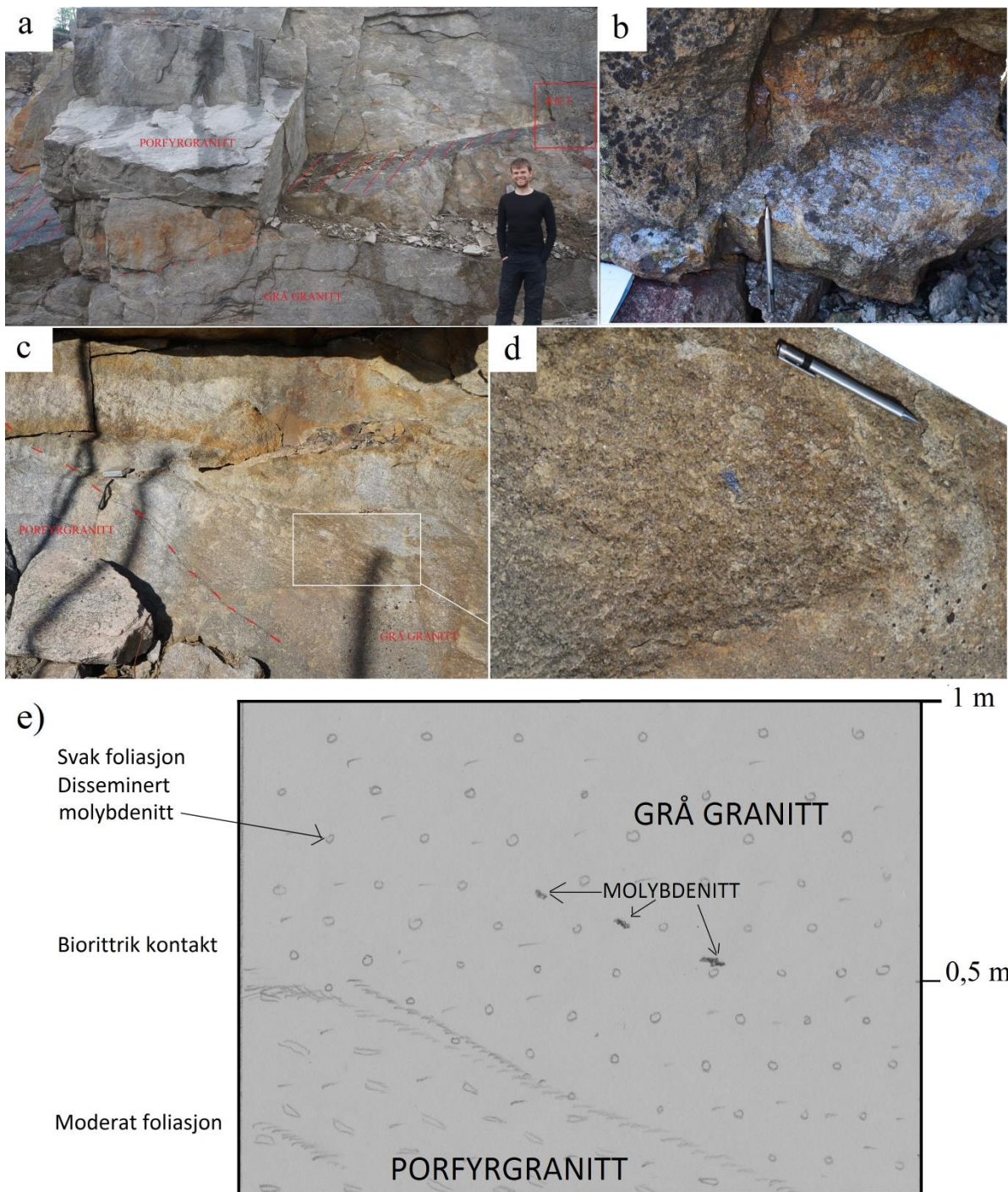
Bergartsbeskrivelse

Grå granitt er leukokratisk, ekvigranular, med svak foliasjon sørøst-nordvest. Granitten er mediumkornet med hvit, anhedral feltspat (< 1 cm), med anhedral røykkvarts (< 0,7 cm) og biotitt (0,1 cm) og disseminert molybdenitt (0,2 mm). Grovkornet molybdenitt er ofte konsentrert langs kontaktsonen til porfyrgranitt eller i kvartsårer som følger foliasjonen (Figur 23ab). Grå granitt har ti ganger lavere magnetisk susceptibilitet ($0,01-0,1 \cdot 10^{-4}$) enn porfyrgranitt. Porfyrgranitt har svak til moderat foliasjon med hvit/rosa fenokrystaller av euhedrale feltspat (< 3 cm), subhedral-anhedral røykkvarts (< 1 cm), med finkornet biotittbånd langs foliasjonen (0,1 cm) og mindre svovelkis/kobberkis. Feltspat varierer ofte i farge, størrelse og form. Skisse (Figur 23e) viser molybdenittmineralisering nær kontakten mellom porfyrgranitt og grå granitt. Kontaktsonen mellom grå granitt og porfyrgranitt er ofte biotittrik (Figur 23a)



Figur 22a) Håndstykke fra KN 2 som viser kontaktsonen mellom aplittisk grågranitt og porfyrgranitt b) Håndstykke av KN 24, løsblokk fra nordvest i dagbruddet til Knaben 2 c)

Håndstykke av KN 2.3 fra dagbruddet på Knaben 2 d) Håndstykke av KN 2.8, løsløkk tatt fra underjord.



Figur 23a) Dagbruddet ved Knaben 2, til venstre for hovedinngangen viser kontaktsonen mellom grå granitt og porfyrganitt som er stippet, og er representert av prøve KN 2. b) Bildet er tatt rett innenfor hovedinngangen som viser biotittrik kontakt mellom porfyrganitt og grå granitt. Susseptibiliteten av den grå granitten over biotittgrensen varierer fra $0,17 - 2,4 \cdot 10^{-4}$ og porfyrganitten varierer fra $7,7 - 11,7 \cdot 10^{-4}$. c) Nærbilde av grovkornet molybdenitt som ligger

parallel med den biotittrike kontakten (foliasjonsretningen) stiplet med rødt og foliasjonsretningen indikert med penn. d) Eksempel på grovkornet molybdenitt i foliasjonsplanet nær kvartære og pegmatitt e) Skisse av c.



Figur 24 Underjord i Knaben 2 med grovkornet molybdenitt i foliasjonsplanet til grå granitt ved strossen. Xenolitt av porfyrganitt i grå granitt er markert med rødt.

Petrografi KN 2

Generelt er porfyrganitt mer grovkornet og seritisert, og inneholder mindre muskovitt, og mer biotitt enn den grå granitten. Det er færre oksider og sulfider i porfyrganitten.

KN 2 Porfyrganitt

Hovedmineraler: Kvarts (< 4 mm), mikroklin (< 4 mm), biotitt (< 1mm).

Aksessoriske mineraler: Apatitt (0,1 mm), svovelkis (0,1 mm), muskovitt (0,3 mm), kobberkis (0,1 mm), ilmenitt (0,5 mm).

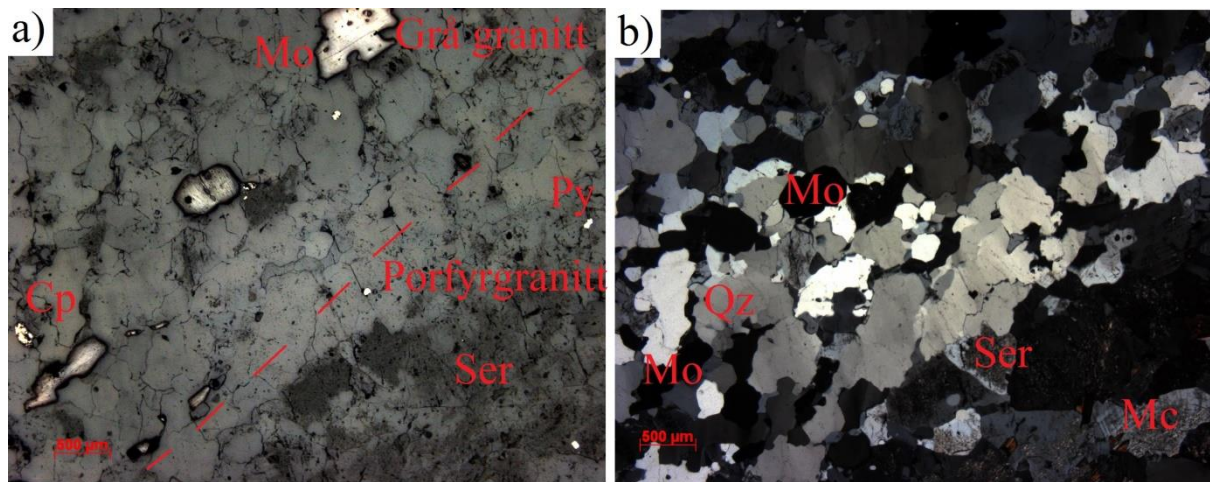
Tekstur: Porfyritisk tekstur, med fenokrystaller av feltspat og kvarts. Feltspat har tartantvillinger, sekundære albittvillinger, to steg's pertitt, myrmekitt. Kvarts er preget av «GMB», lobate-angulære korngrenser, og utslukning av «chessboard extinction» og «swiping».

KN 2 Grå granitt

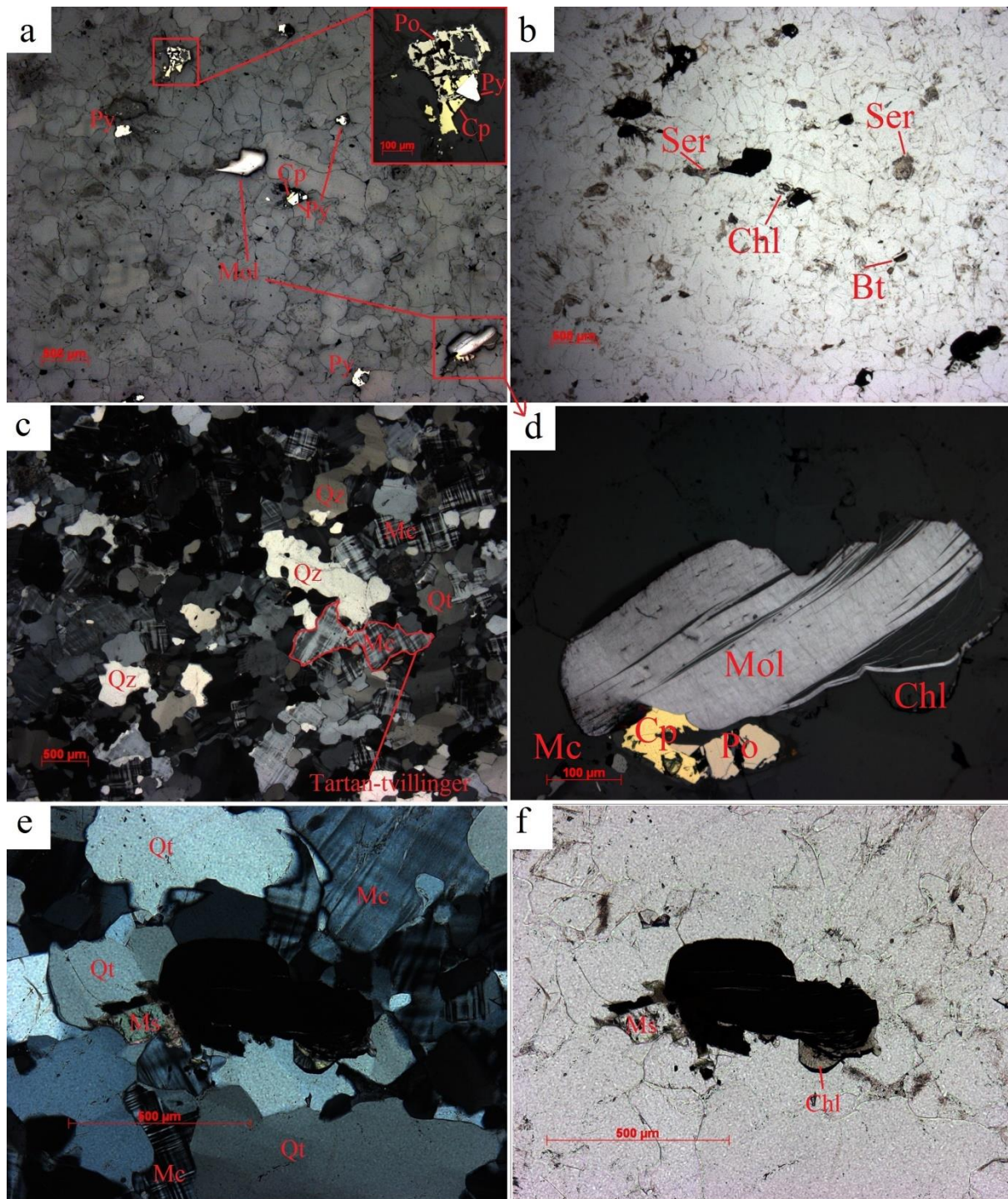
Hovedmineraler: Kvarts (0,1-1mm), mikroklin (0,6 mm), plagioklas (0,6 mm).

Akseksoniske mineraler: Kobberkis (0,2 mm), kubiske svovelkis (0,2 mm), magnetitt (0,2 mm), magnetkis (0,5 mm), molybdenitt (0,2-0,4 mm), kloritt (0,1 mm).

Tekstur: Kvarts har lobate-angulære korngrenser, «GBM» og undulerende utslukning av «chessboard extinction» og «swiping». Feltspat har dominerende tartantvillinger, to stegs-pertitt, myrmekitt, med økt seritisering mot kontakten til porfyrgranitt. Biotitt er stort sett anhedral, blek-brun og lokalt delvis klorittisert. Mengden av biotitt øker jo i kontakten til porfyrgranitt, og er orientert sammen med fenokrystaller av kvarts langs foliasjonen. Molybdenitt er disseminert og konsentrert langs kontaktsonen sammen med serisitt, kvarts, klorittisert biotitt og muskovitt (Figur 26f).



Figur 25 Tynnslip av KN 2 a) Pålys og b) Gjennomlys av disseminert molybdenitt som ligger orientert langs kontaktssonen mellom grå granitt og porfyrgranitt. Foliasjonsretningen er striplet.



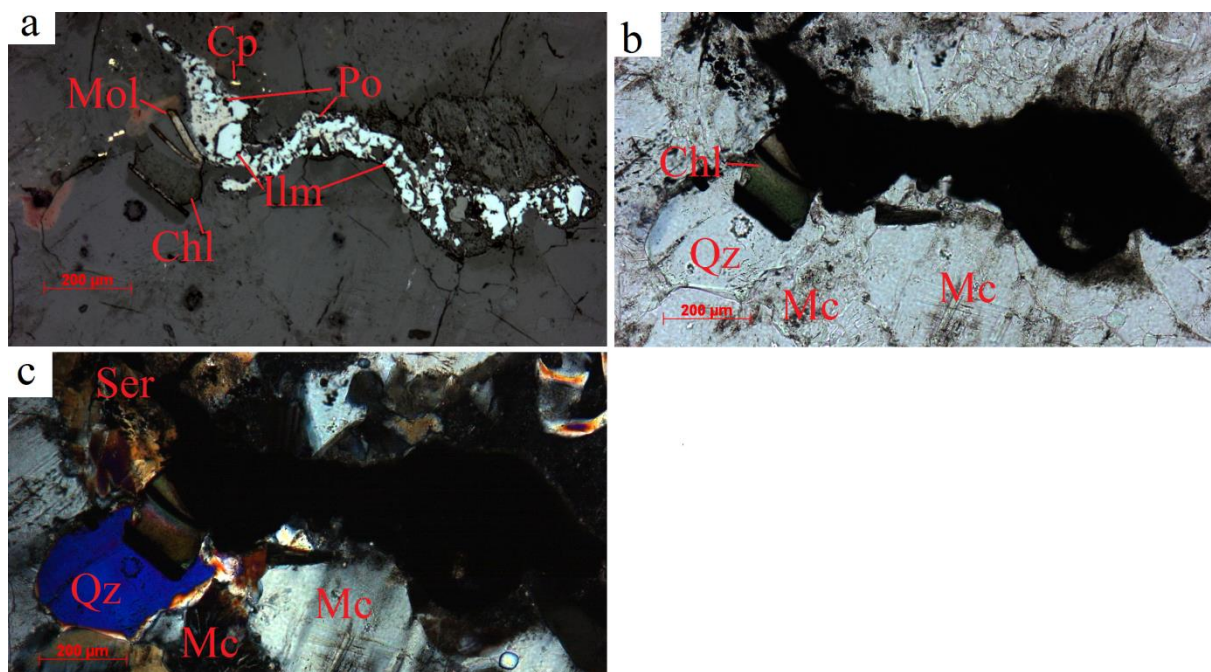
Figur 26 Tynnslip av KN 2 ab) Pålys og gjennomlys av disseminert molybdenitt og andre sulfider med klorittisering og serisitt c) Gjennomlys med analysator viser teksturer av silikatene med lobate-angulrære korn grenser og undulerende utslukning i kvarts, tartan-tvillinger i mikroklin d) Molybdenitt sammen med kobberkis og magnetkis e) Samme område med analysator og gjennomlys viser molybdenitt i korn grensene til feltspat og kvarts, sammen med muskovitt f) Gjennomlys viser molybdenittkornet sammen med muskovitt og klorittisert biotitt i kontaktsonen mellom porfyrgranitt og grå granitt.

Petrografi: KN 24

Hovedmineralogi: Mikroclin (< 2 mm), plagioklas (0,8 mm), kvarts (< 2mm), biotitt (0,2-0,9 mm).

Aksessoriske mineraler: Kobberkis (0,8 mm), svovelkis (0,8 mm), magnetitt (< 1mm), kloritt (0,3 mm), molybdenitt (0,3 mm)

Tekstur: Feltspat har to-steps pertittlameller, tartantvillinger, og sekundære albittvillinger, og noe myrmekitisk tekstur. Kvarts har undulerende utslukning, «GMB» og lobate-angulere kongrensener. Molybdenitt er ofte lokalisert sammen med biotitt eller kloritt (Figur 27abc). Ilmenitt ser ofte oppspist ut og opptrer som inneslutninger i magnetkis.



Figur 27 Tykkslip av KN 24 a) Pålys av molybdenitt, ilmenitt, magnetkis, kobberkis b) Gjennomlys viser kloritt sammen med molybdenitt og moderat grad av seritisering c) Samme området med bruk av analysator.

Petrografi: KN 2.7

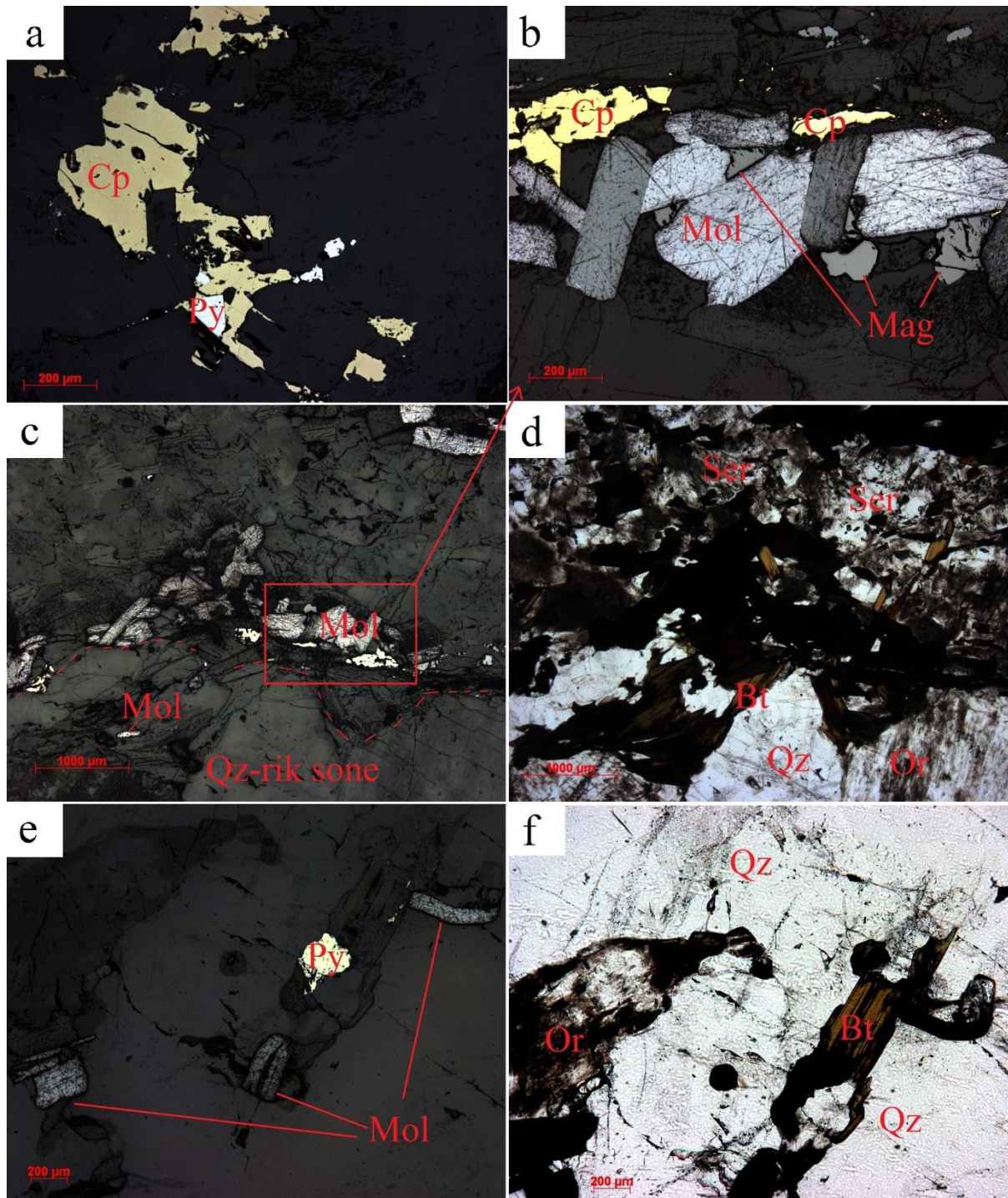
Hovedmineralogi: Mikroclin(< 2 mm), kvarts (< 2 mm), plagioklas (0,8 mm), biotitt (< 1mm).

Aksessoriske mineraler: Magnetitt (<1 mm), kobberkis (0,5 mm), svovelkis (0,5 mm), molybdenitt (<2 mm).

Tekstur: Feltspat er delvis seritisert, med myrmekitisk tekstur, og tartan- og pertittlameller. Sulfidene og oksidene er ofte sammen med orientert biotitt og allanitt. Sulfider ligger ofte i kongrensene til fenokrystaller av kvarts og feltspat, men er også innesluttet i biotitt og i seritisert feltspat (Figur 28ef). Molybdenitt er ofte konsentrert i aggregater sammen med

Resultater

biotitt langs foliasjonen, og disseminert molybdenitt jo lengre vekk fra mindre kvartsrike bånd (Figur 28cde).



Figur 28 Tykkslip av KN 2.7 a) Pålys av kobberkis og svovelkis b) Magnetitt er innesluttet i molybdenitt og kobberkis ligger ved molybdenitt c) Et forstørret bilde med aggregater av molybdenitt sammen med sulfider og oksider langs foliasjonen d) Gjennomlys av c, som viser sterk seritisering av feltspat og biotitt og allanitt er orientert sammen med sulfidene og oksidene

ef) KN 2.8: Pålys og gjennomlys av molybdenitt og svovelkis sammen med rødbrun biotitt i korngrensen til kvarts.

Petrografi KN 2.3

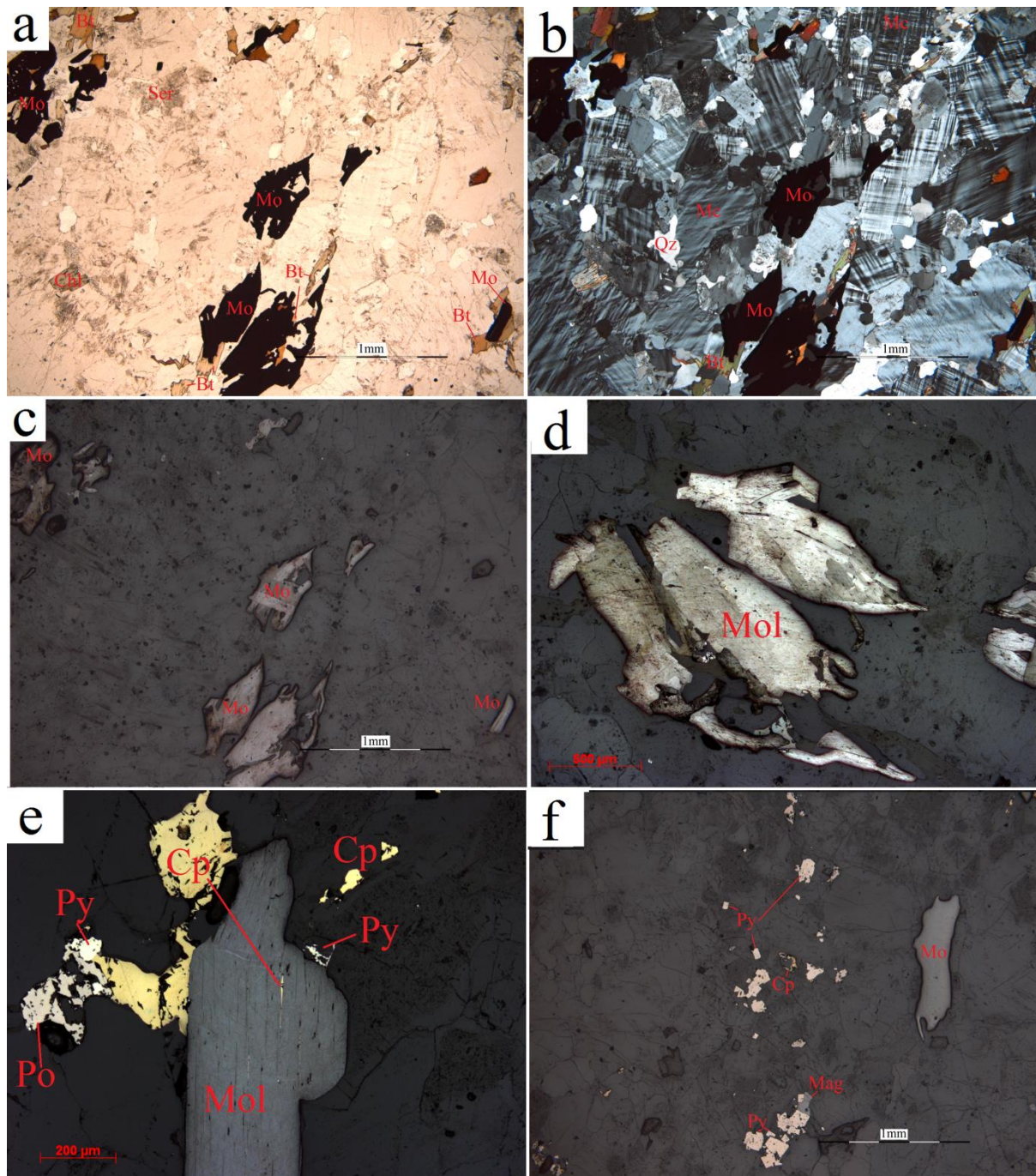
Hovedmineralogi: Ortoklas (< 3 mm), mikroklin (< 3 mm), kvarts (4 mm), plagioklas (0,4 mm), biotitt (0,2 mm).

Aksessoriske mineraler: Molybdenitt (< 2mm), svovelkis (0,4 mm), magnetkis (0,2 mm), magnetitt (0,6 mm), kobberkis (0,1 mm).

Tekstur: Fenokrystaller av k-feltspat med tartantillinger og flammepertitt. Plagioklas har primære og sekundære albittvillinger og myrmekeittisk tekstur. En del feltspat er seritisert. Kvarts har lobate-angulære korngrenser med undulerende utslukning. Biotitt er anhedral rødbrun-blek, der noen er klorittisert. Stort sett er biotitt orientert sammen med sulfider og oksider langs korngrenser til feltspat og kvarts (Figur 28ef). Svovelkis er dominerende sulfidmineral. Molybdenitt er orientert langs foliasjonen som større aggregater sammen med andre single sulfider og oksider (Figur 29dcef).

Petrologi:

Generelt for Knaben 2: Magnetitt og ilmenitt er som regel pseudomorfe, som kan indikere å være en av de eldre fasene, og ettersom magnetitt er innesluttet i molybdenitt (Figur 28b). Kubiske svovelkis kan indikere å være senere faser. Molybdenitt forekommer som disseminert og i form av aggregater og ofte ligger sammen med biotitt og kloritt (Figur 27 og Figur 28ef). Kobberkis ligger i molybdenittenskløv, som også kan indikere at kobberkis er eldre enn molybdenitt, men de kan også være ko-magmatiske (Figur 29e)



Figur 29 Tynnslip av KN 2.3 abc) Grovkornet molybdenitt langs foliasjonen sammen med biotitt og dominerende mikroclin med tartantvillinger d) Nærbilde av molybdenitt fra c, men orientert ca 270 ° e) Molybdenitt sammen med andre sulfider langs foliasjonen. Kobberkis i molybdenittkløv f) Kubiske svovelkis sammen med kobberkis, magnetitt og molybdenitt langs foliasjonen.

4.3.2 Sørvest for Knaben 2, mindre skjerp og bergartsgrenser

Nord for Øyevatnet

Nordvest for Øyevatnet er en aplittisk leukokratisk granitt innesluttet i porfyrgranitt. Kontakten er svært diffus, og aplitten er en flere meter lang og flere meter bred sone som faller ca 30 grader øst med strøk N-S. Aplitten er leukokratisk med fenokrystaller av rosa anhedral feldspar (< 2 cm) med anhedrale melke- og røykkvarts (< 1 cm) og finkornet biotitt. Molybdenitt er finkornet og disseminert, i tillegg større korn (< 1,5 cm) langs kvartsårer. Aplitten er mindre biotittrik enn porfyrgranitten, og har en magnetisk susceptibilitet fra 0,1-0,4 * 10⁻⁴, mens porfyrgranitten varierer fra 1-9 * 10⁻⁴. Den minner om grå granitt fra Knaben 2. Prøve SØR 1.1 representerer denne lokaliteten.



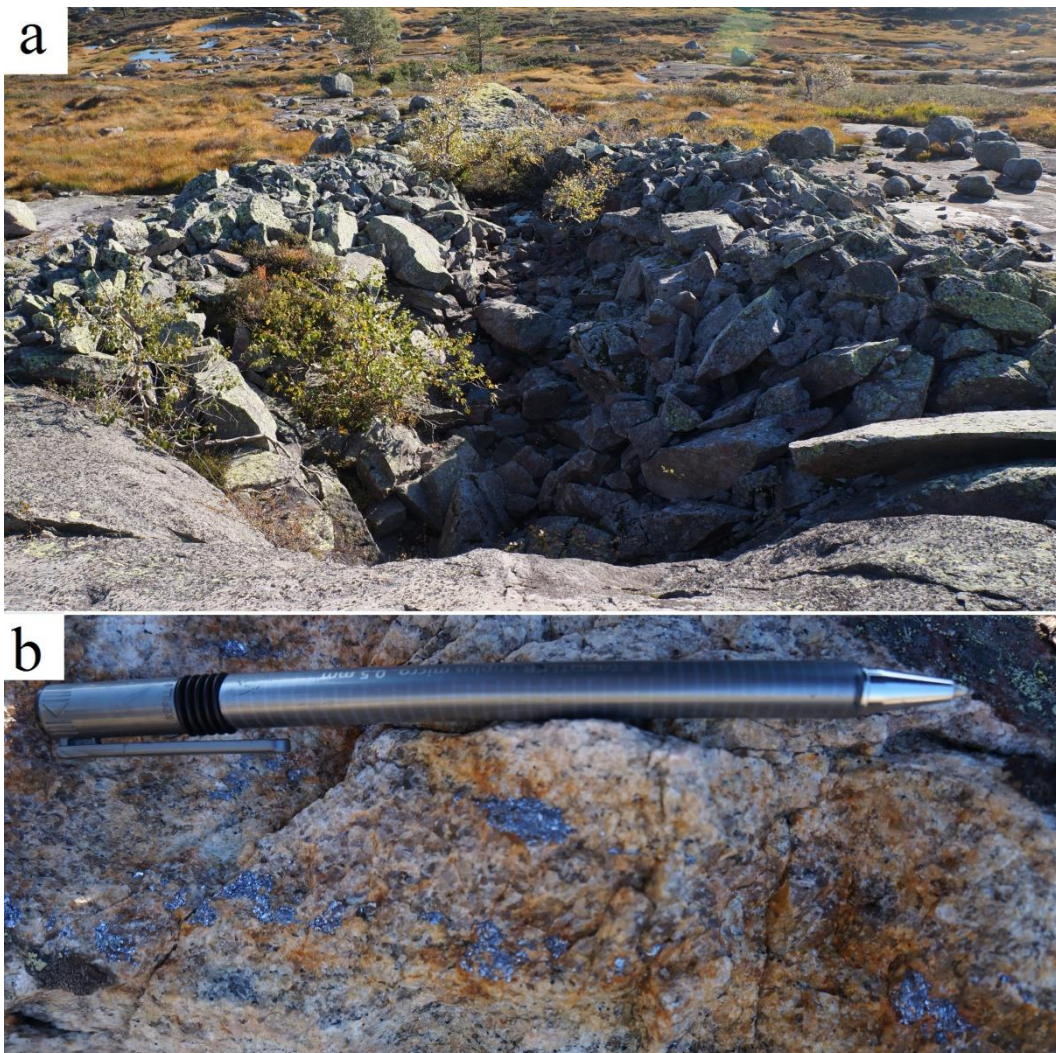
Figur 30 Lokalitet tilhørende SØR 1.1. Aplittisk, leukokratisk, medium kornet ekvigranular granitt med disseminert molybdenitt.

Risnafeltet

Risnafeltet er et av flere skjerp som finnes sør for Knaben 2, og er 5 meter bred, 2 meter høy og 8 meter langt sprengt område, karakterisert av mange løse blokker opp til flere meter i diameter. Hovedsakelig består blokkene av mineralisert leukokratisk, mediumkornet granitt. Prøve KN 2.1 representerer denne lokaliteten.

Resultater

Den molybdenittførende leukokratisk, mediumkornet granitten har svak foliasjon, bestående av hvite/rosa anhedral-subhedral feldspat (< 1 cm), med subhedrale røykkvarts (< 1 cm) og finkornet biotitt (0,1 cm). Molybdenitt (< 2 cm) og andre finkornet sulfider konsentreres langs kvartsåren. Susseptibilitet en i granitten varierer fra $1,7-2,3 \cdot 10^{-4}$. Sidebergarten er en porfyrgranitt uten mineralisering, foruten om i kontakten til den mediumkornede mineraliserte granitten. Porfyrgranitten består av hvite og rosa feltspat (< 3 cm) med leukokratisk matriks og magnetisk susceptibilitet varierer fra $3,4-4,9 \cdot 10^{-4}$.



Figur 31a) Risnafeltet , med mange løse blokker av molybdenittførende, leukokratisk, mediumkornet granitt **b)** Grovkornet molybdenitt ved kvartsåre (3 cm tykk) i leukokratisk, mediumkornet granitt, som følger foliasjonsplanet, indikert med pennen.

Skjerp sør for Knaben 2

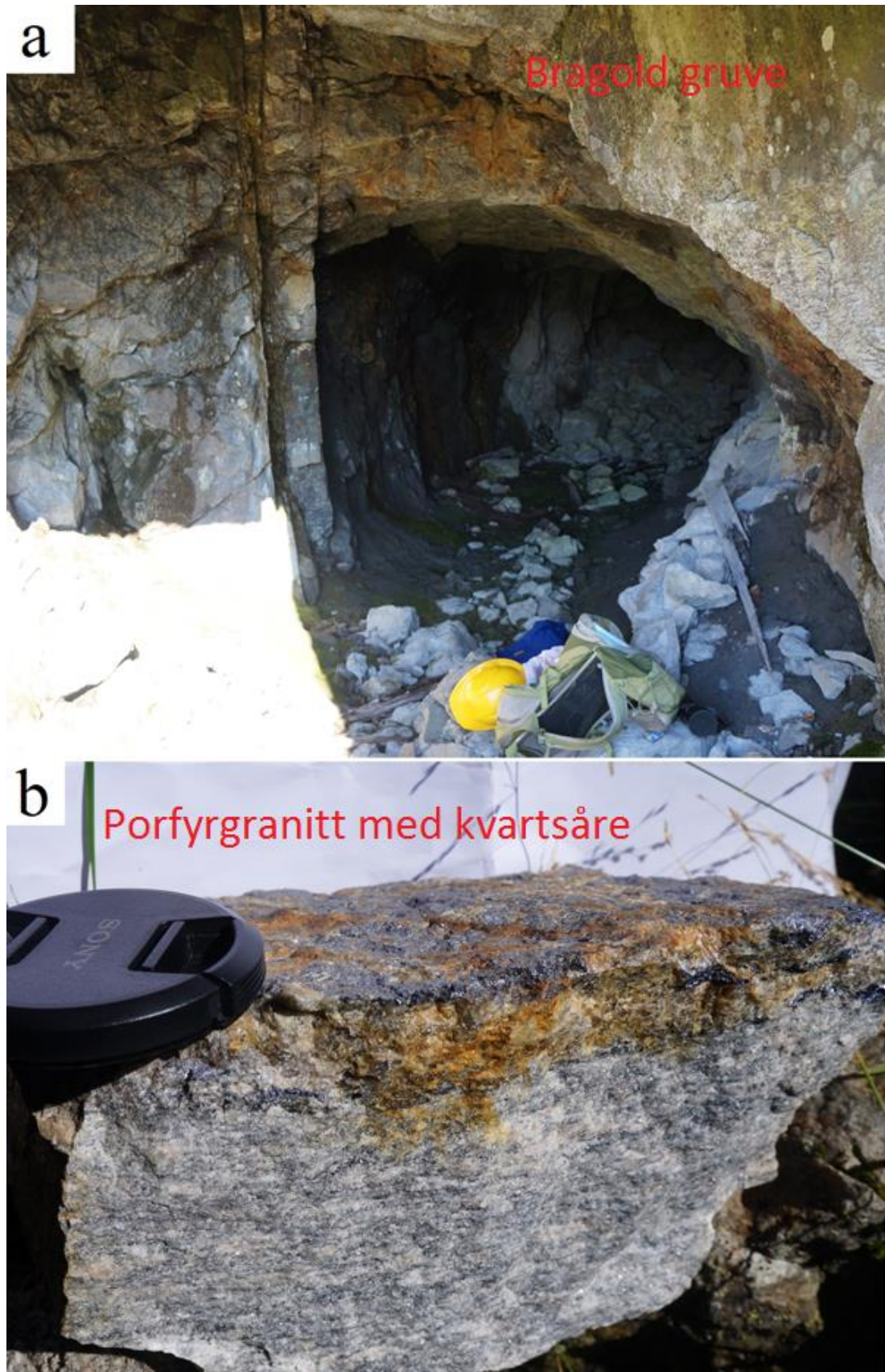
Et skjerp formet som en halvsirkel som er 12 m lang, 1 m høy, og 2 m bred. Skjerpet består av leukokratisk, mediumkornet, ekvigranular granitt med svak foliasjon. Mineralogien inneholder hvite/rosa anhedral feltspat (< 1 cm), røykkvarts (0,5 cm), og finkornet biotitt. Molybdenitt er disseminert (< 0,5 cm), og følger foliasjonsretningen. Bergarten representeres av en løsblokk, prøve SØR 1.2.



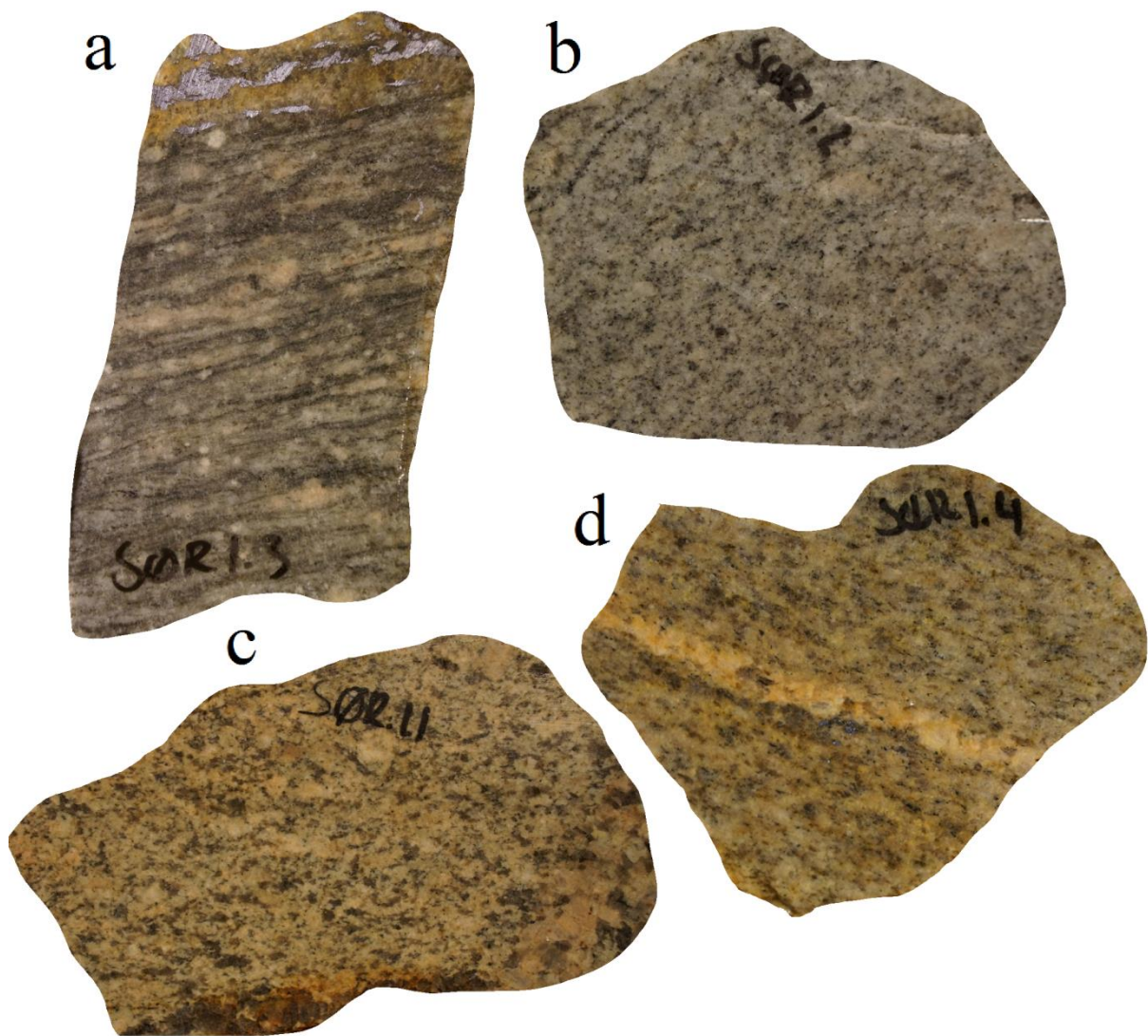
Figur 32 Prøve SØR 1.2 kommer fra en leukokratisk, mediumkornet, ekvigranular molybdenittførende granitt med svak foliasjon. Mediumkornet molybdenitt ligger orientert langs foliasjonsplanet.

Bragold

Molybdenittmineraliseringen i graven på Bragold er knyttet til en 20 m tykk pegmatittisk kvartsåre, med sterkt foliasjon i porfyrgranitt som er sidebergarten. Grovkornet molybdenitt (< 2 cm) i foliasjonsplanet langs kvartsåre er representert av SØR1.3 (Figur 34a). Porfyrgranitten har anhedral røykkvarts (< 1 cm), anhedral/subhedral hvit feltspat (< 3 cm), og anhedral biotitt. Dens magnetiske susceptibilitet varierer fra $0,6 - 1,8 \cdot 10^{-4}$.



Figur 33a) Inngang til Bragold gruve b) Løsblokk som representerer prøve SØR 1.3 med grovkornet molybdenitt langs foliasjonsplanet nær kvartsåre.



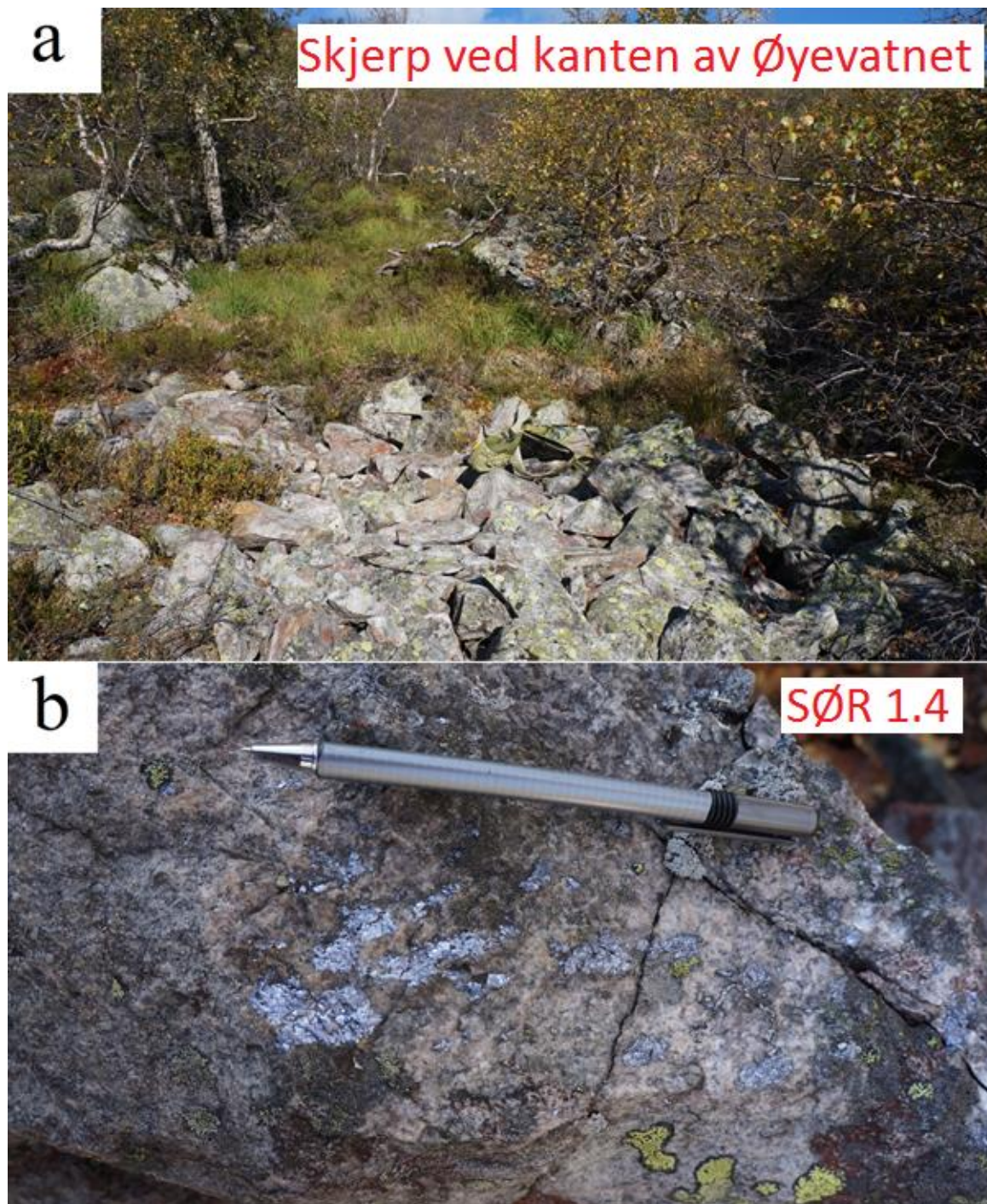
Figur 34a) Håndstykke av SØR 1.3 - porfyrganitt med kvartsåre b) Håndstykke av SØR 1.2-grå granitt c) Håndstykke av SØR 1.1- grå granitt d) Håndstykke av løsblokk prøve SØR 1.4-grå granitt med kvartsåre.

Skjerp ved kanten av Øyevatnet lengst nord

Skjerp er et 4 m høyt, 2 m bred og 10 m lang, som ser ut til å følge bergartsgrense tilhørende molybdenittførende, leukokratiske, mediumkornete granitt. I følge topografien og fallet til denne bergarten (25 grader mot sør-øst) kan det se ut til at dette er den samme litologien som prøve SØR 1.1 lengre nordvest. Denne lokaliteten representeres av SØR 1.4 (Figur 34d). Magnetisk susceptibilitet varierer fra $0,3- 4,4 \cdot 10^{-4}$. Granitten kan følges lengre opp i topografien, 8 meter bak skjerp, til en diffusgrense med porfyrganitt dukker opp som har høyere susceptibilitet.

Resultater

Den leukokratiske granitten har moderat foliasjon, med hvit, anhedral feltspat (< 1 cm), røykkarts (0,5 cm), finkornet biotitt og molybdenitt (0,5 cm). Molybdenitt er ofte konsentrert langs feltspatrike soner og kvartssoner langs foliasjonen, disseminert (0,1 cm) og grovkornet langs kvartsårer (< 4 cm) (Figur 34d). Eksempel fra grovkornet molybdenitt vises i (Figur 35b) av prøve SØR 1.4.



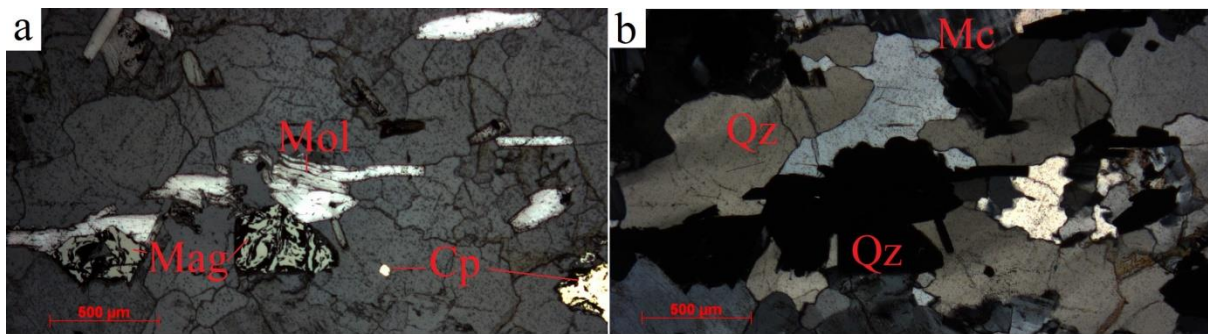
Figur 35a) Lokalitet tilhørende prøve SØR1.4 fra løsblokk b) Nærbilde av prøve SØR 1.4 tatt 4cm fra en kvartsåre.

Petrografi SØR 1.4

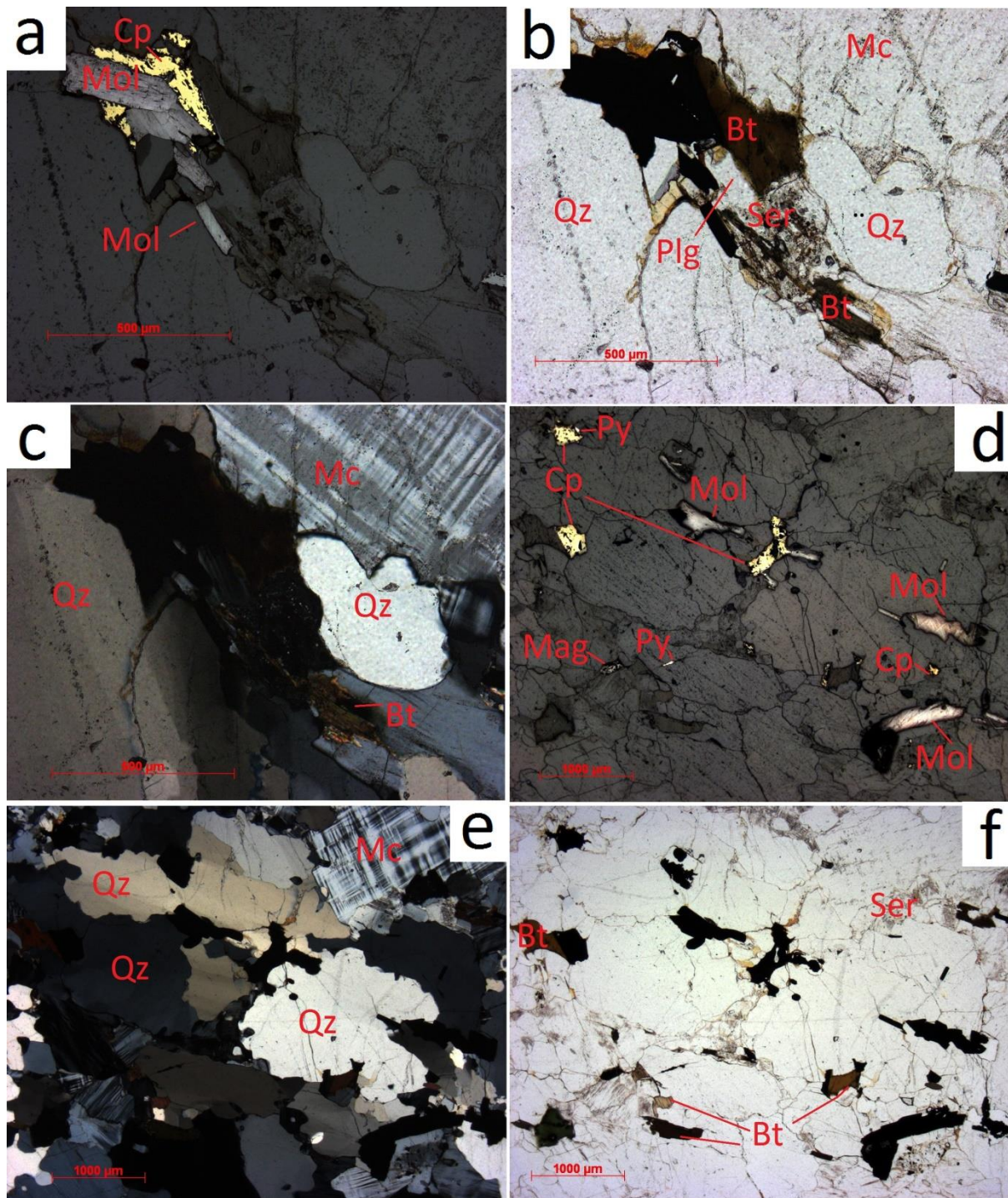
Hovedmineralogi: Ortoklas (< 4 mm), mikroklin (< 4 mm), kvarts (< 4 mm), plagioklas (1 mm).

Aksessoriske mineraler: Magnetitt (0,4 mm), molybdenitt (< 1 mm), kobberkis (0,4 mm), svovelkis (0,1 mm), kloritt (0,5 mm), apatitt (0,1 mm).

Tekstur: Fenokrystaller av kvarts og k-feltspat som er noe seritisert. Kvarts har lobate–angulære korngrenser og undulerende utslukning. Stort sett tartantvillinger, flammepertitt i k-feltspat, to-steg pertittlameller i mikroklin, myrmekitisk og sekundære albittvillinger i plagioklas. Biotitt er anhedral og rødbrun, som noen ganger er klorittisert. Sulfider og oksider, sammen med molybdenitt er orientert og konsentrert langs kvarståre i foliasjonsretningen. Molybdenitt ligger stort sett i korngrensene ved fenokrystaller av kvarts og feltspat, men også med biotitt (Figur 37). Magnetitt ser oppspist ut og ligger sammen med molybdenitt langs kvartsåren (Figur 36). Kobberkis ligger i molybdenittkløv. Det er minimalt med sulfider og oksider utenom i kvartsåren.



Figur 36 Tynnslip av SØR 1.4 ab) Pseudomorf magnetitt og aggregater av molybdenitt langs kvartsåre



Figur 37 Tynnslip av SØR 1.4 ab) Molybdenitt sammen med kobberkis, biotitt og serisitt langs foliasjon ved korn grensene til fenokrystaller av kvarts og feltspat c) Samme område med bruk av analysator som viser undulerende kvarts, tartantvillinger og delvis klorittisert biotitt def) Oversiktsbilde av disseminerte sulfider og oksider som er krystallisert langs korn grensene i serisitiske områder knyttet til kvarts og feltspat i foliasjonretning NV-SØ. Kvarts har lobate – angulære korn grenser og undulerende utslukning («swiping»).

Petrologi:

Sulfidene er knyttet til kvartsåren som følger foliasjonen. Magnetitt er gjerne en av de eldste fasene, ettersom mineralet delvis blir erstattet av molybdenitt, eller at magnetitt ikke lenger er stabil sammen med molybdenitt og kobberkis. Molybdenitt og kobberkis har friskere korn, så det kan tenkes at disse krystalliserte noenlunde samtidig ettersom kobberkis ofte finnes i kløven på molybdenitt, og som påvekst (Figur 37a).

Mindre veiskjæring ved hyttefelt

Denne lokaliteten viser kontaktsoner mellom grå granitt og porfyrgranitt. Den grå granitten er mindre enn fem meter tykk. Grovkornet molybdenitt er foliert langs kontaktsonen og observeres 25 cm unna kontaktsonen i porfyrgranitt (Figur 38). Det er ingen tynnslip herfra, kun et hånstykke (0,0).



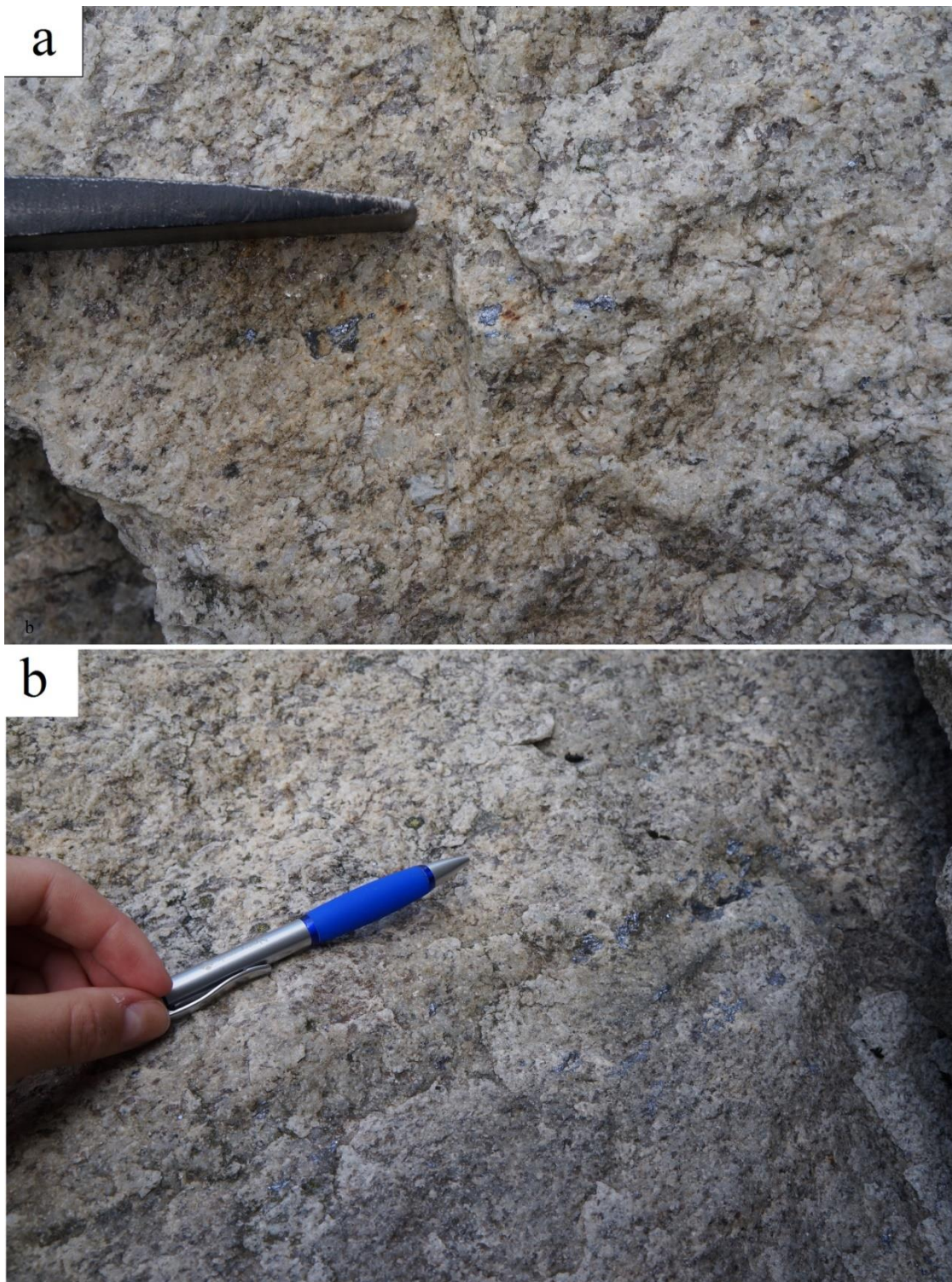
Figur 38 Kontakt mellom porfyrgranitt og grå granitt er stiplet og grovkornet molybdenitt følger kontaktsonen. Prøve 00 er markert med firkant.

Bergartsbeskrivelse

Grå granitt er svak foliert, leukokratisk og varierer i kornstrørrelse, fra medium til grovkornet med anhedral, hvit feltspat og anhedral røykkvarts sammen med finkornet biotitt og molybdenitt (< 2 cm). Prøvenr 00 representerer grå granitt som har en magnetisk susceptibilitet på $0,01-0,04 \cdot 10^{-4}$. Porfyrgranitt har svak foliasjon med grovkornet rosa,

Resultater

anhedral feltspat og melanokratisk matriks bestående av røykkvarts og biotitt. Den magnetiske susceptibiliteten varierer fra $4-8 \cdot 10^{-4}$.



Figur 39a) Grovkornet molybdenitt i foliasjonsplanet i grå granitt nær porfyrgranitt. Foliasjonsretningen vist med hammer b) Kontaktsonen mellom grå granitt (leukokratisk) og porfyrgranitt preges av grovkornet molybdenitt som følger foliasjonen vist med penn.

4.3.3 Sør for graven på Knaben 3

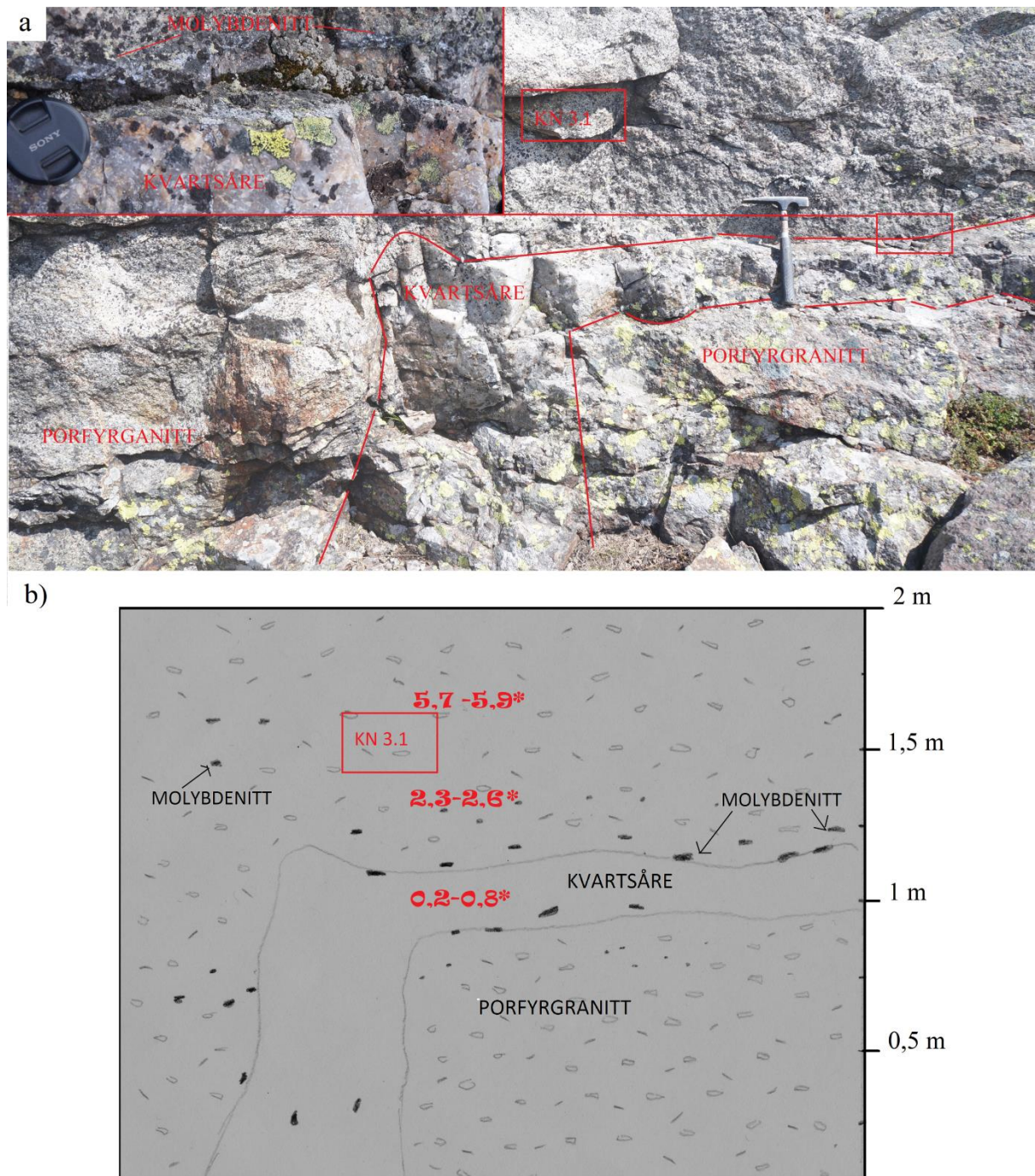
Lokaliteten består av et skjerp (3 m høy og 10 m lang) sør for Knaben 3 graven langs Kvinavegen. Grovkornet molybdenitt er knyttet til kvartsårer (4 til 60 cm tykke) med sidebergart av leukokratisk, mediumkornet porfyrgranitt. Årene er både melke- og røykkvarts som ofte dukker opp som linser som tyner ut på sidene og er avbøyd (Figur 41a nedenfor). Kvartsårene har lommer av molybdenitt, og molybdenitt som følger kontakten til porfyrgranitt der mindre og mindre konsentrasjon jo lengre distanse fra årene (Figur 41b). Prøve KN 3.3 og KN 3.4 representerer porfyrgranitt i ulike lengder fra kvartsåre (30 cm og 40 cm), mens KN 3.2 representerer kvartsåre og KN 3.1 representerer 20 cm nær kvartsåre (Figur 41). Nærbilde av håndstykkene er vist i figur (Figur 44).

Bergartsbeskrivelse

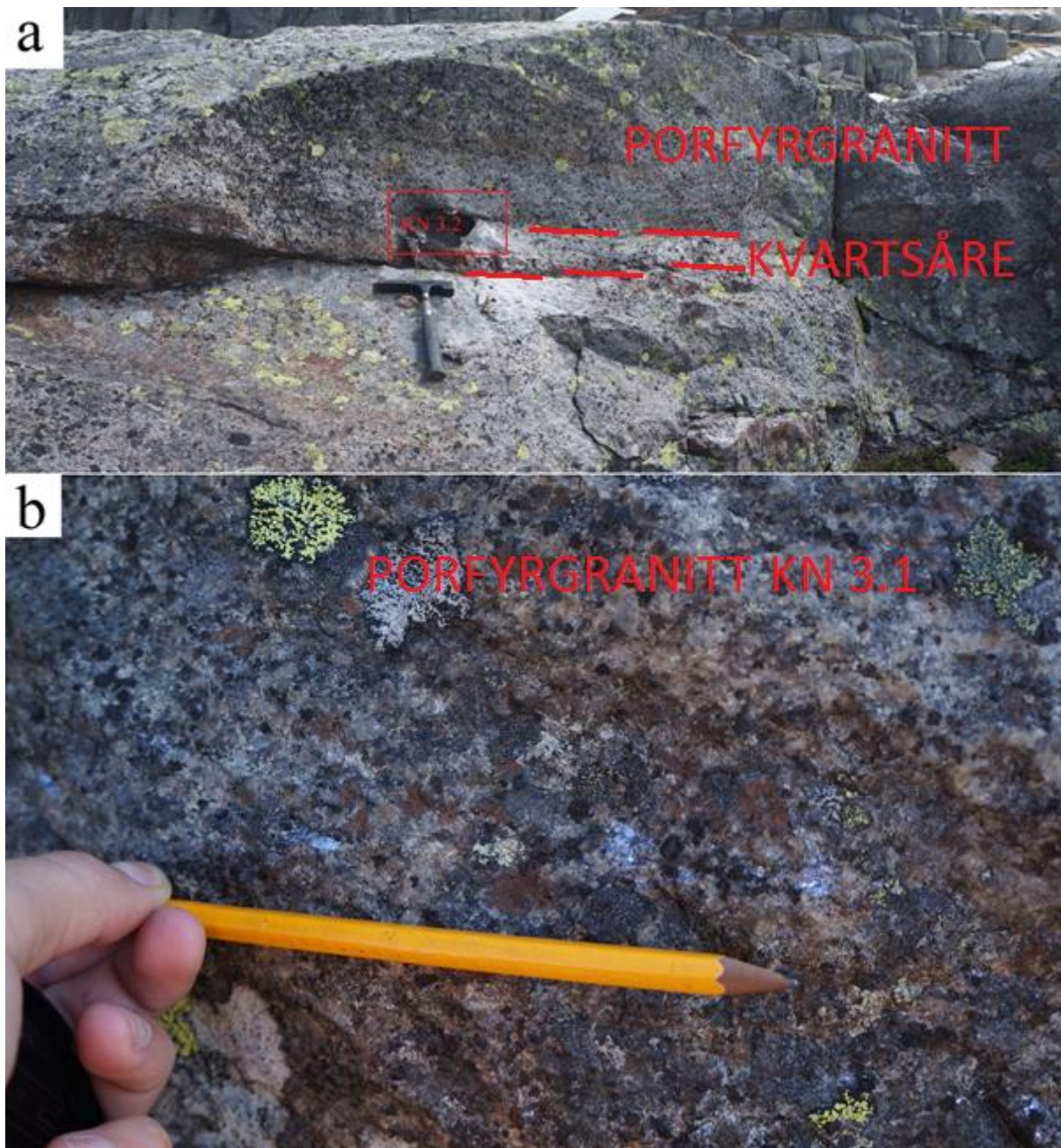
Porfyrgranitt har svak foliasjon, er leukokratisk, mediumkornet med anhedral-subhedral hvite/rosa feltspat (1-2 cm), røykkvarts (< 1 cm), biotittrik (0,1 cm), med kvartsårer som følger foliasjonen. Prøve KN 3.3 har lommer av molybdenitt som følger foliasjonen (40 cm over kvartsåren) (Figur 44). Prøve KN 3.4 er lengst borte fra åren og har disseminert molybdenitt (< 0,1 cm) og andre sulfider. Magnetiske susceptibilitet en er lavere i kvartsåren og høyere i porfyrgranitt som øker i distanse fra åren (Figur 41b).



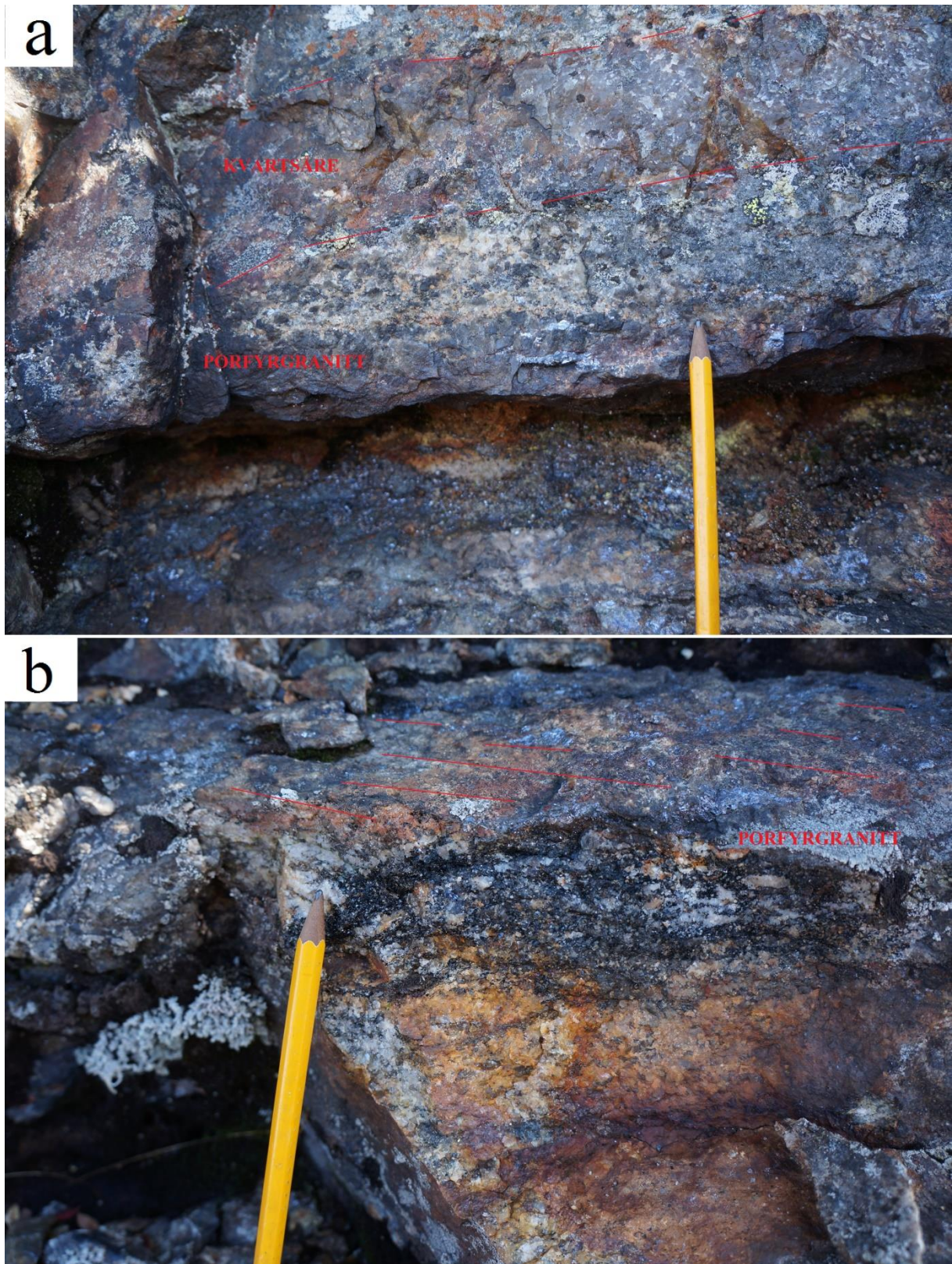
Figur 40 Lokaliteten til KN 3.3 og KN 3.4 av porfyrgranitt markert med rød firkant.



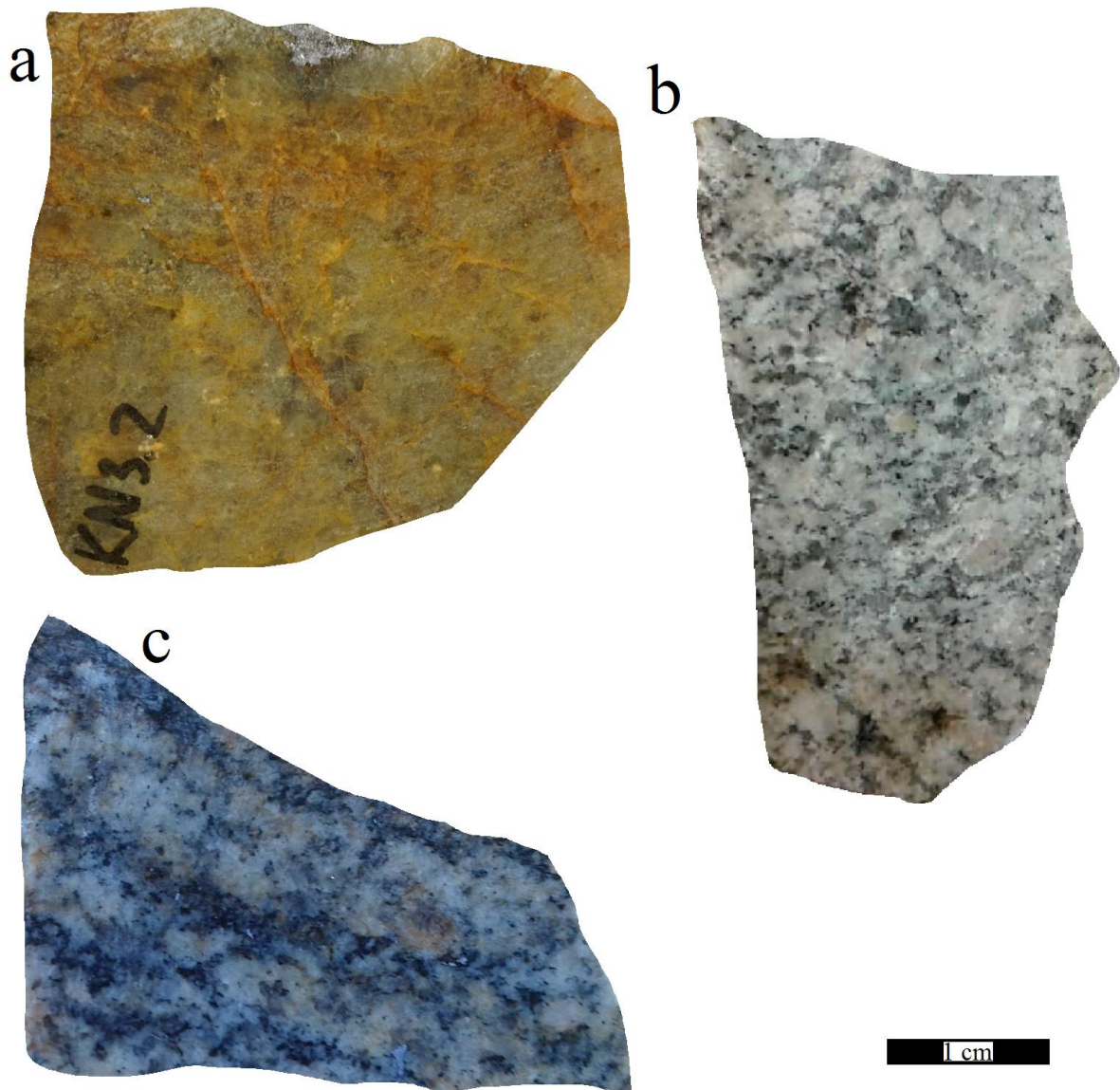
Figur 41a) Kvartsåre i porfyrgranitt ved prøve KN 3.1 . Grovkornet molybdenitt ligger som lommer i kvartsåre og langs foliasjonen til porfyrgranitt b) Skisse av a, med kvartsåre (ca 60 cm tykk) og molybdenitt som lommer og langs foliasjonen til porfyrgranitt. Den magnetiske susceptibiliteten (markert med rød) av kvartsåren varierer fra $0,2 - 0,8 \cdot 10^{-4}$. 20 cm over kvartsåren i porfyrgranitt øker susceptibiliteten til $2,6 \cdot 10^{-4}$. Susceptibilitet en øker i distanse fra åren opp til 5,9, med mindre molybdenitt til stede.



Figur 42 Nærbilde av prøve KN 3.1. Kvartsåre i foliert porfyrganitt, med molybdenitt (< 1 cm). Den magnetiske susceptibiliteten varierer fra $3-8 \cdot 10^{-4}$. Prøve KN 3.2 representerer en melkekvartsåre (5 cm tykk) i porfyrganitt med grovkornet molybdenitt (< 2 cm) langs kontakten.



Figur 43a) 6 cm tykk kvartsåre i foliasjonen til porfyrgranitt , der molybdenitt ligger langs foliasjonen sammen med finkornet biotitt b) 20 cm under kvartsåren ligger schliren av amfibolitt (12 cm tykk) som også er rik på grovkornet molybdenitt (1 cm) i foliasjonsplanet markert med røde striper i porfyrgranitt.



Figur 44a) Håndstykke av kvartsåre, KN 2.3 b) Håndstykke av KN 3.4, 40 cm fra kvasrtåre c) Håndstykke av KN 3.1, 20 cm fra kvartsåre.

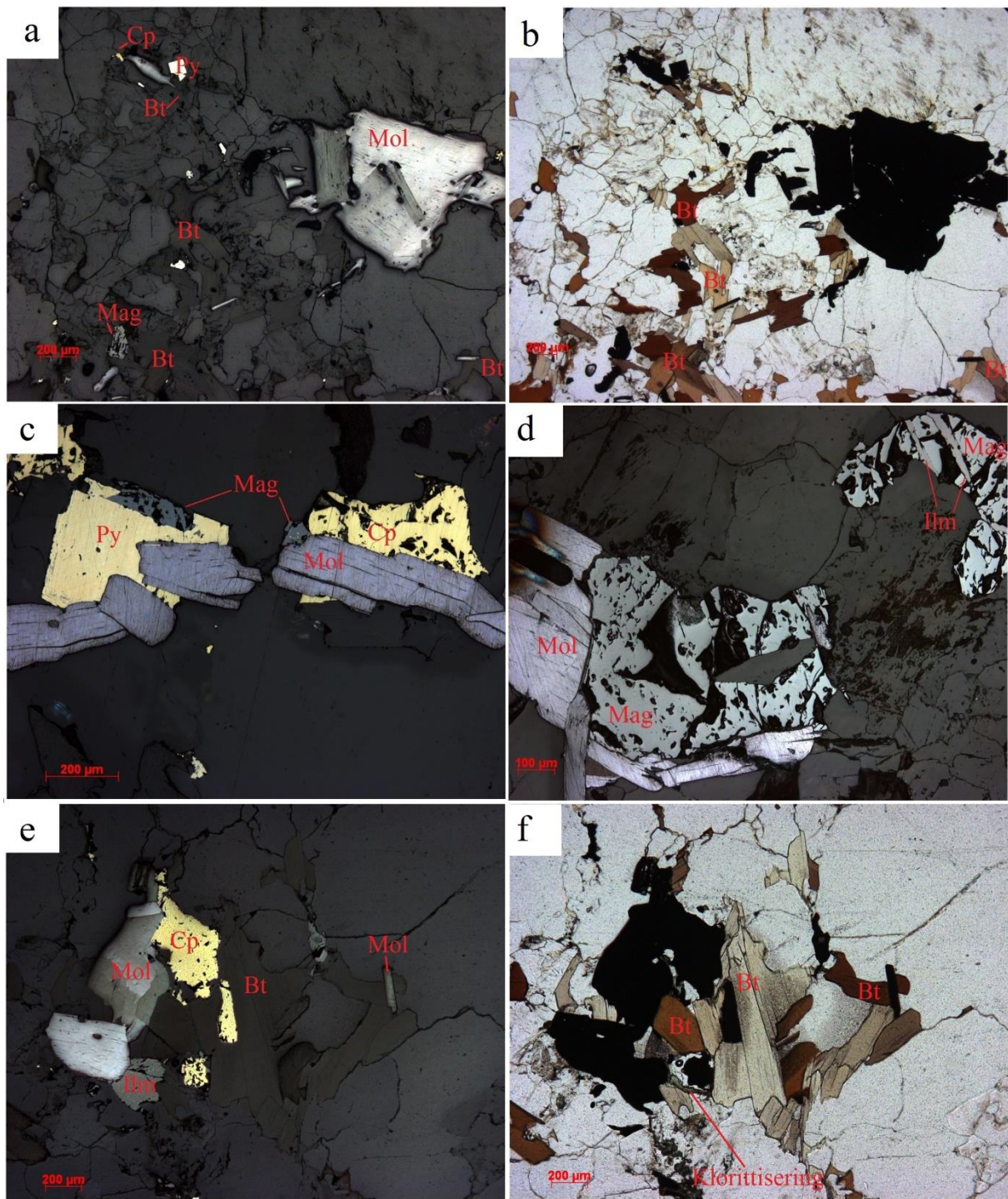
Petrografi; KN.3.1

Hovedmineralogi: Kvarts (< 2,5 mm), mikrolin (< 2,5 mm), ortoklas (< 2,5 mm), plagioklas (< 1 mm), biotitt (< 1 mm), molybdenitt (0,2- 2 mm), magnetitt (1,5 mm), ilmenitt (1,5 mm).

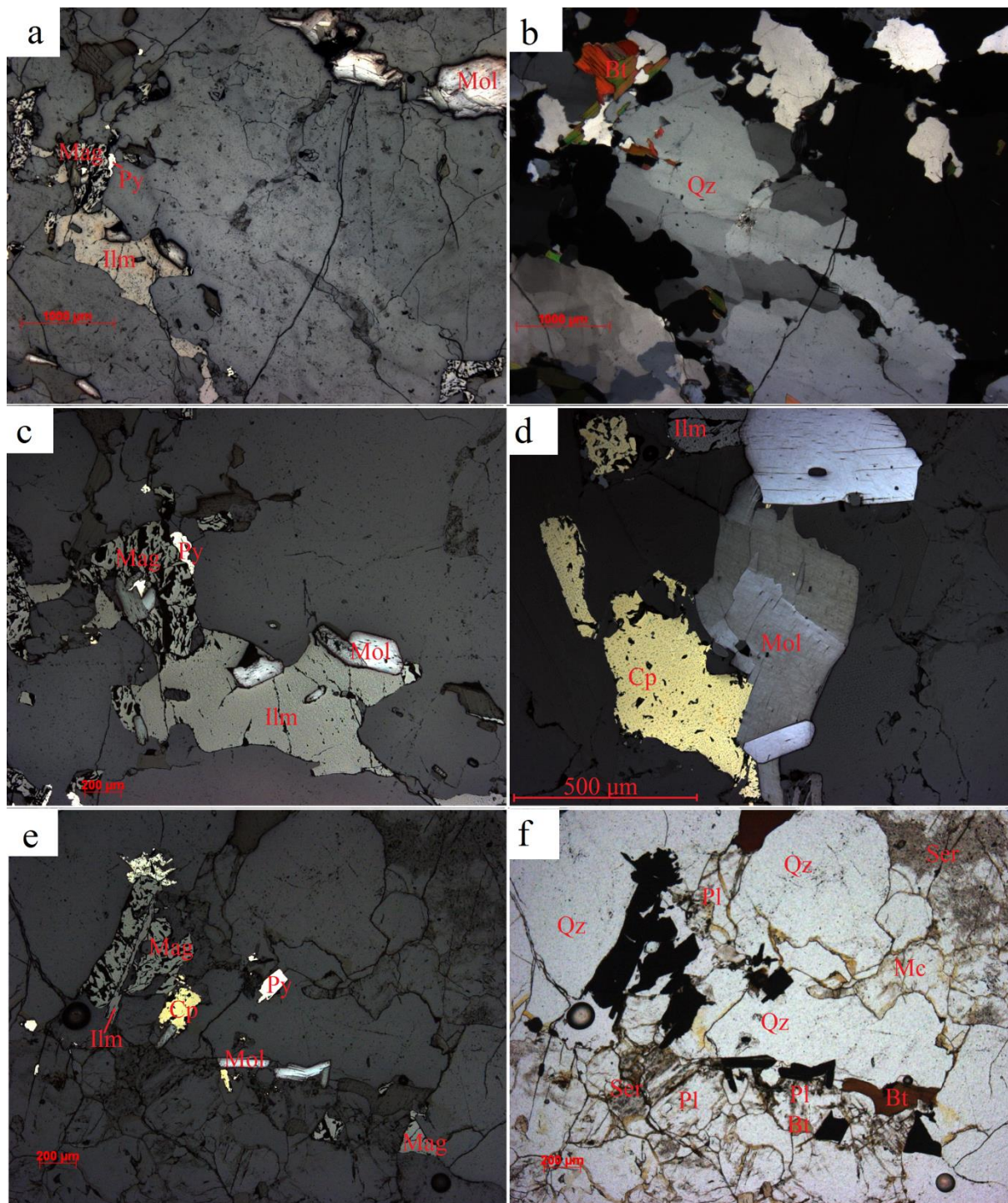
Askessoriske mineraler: Svovelkis (< 0,5 mm), zirkon (0,01 mm), kobberkis (< 0,6 mm), kloritt (0,1 mm), apatitt (0,05 mm).

Tekstur: Porfyritisk tekstur med fenokrystaller av kvarts og delvis seritisert feltspat. Feltspat har tartantvillinger, sekundære albittvillinger, to-steps pertittlameller og noe myrmekitt og serisittisk tekstur. Kvarts har undulerende utslukning, dominerende «chessboard extinction» og har lobate-angulære kornrensere (Figur 46b). Generelt er biotitt anhedral, rød-brun og

delvis klorittisert med pleokritiske haloo rundt zirkon (Figur 45f). Glimmer, oksider og sulfider ligger sammen i mindre, orienterte bånd, parallelt med kvarts og feltspat i mellom sekvensene. Molybdenitt er både disseminert (0,2 mm) og finnes som aggregater (< 2 mm) langs foliasjonen og ofte sammen med biotitt og kloritt (Figur 45ef). Single korn av molybdenitt ligger ofte i korn grensene til fenokrystaller og sammen med psedomorft magnetitt og ilmenitt (Figur 45cd). Magnetitt ser ut som de er «oppspist» og har ofte lameller av ilmenitt (Figur 45f og Figur 46ce). KN 3.2 representerer molybdenitt i kvartsåre og har ikke særlig andre mineralfaser enn kvarts til stede. Molybdenitt ligger i aggregater langs korn grensene til kvartskorn.



Figur 45 Tynnsnip av KN 3.1 viser ab) Pålys og gjennomlys av aggregat av molybdenitt og disseminerte langs foliasjonen. Kobberkis, magnetitt og svovelkis er disseminert og grenser til biotitt, kvarts og feltspat c) Pålys av kubisk svovelkis, kobberkis, molybdenitt og magnetitt d) Pålys viser skarp kontakt mellom molybdenitt og magnetitt (magnetitt med lameller av ilmenitt) ef) Pålys og gjennomlys av molybdenitt, kobberkis og ilmenitt, der molybdenitt ligger på kanten av biotitt, og inklusjon av kobberkis i rød-brun biotitt.



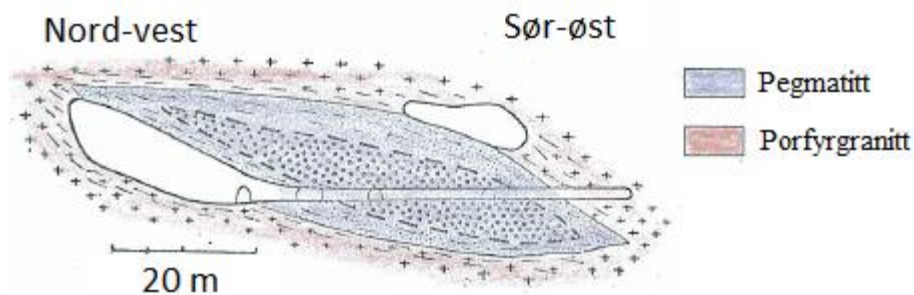
Figur 46 Tynnslip av KN 3.1 viser a) Pålys av oksider og sulfider som konsentres langs korngrensen til kvartskorn. Molybdenitt opptre i aggrater b) Gjennomlys med analysator av a som viser biotitt og «GBM» i kvarts, med lobate/angulære korngrenser og «chessboard extinction» c) Pålys av molybdenitt langs kanten til og inni ilmenitt og magnetitt. Magnetitt har også inklusjon av svovelkis d) Pålys av kobberkis sammen med molybdenitt og ilmenitt e) Pålys av magnetitt, svovelkis, kobberkis, molybdenitt og ilmenitt som er konsentrert i korngrense til feltspat og kvarts f) Gjennomlys av e, viser serisitt, anhedral biotitt konsentrert nær sulfidene og oksidene.

Petrologi

Store deler av magnetittfasene ser ut å ikke lenger være stabile, og kan tyde på at oksidet er en av de eldre fasene (Figur 45c) som blir erstattet av andre sulfider, foreksempel svovel og molybdenitt i Figur 45c og d som er innesluttet i magnetitt. Kobberkis ser ut til å være eldre enn molybdenitt, ettersom det ser ut til at euhedrale molybdenitt erstatter pseudoformt kobberkis. Kobberkis er også innesluttet i biotitt (Figur 45ef), der biotitt ser ut til å erstatte kobberkiset. Molybdenitt er innesluttet i ilmenitt (Figur 45a) som kan indikere at ilmenitt er en av de seneste fasene.

4.4.4 Gruven på Kvina

Gruven på Kvina er en av de største gruvene lengst nord i Knabenområdet og er kjent for en linseformet kvartspegmatitt på over 200 meter lang, 80 meter bred og 16 meter tykk inni porfyrgranitt, med strøk 25 grader nordøst og et på fall 26 grader øst (Figur 47) Hittil har denne gruva produsert 230 tonn molybdenitt av 100.000 tonn av malm. Pegmatitten består av melkekvarts, mindre feltspat og lommer av molybdenitt. Pegmatitter og årer fra denne hovedpegmatitten er intrudert i porfyrgranitt, og er stort sett boundinert og anrikt av molybdenitt. Det er i disse årene all utvinning har foregått. Prøvenummer KV1.1, KV1.2 og KV1.3 representerer mineraliseringen knyttet til en mindre pegmatitt ved åpningen til Kvina lengst nord (Figur 48).



Figur 47 Profil av gruva på Kvina (Bugge, 1965).

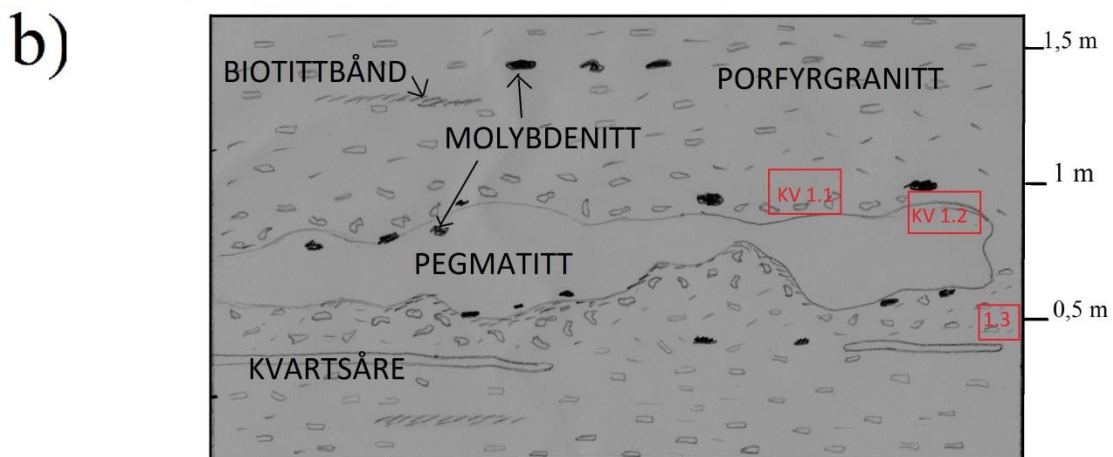
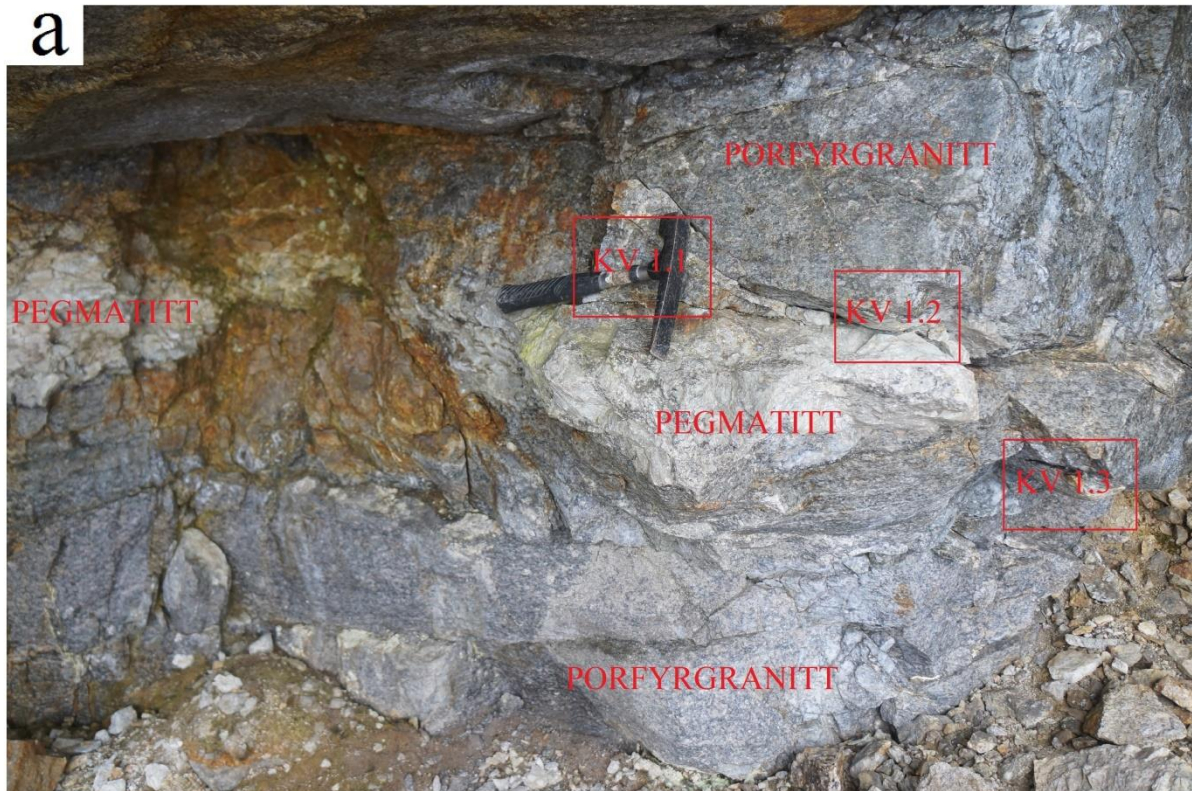


Figur 48 Kvina utenfor den nordligste hovedinngangen som viser noe av hovedkvartspegmatiten.

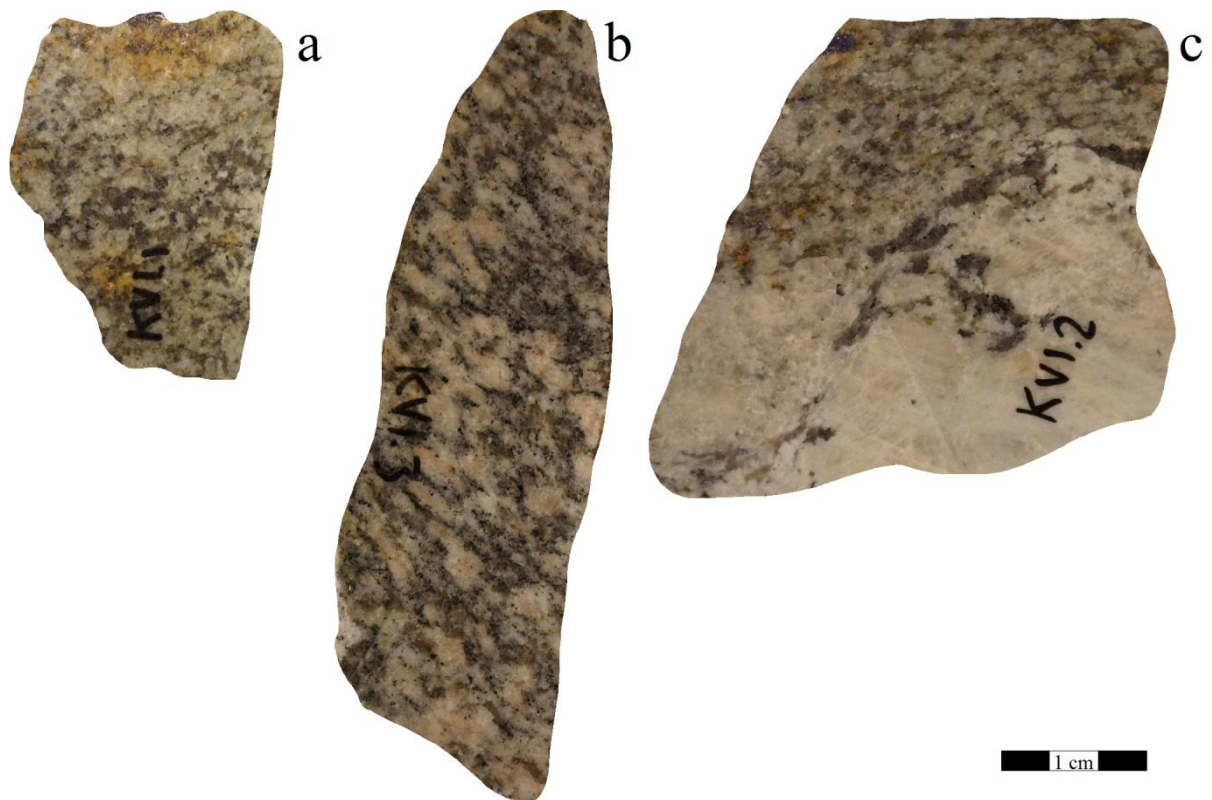
Bergartsbeskrivelse

Mindre deformerte pegmatitter springer ut fra hovedpegmatitt (Figur 49a), der mineraliseringen ser ut å tilknyttes kontaktsoner mellom dem og porfyrgranitt. Molybdenitt er konsentrert i melanokratisk matriks sammen med finkornet biotitt og røykkvarts (Figur 52). Grovkornet molybdenitt er konsentrert langs foliasjonen til porfyrgranitt og som lommer (< 3 cm) i kvartsårer i porfyrgranittnes foliasjonsplan. Vertikale pegmatitter uten mineralisering kutter mineraliserte pegmatitter og porfyrgranitt (Figur 52d).

Porfyrgranitt har moderat foliasjon (NV-SØ), med fenokrystaller av hvite anhedral-subhedral feltspat (< 3 cm) og anhedrale, melke- og røykkvarts (< 3 cm), biotitt (0,1 cm) og molybdenitt (< 0,5 cm) langs foliasjonen. Flere melkekvartsårer ($\approx 0,5$ cm tykke) ligger langs foliasjonen og biotitt er finkornet langs kontaktsonene til porfyrgranitt og som tynne mørke bånd i porfyrgranitt (Figur 51). Store mengder molybdenitt (< 3 mm) er konsentrert langs kontaktsonen til deformerte pegmatitt og i foliasjonen til porfyrgranitt 20-30 cm under og over pegmatitten. Den magnetiske susceptibiliteten av porfyrgranitten 20 cm under pegmatitten varierer fra $0 - 7 \cdot 10^{-4}$, mens verdien av pegmatitten varierer fra $0,13 - 0,3 \cdot 10^{-4}$ (Figur 49).



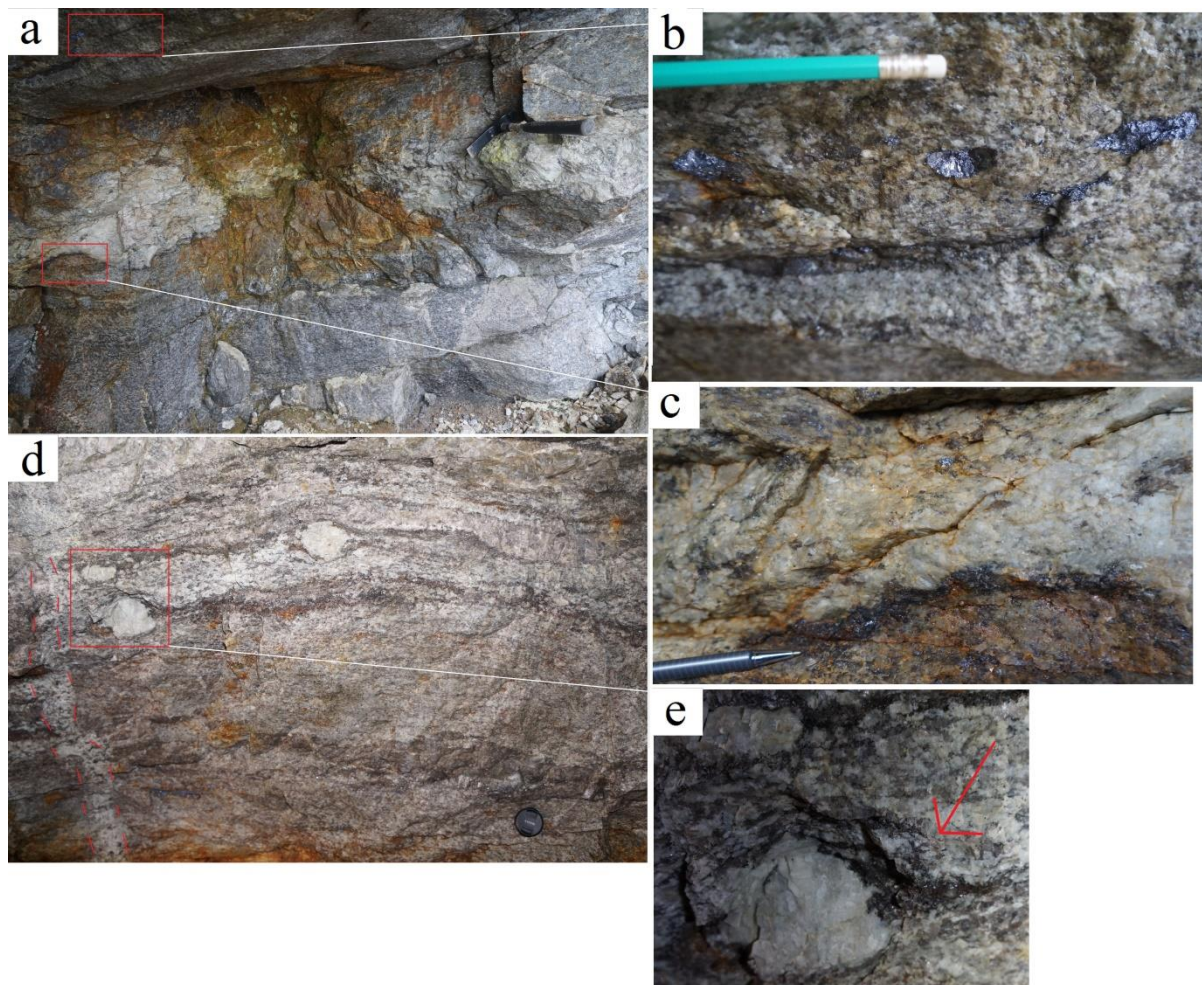
Figur 49a) Lokalitet til prøvene KV 1.1, KV 1.2, KV 1.3. Molybdenitt er grovkornet og knyttet til boudinert pegmatitt i moderat foliert porfyrranitt. Prøve KV 1.1 representerer porfyrranitt over pegmatitten, med molybdenitt (< 2 cm) langs foliasjonen. Prøve KV 1.2 representerer kontakten til pegmatitten og porfyrranitten med molybdenitt (< 2 cm). Nedunder pegmatitten er molybdenitt (0,1 cm) i foliasjonen med andre sulfider, representert av prøve KV 1.3 b) Skisse av lokalitet. Molybdenitt er markert med svart.



Figur 50 Håndstykke av a) Prøve KV 1.1 med molybdenitt langs foliasjon nær pegmatitt b) Prøve KV 1.3 med molybdenitt langs foliasjonen, lengst unna pegmatitt c) Prøve KV 1.2 representerer kontaktsonen til pegmatitt, med lommer av molybdenitt i pegmatitten.



Figur 51 Grovkornet molybdenitt sammen med biotittrike (<1 cm) bånd langs foliasjonen i porfyrgranitt. Lagdelt molybdenitt ligger sammen med melanokratisk matriks i foliasjonsplanet og sammen med melkekvartsbånd. Bildet er tatt 20 meter til høyre for pegmatittlokaliteten.



Figur 52a) Boundinert pegmatitt med molybdenitt langs kontaktsonen til porfyrgranitt b) Nærbilde av molybdenitt i lommer langs foliasjon i porfyrgranitt knyttet til deformerte pegmatitt c) Finkornet molybdenitt sammen med finkornet biotitt langs kontaktsonen til pegmatitt, og lommer av molybdenitt i pegmatitt d) En av flere vertikale pegmatitter uten mineralisering kutter porfyrgranitt og boundinerte pegmatitter e) Nærbilde av asymmetriske sigmaklaster i forbindelse med boudinert pegmatitt med mer resistente feltspat, og trykkskygge dannes i trykkminima bestående av finkornet biotitt og molybdenitt markert med rød pil.

Petrografi

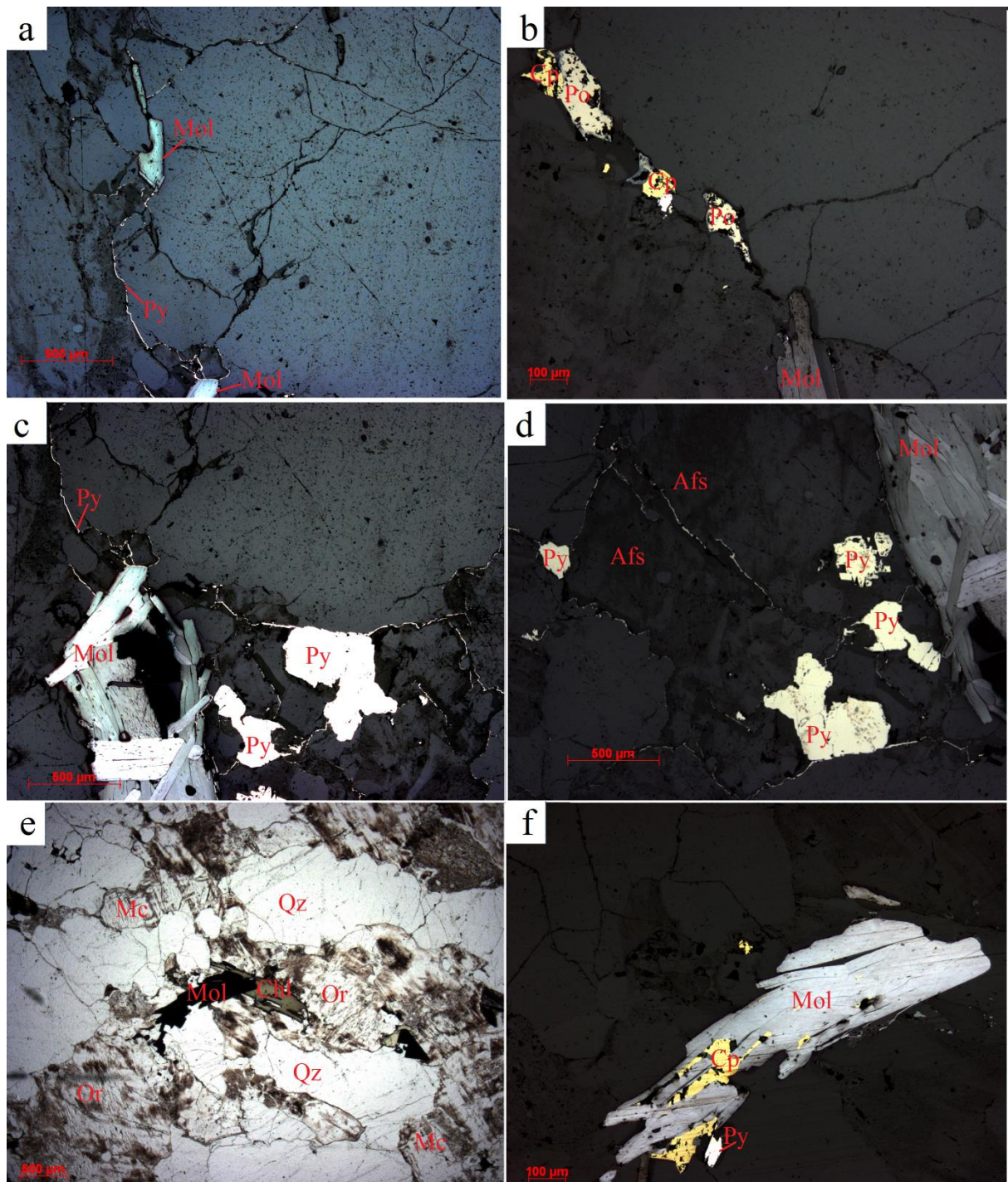
Porfyrgranitt, KV 1.2

Hovedmineraler: Kvarts (1-4 mm), mikroklin (1-3 mm), ortoklas (1-3 mm).

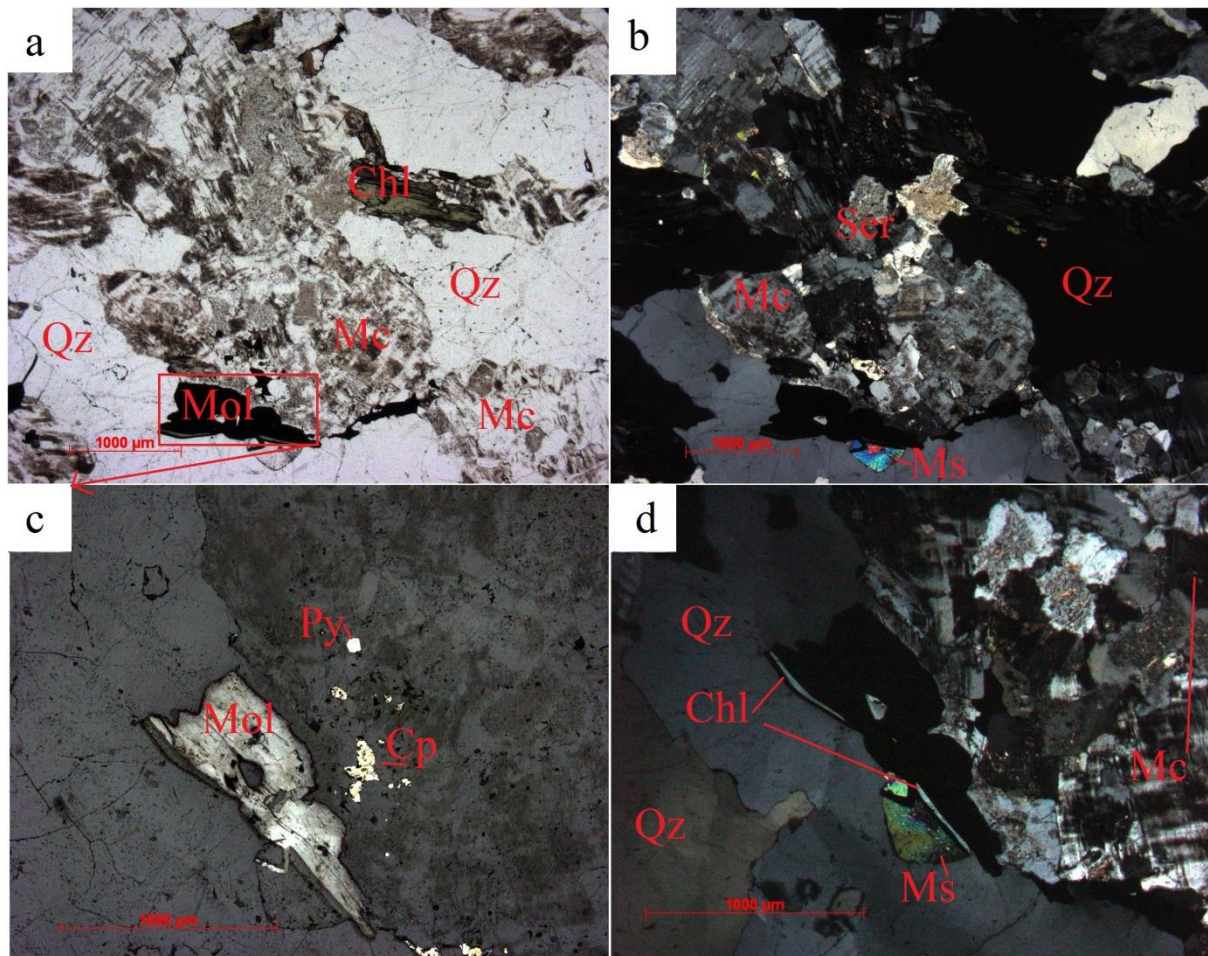
Akessoriske mineraler: Biotitt (0,2-1 mm), kobberkis (< 0,3 mm), magnetkis (0,5 mm), molybdenitt (< 3 mm), kloritt (2 mm), muskovitt (0,1 mm), svovelkis (< 0,2 mm), zirkon (0,1 mm), apatitt (0,1mm).

Tekstur: Dominerende kvarts og mikrolin, der feltspat er sterkt seritisert og rik på lamellaer av flammepertitt, to-steps pertitt, tartan, og carlsbadtvillinger og multiple penetrasjonstvillinger. Biotitt er anhedral, blek-grønn og store korn er klorittisert. Kvarts har

undulerende utslukning av «swiping» og «chessboard extinction» og har lobate-angulære kornrensener og «GMB». Molybdenitt ligger i foliasjonen sammen med kvarts, seritisert feltspat, muskovitt, kloritt og kobberkis (Figur 53acef). Molybdenitt opptrer i aggregater og som single korn ofte knyttet til svovelkiskanaler og serisitt. Svovelkis følger kornrensener og gjennom korn som små kanaler som kan følges til større svovelkiskorn som opptrer intersitielt mellom fenokrystaller av kvarts og feltspat (Figur 53bcd)



Figur 53 Tynnslip av KV 1.2 a) Viser pålys av molybdenitt langs korn grensen til kvarts sammen med svovelkis b) Magnetkis, kobberkis og svovelkis langs korn grensen til fenokrystall av kvarts c) Aggregat av molybdenitt og større korn av svovelkis som knyttes til svovelrike væsker langs korn grensene til silikater der svovelkis opptrer interstitielt mellom kvarts og feltspat d) Svovelkisutfelling langs korn grensen til alkalifeltspat og gjennom kornet e) Molybdenitt sammen med kloritt og seritiserte fenokrystaller av ortoklas og mikroklin f) Nærbilde av molybdenitt i e, med kobberkis inni kløvretningen til molybdenitt, med svovelkis på randen.



Figur 54 Tynnsnip av KV 1.2 ab) Molybdenitt sammen med seritisert mikroklin, kloritt og muskovitt c) Nærbilde av molybdenitt, med svovelkis og kobberkis som er disseminert i svært seritiske feltspat d) Kloritt ligger i kløven på molybdenitt, med muskovittkorn ved siden av.

Petrologi

Svovelkis langs korngrensene ser ut til å være en av de senere mineralfasene, der kilden kan ha kommet fra svovelrike fluider i forbindelse med pegmatittene. Store deler av feltspat er seritisert, som kan skyldes gjennomstrøm av fluider. Trolig har fluidene brakt med seg svovel, molybden, kobber, som deretter har utfelt molybdenitt, svovelkis, magnetkis og kobberkis. Biotitt har muligens blitt klorittisert der fluider har fått tilgang. Kobberkis kan være eldre enn molybdenitt, ettersom kobberkis ligger som inklusjoner i molybdenittkløv eller at de har krystallisert på samme tidspunkt ettersom korngrensene er rette og kan se ut som de er komagmatiske (Figur 53f). Svovelkanaler følger korngrensene til fenokrystaller av kvarts og feltspat og opptrer intersitielt (Figur 53bcd).

4.4.5 Øvre Ørnehommen

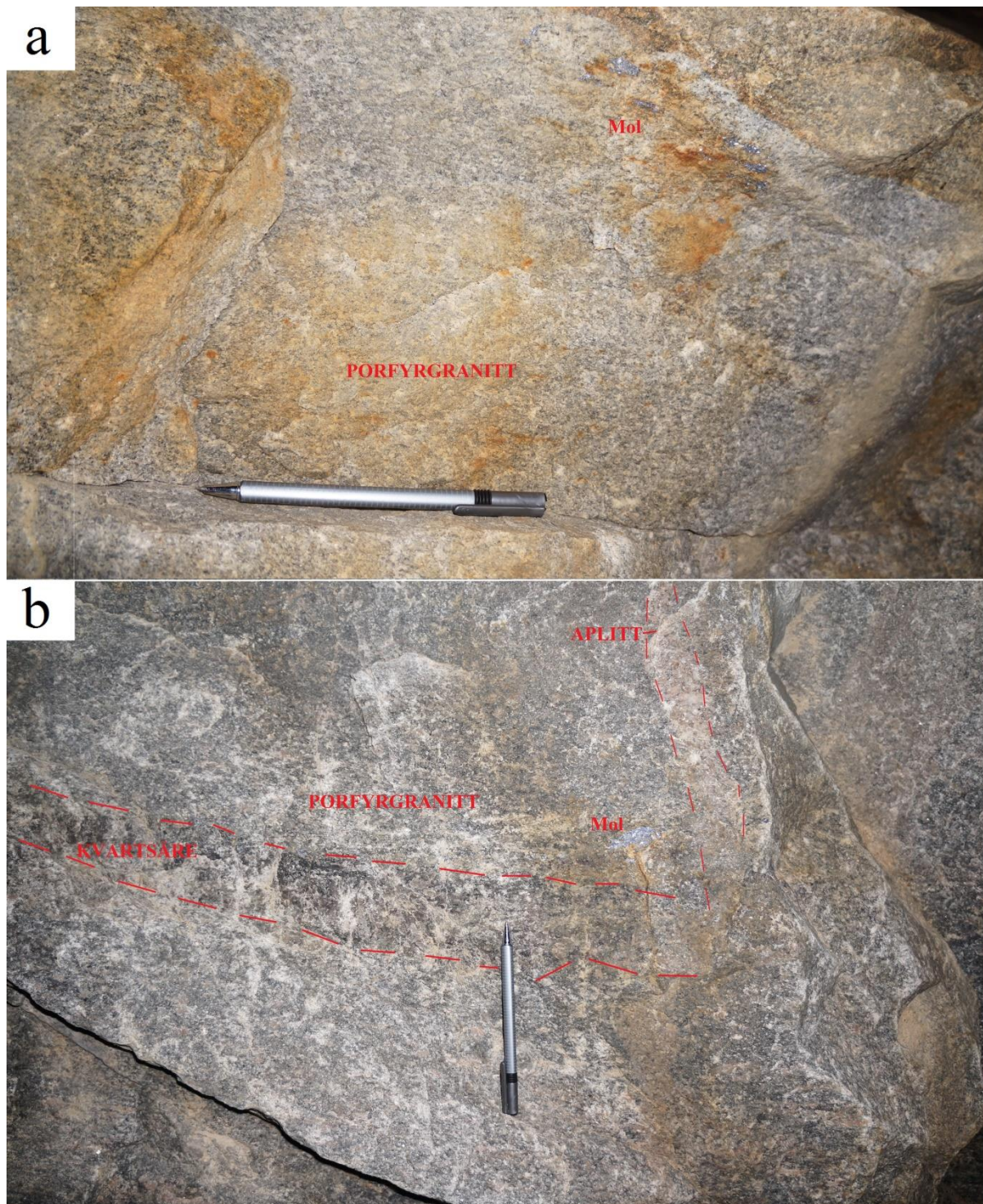
Ørnehommen er en av de større gravene på Knaben som inkluderer flere etasjer. Hovedinngangen er 2 meter bred og 2 meter høy og etter 6 meter inn, åpner det seg et større bergrom med flere meters høyde og bredde, med tilgang til andre smale innganger. Litologiene er noe avansert med diffuse bergartsgrenser som gjør det utfordrende å skille mellom ulike granitter; porfyrgranitter, biotittførende porfyrgranitt, aplitter og alaskitt (leukokratisk, mediumkornet granitt). Prøve ØRN 1.1 og ØRN 1.2 er begge biotittrike, ekvigranulare, mediumkornet granitt med disseminert molybdenitt (0,1 cm) og lommer av grovkornet molybdenitt knyttet til pegmatitt i foliasjonsretningen (Figur 55). Prøve ØRN 1.3 er en løsblokk, som har svak foliasjon, biotittrik med disseminert og lommer av molybdenitt (0,5 cm) som minner om grå granitt.

Bergartsbeskrivelse

Porfyrgranitt er svært heterogen, fra biotittførende til lite biotitt, fra hvit til rødlig feltspat og matriks fra leukokratisk til melanokratisk. Størrelsen på feltspat varierer fra 1–3 cm. Flere melke og røykkvarts (< 40 cm) uten mineralisering ligger i porfyrgranitt. Grovkornet molybdenitt i røykkvartsåre (5 cm) ligger i foliasjonsretningen. Porfyrgranitt blir kuttet av vertikale aplitter og pegmatitter (< 30 cm tykke) uten mineralisering (Figur 56b). Grovkornet molybdenitt er hovedsakelig konsentrert i grovkornet, ekvigranular granitt knyttet til kvartsåre. Disseminert molybdenitt (0,1 mm) er konsentrert i ekvigranular, mediumkornet biotittrik granitt.



Figur 55a) Håndstykke av ØRN 1.1 b) Håndstykke av ØRN 1.2.



Figur 56a) Grovkornet molybdenitt i langs foliasjonen til porfyrgranitt b) 5 cm tykk røykkvarts langs foliasjonen i porfyrgranitt er kuttet av vertikal 4 cm tykk aplitt, som hovedsakelig består av rosa feltspat og røykkvarts. Molybdenitt er konsentrert i kvartsårer som lommer opp til 3 cm, og langs foliasjonen i porfyrgranitt nært kvartsåre.

Petrografi

Porfyrgranitt ØRN 1.1

Hovedmineralogi: Mikroklin (< 2 mm), kvarts (< 4 mm), plagioklas (1 mm) svovelkis (< 2 mm), kobberkis (< 1 mm), molybdenitt (< 2 mm), magnetitt (0,7 mm) og biotitt (0,5 mm).

Aksessoriske mineraler: Muskovitt (0,6 mm), allanitt (0,2 mm).

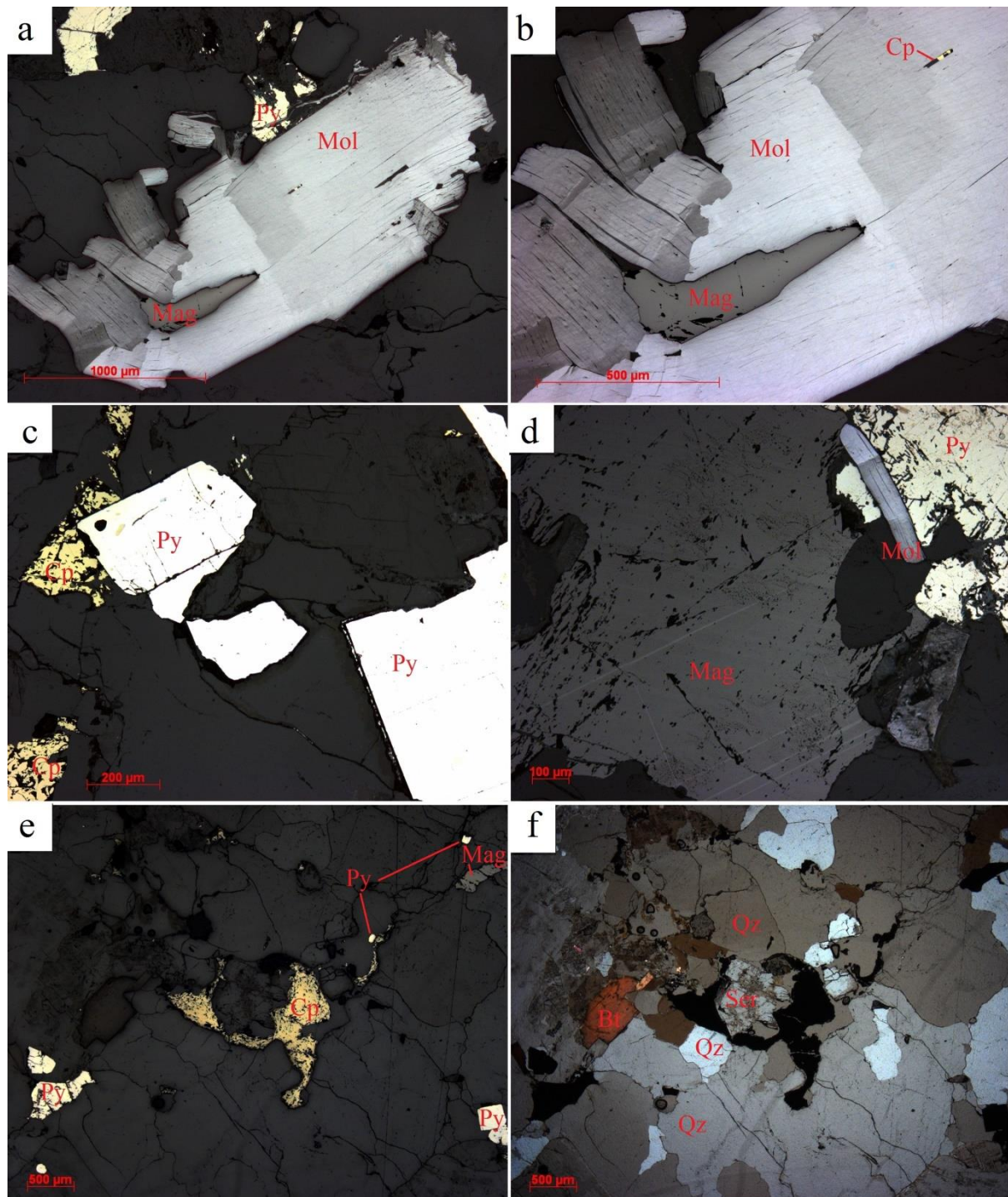
Tekstur: Fenokrystaller av sterkt seritisert feltspat med tartantvillinger og fenokrystaller av kvarts med lobate-angulære korn grenser, «GBM» og undulerende utslukning. Plagioklas har sekundære albittvillinger. Biotitt er anhedral, rødbrun og delvis klorittisert. Aggregat av molybdenitt (Figur 57a) og mindre korn (Figur 57d) er orientert og ligger stort sett i foliasjonsretningen. Magnetitt har lameller av ilmenitt (Figur 57d).

Porfyrgranitt ØRN 1.2

Hovedmineralogi: Kvarts (1,2 mm), mikroklin (1 mm), plagioklas (0,4 mm), biotitt (0,4 mm),

Aksessoriske mineraler: Molybdenitt (< 0,6 mm), ilmenitt (0,3 mm), magnetitt (0,4 mm), svovelkis (0,1-0,4 mm), kobberkis (0,1 mm), allanitt (0,2 mm), kloritt (0,3 mm)

Tekstur: Equigranulær tekstur. Feltspat er sterkt preget av seritisering med tartantvillinger, myrmekitt og albittvillinger. Kvarts har lobate-angulære korn grenser, «GMB» og undulerende utslukning. Biotitt er rødbrun, delvis klorittisert og orientert langs foliasjonen. Molybdenitt er ofte disseminert, og ligger i kontakt sammen med magnetitt, svovelkis og fenokrystaller av kvarts i seritiserte og biotittrike områder. Pseudomorfe svovelkis ligger ofte langs korn grensene til feltspat og kvarts.



Figur 57 Tynnsnip av ØRN 1.1 a) Pålys viser aggregat av molybdenitt med «kink banding» med inklusjon av magnetitt og kobberkis i kløven b) Nærbilde av magneitt og kobberkis c) Kubisk svovelkis og kobberkis, med mindre kobberkiskorn i kubiske svovelkis d) Magnetitt med lameller av ilmenitt, sammen med svovelkis og molybdenittkorn e) Kobberkis og svovelkis sammen med kvarts og seritisert feltspat f) Gjennomlys av e viser biotitt, kvarts og feltspat, der et seritisert feltspatkorn ligger inni kobberkis.

Petrologi

ØRN 1.1

Magnetitt og kobberkis er innesluttet i molybdenitt, og begge mineralene ser noe oppspist ut, som kan indikere at magnetitt og kobberkis er en av de tidligere fasene (figurxxb). Svovelkis har inklusjon av kobberkis (Figur 57c) som kan bety at kobberkis har krystallisert før svovelkis. I følge Figur 57e kan det ut som om kobberkis erstattes av serisitt. Svovelkis er nok så kubisk som kan tyde på at dette er et senere mineral, eller som har vært stabil på tross av mye sesritisering.

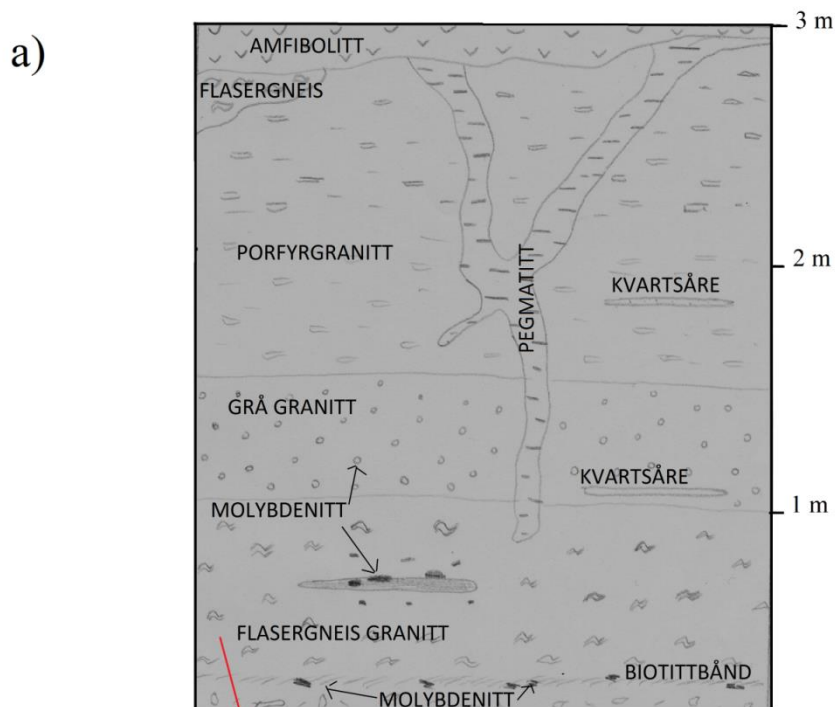
4.5.6 Gruveområdet på Knaben 1

Knaben 1 er en av de større gruvene, som har en total produksjon på 570 tonn molybdenitt av 80 000 tonn malm, hovedsakelig fra røykkvarts årer tilknyttet en schliren av flasergneis i porfyrgranitt. Prøve KN 1.1, KN 1.2, KN 1.3 representerer Knaben 1, med molybdenitt i flasergneis og porfyrgranitt (Figur 60) Øverste plan i gruveen viser vekslende flasergneis, amfibolitt, porfyrgranitt og molybdenførende aplittisk granitt. Flasergneis har molybdenittrike røykkvartsårer (< 20 cm tykke) langs foliasjonen og vertikale pegmatitter (4-10 cm tykke) kutter litologien (Figur 58a). Kontakten mellom pegmatitt og granittene er diffuse og ingen av de vertikale pegmatittene er mineralisert, men inneholder grovkornet rosa feltspat og melkekvarts. Molybdenitt er stort sett knyttet til røykkvartsårer i flasergneis og sammen med rekrystallisert biotittbånd i flasergneis. Skissering av lokalitetene til prøvene er vist nedenfor og en oversiktsskisse som grovt representerer litologien og deres relasjoner (Figur 58a).

Bergartsbeskrivelse

Porfyrgranitt består av anhedral til subhedral hvit/rosa feltspat (1-2 cm) med melanokratisk matriks, sammensatt av biotitt og røykkvarts. Porfyrgranitt har moderat foiliasjon og en del kvartsårer langs foliasjonen som ikke er mineralisert.

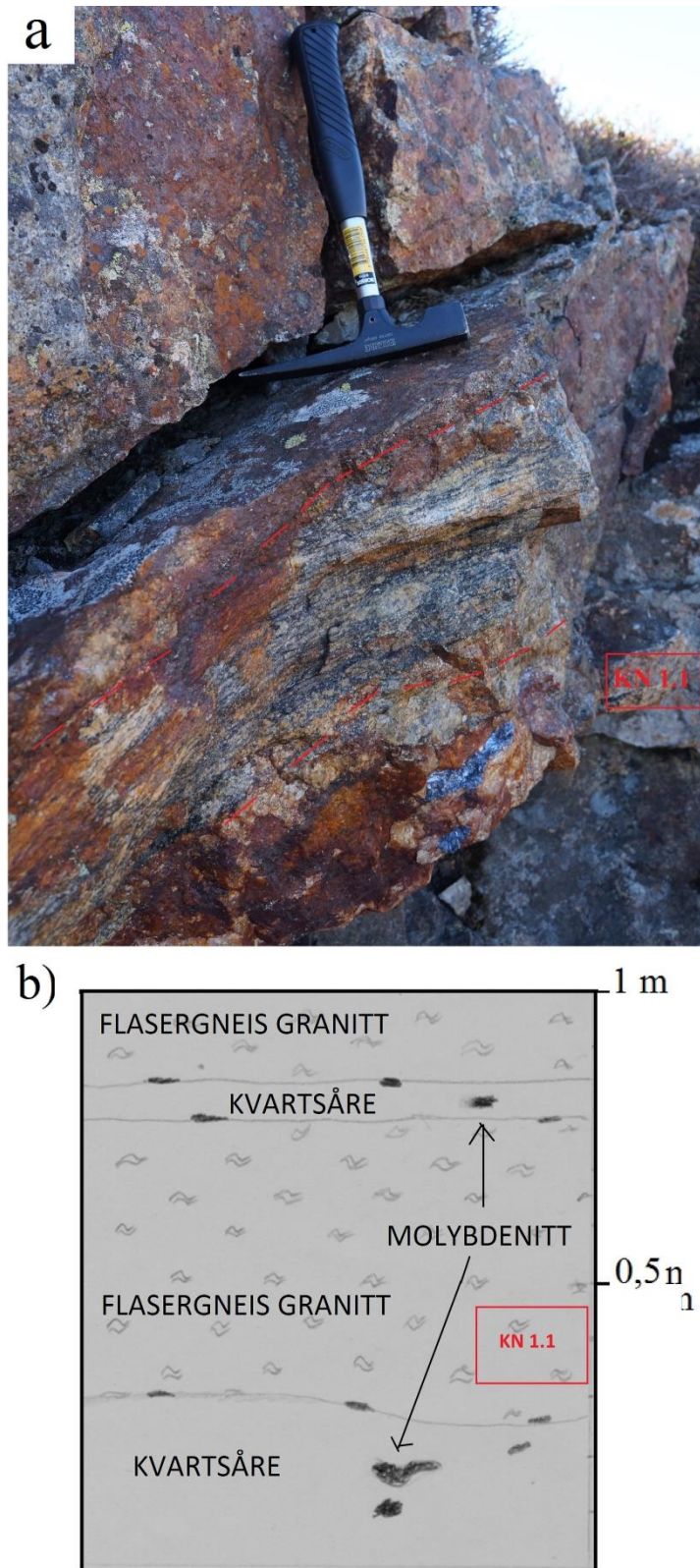
Flasergneis inneholder fenokrystaller av hvite/rosa subhedrale til anhedrale feltspat (< 5 cm), med matriks bestående av anhedral røykkvarts og biotitt. Bergarten er svært deformert, og rik på disseminert kobberkis og svovelkis (0,1 cm) sammen med mindre disseminert molybdenitt (< 0,1 cm) og finkornet biotitt (Figur 58b).



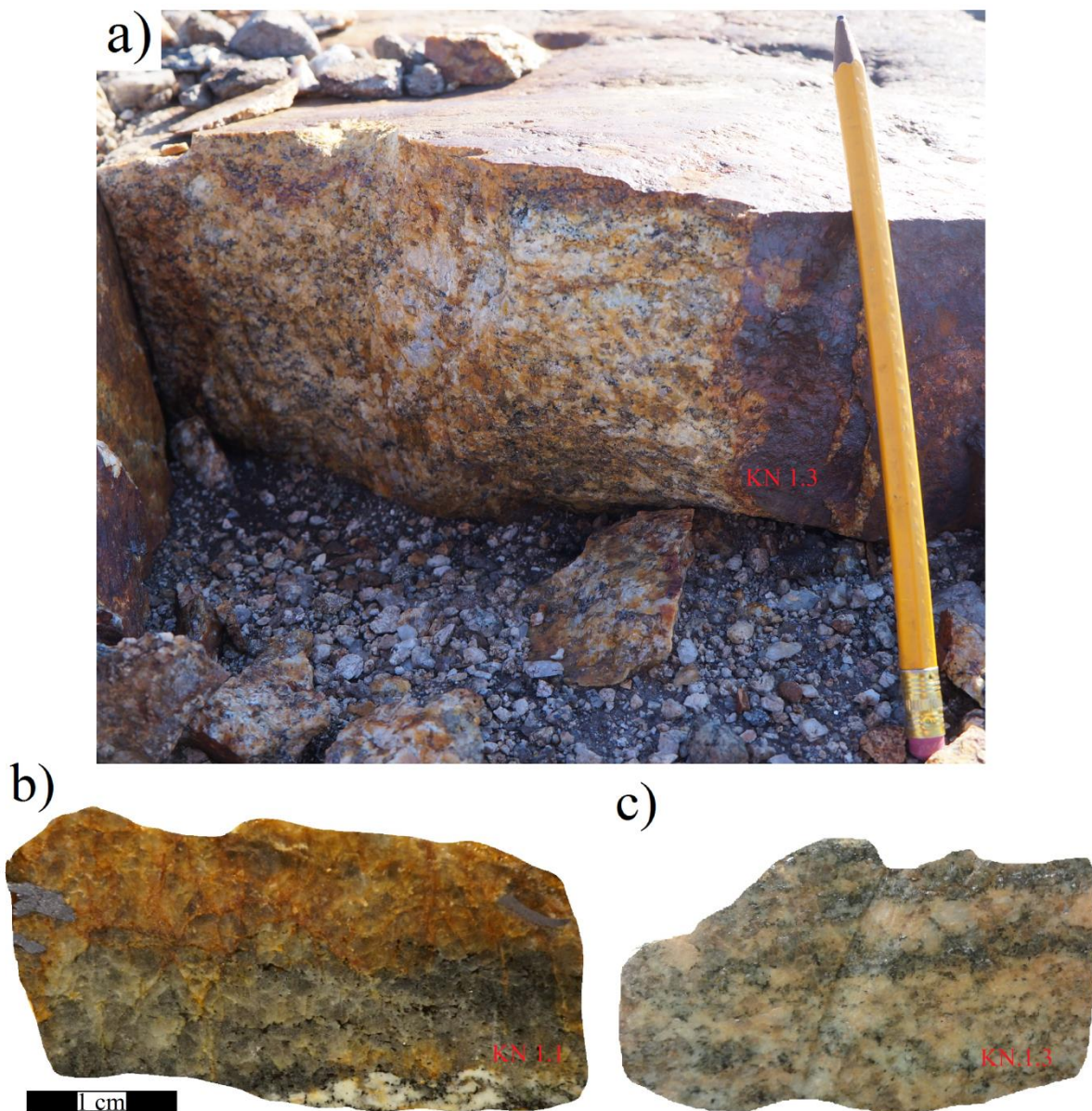
Figur 58a) Skisse fra øverste del av Knaben 1, til venstre for inngangen. Molybdenitt ligger langs røykkvartsårer i flasergneis, og tilknyttet rekrystallisert biotittbånd. Hovedlitologiene er presentert i denne graven b) Nærbilde av flasergneis fra øvre del av Knaben 1, til venstre for hovedinngangen. Disseminert molybdenitt sammen med melanokratisk matriks av finkornet biotitt, røykkvarts, kobberkis og svovelkis.

Prøve KN 1.1; Flasergneis med kvartsårer og molybdenitt

Prøve KN 1.1 representerer molybdenitt i kvartsåre (5- 20 cm tykk), i flasergneis sørøst delen langs kanten til hovedinngangen på Knaben 1. Lokaliteten viser kvartsårer som ligger langs foliasjonen med molybdenitt (< 2 cm) i kontaktsonen og som lommer inni årene (< 7 cm) uten særlig orientering. Molybdenitt er også langs foliasjonen til flasergneis nær kvartsåre (Figur 59). Den magnetiske susceptibiliteten av flasergneis varierer fra $0,11-0,55 \cdot 10^{-4}$.



Figur 59a) KN1.1 er knyttet til grovkornet molybdenitt i kvartsåre i flasergneis b) Skisse av lokaliteten som viser molybdenitt i kontaktsonen til kvartsåre i flasergneis og som lommer i åren.



Figur 60a) Lokaltet til prøve KN 1.3 av porfyrgranitt ved kvartsåre innenfor Knaben 1 b) Håndstykke av KN 1.1 c) Håndstykke av KN 1.3.

Prøve KN 1.3; porfyrgranitt

Prøve KN 1.3 representerer porfyrgranitt ved kanten langs gjerdet på innsiden av Knaben 1. Porfyrgranitten har svak foliasjon, grovkornet, ekvigranular med subhedrale, hvite feltspat (< 2 cm), anhedral røykkvarts (2 cm), biotitt (< 1 cm), magnetitt ($< 0,5$ cm), og disseminert molybdenitt ($< 0,5$ cm) nær kvartssoner. Den magnetiske susceptibiliteten varierer fra $0,08-0,81 \cdot 10^{-4}$.

Petrografi

Porfyrgranitt KN 1.3

Hovedmineralogi: Kvarts (2,5 mm), plagioklas (< 2,5 mm), mikroklin (< 2,5 mm), molybdenitt (1,2 mm), biotitt (0,2-0,6 mm).

Aksessoriske mineraler: Apatitt (0,1mm), svovelkis (< 0,2 mm), kobberkis (< 0,2 mm), magnetitt (< 0,6 mm).

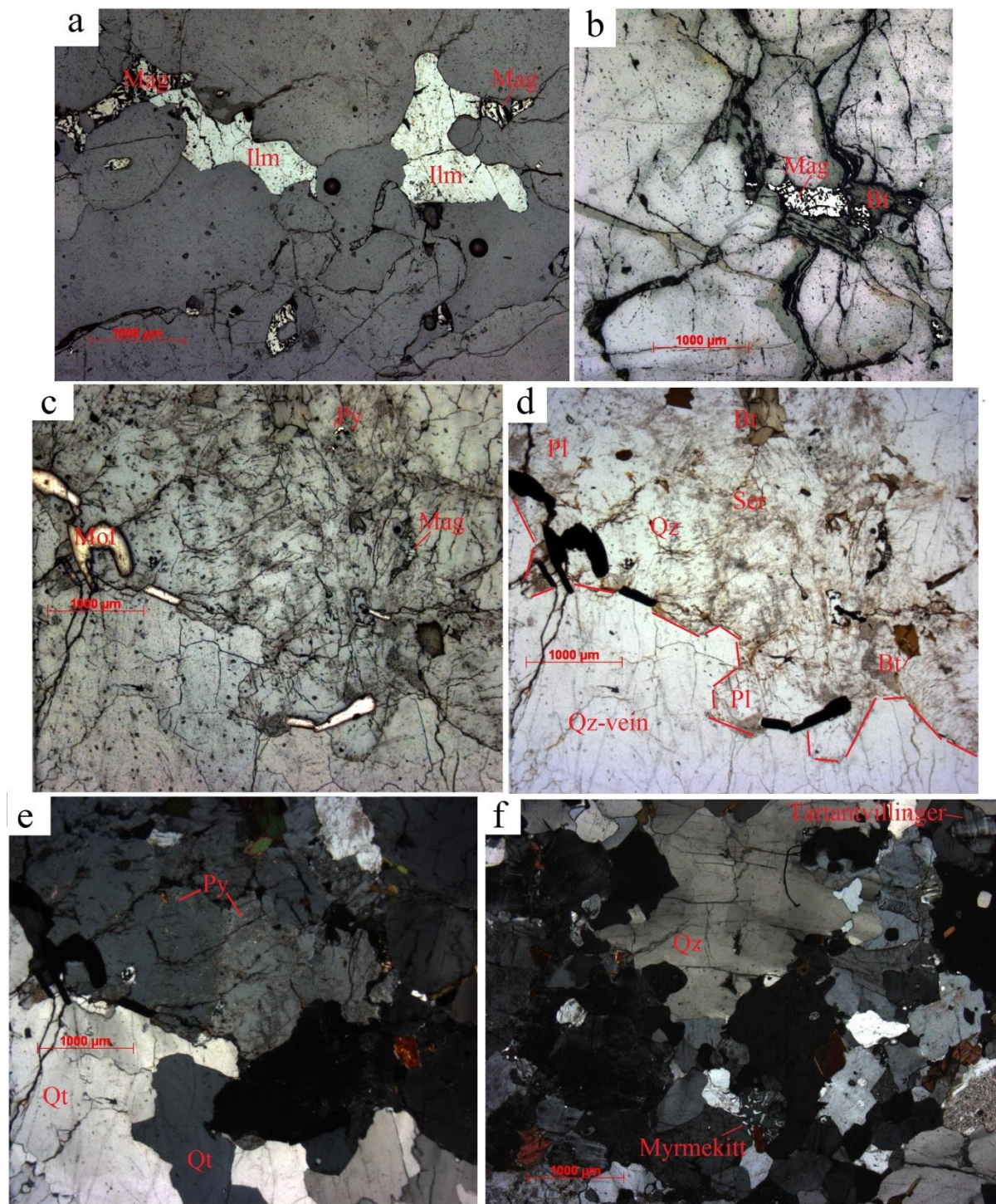
Tekstur: Svak orienterte, anhedrale rødbrun biotitt langs foliasjonen. Feltspat er delvis seritisert og noe myrmekitiske teksturer. Plagioklas har sekundære albittvillinger, og mikroklin har to-steps pertittlameller, flammepertitt og tartantvillinger. Kvarts har lobate-angulære korn grenser og undulerende utslukning. Orientert grovkornet molybdenitt ligger langs kontaktsonen til kvartsåre, mellom kvartskorn. Svært lite oksider og sulfider er disseminert, og kan sees ut til å være knyttet til seritisering av feltspat og ligger også langs langs korn grensene til feltspat.

Kvartsåre i flasergneis KN1.1

Hovedmineralogi: Kvarts (< 5 mm), magnetitt (1 mm), ilmenitt (1 mm) og molybdenitt (< 6 mm), rød-brun anhedral biotitt (0,5 mm).

Aksessoriske mineraler: Zirkon (0,1 mm), kubisk svovelkis (0,2 mm).

Tekstur: GBM i kvartskorn og undulerende utslukning med lobate-angulære korn grenser. Anhedreal orienterte rødbrune biotitt. Oksidene orientert sammen med biotitt langs foliasjonen i korn grensene til kvarts. Aggregater av molybdenitt ligger orientert langs foliasjonen i korn grensene til kvarts sammen, ofte sammen med magnetitt og biotitt.



Figur 61a) Tynnsnip av KN 1.1, pålys av magnetitt og ilmenitt i korngrensene til kvarts og feltspat b) Pålys av KN 1.1 med magnetitt i biotitt c) Pålys av KN 1.3 med molybdenitt orientert langs kvartsåre (markert med rødt) og mindre svovelkis og magnetitt d) KN 1.3:Gjennomlys av c, med feltspat og biotitt e) Gjennomlys med analysator viser «GMB» og undulerende utslukning i kvarts f) Myrmekitt og tartantvillinger i feltspat og ulik utslukning i kvarts.

Petrologi:

KN 1.1 Flasergneisgranitt

Magnetitt ser ut til å være en av de eldre fasene, mens ilmenitt er mer ideomorf. Det ser ut som magnetitt blir erstattet av biotitt. Trolig har molybdenitt kommet sammen med kvartsåren.

KN 1.3 Porfyrgranitt

Det er kun molybdenitt i kvartsåre og minimalt med finkornet, disseminert magnetitt og kobberkis utenom. Molybdenitt ligger i kontakt med psedumorft magnetitt langs åren.

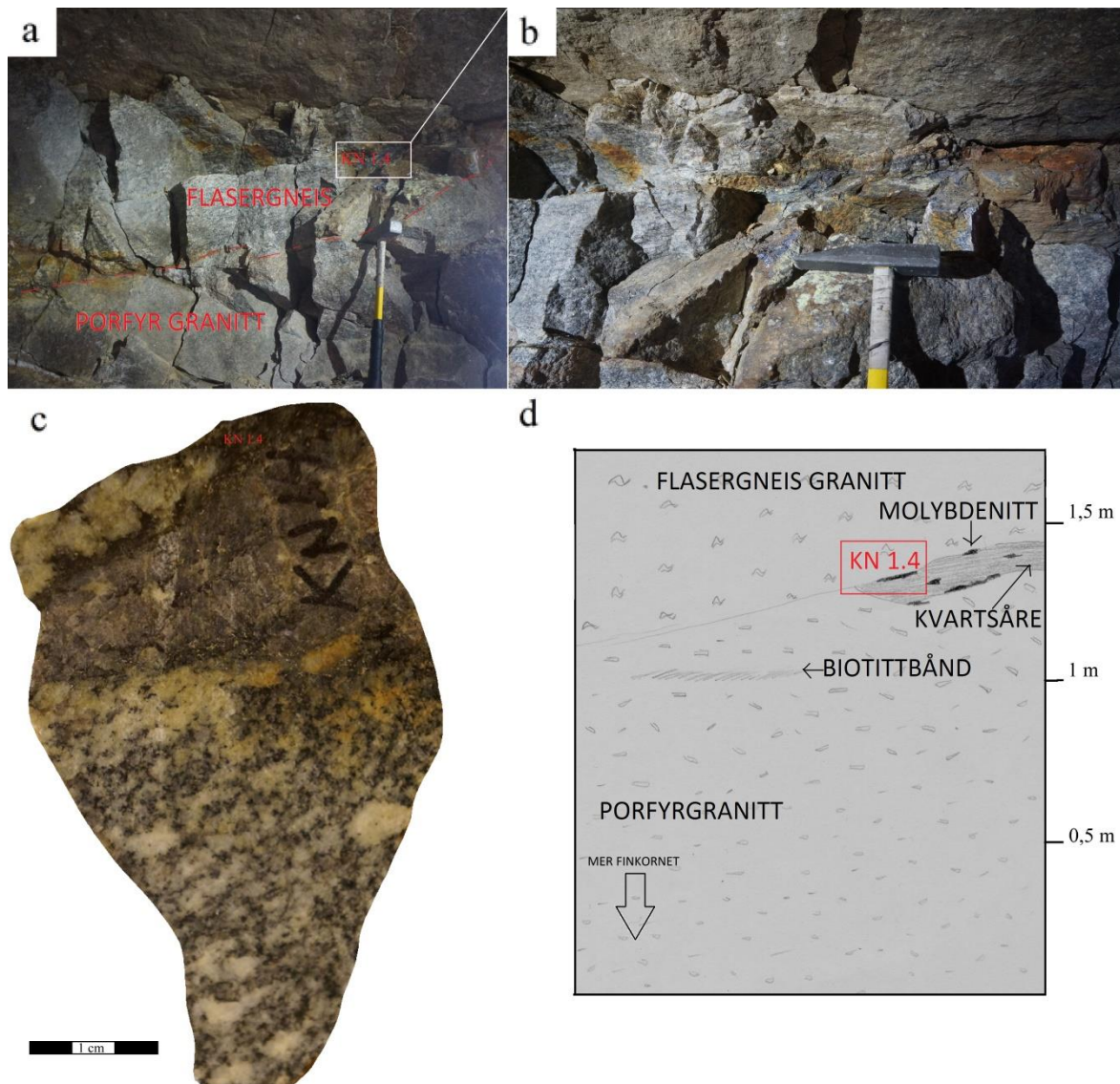
Synnøve 3.

Gruven Synnøve 3, er en 10 meter lang U-formet tunnel med inngang i begge ender. Tunnelen består hovedsakelig av flasergneis, med et 5 meter tykt lag av porfyrgranitt med fall ca 30 grader øst. Synnøve 3 er rik på grovkornet molybdenitt (< 5 cm) i røykkvartsårer langs foliasjonsplanet i flasergneis (KN 1.4) og i kontakten til porfyrgranitt.

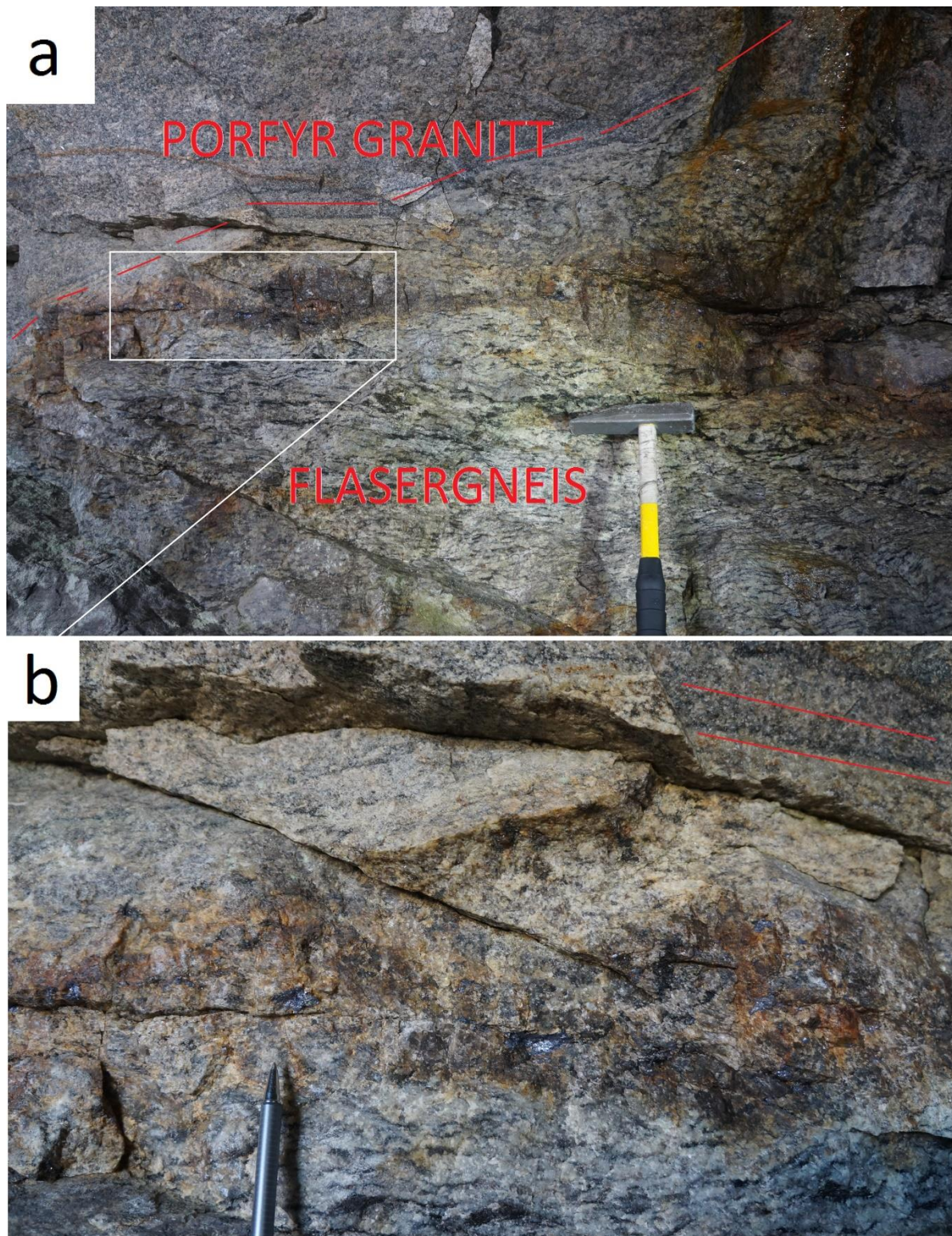
Bergartsbeskrivelse

Porfyrgranitt har moderat foliasjon, med fenokrystaller av anhedrale-subhedrale hvite/rosa feltspat (< 1,5 cm), og melanokratisk matriks, bestående av røykkvarts (1 cm) og finkornet biotitt. Porfyrgranitt har flere biotittbånd (0,5 cm) langs foliasjonen. Magnetisk suspetibilitet varierer fra $1,8-5,2 \cdot 10^{-4}$ og flasergneis med molybdenitt har verdier fra $0,3-1,2 \cdot 10^{-4}$.

Flasergneis består av anhedrale, hvite feltspat (< 4 cm), med anhedral røykkvarts (2 cm), og finkornet biotitt som dannes seg om bølger rundt fenokrystallene av feltspat (Figur 62c). Prøve KN 1.4 representerer flasergneis mellom kontaktsonen til 6 cm tykk kvartsåre, med lommer av grovkornet molybdenitt langs foliasjonen.



Figur 62a) Lokaltet til prøve KN 1.4 i flasergneis, og under porfyrgranitt der kontakten er markert med rød. b) Nærbilde av bilde a. c) Flasergneis og porfyrgranitt er separert av kvartsåre (6 cm tykk) som er rik på grovkornet molybdenitt. d) skisse lokalitet til prøve KN 1.4, med molybdenitt tegnet med svart. Molybdenitt opptrer i lommer og langs foliasjonen i flasergneis og porfyrgranitt.



Figur 63ab) Grovkornet molybdenitt i lommer i kvartsåre i flasergneis Bildet er tatt på motsatt side av lokalitet KN 1.4. Kvartsåren er boudinert og følger foliasjonsplanet b) Biotitt er mer finkornet og kan se ut som de er rekrystallisert og ligger som tynne lag i kontaktsonen mellom flasergneis og porfyrgranitt (markert med rødt).

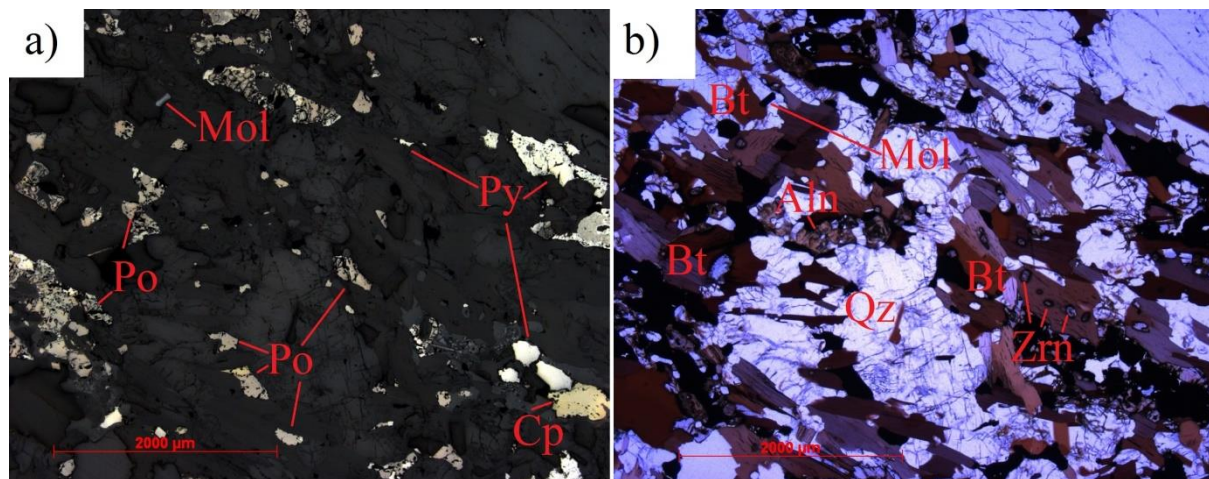
Petrografi

Flasergneis KN 1.4

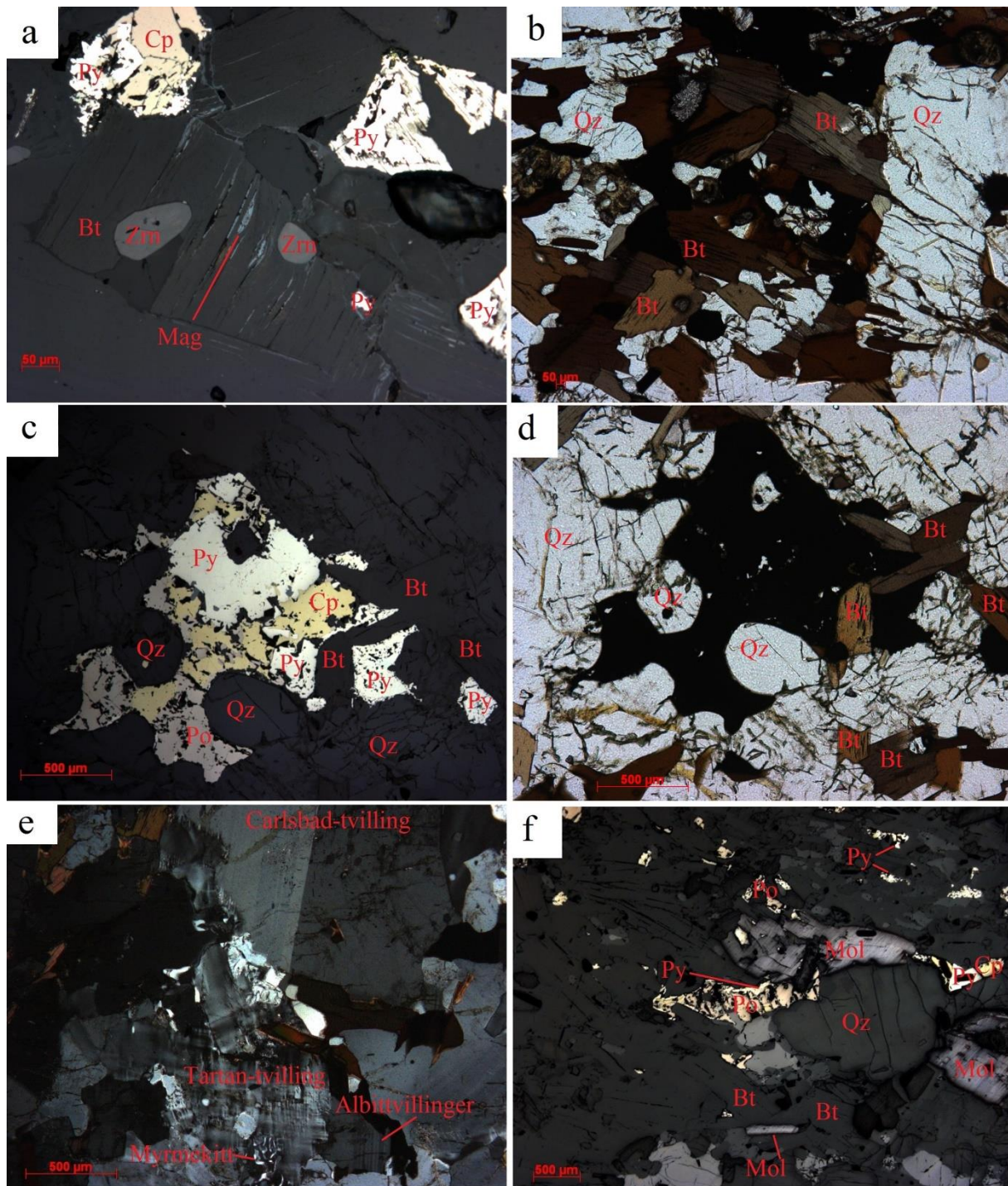
Hovedmineraler: Plagioklas (1 mm), mikroklin (1 mm), ortoklas (1 mm), kvarts (1 mm) biotitt (< 1 mm), svovelkis (1 mm), magnetkis (2 mm), kobberkis (1 mm), ilmenitt (0,3 mm), magnetitt (< 3 mm).

Aksessoriske mineraler: Apatitt (0,1 mm), zirkon (0,1 mm), allanitt (1 mm), muskovitt (0,1 mm), molybdenitt (< 0,5 mm), kloritt (0,5 mm).

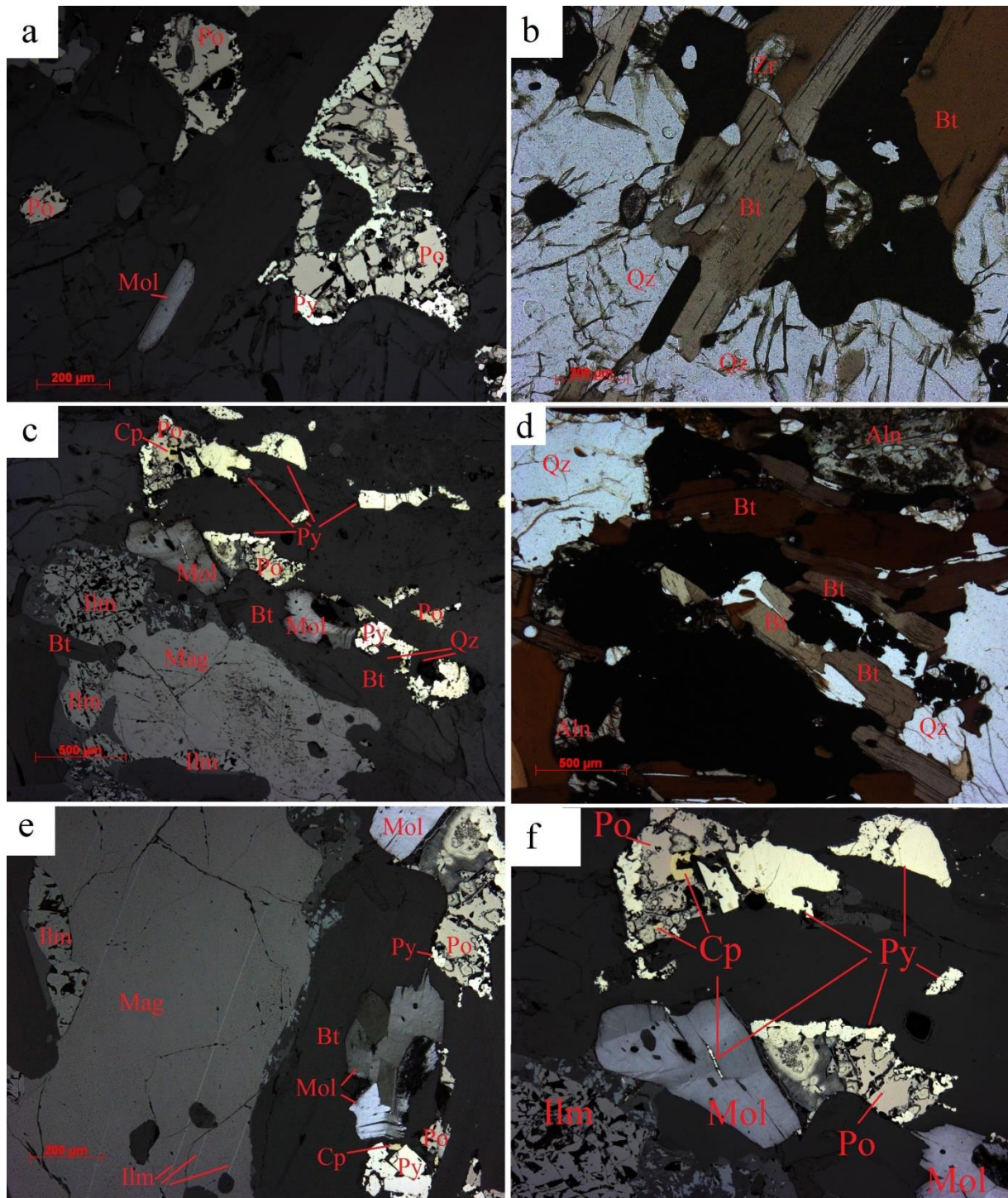
Tekstur: Fenokrystaller av kvarts og dominerende plagioklas med sekundære albittvillinger og carlsbadtvillinger. Mindre mengder av mikroklin med tartantvillinger og ortoklas er ofte seritisert og har myrmekitisk tekstur (Figur 65e). Rød-brun biotitt ligger foliert parallelt med kvartsåre sammen med metamikt allanitt og mye zirkon, oksider og sulfider (Figur 64 og Figur 65b). Biotittkorn er større og mer konsentrert nært kvartsåren, som også kan sees tydelig i håndstykket nær kvartsåren (Figur 62c). Både aggregat og singlekorn av molybdenitt er orientert parallelt sammen med oksider, sulfider (dominerende magnetkis) og glimmer nært kvartsåren. Stort sett ligger molybdenitt i kontakt med biotitt (Figur 65f og Figur 66abcd). Ilmenitt er psedomorft (Figur 65c) og ligger sammen med magnetitt som har lameller av ilmenitt. Magnetitt ligger også i kløven på biotitt (Figur 65a). Svovelkis ligger som påvekst rundt magnetkis (Figur 66af) og som inklusjoner i kløven til molybdenitt sammen med kobberkis (Figur 66f). Svovelkis, kobberkis og magnetkis opptrer ofte interstitielt mellom kvarts og biotitt (Figur 65cd).



Figur 64 Tynnsnip av KN 1.4 ab) Disseminerte sulfider i foliasjonen (NV-SØ) sammen med anhedrale, orienterte biotitt, allanitt og fenokrystaller av kvarts nær kvartsåre.



Figur 65 Tynnslip av KN 1.4 a) Pålys av biotitt med magnetitt i kløv (SV-NØ), med innslutninger av zirkoner. Svovelkis og kobberkis sammen med kobberkis og svovelkis b) Gjennomlys av typiske anhedrale, rødbrune biotitt med pleokritiske haloo cd) Svovelkis, kobberkis og magnetkis opptrer interstitielt mellom kvarts og biotitt e) Mikroklin med tartantvillinger og mindre myrmekittekstur, plagiklas med albittvillinger og carlsbadtvilling f) FenokrySTALL av kvarts i åren som omringes av sulfider. Disseminert molybdenitt sammen med biotitt.



Figur 66 Tynnslip KN 1.4 viser a) Pålys av magnetkis med påvekst av svovelkis og molybdenitt knyttet til biotitt b) Gjennomlys av a viser molybdenitt i kløvretning på biotitt c) Oversiktsbilde av magnetitt, ilmenitt, molybdenitt, kobberkis, magnetkis og svovelkis konsentrert langs foliasjonen nært kvartsåre d) Gjennomlys viser metamikt allanitt og orientert biotitt og kvarts sammen med oksidene/sulfidene e) Nærbilde av bilde c; Magnetitt med lameller av ilmenitt, og pseudoomorft ilmenitt. Molybdenitt grenser til kubisk svovelkis, biotitt, kobberkis og magnetkis f) Svovelkis ligger som påvekst på randen av magnetkis og molybdenitt har kobberkis og svovelkis i kløven.

Petrologi:

Det er et klart skille fra oksid- og sulfidmengden langs kvartsåren og 1 cm unna åren, med kun minimalt disseminert magnetitt (0,1 mm) og kobberkis (0,1 mm) sammen med de andre silikatene. Det er hovedsakelig kobber og svovelkis, biotitt, kvarts og sausitisert plagioklas nær kvartsbåndet. Antageligvis har oksider og sulfider krystallisert med hensyn til gjennomstrøm av fluider derav kvartsåre rik på grovkornet oksider og sulfider. Det ser ut til å være minst to generasjoner av svovelkis (kubisk) og påvekst utenpå magnetkis (Figur 66ef). Flere observasjoner av kobberkis inni magnetkis og som påvekst kan tyde på at den blir erstattet. Derfor kan magnetkis være en av de eldre fasene, som var stabil før fluider gjennomstrømmet bergarten. Svovelkis og kobberkis kan se ut til å være komagmatiske, ved rette kanter der begge har innslutninger hos hverandre. Molybdenitt ligger ofte som single korn i bånd langs kvartsåre, i forbindelse med biotitt (Figur 64, Figur 65f og Figur 66ab).

4.5.7 Øvre Roma Nord gruve

Gruven på Øvre Roma er 2 meter høy, 2 meter bred og maks 10 meter lang med en form som en T. Taket er rik på lommer av molybdenitt som knyttes til kvartsårer i flasergneis. Hovedsakelig består gruveen av flasergneis og porfyrgranitt med schilren av amfibolitt og aplittiske feltspatrike schilren. Prøve R 1.1 er en løsblokk og representerer kontakten mellom kvartsåre og flasergneis (Figur 67).

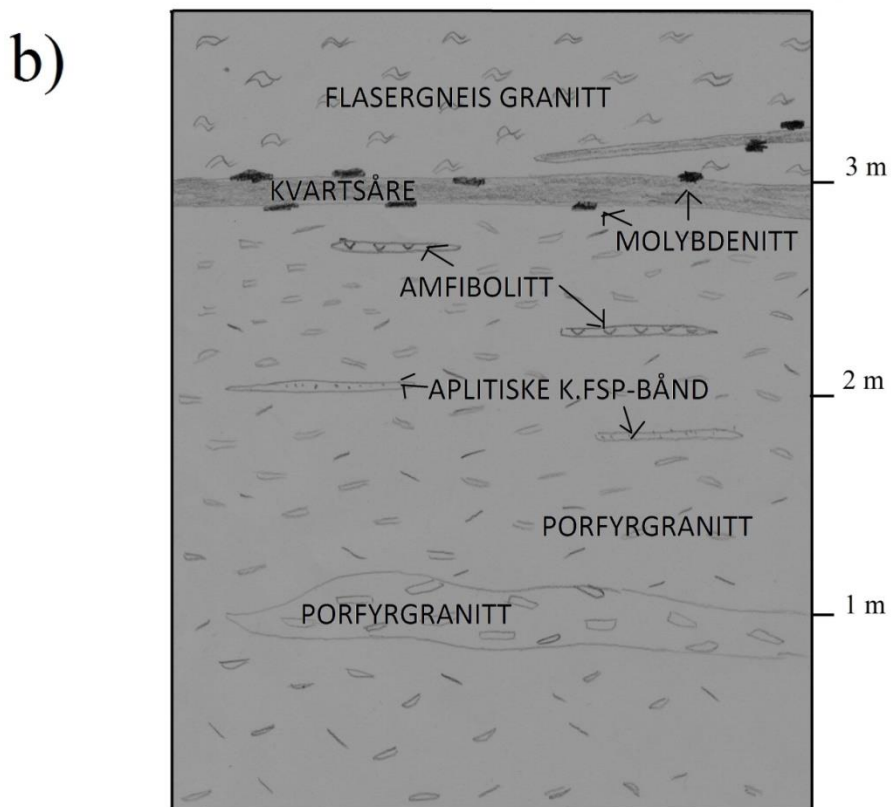
Bergartsbeskrivelse

Porfyrgranitt har svak foliasjon med hvite feltspat (0,5- 3 cm) og melanokratisk matriks av mediumkornet røykkvarts og finkornet biotitt. Porfyrgranitt har magnetisk susceptibilitet fra $10,0-12,5 \cdot 10^{-4}$, mens flasergneis med molybdenitt har $0,2-4,0 \cdot 10^{-4}$.

Flasergneis er sterkt foliert og har hvit/rosa, subhedral/anhedral feltspat (< 4 cm), og røykkvarts med orientert finkornet biotitt. Grovkornet molybdenitt ligger sammen med biotitt og kvarts langs foliasjonen nær kvartsåre (Figur 68).



Figur 67 Håndstykke av prøve R1.1 fra løsblokk, som viser grovkornet molybdenitt i foliasjonen i flasergneis.



Figur 68a) 4 cm tykk røykkvartsåre skiller porfyrgranitt og flasergneis med grovkornet molybdenitt langs kontaktsonen. Flere aplittiske feltspatrike- og amfibolittschliren følger foliasjonen i porfyrgranitt. Schilren av porfyrgranitt med større fenokrystaller av feltspat ligger inni porfyrgranitt b) Skisse av a med grovkornet molybdenitt markert med svart, er konsentret langs kvartsåren.

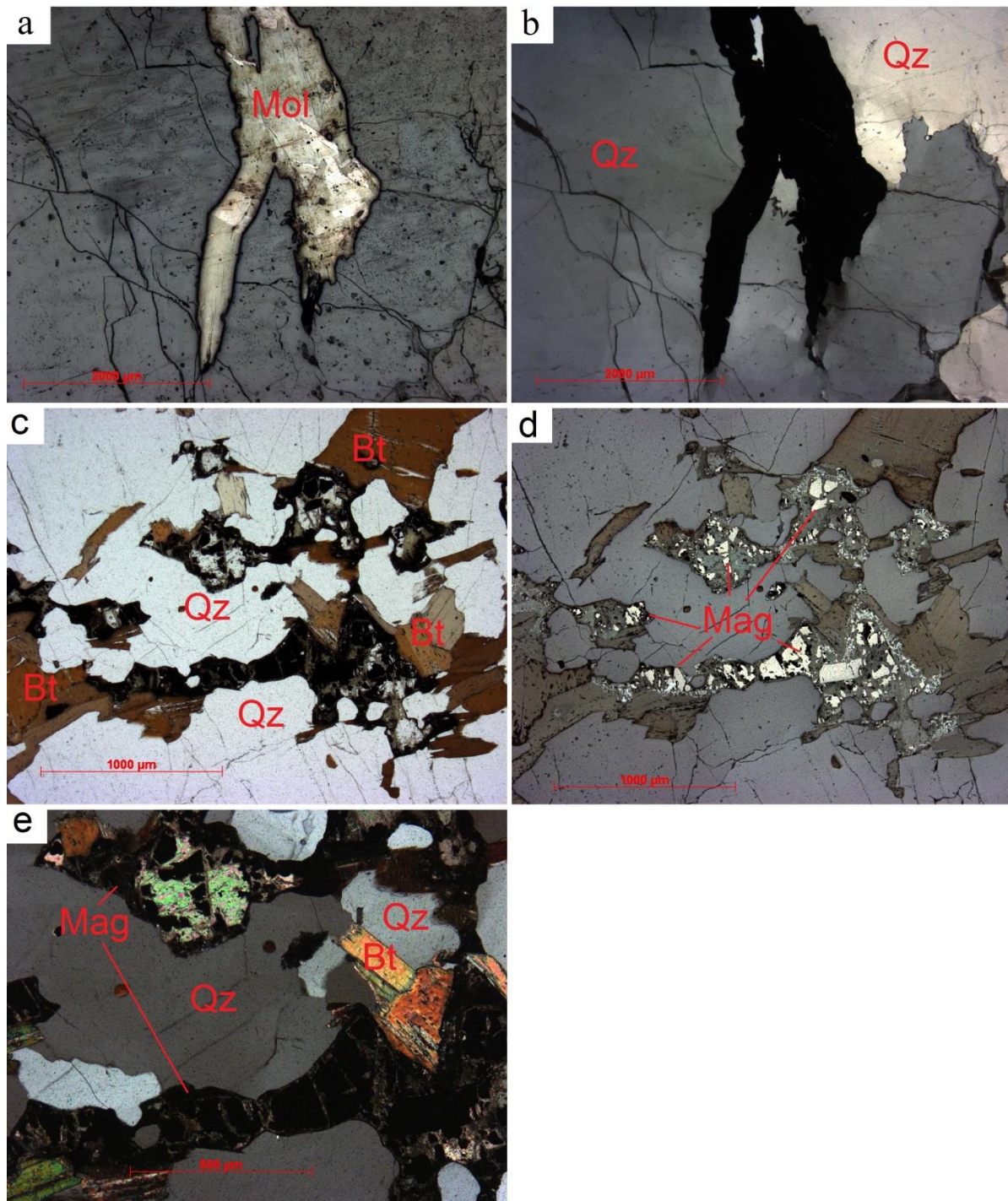
Petrologi

Flasergneis R1.1

Hovedmineralogi: Molybdenitt (4 mm), plagioklas (< 3 mm), kvarts (5 mm), biotitt (0,5 mm), mikroklin (2 mm).

Aksessoriske mineraler: Magnetitt (1 mm), ilmenitt (1 mm), svovelkis (0,2 mm), zirkon (0,1 mm), muskovitt (0,2 mm), titanitt (0,1 mm), kobberkis (0,01 mm), apatitt (0,1 mm), karbonat (0,1 mm).

Tekstur: Plagioklas er dominerende og preges av sauseritisering og sekundære albittvillinger. Mikroklin er ofte seritisert og preges av tartantvillinger. Kvarts har lobate-angulære korngrenser, «GBM» og undulerende utslukning. Anhedrale, blek-brune biotitt er orienterte og noen ganger delvis klorittisert. Oksidene ligger sammen med biotitt og zirkon langs foliasjonen. Magnetitt ser oppspist ut, og mulig delvis erstattet av glimmer og karbonat, eller sammenvokst med karbonat (Figur 69 cde). Aggregater av molybdenitt ligger langs kvartsåre som følger kvartskorngrenser i foliasjonsretningen og kobberkis er innesluttet i molybdenitt (Figur 69ab).



Figur 69 Tynnslip av R 1.1 ab) Aggregat av molybdenitt i kvartsåre som ligger i korn grensene til kvarts cd) Oppspist magnetitt sammen med biotitt nær kvartsåren e) Nærbilde av magnetitt og biotitt i gjennomlys sammen med karbonat

Petrologi R1.1:

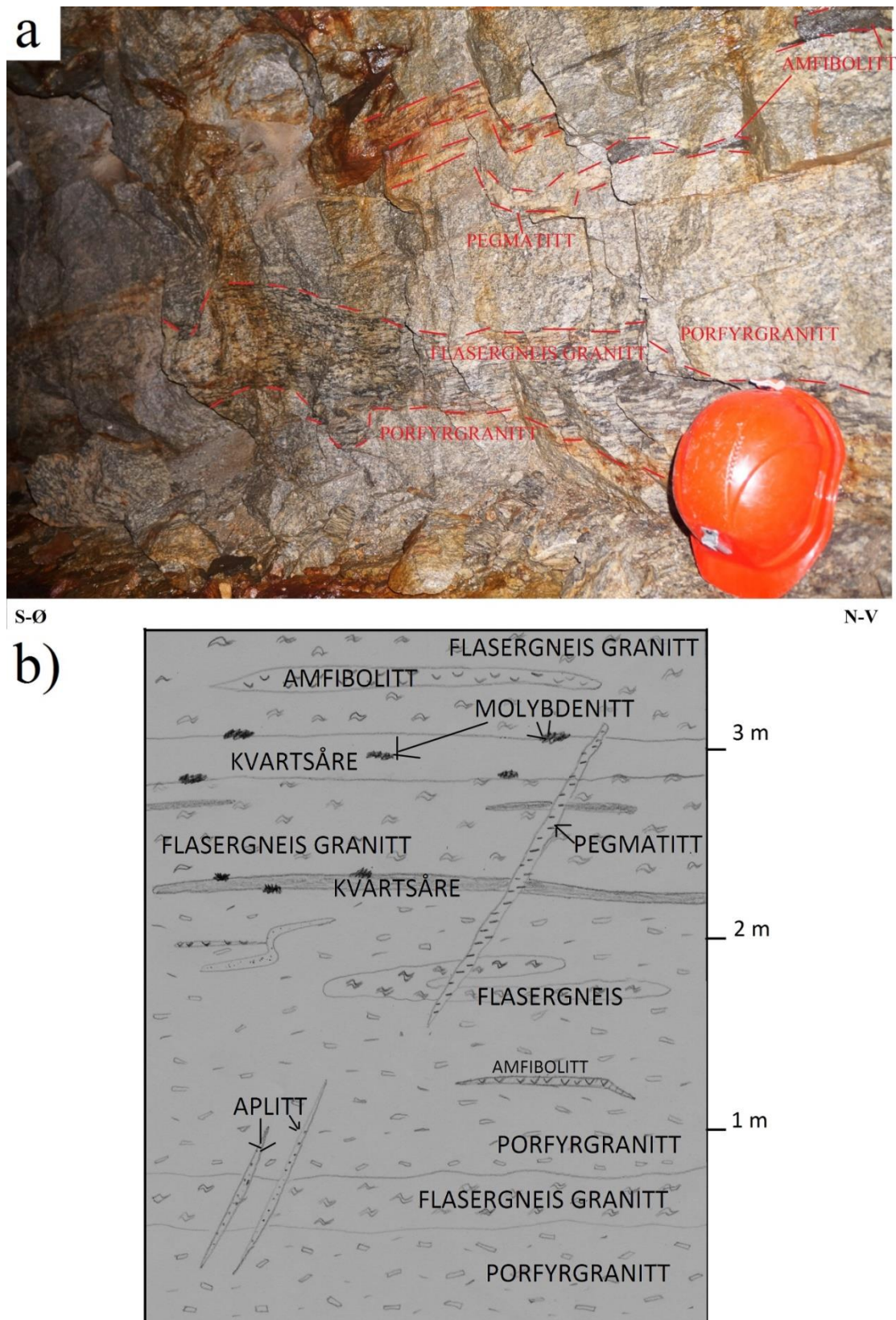
Magnetitt ser ut til å bli erstattet av silikater og karbonater, der antageligvis reduserende fluider knyttet til kvartsåre, bryter ned magnetitt. Kobberkis innesluttet i molybdenitt kan indikere at kobberkis er eldre, men også at de har krystallisert samtidig.

4.5.8 Øvre Roma Sør gruve

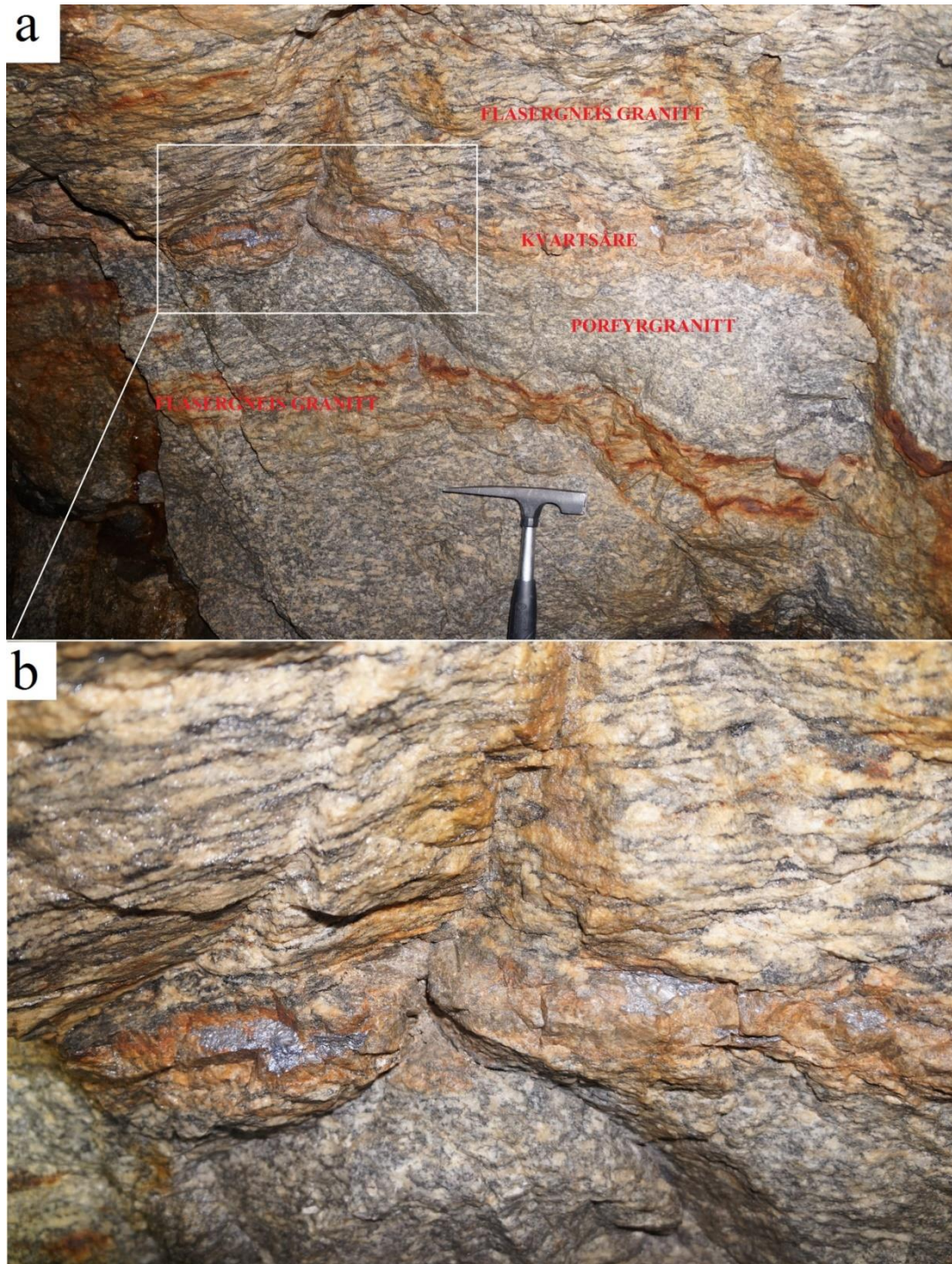
Gruven er 2 meter høy, 2 meter bred og 6 meter lang, der vekslende porfyrgranitt, flasergneis og amfibolitt med fall på 40-55 grader sør-øst. Generelt er molybdenitt konsentrert i kvartsårer i foliasjonsretningen langs kontakten mellom flasergneis, porfyrgranitt og amfibolitt. Vertikale kvartsårer, kvartsrike pegmatitter og aplitter er ikke mineraliserte og kutter litologiene og har skarpere kontakter enn pegmatitter og kvartsårer som ligger i foliasjonsretningen (Figur 70). Prøve R1.2 representerer amfibolitt med kvartsåre langs foliasjonsplanet rik på grovkornet molybdenitt (Figur 72b).

Bergartsbeskrivelse

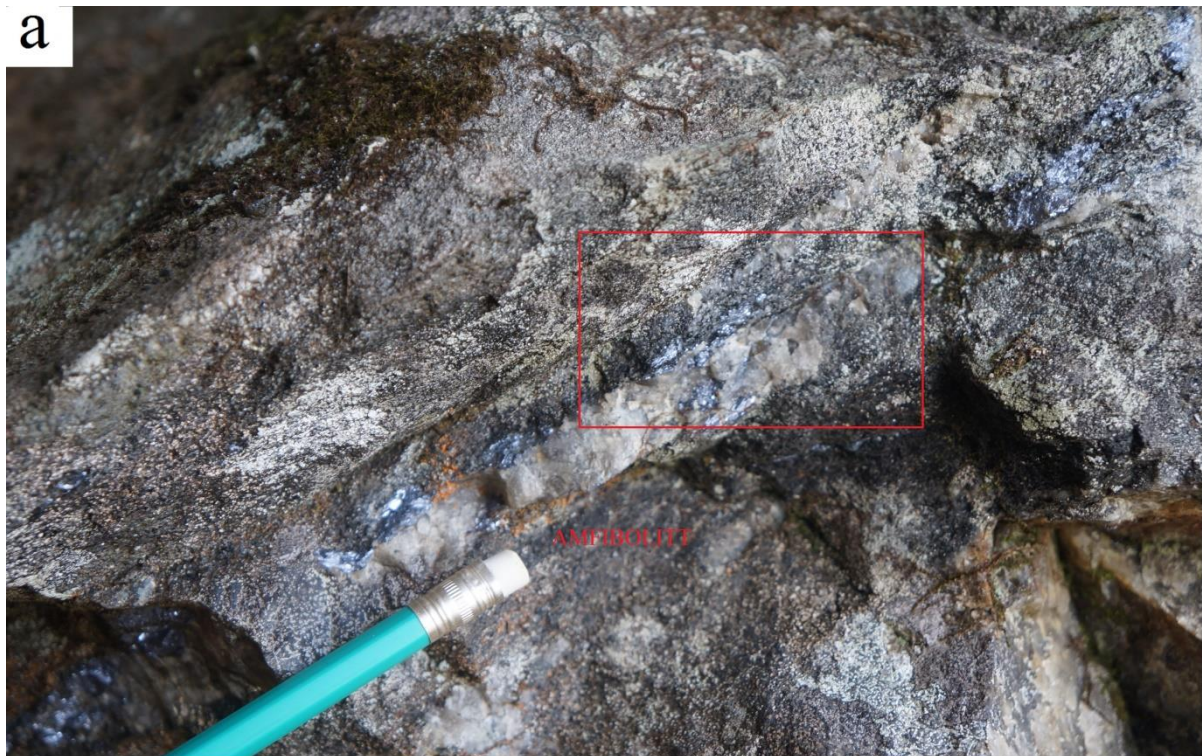
Porfyrgranitt har svak foliasjon (N-S) til nesten ingen foliasjon, med hvite/rosa, subhedral feltspat (1-3 cm) sammen med melanokratisk matriks bestående av røykkvarts og biotitt. Grovkornet molybdenitt er konsentrert i kvartsåre og langs kontakten til porfyrgranitt og flasergneis (Figur 71). Flasergneis er sterkt deformert med anhedrale hvite/rosa feltspat (< 4 cm) og melanokratisk matriks, bestående av finkornet biotitt og røykkvarts. Amfibolitt utgjør ikke særlig mye volum som de to andre litologiene, men grovkornet molybdenitt er også langs kvartsårer inni amfibolitt og i kontaktsonen til amfibolitt (Figur 72).



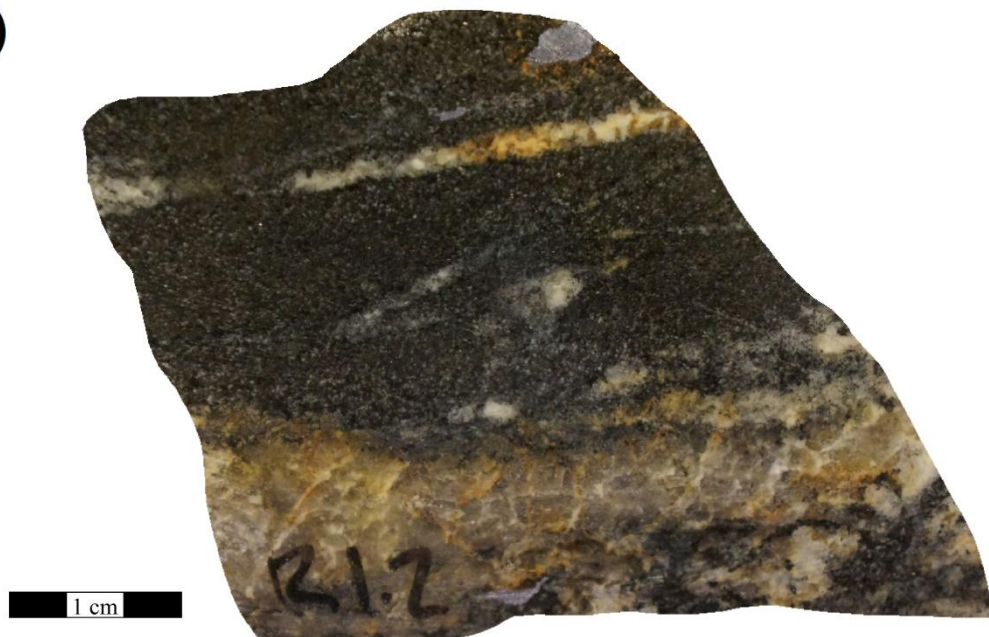
Figur 70 Xenolitt av flasergneis inni porfyrganitt. Amfibolittschliren i flasergneis og porfyrganitt. Vertikale pegmatitter og aplitter kutter litologiene b) Skisse av fotografi a som viser tydeligere molybdenittmineralisering langs kontakten mellom kvartsårer og flasergneis og som lommer i årene.



Figur 71 Grovkornet molybdenitt konsentrert langs kontaktsonen til kvartsåre mellom flasergneis og porfyrgranitt.



b)



Figur 72a) Grovkornet molybdenitt langs kvartsåre i amfibolitt rett ved inngangen til gruen, representert av prøve R 1.2. Åren har medium-grovkornet kvarts og feltspat sammen med molybdenitt (< 1 cm) inni og langs kontakten b) Håndstykke av R 1.2 viser grovkornet molybdenitt som lommer i foliasjonsretningen knyttet til kvartsåre i amfibolitt.

Petrografi

Amfibolitt R 1.2

Hovedmineralogi: Kvarts (0,2-2 mm), plagioklas (0,4 mm), amfibol (< 1 mm), biotitt (0,4 mm)

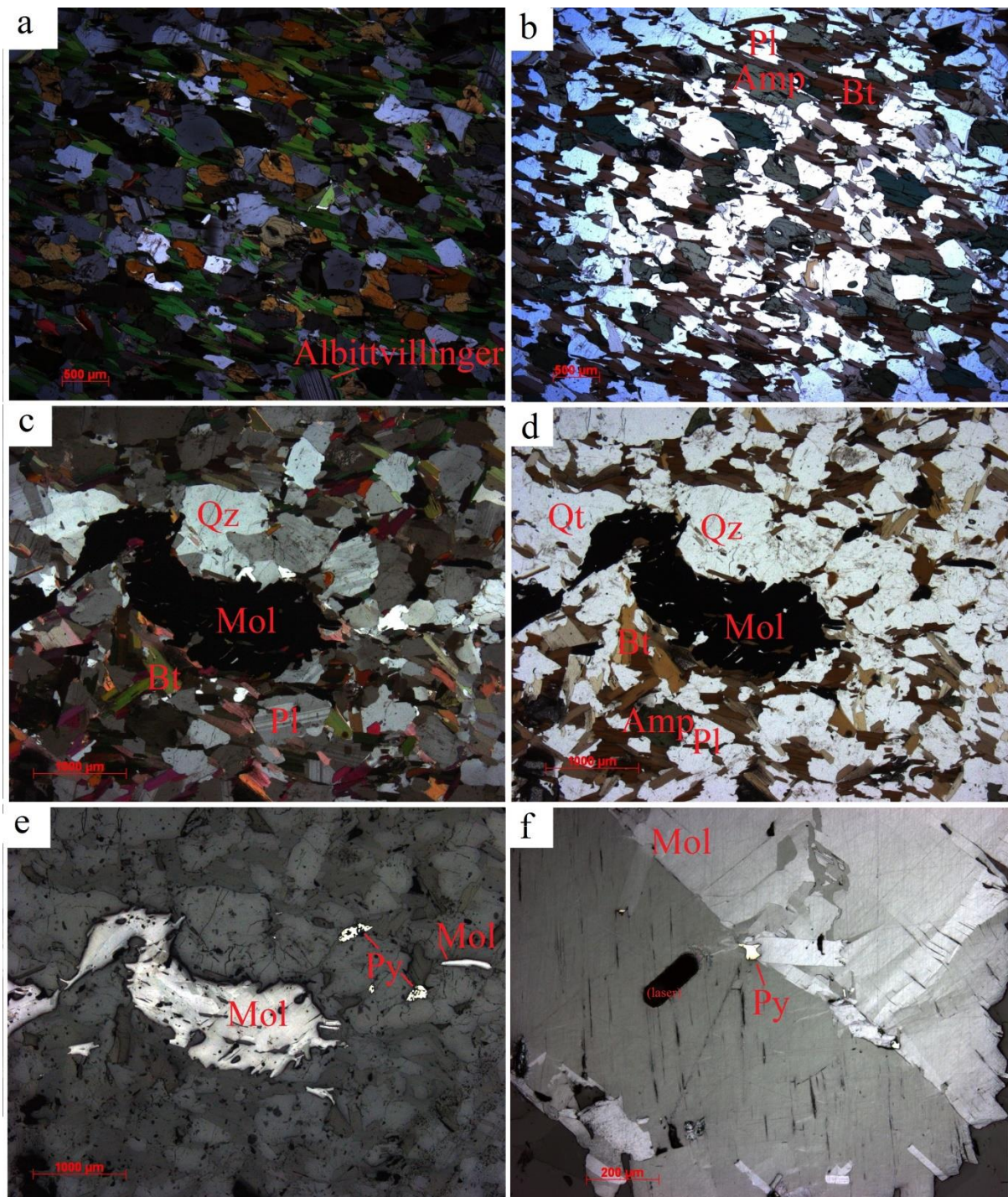
Aksessoriske mineraler: Svovelkis (0,1 mm), granat (0,8 mm), molybdenitt (0,4 -4 mm).

Tekstur: Ekvigranulære korn med lepidoblastisk, subhedral biotitt og amfibol, som er parallell kvartsåre, der orienterte amfibol er større jo nærmere åren (Figur 73ab). Bergarten er sterkt deformert, som viser orienterte granater sammen med amfibol, plagioklas og biotitt, og ofte som inklusjoner i amfibol og biotitt (Figur 73). Plagioklas har sekundære albittlameller og noe sauserisering, med større mengder i kvartsåren. Kvarts har lobate-angulære korgrenser og undulerende utslukning (Figur 73c) Aggregater av molybdenitt ligger langs åren sammen med biotitt (Figur 73e). Svovelkis er innesluttet i molybdenitt (Figur 73f).

Petrologi

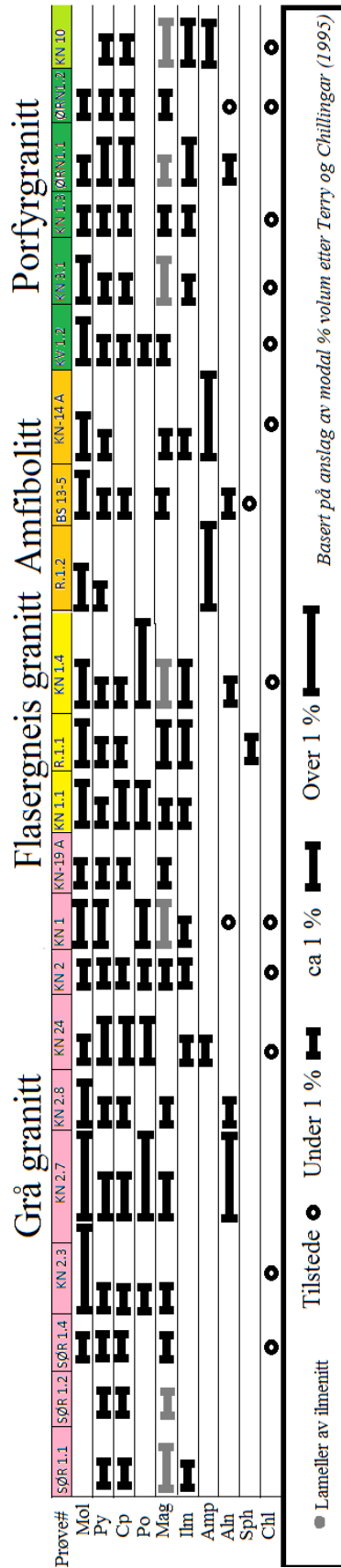
Det er svært få andre sulfider og ingen oksider representert i denne prøven. Molybdenitt opptrer kun i kvartsåren, og som tyder på at molybdenitt er blitt fraktet sammen med kvarts og er hydrotermal. Svovelkis er til stede i molybdenitt, som kan tyde på at det må ha vært svovel i fluidene og kan ha krystallisert på samme tid som molybdenitt og åren. Noen av de tidligste fasene er biotitt, amfibol og plagioklas, der granat er sekundær, dannet under deformasjon ved høyt trykk.

En kort oversikt av mineralfasene for prøvene er oppsummert i Figur 74. Kvarts, feltspat, biotitt, apatitt og zirkon er utelatt, og er stort sett representert i alle prøvene



Figur 73 Tynnsnip av R 1.2 ab) Ekvigranular tekstur av silikatene i gjennomlys med analysator, som viser sekundære albittlameller i plagioklas, orienterte biotitt og amfibol (NV-SØ) cd) Aggregat av molybdenitt i kvartsåre sammen med kvarts, plagioklas og biotitt e) Aggregat av flere molybdenittkorn og svovelkis i kvartsåre f) Nærbilde av molybdenittkorn i e, med inklusjon av svovelkis. Den svarte avlange formen er ablasjonsområdet fra laser.

Figur 74 Tabelloversikt over prøvene



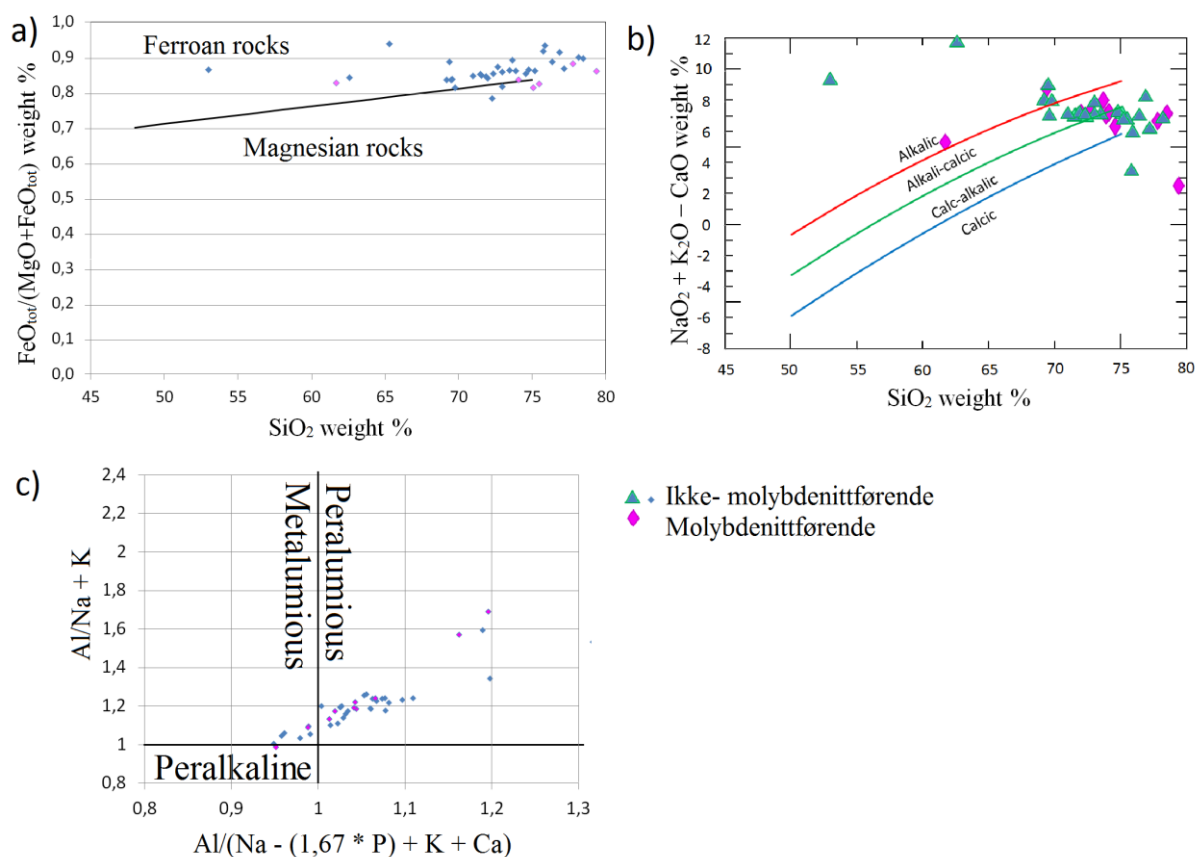
Figur 74 Tabelloversikt over samtlige prøver som viser de viktigste mineralfasene som er representert og omtrentlig mengde basert på modal prosent i volum etter Terry and Chilingar (1955).

4.4 Geokjemiske analyser

4.4.1 Bulkkjemi

Klassifikasjon av granitter

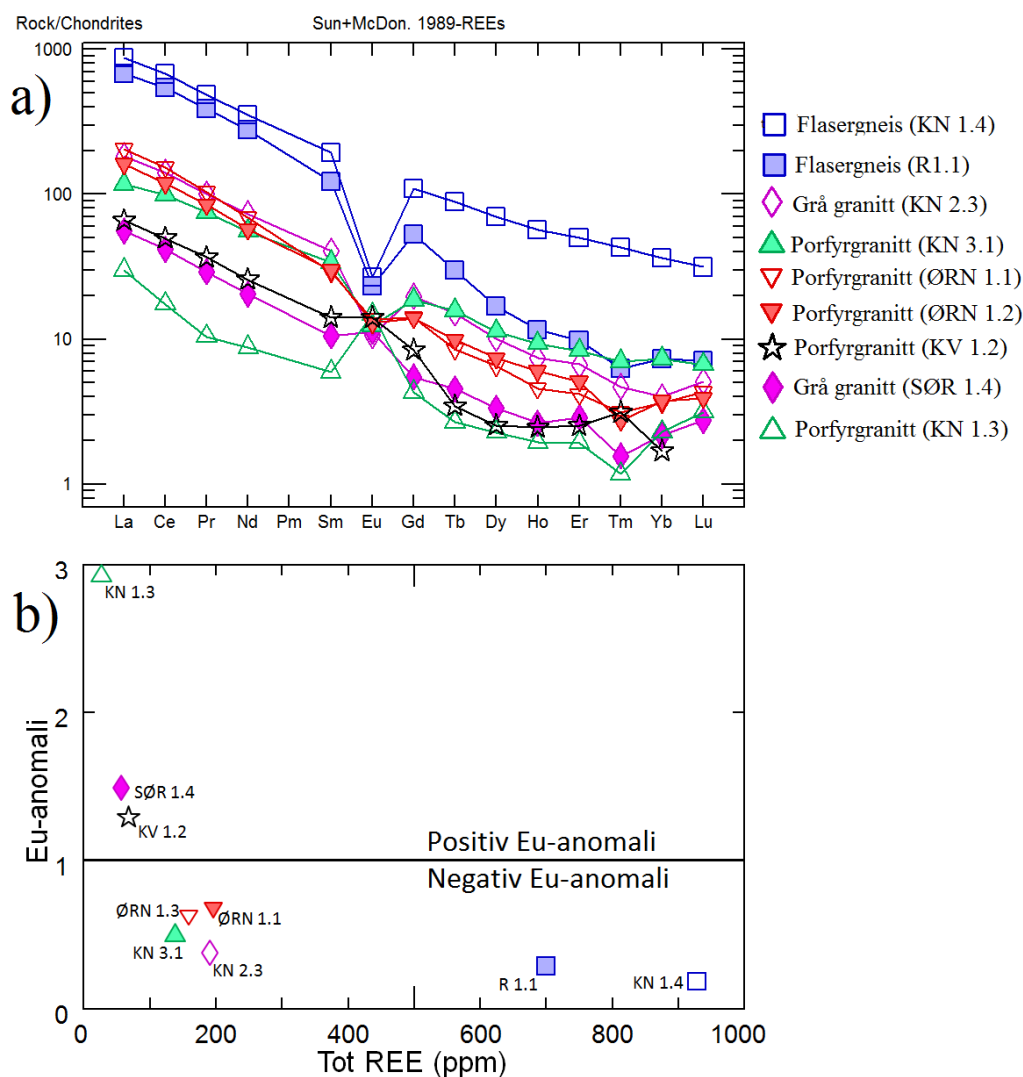
Mesteparten av granittene på Knaben er svært kvartsrike med over 68 % SiO_2 , og en del ligger i område over 75 % SiO_2 , og faller til dels utenfor klassifiseringsgruppene for $\text{FeO}/(\text{FeO} + \text{MgO})$ og MALI (Figur 75ab). En del av prøvene er rik på kvartsårer og oppnår derfor høyt SiO_2 - innhold. De fleste granittene er mer jernrike enn magnesiumrike og stort sett domineres de av alkali-kalsisk ($\text{CaO} = \text{NaO}_2 + \text{K}_2\text{O}$) og kalk- alkalisk sammensetning ($\text{NaO}_2 + \text{K}_2\text{O} < \text{CaO}$) (Figur 75b). Granittene klassifiseres deretter som metaluminøse til peraluminøse granitter basert på vektprosent av Al, Na, K, P og Ca-innhold (Figur 75c).



Figur 75a) Klassifisering av granittene på Knaben basert på $\text{FeO}_{\text{tot}}/(\text{FeO}_{\text{tot}} + \text{MgO})$ vektprosent. Mesteparten av granittene er silika- og jernrike b) Klassifisering av granittiske bergarter ved bruk av modifisert alkali-lime index (MALI- $\text{NaO}_2 + \text{K}_2\text{O} - \text{CaO}$) (Frost et al., 2001) c) Granittene på Knaben klassifiseres mellom metaluminøse og peraluminøse granitter med hensyn til innhold av Al, Na, K, P og Ca i klassifisering etter Shand (1943) hentet fra Frost et al. (2001). Data fra Stormoen (2015).

Sporelementanalyse, REE

Generelt har porfyrgranitter og grå granitter nokså lik fordeling av REE, med negativ trend i LREE og HREE, men trenden for HREE ser ut til å flate ut for de tyngste HREE (Figur 76). Deformerte flasergneiser har større negativ Eu-anomali og generelt høyere innhold av REE, der prøve R 1.1 inneholder lavere HREE enn KN 1.4. ØRN 1.1, KN 2.3, og KN 3.1 har høyest REE av de andre porfyr -og grå granitter med negativ Eu-anomali (Figur 76ab). SØR 1.4, KV 1.2 og KN 1.3 har lavere REE og positiv Eu-anomali, der KN 1.3 har lavest konsentrasjon av LREE og skiller seg noe ut. Tm i prøve KN 1.3 og SØR 1.4 er nær deteksjonsgrensen og viser derfor en negativ Tm-anomali.

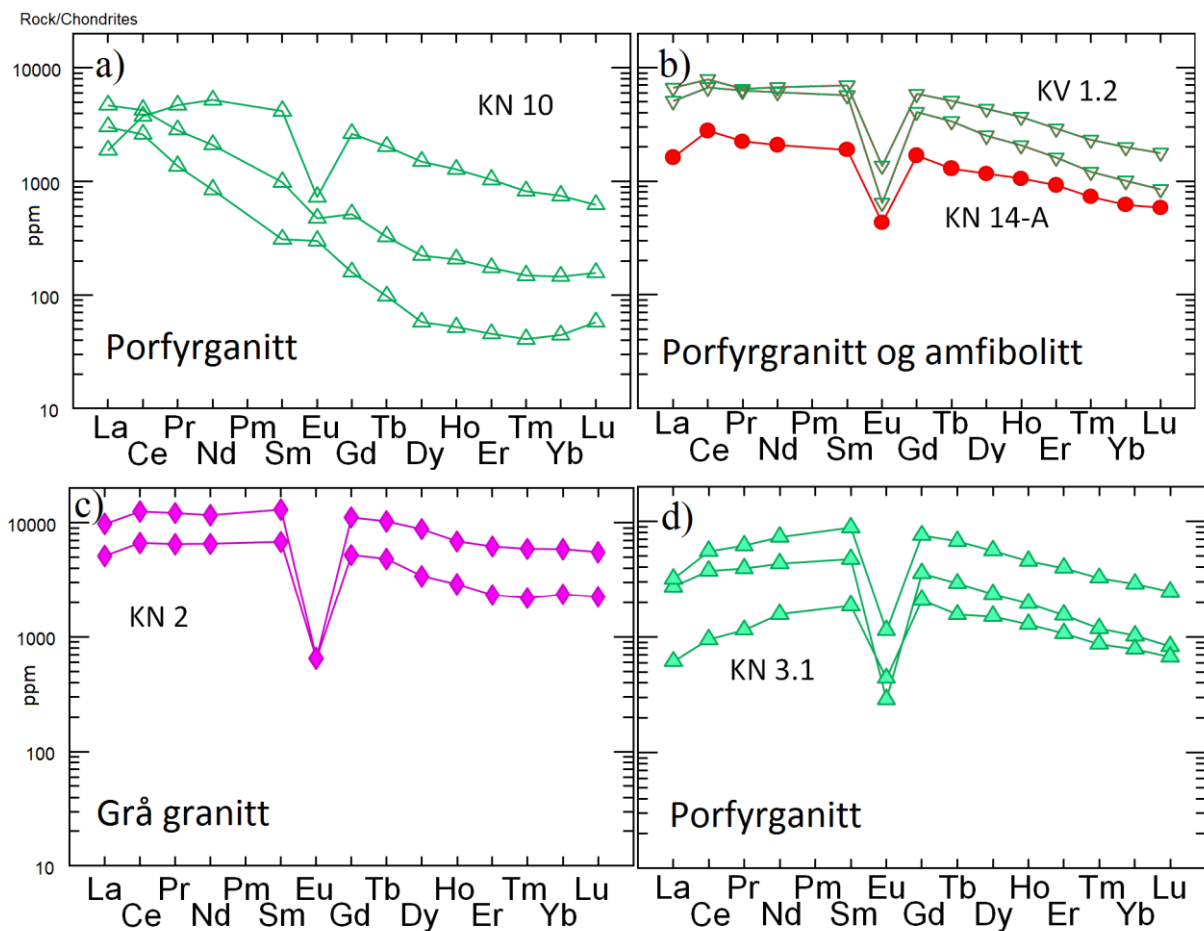


Figur 76a) Spiderdiagram av REE for bulkkjemi for mineraliserte prøver, representert av porfyrgranitter, flasergneiser og grå granitter sammenlignet med kondrittiske normaliserte verdier (Sun and McDonough, 1989) b) Eu-anomali er plottet mot total REE (ppm).

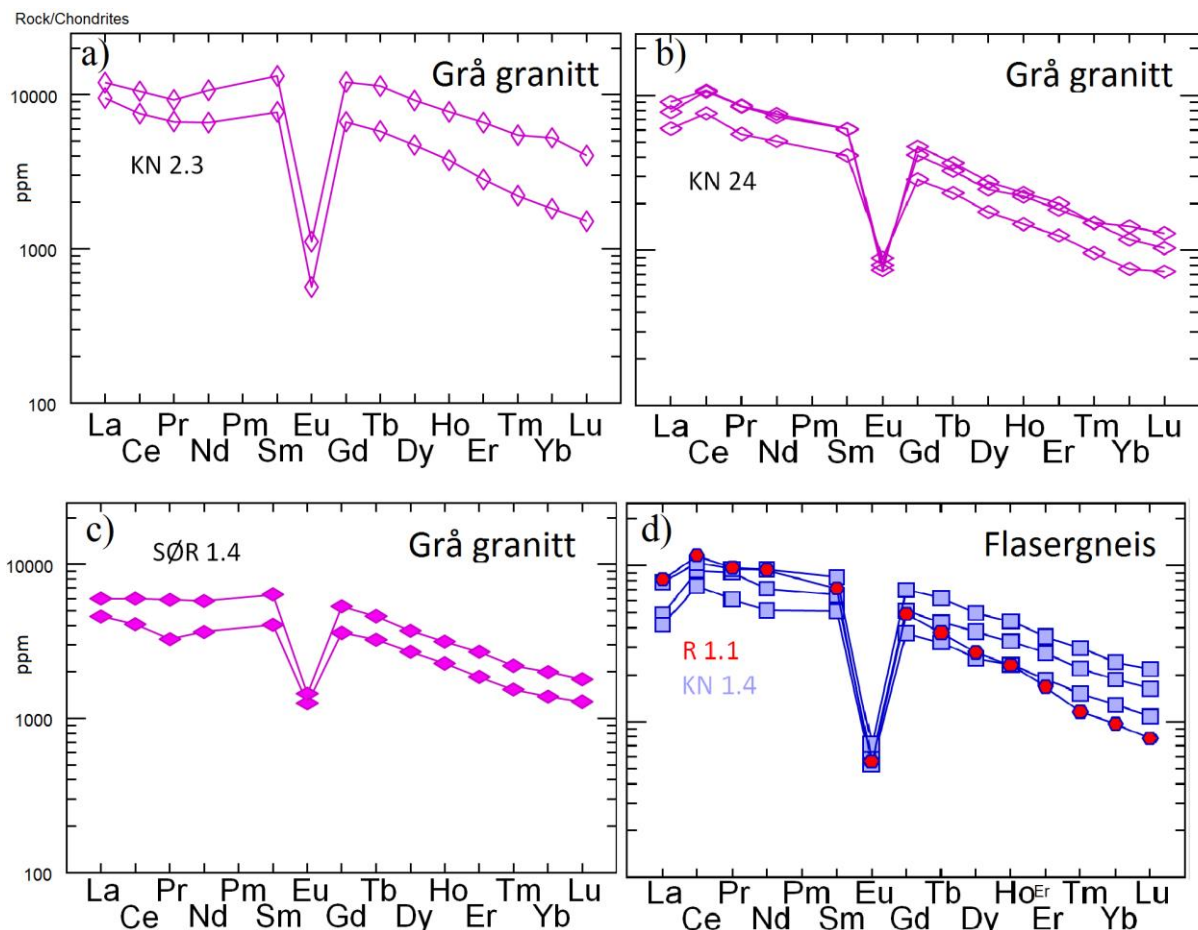
Mineralanalyser: Apatitt og REE-innhold

Stort sett viser de fleste apatittanalysene flat LREE og en slak negativ HREE trend med negativ Eu-anomali. Unntaksvis er apatitt fra porfyrgranitt (KN 10) og porfyrgranitt (KN 3.1). En analyse fra apatitt fra KN 10 viser positiv økning i LREE, mens to andre analyser viser negativ trend i LREE, og alle tre viser negativ trend i HREE (Figur 77a). Apatitt som viser positiv trend i LREE, ligger i kontakt med amfibol og har høyere HREE enn de to andre apatittene som ligger i kontakt med titanitt og har lavere HREE.

Apatitter med lavest HREE konsentrasjon i KN 10, viser en buformet fordeling i HREE, hvor den ene har liten positiv Eu-anomali og den andre liten negativ Eu-anomali. KN 3.1 viser positiv trend i LREE, stor negativ Eu-anomali og negativ trend for HREE (Figur 77d). Grå granitt (KN 2) er den som størst negativ Eu-anomali (0,05) (Figur 77c).



Figur 77 Spiderdiagram viser REE fordelingen av apatitt fra a) Porfyrgranitt uten mineralisering (KN 10) b) Porfyrgranitt (KV 1.2) og amfibolitt (KN 14-A) c) Grå granitt (KN 2) d) Porfyrgranitt (KN 3.1).

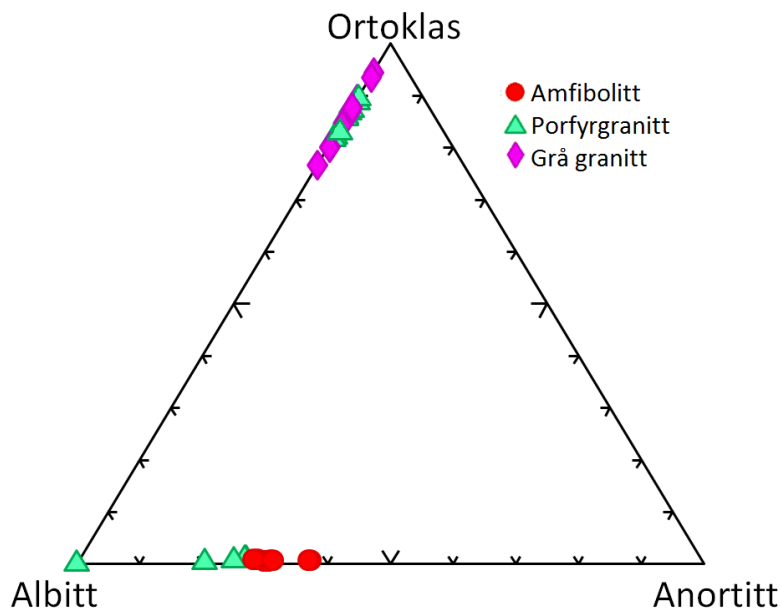


Figur 78 Spiderdiagram viser REE fordelingen av apatitt fra a) Grå granitt (KN 2.3) b) Grå granitt (KN 24) c) Grå granitt (SØR 1.4) d) Flasergneis (KN 1.4 og R 1.1).

4.4.2 Mikrosondedata

Feltspatanalyse

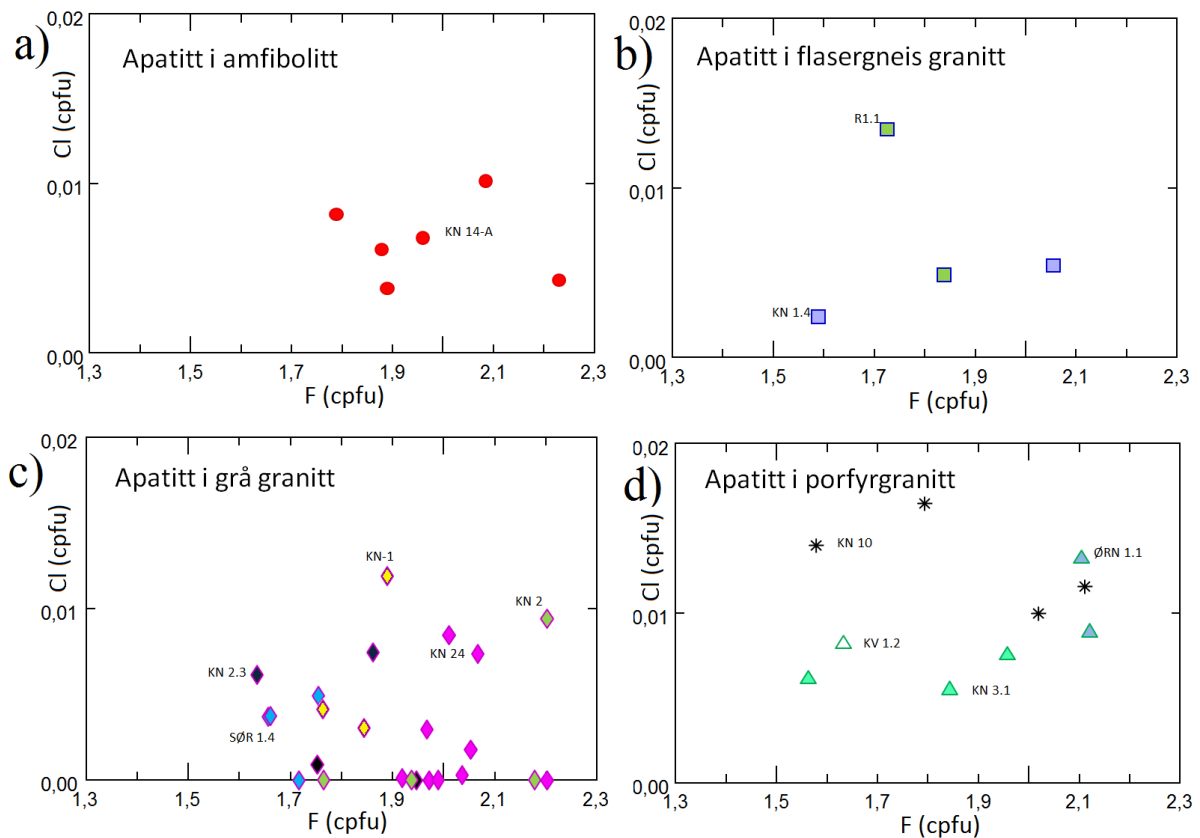
Kalifeltspat er hovedsaklig representert i grå granitter, med maks Or-sammensetning: 0,94 Or, 0,1 An og 0,5 Ab og minimum Or: 0,23 Or, 0,77 Ab. Porfyrgranitter har både albittrike plagioklas og kalirike feltspat, med maks Or-sammensetning av: 0,99 Or, 0,01 Ab, og minimum Or: 0,73 Or, 0,26 An, 0,01 Ab. Plagioklas som er mest albittrik tilhørende porfyrgranitt har sammensetning: 0,1 Or, 0,01 An, 0,89 Ab. Plagioklas som har mest An-sammensetning i porfyrgranitter viser maks An: 0,73 Or, 0,26 An, 0,01 Ab. Plagioklas tilhørende amfibolitt har mer An-sammensetning med maks: 0,62 Or, 0,37 An, 0,1 Ab og minimum An: 0,71 Or, 0,28 An, 0,1 Ab (Figur 79).



Figur 79 Tertiærplott basert på CaO, Na₂O og K₂O-vektprosent og viser hvilke feltspat som er representert.

Apatittanalyse av kjerne og kant

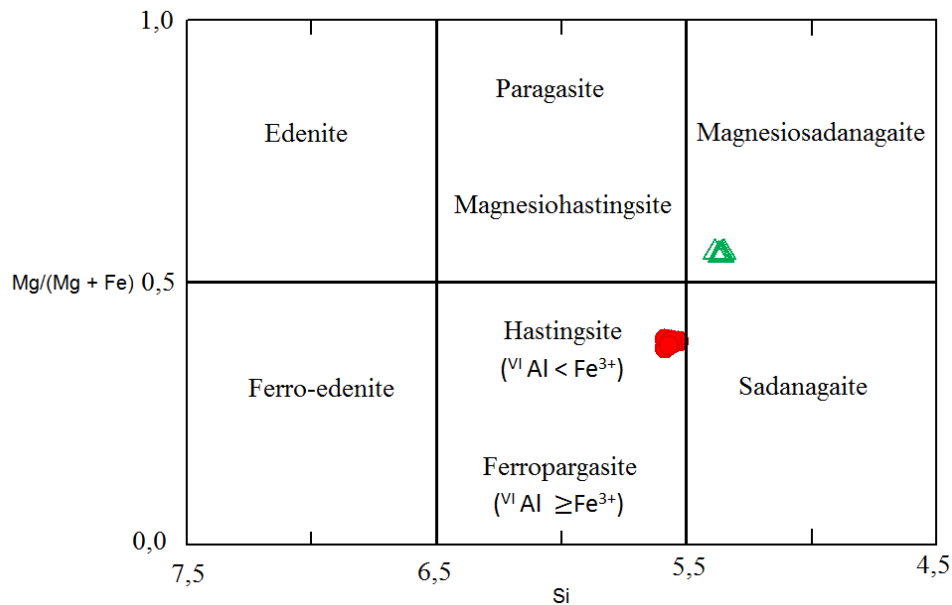
Apatitt har i underkant av 0,6 % klor der noen analyser er nære deteksjonsgrensen. Fluor varierer fra 2,5 – 4,3 % i samtlige apatitter, men vises som kationer per formel enhet (cpfu), for å kunne vurderes med støkioimetrisk formel for apatitt (Figur 80abc). Apatitt har mulighet til å ta inn totalt 2 cpfu av OH, Cl og F; $\text{Ca}_{10}(\text{PO})_6(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})_2$. Apatitt i grå granitter har noe lavere klorinnhold, enn apatitt i porfyrgranitter og begge har ca samme fluorinnhold (1,6 – 2,2 cpfu). En del apatitter fra grå granitt (KN 2) og porfyrgranitter (ØRN 1.1 og KN 10) har over 2 pcuf og antageligvis mettet på F. Apatitt i grå granitt viser ingen systematisk kjerne-kant variasjoner mellom F og Cl. 3 av 4 analyser fra apatitt i porfyrgranitter viser høyere Cl-innhold (< 0,02 cpfu) i kant, fremfor kjerne (Figur 80c). 4 av 5 analyser av apatitt fra flasergneis viser høyere klorinnhold i kant, der de fleste også har lavere fluorinnhold enn i kjerne (Figur 80a). Analyser fra apatitt i amfibolitt viser ingen systematisk trend, men har generelt høyere F og lavere Cl-innhold i forhold til flasergneis (Figur 80a)



Figur 80 Mikrosondedata av apatitt viser Cl og F (cpfu) a) Amfibolitt (KN 14-A) b) Flasergneis R 1.1 og KN 1.4) c) Grå granitter (KN 2.3, SØR 1.4, KN-1, KN 24 og KN 2) d) Porfyrgranitter (KN 10, KV 1.2, KN 3.1 og ØRN 1.1)

Amfibol

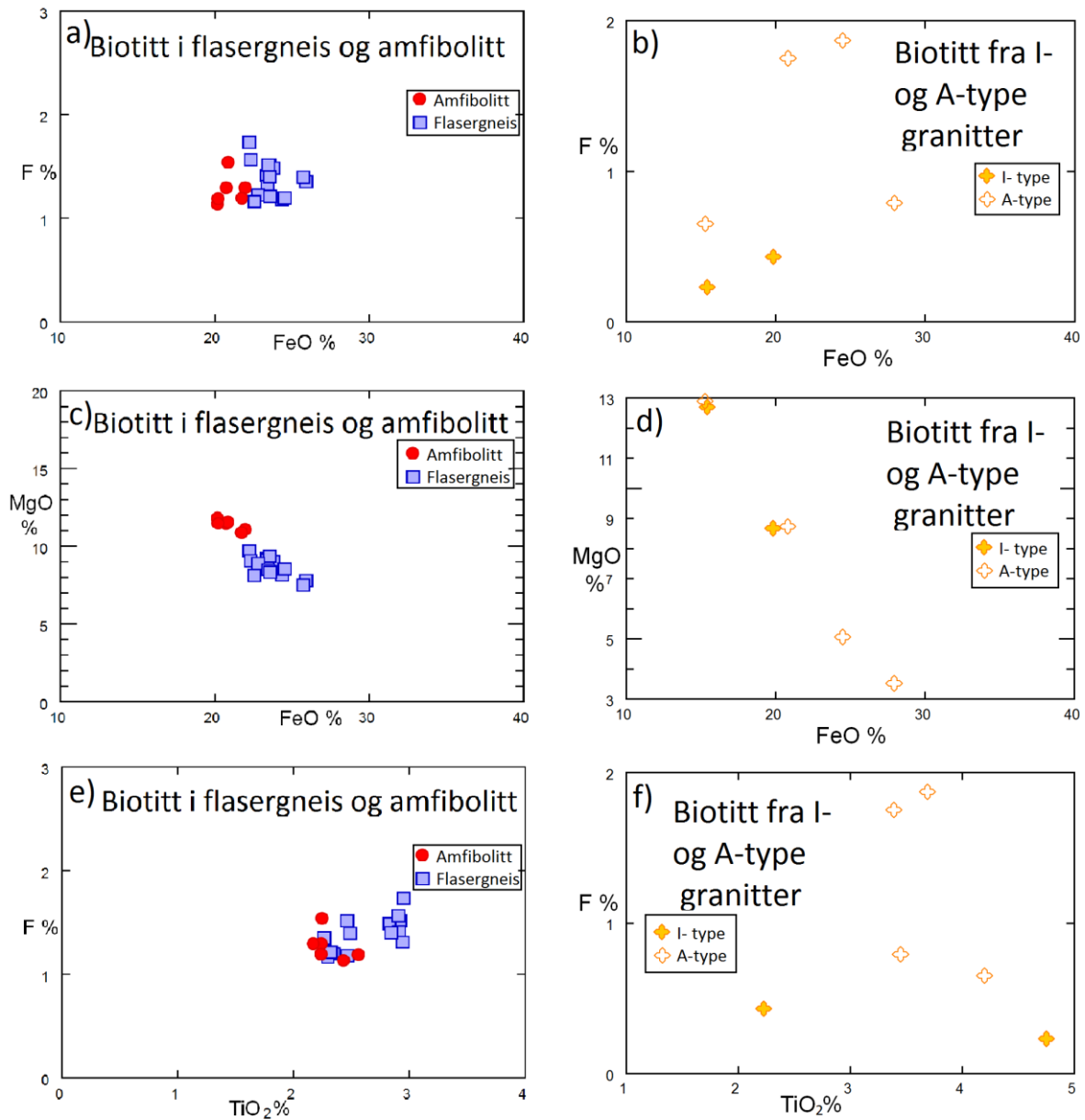
Amfibol fra amfibolitt (R.1.1) klassifiseres som hastingsite, og amfibol fra porfyrgranitt (KN 10) klassifiseres som magnesiosadanagaite ettersom $Ca_B \geq 1,5$; $(Na + K)_A \geq 0,5$ (Figur 81). For enkelhetens skyld omtales begge typene hornblende heretter som en felles betegnelse for Ca-rike amfiboler.



Figur 81 Klassifikasjon for Ca-rike amfiboler , basert på $Mg/Mg+Fe$ og Si i kationer per formel enhet (cpfu), dersom $Ca_B \geq 1,5$; $(Na + K)_A \geq 0,5$. Amfiolitt fra R1.2 klassifiseres som «hastingsite» og amfibolitt fra porfyrgranitt (KN 10) klassifiseres som «magnesioadanagaite». Etter Hawthorne (2007).

Biotitt

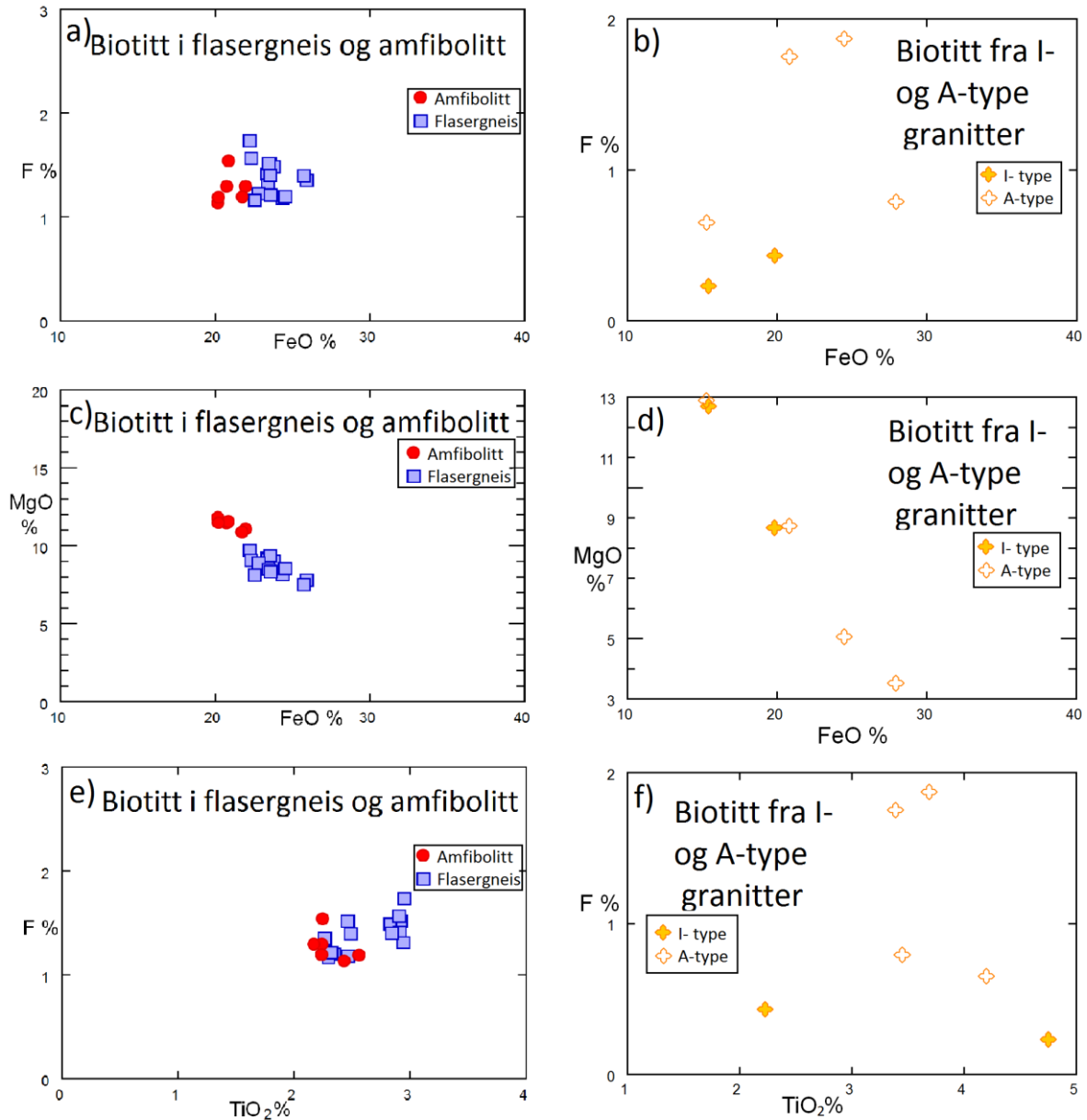
Mikrosondedata fra biotitt både fra deformerte bergarter fra Knaben og magmatiske bergarter, sammenlignes med andre magmatiske biotitter fra I- og A- type granitter fra Canadian Appalachian orogenet (Shabani et al., 2003) (Figur 82 og



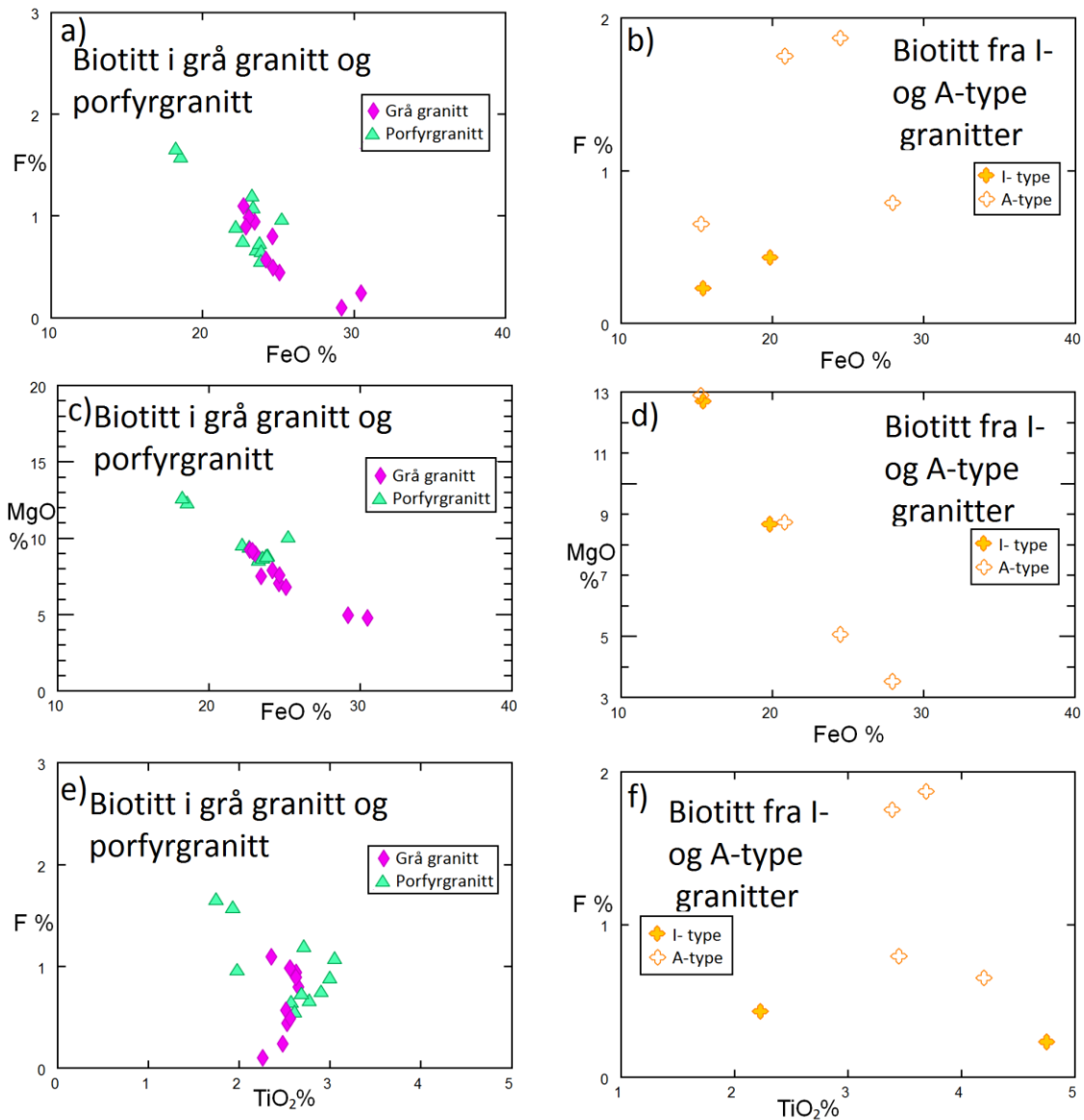
Figur 83). Mikrosondedata av biotitt fra Knaben viser at FeO og F er omvent proporsjonale for grå granitter og porfyrgranitter også kjent som «fluorine-iron avoidance effect» (Mason, 1992) (Figur 82a). Det er ingen system mellom kant og kjerne. Biotitt fra I- og A-type granitter ser ikke ut til å ha samme korrelasjonen (Figur 82b). Biotitt fra grå- og porfyrgranitter viser korrelasjon mellom MgO og FeO, der porfyrgranitt fra KN 3.1 har høyeste MgO/FeO-forhold, mens grå granitt (KN-1) har laveste MgO/FeO-forhold (Figur 82c). Biotitt fra I- og A-type granitter har også samme korrelasjon, der A-type er mer FeO-rik, som de grå granittene. Biotitt fra I-type granitter som har høyere MgO har ikke særlig høye F-innhold (Figur 82bd) Det er vanskelig å se noe korrelasjon mellom F og TiO₂ i biotitter fra grå granitt, porfyrgranitt, I-type, eller A-type granitter (Figur 82ef). Biotitt fra flasergneis og amfibolitt har i underkant av 1 % mindre F-innhold i forhold til grågranitt og en del

Resultater

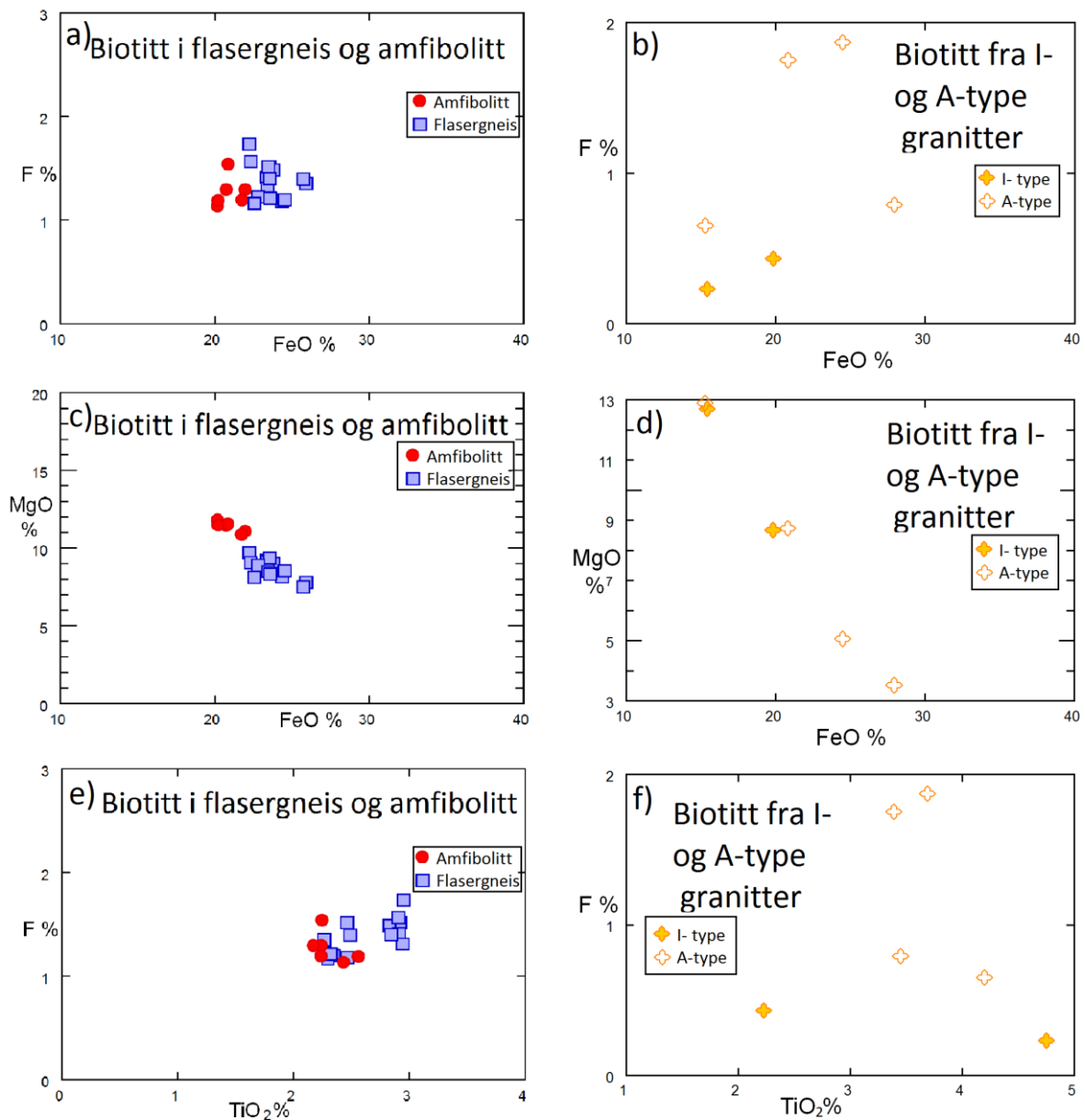
porfyrgranitter, men ca samme FeO-innhold. (Figur 9a og Figur 82a). Biotitt i flasergneis og amfibolitt har samme TiO_2 -innhold (2-3 %) som grå og porfyrgranitter, som er 1- 2 % lavere enn biotitt fra A-type granitter (Figur 82ef)



Figur 83ef).



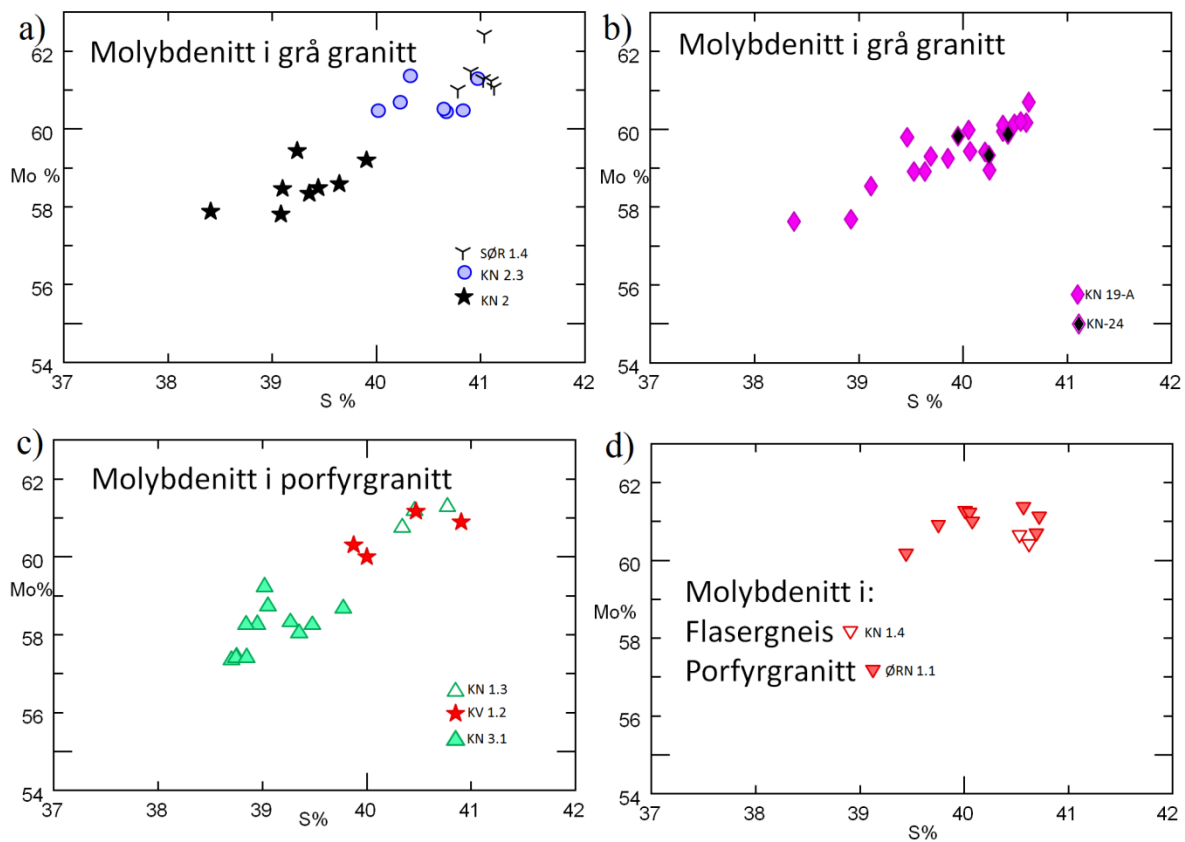
Figur 82 Viser mikrosondedata av biotitt fra a) Porfyrgranitt og grå granitt med vektprosent av F og FeO b) I- og A-type granitter med vektprosent av F og FeO c) Porfyrgranitt og grå granitt med vektprosent av MgO og FeO b) I- og A-type granitter med vektprosent av MgO og FeO e) Porfyrgranitt og grå granitt med vektprosent av F og TiO₂ f) I- og A-type granitter med vektprosent av F og TiO₂. Mikrosondedata av biotitt fra I- og A-type granitter tilhørende Canadian Appalachian orogenet er hentet fra Shabani et al. (2003).



Figur 83 Viser mikrosondedata av biotitt fra a) Flasergneis (KN 1.4) og amfibolitt (KN 14-A) med vektprosent av F og FeO b) I- og A-type granitt med vektprosent av F og FeO c) Flasergneis (KN 1.4) og amfibolitt (KN 14-A) med vektprosent av F og FeO d) I- og A-type granitt med vektprosent av MgO og FeO e) Flasergneis (KN 1.4) og amfibolitt (KN 14-A) med vektprosent av F og TiO₂ d) I- og A-type granitt med vektprosent av F og TiO₂. Mikrosondedata fra biotitt er hentet fra Shabani et al. (2003) for sammenligning.

Molybdenitt

Konsentrasjonen av Mo i molybdenitt varierer fra lokalitet til lokalitet, fra 57 % - 62,5 %. To analyser i KN 2 har lav total vektprosent (< 94 %) for mikrosondedata (oppladningsproblemer som er diskutert under feilkilder i metodekapitlet) og kan trolig være skyld i lave Mo % (54 og 55 %) og er derfor utelatt i diagrammene. Grå granitt fra prøve SØR 1.4 har høyest Mo-innhold (61-62,5 %) (Figur 84a), mens grå granitt fra KN 19-A viser størst spredning i Mo-innhold (Figur 84b). Molybdenitt i flasergneis har relativt høye Mo-konsentrasjoner (Figur 84d), mens porfyrgranitt fra KN 3.1 har laveste Mo % (Figur 84ac).



Figur 84 Mikrosondedata viser Mo og S-innholdet (%) i molybdenitt i a) Grå granitter b) Porfyrgranitter c) Porfyrgranitt og flasergneis.

Sulfidanalyser av kjerne og kant

Generelt har både kobberkis, svovelkis og magnetkis opptil 0,5 vekt % Mo. Høyere verdier enn dette er målt, men det er mineralfaser som ligger i kontakt med molybdenitt og derfor utelukkes disse i denne sammenhengen.

Magnetkis

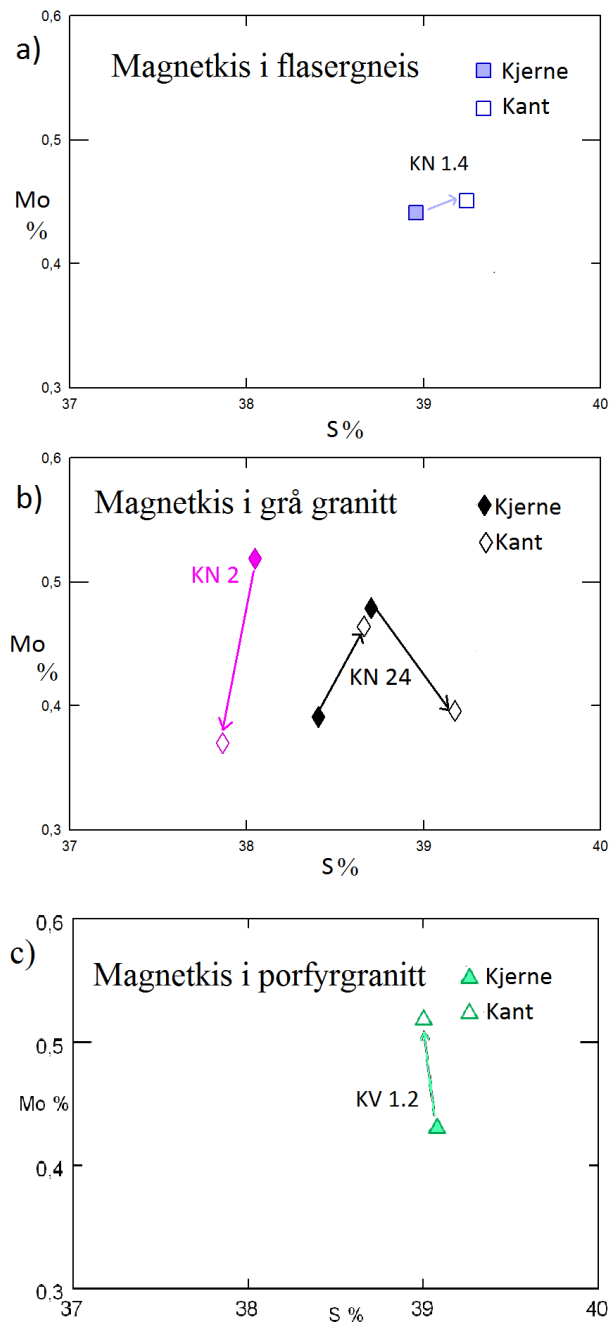
Flasergneis (KN 1.4) viser at kant har høyere innhold av Mo i magnetkis (Figur 85a). Grå granitt i magnetkis viser ingen systematisk variasjon mellom kant og kjerne Mo (Figur 85b). Porfyrgranitt på Kvina (KV 1.2) viser samme trend som flasergneis KN 1.4) med høyere Mo i kantanalyser (Figur 85c).

Svovelkis

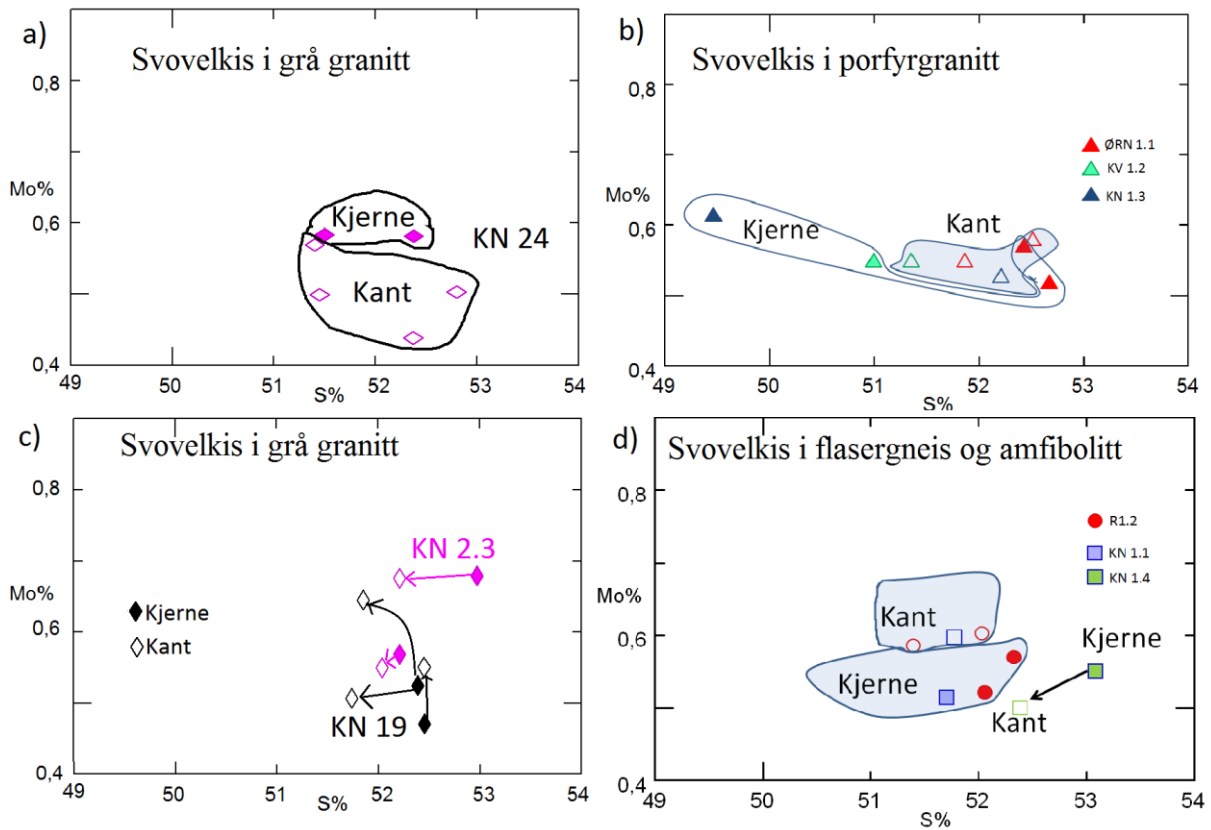
Mo i svovelkis for de fleste grå granitter viser ingen systematisk variasjon for kjerne og kant (Figur 86b). Prøve KN 24 derimot, i grå granitt, viser seg å ha høyere Mo i kjerne enn kant (Figur 86a). Flasergneisgranitt ved Knaben 1 (KN 1.1) og amfibolitt i Øvre Roma Nord (R 1.2) har litt høyere Mo i kant enn kjerne (Figur 86d).

Kobberkis

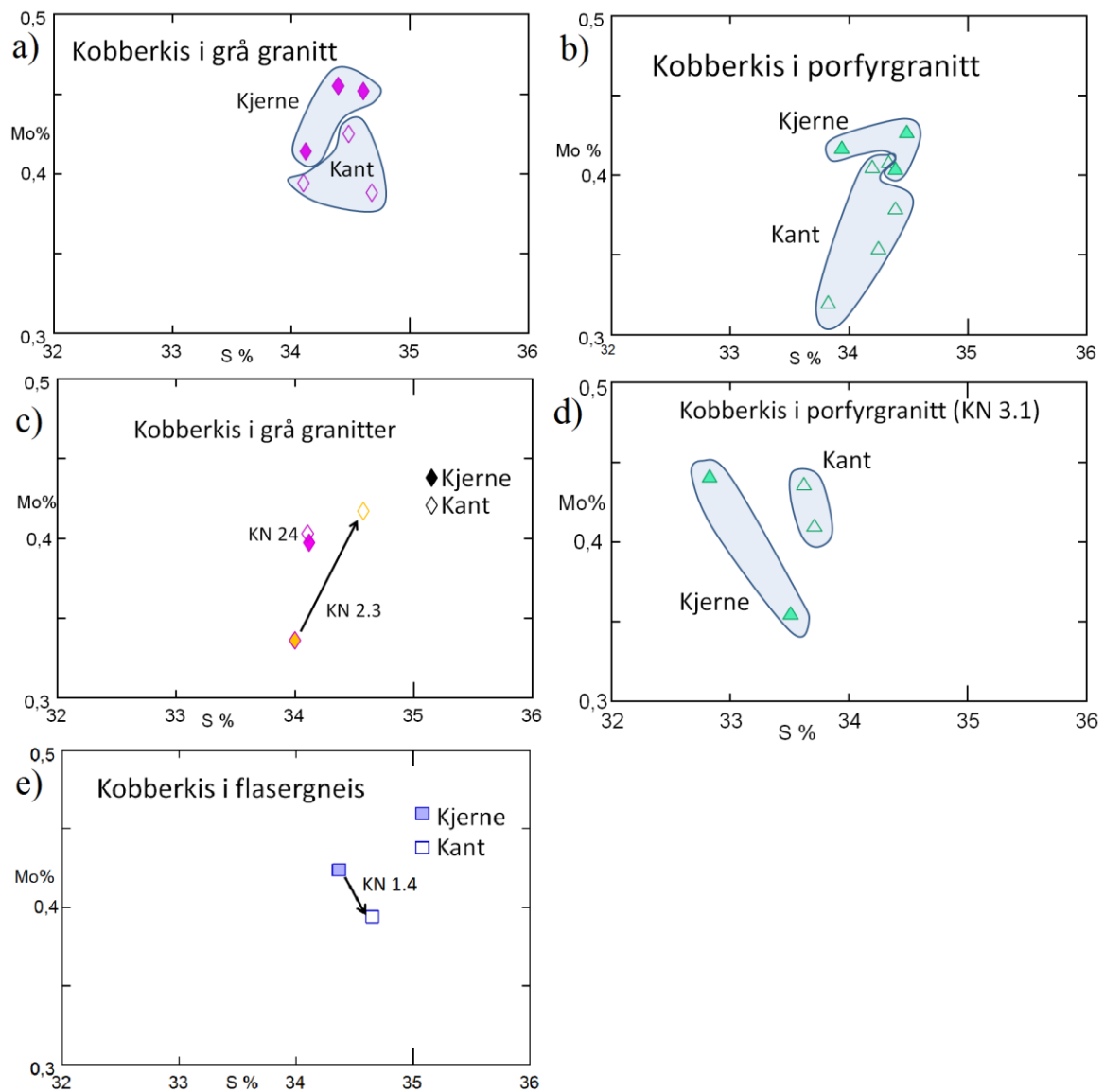
Generelt viser analyser av kjerne i kobberkis i porfyrgranitter, grå granitter, flasergneis høyere verdier av Mo enn kantanalyser (Figur 87). Unntaksvis er prøve KN 2.3 fra Knaben 2, der kantanalysene viser høyere Mo-innhold (Figur 87c).



Figur 85 Viser Mo og S i vektprosent i magnetkis for a) Flasergneis (KN 1.4) b) Grå granitt (KN 2 og KN 24) c) Porfyrgranitt (KV 1.2).



Figur 86 Kant-kjerne analyser av svovelkis med Mo og S i % for a) Grå granitt (KN 24) b) Porfyrgranitter (ØRN 1.1, KV 1.2, KN 1.3) c) Grå granitter (KN 19, KN 2.3) d) Flasergneis (KN 1.4, KN 1.1) og amfibolitt (R1.2). Pil er markert for å indikere hvilke kjerner og kanter som tilhører samme mineralkorn. Ring rundt analyser er for å synliggjøre kjerne-kant mønster.

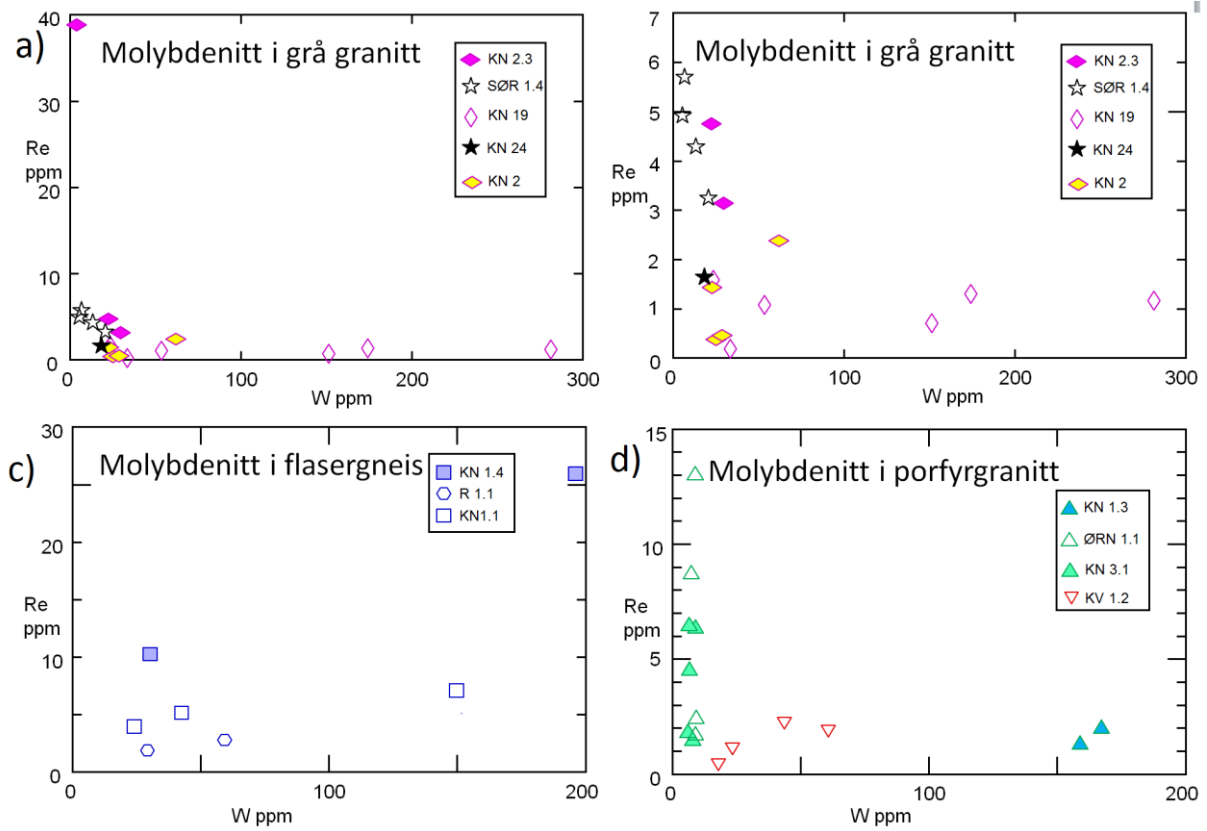


Figur 87 Kant-kjerne analyser i kobberkis med Mo og S i % for a) Grå granitt (SØR 1.4 og KN 19) b) Porfyrgranitter (ØRN 1.1, KN 1.3, og KV 1.2) c) Grå granitt (KN 24 og KN 2.3) d) Porfyrgranitt (KN 3.1) e) Flasergneis (KN 1.4).

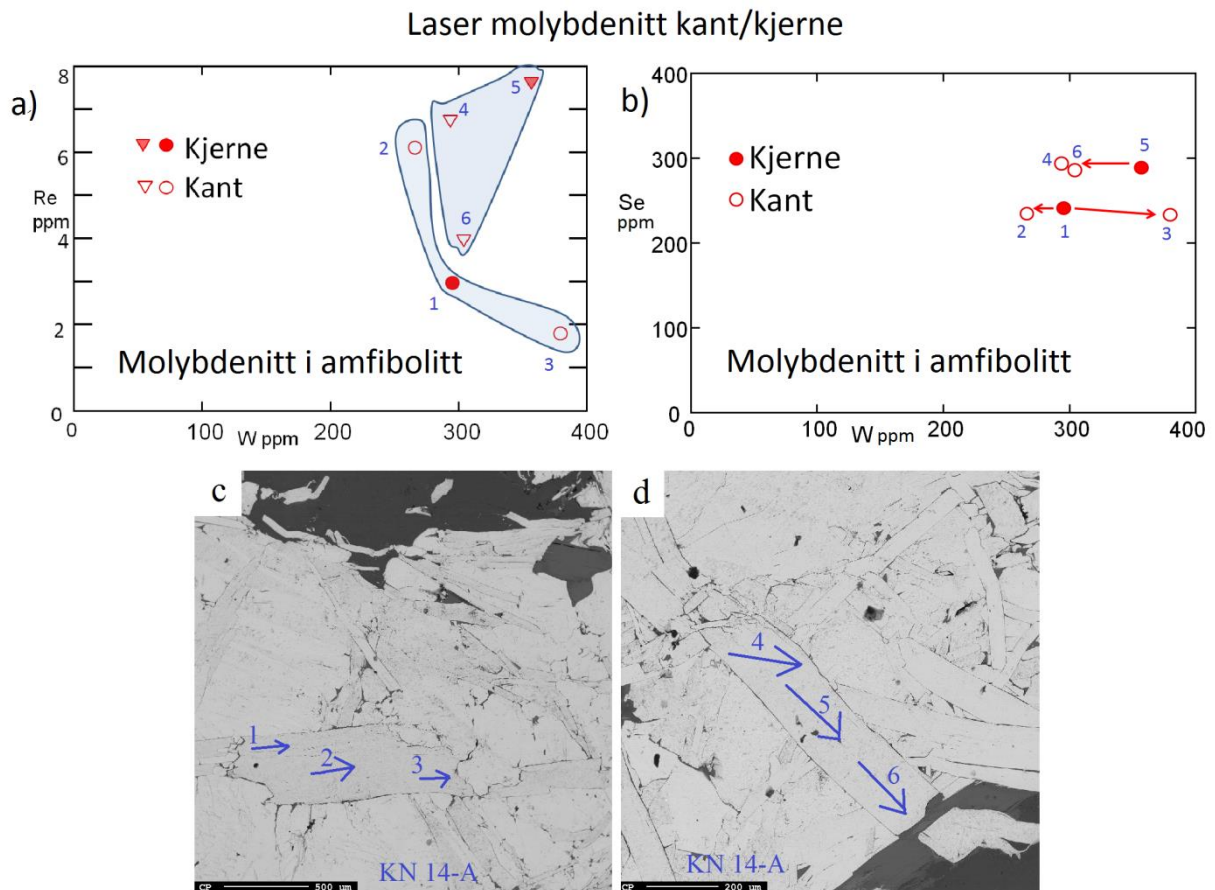
4.4.3 Laserdata

Sporelement i molybdenitt

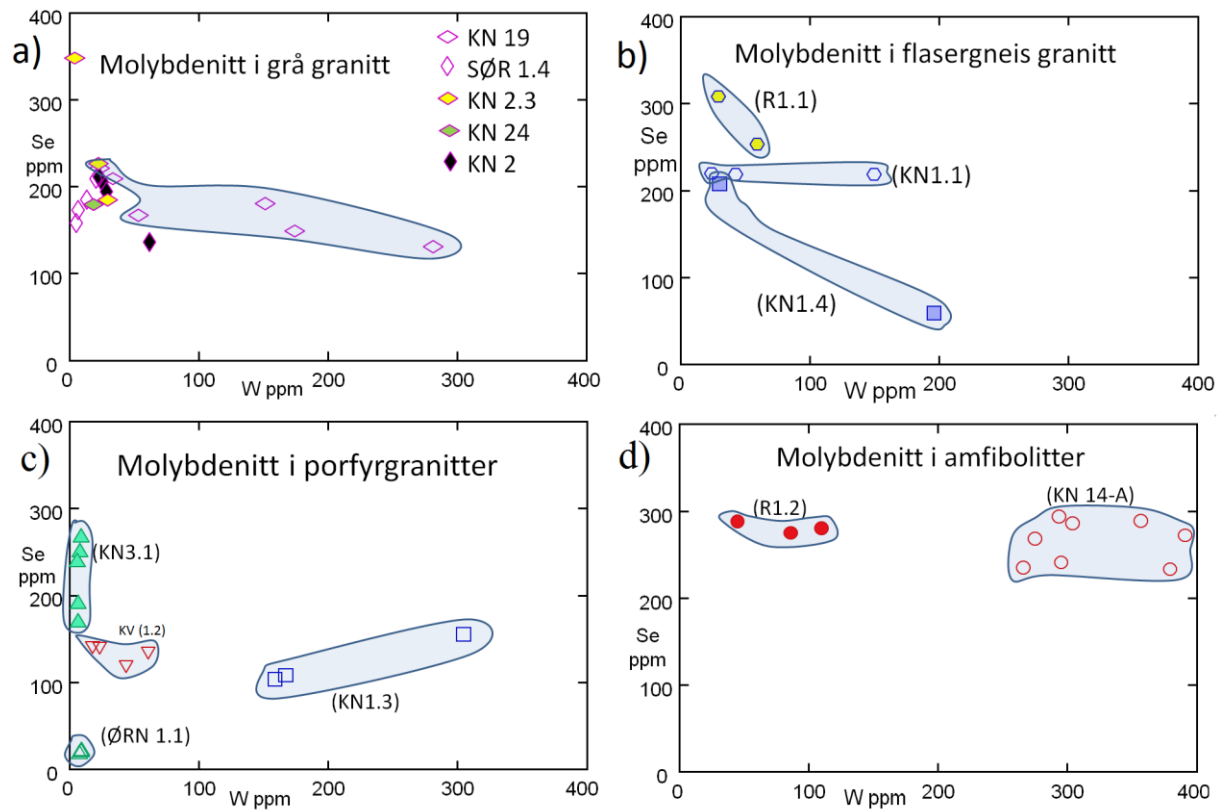
Avlange, små og aggregater av molybdenittkorn gjør at målinger for kjerne og kant er vanskelig å definere, og derfor inngår ofte begge sonene i en analyse. Det er derfor ikke like gunstig å diskutere soneringer i kant-kjerne for sporelementer av molybdenitt. Re-verdiene i molybdenitt ligger i underkant av 40 ppm og Os ligger ofte nær deteksjonsgrensen og kan ikke brukes videre. W derimot viser relativt høye verdier og analysene fra samtlige molybdenitt kan peke på en sammenheng mellom Re og W, der molybdenitt som har høyere Re og ofte lavere W-innhold (Figur 88). Amfibolitt i Øvre Roma er eneste molybdenittkorn som med sikkerhet kan definere dens kjerne og kant, som viser få ppm av Re i differens mellom kjerne og kant. W, derimot viser flere 100 ppm i forskjell mellom kjerne og kant, men ingen systematisk variasjon (Figur 89a). Samme molybdenittkorn er også plottet for Se og W, som viser relativt homogene verdier av Se i kjerne og kant (Figur 89b). Molybdenitt har relativt høye Se-verdier (< 400 ppm) og W og Se i molybdenitt viser ofte grupperinger basert på ulike lokaliteter (Figur 90). Molybdenitt i flasergneis har gjennomsnittlig høyere Se-innhold enn grå granitt og porfyrgranitt, mens grå granitt har mindre spredning av Se enn de andre bergartene. Molybdenitt fra KN 19, KN 1.3 og KN 1.1 har mer variasjon i W enn Se, mens molybdenitt fra KN 3.1 og KN 2.3 har mer variasjon i Se. Molybdenitt fra KN 1.4 har stor spredning i Se og W, men representerer heller ikke samme korn.



Figur 88 Laserdata viser Re og W (ppm) i molybdenitt for a) Grå granitter b) Grå granitter med mindre skala for Re c) Flasergneis d) Porfyrgranitt.



Figur 89 Viser kjerne-kant analyse fra molybdenitt fra amfibolitt (KN 14-A) for a) Re og W i ppm b) Se og W ppm cd) Tilbaksprett elektronbilder (BEI- «Backscattered electron image») fra mikrosonde som viser hvor analysene er tatt.



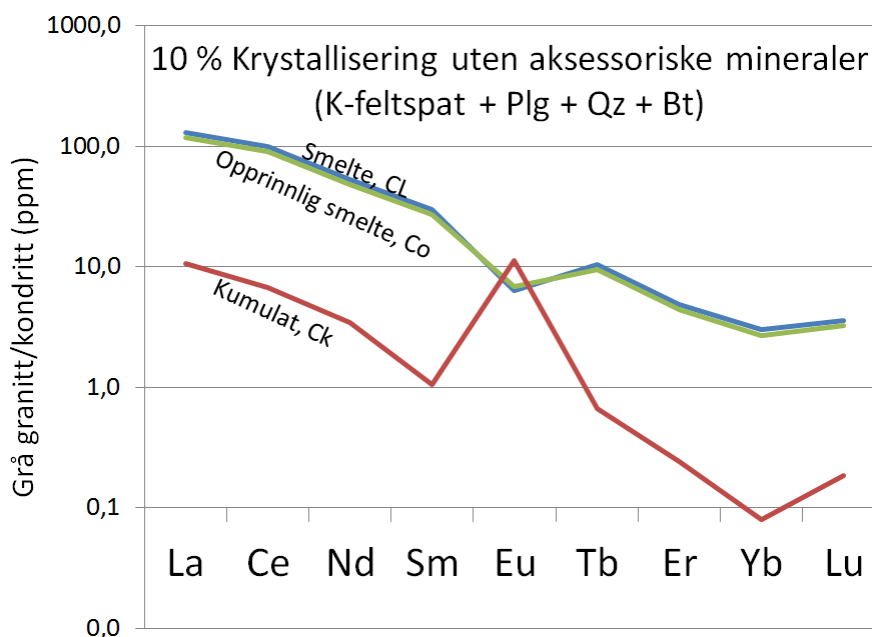
Figur 90 Viser Se og W innhold i molybdenitt (ppm) fra a) Grå granitt (KN 19, SØR 1.4, KN 2.3, KN 24, KN 2) b) Flasergneiser (R 1.1, KN 1.1 og KN 1.4) c) Porfyrganitter (KN 3.1, KV 1.2, KN 1.3 og ØRN 1.1) d) Amfibolitt (R1.2 og KN 14-A).

5 Diskusjon

5.1 REE

Knaben representerer et svært lite vindu av det store smelteomløpet som har foregått i forbindelse med dannelse av Sirdalsbeltet. Bergartene på Knaben er veldig SiO_2 -rike og utviklet, derav lite mafiske mineraler som ellers kan gi informasjon om deres smelteutvikling. Elementfordeling i mafiske systemer er ofte mer forutsigbare i forhold til felsiske systemer. Felsiske systemer inneholder ofte flere aksessoriske mineraler som kontrollerer REE-fordelingen. Aksessoriske mineraler som zirkon, apatitt, og allanitt er ulikt fordelt i prøvene, noe som gjør det utfordrende å tolke REE-spiderdiagram for bulkkjemi. Det er lettere å forutsi REE-fordelingen for hvert enkelt mineral, men når alle er representert i samme system, vil det bli vanskeligere å konkretisere om disse representerer tidlige eller senere kumulat- og smeltefase. Modellering er gjort for et krystalliserende magmasystem («batch crystallization») som inkluderer kvarts, K-feltspat, plagioklas, biotitt og de aksessoriske mineralene. Hensikten med modelleringen er å vise at ulike sammensetninger med varierte krystallisasjonsgrader (10 og 30 %), kan skyldes variasjon i REE-konsentrasjon og vise hvilken effekt aksessoriske mineraler har på REE-fordelingen i bergartens bulkkjemi.

Spiderdiagram viser at REE-fordeling i bulkkjemi fra Knabens bergarter har varierer mye (20-1000 ppm for LREE) (Figur 93). Figur 91 viser opprinnelig smelte (C_0) med REE-verdier fra grå granitt fra Knaben 2 (KN 2.3), kumulat (C_K) - og smeltefasen (C_L) etter at 10 av 100 % K-feltspat er krystallisert. Modelleringen av kumulatfasen illustrerer at svært lite REE går inn i k-feltspat, foruten om Eu, som gir positiv anomali for denne fasen.



Figur 91 Viser fordelingen av REE i ppm for den opprinnelige smelten, Co (45 % K-fsp, 40 % Qz, % 10 Plg og 5 % Bt), smeltefasen CL, og kumulatfasen CK, som krystalliseres først etter 10 % krystallisering. K-feltspat har positiv Eu-anomali, mens CL blir mer utarmet på Eu og så vidt anriket på LREE i forhold til Co. Enkelte elementer som Pr, Pm, Gd, Dy, Ho er utelatt fra modelleringen.

Modellering av krystalliserende aksessoriske mineraler bekrefter at allanitt kontrollerer mesteparten av LREE, mens zirkon og apatitt dominerer HREE (Figur 92). Krystallisering av apatitt vil påvirke både LREE og HREE, og preges av negativ Eu-anomali. Generelt minker Eu-anomali i kumulatfasene ved økt krystalliseringsgrad. Modellering av allanitt av smelte og kumulatfase med 0,1 og 0,2 vektprosent for 10 og 30 prosent krystalliseringsgrad, viser tydelig at store deler av LREE anrikes i allanitt, mens smelten anrikes på HREE (Figur 92a). Både smelten og kumulatfasen har negativ Eu-anomali, men anomalien i kumulatfasen blir maskert grunnet høye verdier av LREE. De første allanittfasene som krystalliseres anrikes mest av LREE, og ved økt krystalliseringsgrad minker konsentrasjonen av LREE. 0,1 % mer allanitt i utgangsmelten har mye å si for anrikningen av LREE med 40 ppm forskjell av La under 10 % krystallisering. Figur 92a viser smelte som er mest anriket på HREE som skyldes at utgangsmelten inneholder mer allanitt, eller at systemet har gjennomgått større grad av krystallisering.

Smeltefasene er svært like, og viser generell negativ trend i REE med negativ Eu-anomali, uavhengig av hvilke aksessoriske faser som er til stede eller om det kun er hovedmineraler (Figur 92). Kumulatfasene derimot er lettere å skille, mens det er mer likheter mellom

Diskusjon

kumulater uten aksessoriske faser og kumulater med krystallisert zirkon (Figur 92bd). Effekten av zirkoninnholdet fra 0,1 % til 0,5 % spiller en stor rolle for kumulatfasen som anrikes mer av HREE jo mer zirkon som er til stede, mens krystalliseringsgraden har minimal påvirkning (Figur 92b). Ved krystallisering av zirkon vil dette ha lite å si for LREE i kumulatene sett i sammenligning med kun hovedmineraler (Figur 92d). Disse kumulatene har positiv Eu-anomali som reflekterer krystallisering av feltspat, men ved høyere zirkoninnhold og høyere krystalliseringsgrad, vil Eu-anomalien i kumulatene minke ettersom mer HREE går inn i zirkon. Variasjonen i REE-konsentrasjonen skyldes ulik krystalliseringsgrad og ulik mengde av dominerende REE-bærere.

Dersom det kun er hovedmineraler som styrer REE-budsjettet; K-feltspat, plagioklas, kvarts og biotitt, vil første krystalliserte faser være mer utarmet på REE, og ha størst positiv Eu-anomali (Figur 92d). Etter 30 % krystallisering vil smeltefasen være mest anriket på REE og ha størst negativ Eu-anomali. Et slikt tilfelle er vanskelig å forestille seg for prøvene fra Knaben, ettersom modellering av kumulatfase uten aksessoriske mineraler ligger langt under REE-fordelingen til porfyr- og grå granitter (Figur 93a). Det må derfor modelleres til over 50 % av krystallisering for at kumulater uten aksessoriske mineraler oppnår like høye REE-verdier som prøvene fra Knaben. Det er også viktig å være klar over at modelleringene er kontrollert av utvalgte partisjonskoeffisienter og er derfor kun veiledende (Figur 94).

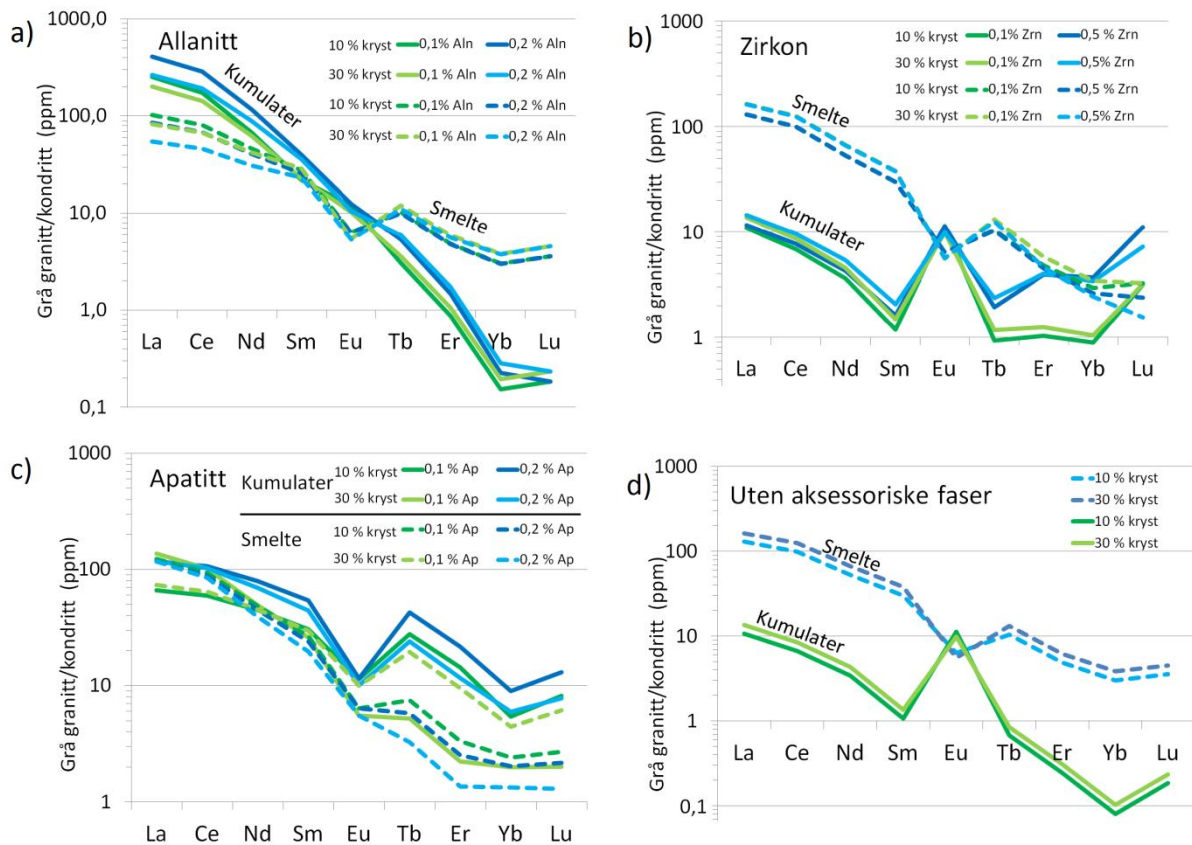
Modellen av kumulatfase (30 % kryst) som inneholder små mengder allanitt (<0,2 %) og 1 % zirkon derimot, er ikke så langt unna REE-fordelingen i KV 1.2, KN 1.3, og SØR 1.4, som også har positive Eu-anomalier, og gjerne noe høyere REE enn modellen (Figur 93). Modellen er gjerne mest representativ for KN 1.3 som har høyest Eu-anomali (2,92) og minst konsentrasjon av REE (Figur 93ab). Om innholdet av allanitt blir større enn dette, vil Eu-anomalien bli negativ. KV 1.2 har høyere LREE og lavere Eu-anomali (1,29) enn SØR 1.4 (1,49). Dette kan tolkes til at KV 1.2 karakteriserer høyere krystalliseringsgrad (> 30 %) enn SØR 1.4 og eller eventuelt inneholder mer vektprosent allanitt.

Bulkkjemi av porfyr- og grå granitt dekker et område med variasjon i LREE fra 4 ppm – 110 ppm og fra 2 ppm- 11 ppm for HREE med både positive og negative Eu-anomalier markert (Figur 93). Modeller av smelter uten aksessoriske mineraler (10 % kryst) og smelte med 0,2 % zirkon (30 % kryst) kan tilsvare lignende REE-fordeling tilhørende de rikeste REE-bærende grå- og porfyrgranitter (ØRN 1.1, ØRN 1.3, KN 2.3 og KN 3.1) med negative Eu-anomalier (Figur 93b). Prøvene har også likheter til smeltefaser som inkluderer zirkon, apatitt, allanitt eller uten aksessoriske faser og kumulatfaser inkludert apatitt eller allanitt (Figur 92).

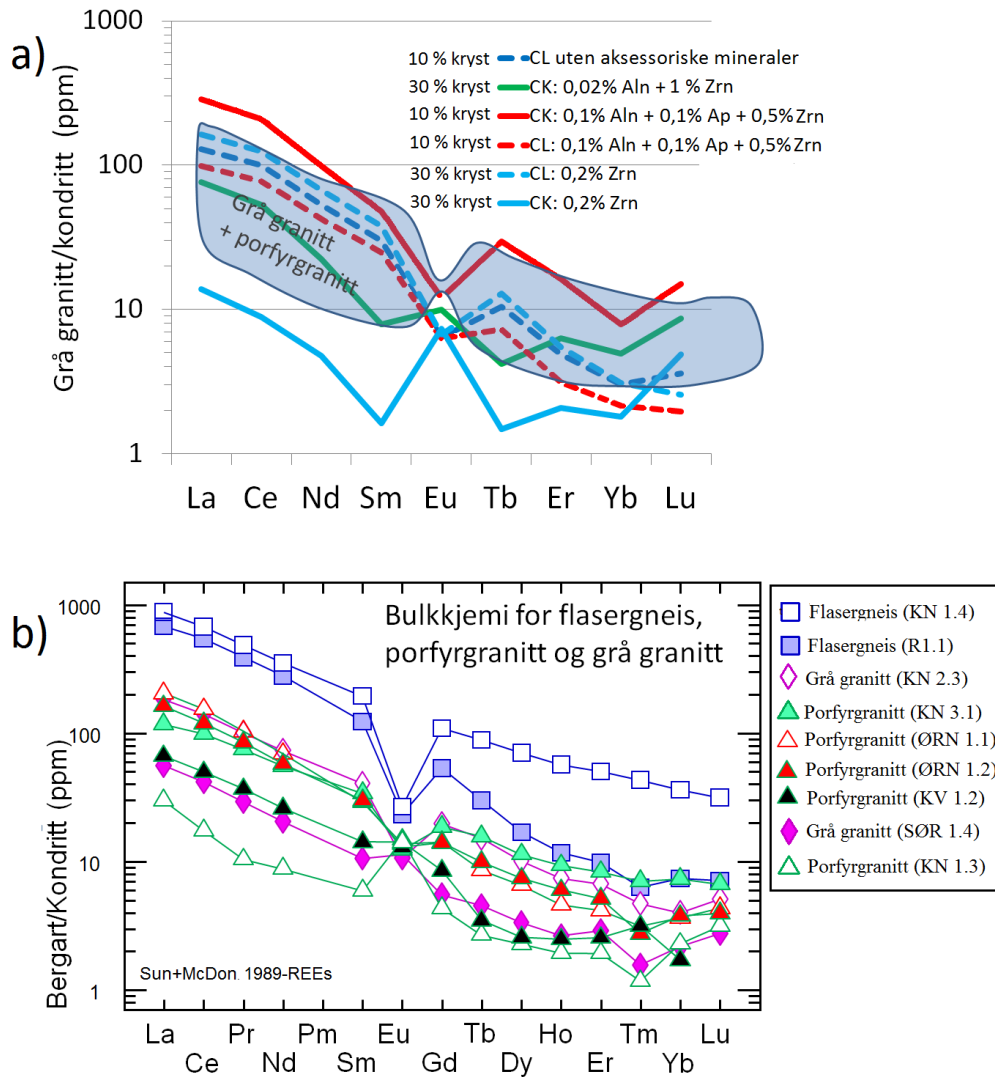
Modellene har litt større negativ Eu-anomali, ettersom Eu har partisjonskoeffisient på 3,5 i K-feltspat, noe som kan være litt for høyt. Eu-anomali i bergarten blir mest sannsynlig utlignet dersom både apatitt, allanitt og feltspat krystalliserer.

Flasergneisene som har de høyeste REE-konsentrasjonene kan eventuelt være kumulater som har krystallisert større mengder aksessoriske faser med lavere krystalliseringsgrad (10 %). Forskjellen i HREE for R1.1 og KN 1.4 kan også indikere at de tilhører samme krystalliseringssystem med en smeltefase, KN 1.4, og en tilhørende kumulatfase, R1.1, som ligner modellering av 0,1 % Aln, 0,1 % Ap og 0,5 % Zrn med 10 % krystalliseringsgrad (Figur 93).

Diskusjon



Figur 92 REE-modellering av smelte og kumulatfasene for ulike krystalliseringsgrad (10 og 30 %) av a) allanitt for ulike vekt % (0,1 og 0,2 %) b) Zirkon for ulike vekt % (0,1 og 0,5 %) (10 og 30 %) c) Apatitt for ulike vekt % (0,1 og 0,2 %) d) Hovedmineraler uten aksessoriske mineraler bestående av 5% Bt + 45% K-fsp + 40% Qz + 10% Plg. Enkelte elementer som Pr, Pm, Gd, Dy, Ho er utelatt fra modelleringen. Aksessoriske mineraler har utgangsmelte på 5% Bt + 45% K-fsp + 40% Qz + 9 - 9,8% Plg.



Figur 93a) REE-Modellering av ulike kumulat- og smeltefaser sammenlignet med bulkkjemi REE for porfyrogranitter og grå granitter for å vise effekten uten og med aksessoriske mineraler. Innhold av CO; 5 % Bt + 45 % K-fsp + 40 % Qz + 10 % Plg der innhold av Plg varierer i forhold til aksessoriske faser. Pr, Pm, Gd, Dy og Ho er utelatt i modelleringen b) REE-fordeling av bulkkjemi for alle prøvene (Sun and McDonough, 1989).

Source	Mahood & Hildreth (1983), High Silica Rhyolite	Bea (1994), Peraluminous granite	Bacon & Druitt (1988), Rhyolite				
Mineral	Allanite	Kfeldspar	Apatite	Biotite	Zirkon	Plag	Quartz
La	2362	0,111	456	0,06	1,3		0,3 0,0001
Ce	2063	0,095	569	0,05	2,04		0,22 0,0001
Nd	1400	0,093	855	0,08	3,35		0,19 0,0001
Sm	756	0,0458	1105	0,06	3,79		0,12 0,0001
Eu	100	3,5	23,8	0,05	0,45		2 0,0001
Tb	235	0,092	3643	0,18	24,8		0,14 0,0001
Er	130	0,058	4231	0,22	165		0,125 0,0001
Yb	24,5	0,024	2216	0,12	278		0,1 0,0001
Lu	22	0,07	2981	0,2	923		0,1 0,0001

Figur 94 Partisjonskoeffisienter brukt i modelleringen med oppgitt kilde og bergart.

Diskusjon

5.2 Molybdenitt

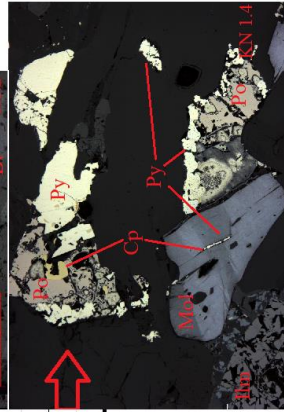
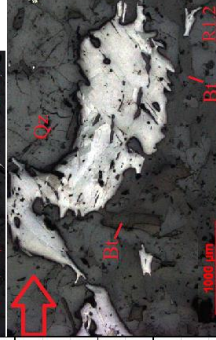
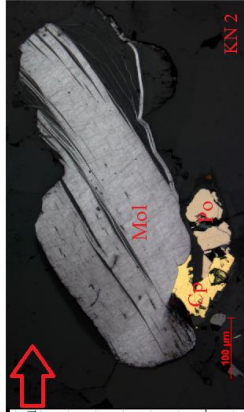
Molybdenitt er hovedsaklig disseminert i grå granitt, men er også grovkornet og som aggregater nær kontakten til porfyrgranitt. Aggregater av molybdenitt er tilknyttet pegmatitter og kvartsårer i flasergneis, porfyrgranitt, grå granitt og amfibolitt. Molybdenitt er også tilknyttet trykkskygger sammen med biotitt i forbindelse med pegmatitter på Kvina.

På tross av at molybdenitt opptrer som ulike typer mineraliseringer på Knaben, er de alle knyttet til magmatisk kvarts (Müller et al., 2015). Både kvarts i grå granitt, i årer og pegmatitter langs foliasjonen i samtlige litologier, har alle væskeinnslutninger av magmatisk opprinnelse.

viser en oppsummering av de ulike mineraliseringene sammen med utvalgte geokjemiske data og andre mineralselskap. Mineralogien i grå granitt og porfyrgranitt viser lite tegn til senere deformasjonsprosesser, foruten om klorittisering av biotitt som kan indikere omvandling i forbindelse med lav-moderat temperatur. Dette kan ha vært en konsekvens av senere påvirkning fra den kaledonske fjellkjeden eller i forbindelse med kvarts- og pegmatittdannelsene i foliasjonsplanet. I samtlige prøver har kvarts typiske teksturer som kjennetegner «high-temperature grain boundary migration recrystallisation» (GMB) som dannes under høyere temperaturer. Molybdenitt ligger ofte sammen med biotitt, klorittisert biotitt, muskovitt, og magnetitt. Videre i diskusjonen diskuteres ulike modeller for molybdenittens opprinnelse, med vekt på litteratur-eksempler og resultater.

Oppsummeringstabell for ulike mineraliseringer

Type mineralisering	Bergart	Lokalitet	Mineralogi (assemblages)	gjen. Mo %	Re ppm	W ppm	Se ppm	
Disseminert	Grå granitt							
	KN 2	Knaben 2	Muskovitt, kloritt, kobberkis, svovelkis, serisitt	57,9	1,2	34,8	186,6	
	KN 24	Knaben 2	Ilmenitt, magnetkis, kobberkis, kloritt	59,7	1,6	18,6	179,3	
	KN 2.3	Knaben 2	Svovelkis, kobberkis, biotitt	60,7	15,6	18,8	252,9	
	KN 19	Knaben 2	Kloritt, kobberkis, Kvarst, kobberkis, biotitt	59,4	1,0	119,7	176,0	
SØR 1.4	Skjerp sør Knaben 2		61,4	4,5	11,7	181,3		
		<i>Total gjennomsnitt</i>		59,8	4,3	54,4	192,5	
		<i>Total standardavvik</i>		1,2	8,5	71,5	46,4	
Pegmatitt/kvartsåre	Porfyrgranitt							
	KV 1.2	Kvina	Kobberkis, svovelkis, kloritt, muskovitt, serisitt	60,6	1,5	36,5	134,8	
	ØRN 1.1	Ørnehommen	Kobberkis, svovelkis, magnetitt, biotitt	61	6,4	8,7	19,1	
	KN 3.1	Sør for Knaben 3	Kobberkis, svovelkis, magnetitt, ilmenitt, biotitt	58,1	4,1	7,3	222,5	
	KN 1.3	Knaben 1	Biotitt, magnetitt, kvarts	60,6	1,2	210,3	122,2	
		<i>Total gjennomsnitt</i>		60,1	3,5	36,2	130,9	
		<i>Total standardavvik</i>		1,2	3,4	82,2	79,5	
Pegmatitt/kvartsåre	Amfibolitt							
	R1.2	Øvre Roma nord	Kvarts, biotitt, svovelkis	59,9	2,9	80,7	280,6	
	KN 14-A	Øvre Roma nord	Biotitt, kvarts	59,1	5,9	320,4	264,4	
			<i>Total gjennomsnitt</i>		59,5	5,1	255,0	268,8
			<i>Total standardavvik</i>		0,4	2,9	114,4	21,4
Pegmatitt/kvartsåre	Flasergneis granitt							
	KN 1.4	Synnøve gruve	Biotitt, ilmenitt, magnetitt, kobberkis, svovelkis, magnetkis	60,5	18,1	113,2	133,3	
	KN 1.1	Knaben 1	Kvarts	59,5	5,4	72,2	218,7	
	R1.1	Øvre roma nord	Kvarts	58,9	2,3	44,3	280,6	
			<i>Total gjennomsnitt</i>		59,6	8,1	63,5	70,2
		<i>Total standardavvik</i>		0,7	7,7	75,9	212,0	



Figur 95 Oppsummering over ulike molybdenittmineraliseringer med geokjemiske data, gjennomsnittlig Mo %, Re, W, Se (ppm) samt standardavvik. Mineraler knyttet til molybdenitt er dokumentert og som regel er alle krystallisert i korngrenser til kvarts og feltspat.

Diskusjon

5.3 Mo-forekomst gjennom delvis oppsmelting av flasergneis

Leake (1972) og Lysberg (1976) og gjerne Bingen et al. (2014) støtter seg mer eller mindre til tanken om flasergneis som Mo-kilden. For å diskutere flasergneis som hovedkilde til Mo, er det nødvendig å gå lengre tilbake i tid før Sirdalsbeltet intruderte. Stort sett karakteriseres den nordlige delen av Sirdalsbeltet av xenolitter av metavulkanitter datert til 1500 Ma. Den sørlige delen av Sirdalsbeltet har yngre xenolitter som flasergneiser og amfibolitter (1250 Ma) og det er kun denne delen som har N-S gående soner av molybdenittmineralisering (Figur 3 fra introduksjon). Det kan bety at flasergneis og eventuelt amfibolitter har spilt en rolle i dannelsen av molybdenittmineraliseringer, enten om de er kilden til Mo, eller har bidratt på annet vis med S eller reduserende agenter. Det kan derfor tenkes at det var en lokal Mo-rik nedre eller midtre skorpe som ble oppsmeltet og dannet flasergneis og amfibolitter, mens et par hundre millioner år tidligere, lengre nord i Sirdalsbeltet, ble Mo-fattig nedre/midtre skorpe oppsmeltet og dannet metavulkanitter. Det er ikke utenkelig at da Sirdalsbeltet intruderte, ble flasergneis og amfibolitt assimilert sammen med porfyrgranittiske smelter og det ble dannet ny smelte, en molybdenførende mediumkornet granitt (grå granitt). Dersom flasergneis er kilden til Mo, kan muligens Mo også ha vært sporelementer i andre mineraler. Mo er kompatibel i biotitt og jernrike faser (Nash and Crecraft, 1985, Bea et al., 1994), og i molybdenittførende aplitter nord i Sverige, er biotitt er en av hovedbærene av Mo (Öhlander, 1985). Molybdenitt fra Knaben er ofte sett sammen med biotitt og klorittisert biotitt og muskovitt fra mikroskopiske observasjoner. Dokumentasjon av biotitt- og muskovitt-sammensetning ved bruk av SEM i molybdenittkløv, kan også peke mot en sammenheng mellom Mo og glimmer. Det er derfor ikke usannsynlig at biotitt har vært en molybdenbærende fase og friggitt Mo som kan ha utfelt molybdenitt i lag med svovel. Mo har også høye fordelingskoeffisienter i magnetitt (29) og ilmenitt (11) (Mahood and Hildreth, 1983), som også kan ha vært Mo-bærende faser i flasergneis. I det fleste bergartene ligger ofte pseudomorf magnetitt og ilmenitt sammen med molybdenitt, og ser som regel nedbrutt ut. Molybdenitt og svovelkis og tildels kobberkis, er mer idiomorf og kan derfor anta at disse er stabile faser og muligens de siste krystalliserende fasene. Dette kan peke på ett av Bingen et al. (2014) sine forslag om sporelement av Mo i biotitt, ilmenitt og magnetitt tilhørende flasergneis, men det er vanskelig å si om dette er kilden. Mikrosondedata av svovelkis, kobberkis og magnetkis fra porfyrgranitt, grå granitt og flasergneis viser i underkant av 0,6 % Mo. Så det er mulig at Mo er sporelement i flere faser og kan ha blitt utfelt der det har vært riktige forhold. Om flasergneis er Mo-kilden, skulle det mulig forventes lavere Mo-innhold i sulfidene i flasergneis, i forhold til de andre sulfidene i de andre bergartene. Mulig Mo-

innholdet i sulfidene kan skille mellom eldre sulfidfaser i bergartene og yngre sulfidfaser knyttet til kvartsårer og pegmatitter. Det forventes gjerne mindre Mo-innhold i eldre sulfidfaser, i forhold til yngre faser som krystalliserte på samme tidspunkt som molybdenitt, og ville kunne ta til seg noe Mo. Ved oppsmelting av flasergneis, ville Mo blitt frigitt og oppført seg som et inkompatibelt element som ble oppkonsentrert i smelten, og senere i møte med S, ha krystallisert molybdenitt. REE-fordelingen hos apatitt i grå granitt har også mer fellestrekk i REE-fordelingen til apatitt i flasergneis, enn i apatitt i porfyrgranitt. 6 av 8 prøver fra apatitt fra porfyrgranitt skiller seg ut fra karaktertrekkene til grå granitt, flasergneis og amfibolitt, som har flat LREE og svak negativ trend i HREE. Det kan ikke utelukkes at grå granitt kan representere en blanding av assimilert flasergneis og til dels porfyrgranitt i det grå granitt har likheter i LREE-fordeling til porfyrgranitt (KV1.2).

5.4 Magmatisk Mo-forekomst med opprinnelse fra porfyrgranitt

Brøgger (1918) beskriver den disseminerte Mo-rike granitten som en enorm, flytende slire fra den opprinnelige, mer størknede granitten, som kan henvises til porfyrgranitt. Granitter med disseminert molybdenitt er en av de mest utviklede granittene på Knaben som kan representere de siste fraksjonerte smeltene tilhørende porfyrgranitt (Stormoen, 2015). Relativ alder tilsier at grå granitt er yngre enn porfyrgranitten ettersom xenolitt av porfyrgranitt i grå granitt er observert underjord på Knaben 2. En modell laget av Stormoen (2015), foreslår en strukturkontrollerende deformasjon knyttet til skjærsoner i eldre bergarter (flasergneis og amfibolitt), som kan ha gagnet økt fraksjonering i porfyrgranittsmelten der grå granitt ble dannet som siste smelte. Som siste smelte vil den sannsynlig inneholde inkompatible elementer, der molybdenitt utfelles direkte fra silikatsmelten. En silikatsmelte med tilsvarende høy løslighet av Mo som grå granitt, som kan oppnå Mo-konsentrasjoner på over 1000 ppm, må sannsynligvis preges av høy oksygenfugasitet ($> -9,5 \log fO_2$ ved 1400 °C og trykk uavhengig) og lavere temperaturer. Dette er høyere oksidasjonsfugasitet enn hva FMQ-buffer viser. Om smelten har hatt lavere oksygenfugasitet ville den nok ha utfelt molybdenitt lenge før silikatsmelten oppnådde tilsvarende høye konsentrasjoner slik som grå granitt. Krystallisasjonstemperatur for kvarts i grå granitt er estimert til 733 ± 21 °C, og pegmatitter og kvartsårer til 714 ± 46 °C (Müller et al., 2015), så antagelvis har molybdenitt krystallisert i samme temperatursjikt. Selvom dette er lavere temperaturer, som vil favorisere høyere Mo-løslighet, må likevel Mo-løsligheten i grå granitt ha vært rimelig høy, og mulig høye trykktilstander slik som på Knaben (4 kbar) kan ha vært gunstig for høy Mo-løsligheten.

Diskusjon

Porfyrgranitt viser generelt over 10 ganger høyere magnetisk suseptibilitet enn grå granitt, som indikerer mineraler som er mer magnetiske, typisk jernrike-oksider med lameller av andre jernrike oksider. Porfyrgranitt inneholder en del grovkornet magnetitt og ilmenitt, som typisk er stabile under oksiderende forhold. Magnetitt og ilmenitt er som regel pseudomorfe, som kan tyde på at det ikke lengre er stabile og i de fleste tilfeller er erstattet av molybdenitt, kobberkis og svovelkis. Dette kan indikere at oksidene har dominert porfyrgranittiske smelter, som nettopp har evnen til å oppnå høy Mo-løslighet. Reduserende forhold, enten fra S, CO₂-rike fluider eller andre reduserende agenter, må ha vært en betingelse for at smelten kunne utfelle molybdenitt, som nettopp Brøgger (1918). Dette kan tenkes å ha foregått i det porfyrgranitter intruderte i flasergneis og amfibolitt som fungerte som feller for mineraliseringen, der S gjerne har diffundert fra sidebergarten. Fra et geografisk perspektiv er det ikke usannsynlig at de xenolitiske bergartene (flasergneis og amfibolitt) kan ha spilt en rolle i denne sammenhengen. Det er lite sulfider til stede i amfibolitt (KN 14-A og R 1.2), men store mengder sulfider i flasergneis (KN 1.4 og KN1.1) som kan indikere at flasergneis er mer reduserende. Det bekreftes lavere susceptibilitetsmålinger i mineraliserte årer og bergarter som tyder på at disse er mindre magnetiske.

5.5 Pegmatitt og kvartsåre-relatert molybdenittmineralisering

Mikrosondedata fra porfyrgranitt og særlig fra grå granitt, viser høye verdier av F i apatitt, og i flere tilfeller er apatittene mettet på F. Dette kan være en indikasjon på at det har vært en fri vannfase til stede i smelten, ettersom Cl/F så vel som OH/F i apatitt minker drastisk om vannrike fluider er til stede (Candela, 1986). Müller et al. (2015) har bekreftet magmatiske væskeinnslutninger i kvarts fra mineraliserte og umineraliserte bergarter. Kun senere sprekker i Nedre Roma gruen og nord for Smalavatn i mindre kobberskjerp finnes hydrotermal kvarts. Dette betyr at det har vært fluider sammen med smeltene, som trolig har tatt til seg mer Cl og fjernet OH fra apatitt. Mest sannsynlig har ikke fluidene hatt noe med krystallisering av disseminert molybdenitt, og forsvunnet ut av smelten gjennom lettest mulig måte, langs kontaktsoner til flasergneis, porfyrgranitt og amfibolitt. Fluidene har nok så sikkert fraktet med seg molybdenitt, eller MoO₃ eller MoO₂(OH)₂, som deretter har krystallisert molybdenitt ved tilgjengelig svovel fra sidebergarter. Dette er tilsvarende tanke som Brøgger (1918) konkluderte med; ved økt krystallisering i smelten ble molybdenitt utfelt som lommer langs foliasjonsplanet da magmaet fortsatt var i bevegelse, og deretter utfelt sammen med kvarts i årer og langs sprekker. Feltobservasjon bekrefter diffuse kontakter i pegmatitter og kvartsårer

som ligger i foliasjonsretningen og de er ofte mineraliserte. Dette tyder på at fluider har gjennomstrømt duktile bergarter sammen med Mo, som også har krystallisert i årer og inn i sidebergartene (maks 1 m distanse fra pegmatitter og kvartsårer). Porfyrgranitt på Kvina og sør for Knaben 3 viser svovelrike kanaler langs kornrensere som tyder på at sulfidrike fluider har gjennomtrengt bergarten og tilført svovel og trolig felt ut molybdenitt. Leake mener at det heller var sirkulerende oksiderende fluider, som brøt ned magnetkis, og det ble dannet magnetitt, som frigjorde svovel som ble tilgjengelig i fluidene, som kunne utfelle molybdenitt der Mo var til stede i sidebergarten. I noen tilfeller i bergartene er magnetkis også pseudomorf, med svovelkis som påvekst, men er ikke så ofte representert som magnetitt. Det er mulig at begge to er ustabile faser, og ettersom det er færre magnetkis i forhold til magnetitt, kan det argumenteres at magnetitt har erstattet magnetkis, og samtidig eldre enn svovelkis, kobberkis og molybdenitt.

Diskusjon

5.6 Sporelementer i molybdenitt på Knaben

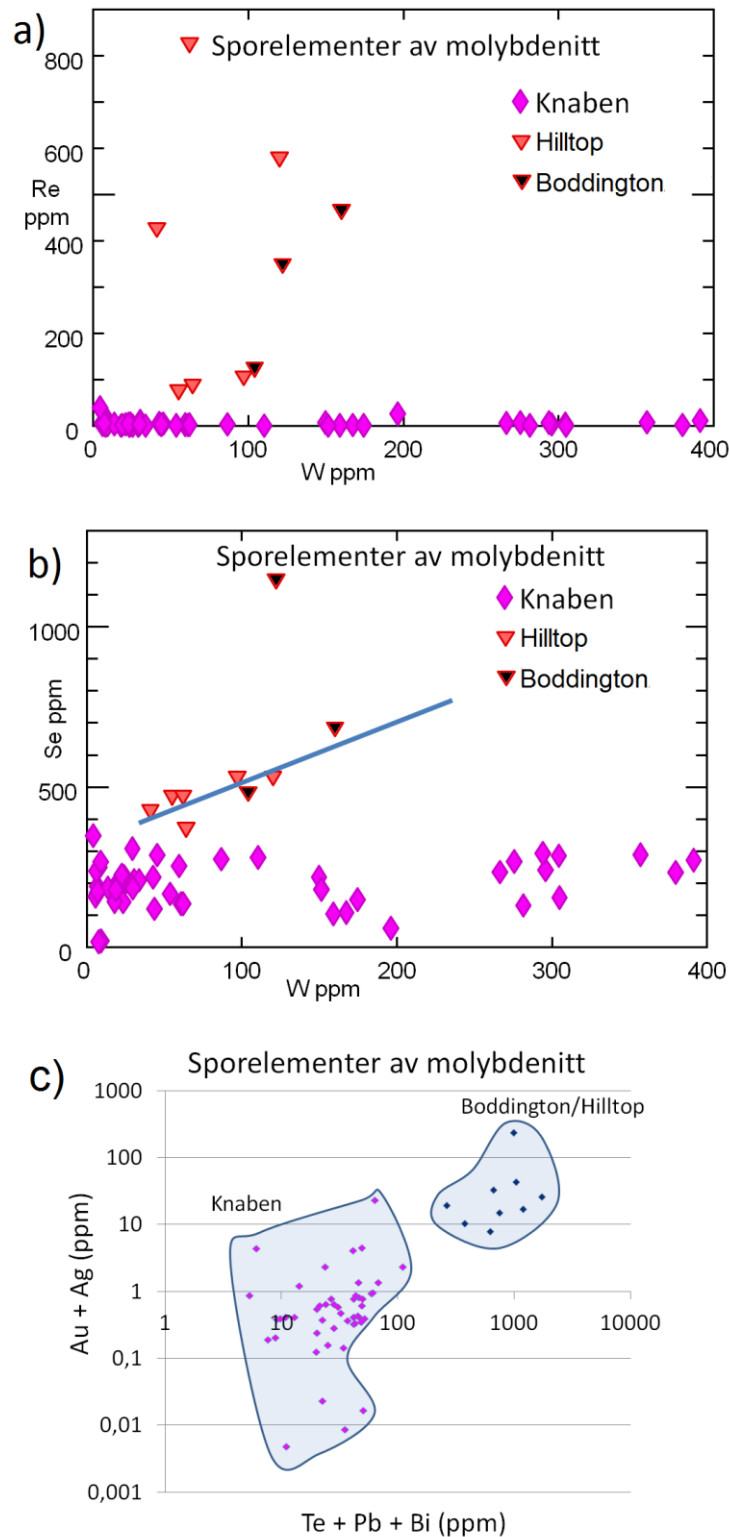
Laseranalysene av molybdenitt fra Knaben sammenlignes med molybdenitt som tilhører andre forekomstyper som epitermale, porfyrtypeforekomster og som både er preget av retrograd metamorfose «epitermal overprint» og omvandling. Eksempler er brukt fra Ciobanu et al. (2013) fra Hilltop i USA, Boddington i Australia og fra Graberzhev (2014) i Vosnesensk fra den sørlige delen av Uralkjeden i Russland. Molybdenitt fra Hilltop er forbundet med porfyrrelaterte kvartsårer (Kelson et al., 2008, Ciobanu et al., 2013) mens molybdenitt fra Boddington er assosiert med disseminert og Cu-Au mineralisering i skjærsoner, forkastninger og omvandlede bergarter (dominerende dioritt). Forekomsten er både foreslått som porfyrtype og anorogenisk Au-system (Ciobanu et al., 2013), mens molybdenitt fra Vosnesensk tilhører Cu± (Au, Mo) porfyrforekomster. Molybdenitt fra Boddington og Hilltop har over 100 ppm Re og molybdenitt fra Vosnesensk har 1000 – 1500 ppm Re. Molybdenitt på Knaben har gjennomsnittlig 5 ppm Re og maksimum 38 ppm. «Basert på Re-konsentrasjoner; har vanligvis orogene og granitt-relaterte systemer Re < 1 til få ppm, mens porfyrforekomster har hundrevis av ppm» (Ciobanu et al., 2013). Re/Mo-forholdet i molybdenitt er ofte høyere i Cu-Au forekomster, og Mo-dominerende mineraliserte systemer er genetisk relatert til mer utviklede granitter (Panagiotis et al., 2013). Panagiotis et al. (2013) påstår at Re-konsentrasjonen i molybdenitt minker jo lengre fra mantelkilden forekomsten er, og jo høyere grad av fraksjonering når det kommer til granitoid-vertsforekomster. Grå granitt representerer en mer utviklet smelte med generelt lavt innhold av Re i molybdenitt, men viser ingen forskjell fra pegmatitt/kvartsåre-molybdenitt fra porfyrgranittene på Kvina, eller i andre kvartsårer. Dette kan hentyde at molybdenittene tilhører samme generasjon. Om man antar relativt høye oksidasjonsforhold i smelten for å oppnå Mo-løslighet på over 2000 ppm, ville man også forventet høyere Re i molybdenitt, ettersom løsligheten til ReO₂ er to størrelsesordener større enn ReS₂ (Wood Scott and Xiong, 2002). Re vil derfor ikke transporteres i reduserende, svovelrike fluider, men heller felles ut og lave Re-verdier (ppb) er vanlig i reduserte intrusjons-relaterte systemer (Voudouris et al., 2013). Molybdenitt fra Hilltop har sonerte Re-teksturer, med mindre konsentrasjon i kjerne av molybdenitt, enn ytterkant, der Re er anrikt i haloo rundt molybdenittkorn, som en konsekvens av epitermal overprint (Ciobanu et al., 2013). Molybdenitt fra Vosnesensk inneholder primære soneringer av Re i ulike konsentrasjoner parallelt til basalkløvet og har gjennomgått lav-temperatur post-krystalliseringsprosesser, men Re-mikroteksturene er upåvirket, selv under reduserende og lave pH-fluider (Grabezhev and Voudouris, 2015). Oppførsel av Re i molybdenitt er fortsatt ikke helt forstått og er i litteraturen beskrevet på mange ulike måter.

Sporelement av molybdenitt, W og Se

Sporelementanalyser av molybdenitt på Knaben viser relativt høye verdier av W i forhold til molybdenitt fra Hilltop. Molybdenitt fra Hilltop preges av haloo bestående av anrikning på Re, W, Pb, Te og Bi som et resultat av epitermal overprint (Ciobanu et al., 2013). Molybdenittene har høyest W-konsentrasjon i haloo, og rikere i kjerne fremfor ytterkanten. «Element mapping» av molybdenitter viser at ytterkanten har mer spredning i W, i forhold til kjernen og haloo. Det antas derfor at W blir remobilisert fra molybdenittens ytterkant til haloo som et resultat av epitermal overprint. Molybdenitt på Knaben viser ingen antydning til deformasjonsteksturer og har ingen haloo, verken i de eldre eller yngre bergartene på Knaben. Laseranalysene av molybdenitt kan peke på en sammenheng mellom Re og W, der molybdenitt som har høyere Re og ofte lavere W-innhold. Molybdenittkjernene fra Hilltop viser samme trend, der molybdenittkjerne har mindre Re og mer W enn ytterkant.

Mangel på definerte kant/kjerne-analyser for molybdenitter fra Knaben, gjør det vanskelig å bevise systematisk variasjon. Amfibolitt (KN 14-A) viser flere 100 ppm i forskjell i kjerne/kant (Figur 89), der 3 av 4 analyser viser at kjerne har høyere W og Re. Det kan tenkes at lavere verdier av W i kant i forhold til kjerne kan være en indikasjon på at det har vært oksiderende fluider til stede på Knaben etter molybdenitt var krystallisert, ettersom W er inkompatibel som oksiderende form. Forholdet mellom Se og W i molybdenitt fra Boddington og Hilltop er proporsjonale, men det er samtidig større forskjell mellom kjerne og haloo i W, enn for Se. Det betyr at W blir lettere remobilisert under slike tilstander. **Error! Reference source not found.** viser forholdet mellom Se og W for Boddington/Hilltop og Knaben. Når det gjelder Se, har grå granitt mindre spredning av Se enn flasergneis og porfyrgranitt. Større variasjon av Se i pegmatitt/kvarts-molybdenitt tilhørende porfyrgranitt, amfibolitt og flasergneis, kan skyldes substitusjon av S, der Se^{2-} har erstattet S^{2-} i svovelrike fluider. Haloo i molybdenitt fra Hilltop er rikere på Pb, Te og Bi enn i kant og kjerne, og viser korrelasjon mellom disse og Au + Ag (**Error! Reference source not found.**). I følge Ciobanu et al. (2013) har Pb, Te og Bi en tendens til å tiltrekke Au og Ag og anrikes i kløv og kinkbanding i molybdenitt. Molybdenitt fra Knaben er vist i samme diagram, og har mye lavere verdier av de samme sporelementene, men følger mer eller mindre samme trend (**Error! Reference source not found.**). Molybdenittkløv fra Knaben viser derimot biotitt/muskovitt-rike og svovelkis/kobberkis-rike sammensetninger.

Diskusjon



Figur 96a) Viser forholdet mellom gjennomsnittlig Se og W i ppm i «epitermal overprint»-molybdenitt fra Boddington, Hilltop og Knaben. Linje er markert uten statistisk tilnærming, for å illustre sammenhengen mellom Se og W for Boddington og Hilltop b) Gjennomsnittlig Re og W i ppm i epitermal overprint-molybdenitt fra Boddington, Hilltop og Knaben c) Gjennomsnittlig Te + Bi + Pb (ppm) og Au og Ag (ppm) fra Boddington, Hilltop og Knaben.

6 Konklusjon og fremtidig arbeid

6.1 Konklusjon

- Disseminert molybdenitt er hovedsakelig finkornet i leukokratisk mediumkornet grainitt (grå granitt), men også grovkornet i form av aggregater som finnes langs kontaktsoner til porfyrgranitt. Aggregater av molybdenitt er særlig tilknyttet pegmatitter og kvartsårer i foliasjonen til flasergneis, porfyrgranitt, grå granitt og amfibolitt. Molybdenitt er også tilknyttet trykkskygger sammen med biotitt i forbindelse med pegmatitter på Kvina. Mesteparten av aggregatene ligger orienterte i korngrensene til fenokrystaller av kvarts og feltspat i kontakten til sidebergaten. Disse har ofte inklusjoner av kobberkis eller svovelkis som kan indikere at det må ha vært redusert svovel tilgjengelig til krystallisasjon av molybdenitt. Nært kvartsårer ligger molybdenitt ofte sammen med glimmer, kloritt, oksider og sulfider, med biotitt og klorittrike kløv i molybdenitt. Mikroskopiske observasjoner tyder på at magnetitt er en av de eldste fasene i bergartene.
- I den sørlige delen av Sirdalsbeltet har porfyrgranittisk smelte intrudert foliasjonsplan hos flasergneis og amfibolitt som er orientert SØ til NV, og her representerer kontaktsoner til porfyrgranitt (Coint et al., 2015, Stormoen, 2015). Porfyrgranitt har derfor en svak til moderat foliasjon karakterisert av parallelle elongerte fenokrystaller av feltspat som følge av submagmatisk «flow»-deformasjon gjennom strukturkontrollerende betingelser. Det er sannsynlig at flasergneis har spilt en rolle i forbindelse med molybdenittforekomstene på Knaben, enten er disse kilden til S eller Mo eller en kombinasjon. Grå granitter er geografisk begrenset til xenolitt-rike områder (flasergneis og amfibolitt). Bulkkjemi kan tilsi at grå granitt representerer en mer fraksjonert smelte derivert fra porfyrgranitt. Smelten tilhørende grå granitt kan være en kombinasjon av assimilert flasergneis og den porfyrgranittiske smelte. Dette underbygges av REE-fordelingen til apatitt, i det apatitt i den grå granitt har fellestrekk med REE-fordelingen til apatitt i flasergneis, men avviker fra apatitt i porfyrgranitt der LREE viser positiv trend. Sporelementer av molybdenitt fra Knaben inneholder i underkant av 40 ppm Re, 400 ppm W og 400 ppm av Se. Molybdenitt tilhørende kvartsårer og pegmatitter har mer spredning i Se, i forhold til grå granitt,

men det er vanskelig å si noe om fordelingen i kornet. Væskeinnslutninger i kvarts og lave Cl/F- og OH/F-forhold i apatitt kan bekrefte at det har vært hydrotermale fluider til stede i smelten til den grå granitt. Likevel virker det sannsynlig at disse ikke var involvert i molybdenittdannelsen ettersom det er observert få væskeinnslutninger i grå granitt, der gjerne mesteparten av fluidene har blitt separert fra smelten, uten å ha utvasket smelten for Mo. Foliassjonsparallele og horisontale kvartsårer og pegmatitter i de andre bergartene kan representere siste krystalliserte smelter fra den disseminerte Mo-rike smelten som har brakt med seg Mo eller molybdenitt. Smelten med disseminert molybdenitt må ha hatt en vesentlig Mo-løslighet og må nødvendigvis ha vært preget av lavere temperaturer og høye oksidasjonsforhold (> FMQ buffer) da molybdenitt ellers vil krystallisere.

6.2 Fremtidig arbeid

- For å finne mer ut om Mo-kilden ville det vært gunstig få å analysert sporelementer i de ulike jernrike fasene som biotitt, magnetitt og ilmenitt både i porfyrgranitt og flasergneis. Det kan tenkes at Mo har inngått i flere faser.
- Smelten tilhørende disseminert molybdenitt må ha gjennomgått et skifte fra høye til lave oksidasjonsforhold, og ved å estimere et oksygenfugasitets-diagram for bergartene, kunne dette hjelpet for å få bedre forståelse for oksygenforholdene på Knaben.
- Utførelse av laserablasjon i molybdenitt gjør det vanskelig å skille mellom kant- og kjerneanalyser, og særlig når de er finkornet. Det er også høy sannsynlighet for å abladere korn som ligger under ønsket korn. Et forslag er å bruke «element mapping» for å få et bedre inntrykk av fordelingen av sporelementene og finne ut om det er systematisk variasjon i kjerne og kant.

7 Referanser

- ALLMENDINGER, R. 2009. *Geological Sciences at Cornell* [Online]. Cornell University. Tilgjengelig: <http://www.geo.cornell.edu/geology/classes/Geo656/656notes09/?C=N;O=A> [Hentet 01.02 2015].
- ALS. Tilgjengelig: <http://www.alsglobal.com/Our-Services/Minerals/Geochemistry/Downloads> [Hentet 07.05 2015].
- ANDERSEN, T., GRAHAM, S. & SYLVESTER, A. G. 2007. Timing and tectonic significance of Sveconorwegian A-type granitic magmatism in Telemark, southern Norway: New results from laser-ablation ICPMS U-Pb dating of zircon. *Norges geologiske undersøkelse Bulletin*, 447, 17-31.
- ASTIMEX. *Astimex Microanalysis Standards* [Online]. Tilgjengelig: <http://astimex.com/index.html> [Hentet 07.05 2015].
- AUDÉTAT, A. 2010. Source and evolution of molybdenum in the porphyry Mo(-Nb) deposit at Cave Peak, Texas. *Journal of Petrology*, 51, 1739-1760.
- AUDÉTAT, A., DOLEJŠ, D. & LOWENSTERN, J. B. 2011. Molybdenite saturation in silicic magmas: occurrence and petrological implications. *Journal of Petrology*, egr008.
- BEA, F., PEREIRA, M. D. & STROH, A. 1994. Mineral/leucosome trace-element partitioning in a peraluminous migmatite (a laser ablation-ICP-MS study). *Chemical Geology*, 117, 291-312.
- BINGEN, B., CORFU, F., STEIN, H. J. & WHITEHOUSE, M. J. 2014. U-Pb geochronology of the syn-orogenic Knaben molybdenum deposits, Sveconorwegian Orogen, Norway. *Geological Magazine*, 1-20.
- BINGEN, B., CORFU, F., STEIN, H. J. & WHITEHOUSE, M. J. 2015. U-Pb geochronology of the syn-orogenic Knaben molybdenum deposits, Sveconorwegian Orogen, Norway. *Geological Magazine*, 1-20.
- BINGEN, B., ENGVIK, A. K., SKÅR, Ø., NORDGULEN, Ø., DAVIS, W. J., HAMILTON, M. A. & STEIN, H. J. 2008. Geochronology of high-grade metamorphism in the Sveconorwegian belt, S. Norway: U-Pb, Th-Pb and Re-Os data. *Norsk Geologisk Tidsskrift*, 88, 13-42.
- BINGEN, B., MANSFELD, J., SIGMOND, E. M. & STEIN, H. 2002. Baltica-Laurentia link during the Mesoproterozoic: 1.27 Ga development of continental basins in the Sveconorwegian Orogen, southern Norway. *Canadian Journal of Earth Sciences*, 39, 1425-1440.
- BINGEN, B., SKÅR, Ø., MARKER, M., SIGMOND, E. M., NORDGULEN, Ø., RAGNHILDSTVEIT, J., MANSFELD, J., TUCKER, R. D. & LIÉGEOIS, J.-P. 2005. Timing of continental building in the Sveconorwegian orogen, SW Scandinavia. *Norwegian Journal of Geology*, 85, 87-116.
- BINGEN, B., STEIN, H. J., BOGAERTS, M., BOLLE, O. & MANSFELD, J. 2006. Molybdenite Re-Os dating constrains gravitational collapse of the Sveconorwegian orogen, SW Scandinavia. *Lithos*, 87, 328-346.
- BLEVIN, P. L. & CHAPPELL, B. W. 1992. The role of magma sources, oxidation states and fractionation in determining the granite metallogeny of eastern Australia. *Transactions of the Royal Society of Edinburgh: Earth Sciences*, 83, 305-316.
- BREWER, T., AHALL, K. I., MENUGE, J., STOREY, C. D. & PARRISH, R. 2004. Mesoproterozoic bimodal volcanism in SW Norway, evidence for recurring pre-Sveconorwegian continental margin tectonism. *Precambrian Res.*, 134, 249-273.
- BRØGGER, W. C. 1918. "Brøggers brev". Bergen.
- BUGGE, A. 1963. *Norges molybdenforekomster*, Universitetsforlaget.
- BYBEE, G., ASHWAL, L., SHIREY, S., HORAN, M., MOCK, T. & ANDERSEN, T. 2014. Pyroxene megacrysts in Proterozoic anorthosites: implications for tectonic setting, magma source and magmatic processes at the Moho. *Earth and Planetary Science Letters*, 389, 74-85.
- CAMERON, E. N. 1993. *Ore geology and industrial minerals: An introduction*: 3rd ed., by Anthony M. Evans. Pergamon Press, 1993, x + 390p., £22.50 (ISBN 0-632-02953-6).

- CANDELA, P. 1989. Magmatic ore-forming fluids: thermodynamic and mass transfer calculations of metal concentrations. *Reviews in Economic Geology*, 4, 203-221.
- CANDELA, P. A. 1986. Toward a thermodynamic model for the halogens in magmatic systems: An application to melt-vapor-apatite equilibria. *Chemical Geology*, 57, 289-301.
- CANDELA, P. A. & HOLLAND, H. D. 1984. The partitioning of copper and molybdenum between silicate melts and aqueous fluids. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48, 373-380.
- CHAPPELL, B. & WHITE, A. 2001. Two contrasting granite types: 25 years later. *Aust. J. Earth Sci.*, 48, 489-499.
- CHEN, G.-N. & GRAPES, R. 2007. *Granite Genesis: In Situ Melting and Crustal Evolution*, Dordrecht, Springer Netherlands: Dordrecht.
- CIOBANU, C. L., COOK, N. J., KELSON, C. R., GUERIN, R., KALLESKE, N. & DANYUSHEVSKY, L. 2013a. Trace element heterogeneity in molybdenite fingerprints stages of mineralization. *Chemical Geology*, 347, 175.
- COINT, N., SLAGSTAD, T., ROBERTS, N. M. W., RØHR, T., MARKER, M. & SØRENSEN, B. E. 2015. The late Mesoproterozoic Sirdal Magmatic Belt, SW Norway; relationships between magmatism and metamorphism and implications for Sveconorwegian orogenesis. *Norges Geologiske Undersøkelse*.
- FROST, B. R., BARNES, C. G., COLLINS, W. J., ARCULUS, R. J., ELLIS, D. J. & FROST, C. D. 2001. A geochemical classification for granitic rocks. *Journal of petrology*, 42, 2033-2048.
- GLITTER. Tilgjengelig: <http://www.glitter-gemoc.com/> [Hentet 11.05 2015].
- GOLDSCHMIDT, V. M. 1937. The principles of distribution of chemical elements in minerals and rocks. The seventh Hugo Müller Lecture, delivered before the Chemical Society on March 17th, 1937. *Journal of the Chemical Society (Resumed)*, 655-673.
- GRABEZHEV, A. I. & VOUDOURIS, P. C. 2015. RHENIUM DISTRIBUTION IN MOLYBDENITE FROM THE VOSNESENSK PORPHYRY Cu±(Mo, Au) DEPOSIT (SOUTHERN URALS, RUSSIA). *The Canadian Mineralogist*, canmin. 1300048.
- HAWTHORNE, F. C., AND OBERTI, R 2007. *Classification of the amphiboles*.
- HOLZHEID, A., BORISOV, A. & PALME, H. 1994. The effect of oxygen fugacity and temperature on solubilities of nickel, cobalt, and molybdenum in silicate melts. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 58, 1975-1981.
- ISHIHARA, S. 1981. The granitoid series and mineralization. *Econ. Geol. 75th Anniv. Vol.*, 458-484.
- ISHIHARA, S. 1988. The magnetite-series and ilmenite-series granitic rocks *Mining Geol. (Japan)*.
- ISUK, E. E. & CARMAN, J. H. 1981. The system Na₂Si₂O₅-K₂Si₂O₅-MoS₂-H₂O with implications for molybdenum transport in silicate melts. *Economic Geology*, 76, 2222-2235.
- KARLSTROM, K. E., ÅHÄLL, K.-I., HARLAN, S. S., WILLIAMS, M. L., MCLELLAND, J. & GEISSMAN, J. W. 2001. Long-lived (1.8–1.0 Ga) convergent orogen in southern Laurentia, its extensions to Australia and Baltica, and implications for refining Rodinia. *Precambrian Research*, 111, 5-30.
- KELSON, C. R., CROWE, D. E. & STEIN, H. J. 2008. Geochemical and geochronological constraints on mineralization within the Hilltop, Lewis, and Bullion mining districts, Battle Mountain-Eureka Trend, Nevada. *Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists*, 103, 1483-1506.
- KORJA, A., LAHTINEN, R. & NIRONEN, M. 2006. The Svecofennian orogen: a collage of microcontinents and island arcs. *Geological Society, London, Memoirs*, 32, 561-578.
- KULA C, M. 2000. *Understanding Mineral Deposits*.
- LAHTINEN, R., KORJA, A., NIRONEN, M. & HEIKKINEN, P. 2009. Palaeoproterozoic accretionary processes in Fennoscandia. *Geological Society, London, Special Publications*, 318, 237-256.
- LEAKE, R. C. 1972. *The geology and petrology of the pre-cambrian basement between Sirdal and Åseral, Vest Agder, Norway*. PhD, Durham.
- LIN, X. 2005. Study of the mechanism of hypothermal deposits: an example of major quartz reef tungsten deposits in north Guangdong. . *Ph.D. Thesis*. Department of Earth Sciences Sun Yat-sen University, Guangzhou, China.
- LONDON, D. & ČERNÝ, P. 2008. *Pegmatites*, Mineralogical Association of Canada Ottawa, Canada.

- LOWELL, J. D. & GUILBERT, J. M. 1970. Lateral and vertical alteration-mineralization zoning in porphyry ore deposits. *Economic Geology*, 65, 373-408.
- LOWENSTERN, J., MAHOOD, G., HERVIG, R. & SPARKS, J. 1993. The occurrence and distribution of Mo and molybdenite in unaltered peralkaline rhyolites from Pantelleria, Italy. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 114, 119-129.
- LYSBERG, B. 1976. *Geologi og mineralisering ved Knaben molybdengruber*. Masteroppgave, Universitet i Bergen.
- MAHOOD, G. & HILDRETH, W. 1983. Large partition coefficients for trace elements in high-silica rhyolites. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 47, 11-30.
- MANIAR, P. D. & PICCOLI, P. M. 1989. Tectonic discrimination of granitoids. *Geological society of America bulletin*, 101, 635-643.
- MASON, R. A. 1992. Models of order and iron-fluorine avoidance in biotite.
- MCINTIRE, W. 1963. Trace element partition coefficients—a review of theory and applications to geology. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 27, 1209-1264.
- MÜLLER, A., HENDERSON, I., JOURDAN, C. & SLAGSTAD, T. 2015. Mineralization styles and quartz chemistries of the Knaben molybdenum deposits, southern Norway. Geological Survey of Norway
- NASH, W. P. & CRECRAFT, H. R. 1985. Partition coefficients for trace elements in silicic magmas. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 49, 2309-2322.
- NGU. 2013. Norges Geologiske Undersøkelse. Tilgjengelig: http://aps.ngu.no/pls/oradb/minres_deposit_fakta.Main?p_objid=5072&p_spraak=N [Hentet 2015 13.05].
- NTNU.NO. 2015. Tilgjengelig: <http://www.material.ntnu.no/lab/material/equipment/ProdInfoEPMA.pdf> [Hentet 07.05 2015].
- PANAGIOTIS, V., VASILIOS, M., PAUL, G. S., LUCA, B., ROBERT, M., MELISSA, O. & TAMARA, K. 2013. Extremely Re-Rich Molybdenite from Porphyry Cu-Mo-Au Prospects in Northeastern Greece: Mode of Occurrence, Causes of Enrichment, and Implications for Gold Exploration. *Minerals*, 3, 165.
- PEARCE, N. J. G., PERKINS, W. T., WESTGATE, J. A., GORTON, M. P., JACKSON, S. E., NEAL, C. R. & CHENERY, S. P. 1997. A Compilation of New and Published Major and Trace Element Data for NIST SRM 610 and NIST SRM 612 Glass Reference Materials. *Geostandards Newsletter*, 21, 115-144.
- PEDERSEN, S., ANDERSEN, T., KONNERUP-MADSEN, J. & GRIFFIN, W. L. 2009. Recurrent mesoproterozoic continental magmatism in South-Central Norway. *International Journal of Earth Sciences*, 98, 1151-1171.
- PIRAJNO, F. 2009. *Hydrothermal processes associated with meteorite impacts*, Springer.
- RAGLAND, P. C. 1989. *Basic analytical petrology*, Oxford University Press New York.
- ROBB, L. 2005. *Introduction to ore-forming processes*, Malden, Mass, Blackwell.
- ROBERTS, N. M. & SLAGSTAD, T. 2014. Continental growth and reworking on the edge of the Columbia and Rodinia supercontinents; 1.86–0.9 Ga accretionary orogeny in southwest Fennoscandia. *International Geology Review*, 1-25.
- ROBERTS, N. M., SLAGSTAD, T., PARRISH, R. R., NORRY, M. J., MARKER, M. & HORSTWOOD, M. S. 2013. Sedimentary recycling in arc magmas: geochemical and U–Pb–Hf–O constraints on the Mesoproterozoic Suldal Arc, SW Norway. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 165, 507-523.
- ROLLINSON, H. R. 1993. *Using geochemical data : evaluation, presentation, interpretation*, Harlow, Longman.
- ROSA, D. 2005. The incompatible behaviour of gold in reduced magmas: a working hypothesis.
- RUI, Ø. G. O. I. 1980. The Knaben area. Report from the field-season 1979 and a complication of results from previous drilling and exploration work. Bergvesenet. Norsk Geologisk Undersøkelse. : Sydvaranger A/S.
- SCHMITT, W., PALME, H. & WAENKE, H. 1989. Experimental determination of metal/silicate partition coefficients for P, Co, Ni, Cu, Ga, Ge, Mo, and W and some implications for the early evolution of the earth. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53.

- SEEDORFF, E., DILLES, J., PROFFETT, J., EINAUDI, M., ZURCHER, L., STAVAST, W., JOHNSON, D. & BARTON, M. 2005. Porphyry deposits: characteristics and origin of hypogene features. *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, 29, 251-298.
- SHABANI, A. A., LALONDE, A. E. & WHALEN, J. B. 2003. Composition of biotite from granitic rocks of the Canadian Appalachian orogen: a potential tectonomagmatic indicator? *The Canadian Mineralogist*, 41, 1381-1396.
- SINCLAIR, W. 2007. Porphyry deposits. *Mineral deposits of Canada: A synthesis of major deposit-types, district metallogeny, the evolution of geological provinces, and exploration methods: Geological Association of Canada, Mineral Deposits Division, Special Publication*, 5, 223-243.
- SLAGSTAD, T., ROBERTS, N. M. W., MARKER, M., ROHR, T. S. & SCHIELLERUP, H. 2013. A non-collisional, accretionary Sveconorwegian orogen.(Report). *Terra Nova*, 25, 30.
- STEIN, H., SCHERSTÉN, A., HANNAH, J. & MARKEY, R. 2003. Subgrain-scale decoupling of Re and 187 Os and assessment of laser ablation ICP-MS spot dating in molybdenite. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 67, 3673-3686.
- STORMOEN, M. A. 2015. Synkinematic intrusion of granitoid sheets, with implications for the molybdenite deposits in the Knaben Zone, Sirdal Magmatic Belt. . Institutt for geologi og bergteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, NTNU.
- STRONG, D. 1988. A review and model for granite-related mineral deposits. *Recent advances in the geology of granite related mineral deposits. Canadian Institute of Mining and Metallurgy Special*, 39, 424-445.
- SUN, S.-S. & MCDONOUGH, W. 1989. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes. *Geological Society, London, Special Publications*, 42, 313-345.
- TERRY, R. D. & CHILINGAR, G. V. 1955. Summary of "Concerning some additional aids in studying sedimentary formations," by M. S. Shvetsov. *Journal of Sedimentary Petrology*, 25, 229-234.
- TURCOTTE, D. L. 1987. Physics of magma segregation processes. *Magmatic processes: physicochemical principles. The geochemical society special publication*, 1, 69-74.
- USGU. *GeoRem* [Online]. Tilgjengelig: http://crustal.usgs.gov/geochemical_reference_standards/links.html [Hentet 11.05 2015].
- VAN ACHTERBERGH, E., RYAN, C., JACKSON, S. & GRIFFIN, W. 2001. Data reduction software for LA-ICP-MS. *Laser-Ablation-ICPMS in the earth sciences—principles and applications. Miner Assoc Can (short course series)*, 29, 239-243.
- VOUDOURIS, P., MELFOS, V., SPRY, P. G., BINDI, L., MORITZ, R., ORTELLI, M. & KARTAL, T. 2013. Extremely Re-rich molybdenite from porphyry Cu-Mo-Au prospects in northeastern Greece: Mode of occurrence, causes of enrichment, and implications for gold exploration. *Minerals*, 3, 165-191.
- WINTER, J. D. 2010. *Principles of igneous and metamorphic petrology*, Prentice Hall New York.
- WOOD SCOTT, A. & XIONG, Y. 2002. Experimental determination of the hydrothermal solubility of Re₂S₇ and the Re–ReO₂ buffer assemblage and transport of rhenium under supercritical conditions. *Geochemical Transactions, Vol 3, Iss 1, p 1 (2002)*.
- ÖHLANDER, B. 1985. Geochemistry of Proterozoic molybdenite - mineralized aplites in Northern Sweden. *Mineralium Deposita*, 20, 241-248.

Appendiks

A- Bulkkjemidata

B- Mikrosonde data

C- Laserdata

Appendiks A. Bulkkjemidata

Tabell A.1 Metodebeskrivelse av bulkkjemi

Prøvepreparasjon for bulkkjemianalyser		
ALS kode	Beskrivelse	
WEI- 21	Prøvens vekt ble registrert	
LOG- 22	Prøven ble registrert og markert med kode	
CRU- 31	70 % av materialet ble finknust til under 2 mm	
PUL- 31	Prøve ble splittet til 250 g som ble pulverisert til over 85 % gikk gjennom en åpning på 75 um.	
CRU- QC	Testet effektiviteten av knusing på tilfeldige prøver	
PUL- QC	Testet effektiviteten på pulverisering på tilfeldige prøver	
Analyse av bulkkjemi (ICP-MS, ICP-AES)		
ALS kode	Beskrivelse	Instrument
OA-GRA05	Prøve plassert i ovn ved 1000°C i en time, %- vis tap i vekt ble beregnet. Loss on ignition.	WST-SEQ
ME-MS81	Sporelementer. Litium borat fusjon.	ICP-MS
TOT-ICP06	Total kalkulasjon for ICP06	ICP-AES
ME-4ACD81	Sporelementer av basemetaller. Four acid digestion (HCl, HNO ₃ , HF, HClO ₄)	ICP-AES
ME-OG62	Malmkonsentrasjon av elementer. Four acid digestion (HCl, HNO ₃ , HF, HClO ₄)	ICP-AES
Mo-OG62	Malmkonsentrasjon av Mo. Four acid digestion (HCl, HNO ₃ , HF, HClO ₄)	Variabel
ME-ICP06	Analyser av hovedelementer (oksider)	ICP-AES

Tabell A.2 Deteksjonsgrenser og analyser av bulkkjemi

Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME- ICP06	ME- ICP06	ME- ICP06	ME- ICP06	ME- ICP06	ME- ICP06	ME- ICP06	ME- ICP06	
		SiO2 %	Al2O3 %	Fe2O3 %	CaO %	MgO %	Na2O %	K2O %	Cr2O3 %	
SØR 1.4		78.5	12.65	0.90	0.74	0.11	2.84	5.05	<0.01	
KV 1.2		80.6	10.75	1.05	0.51	0.09	2.26	5.25	<0.01	
KN 1.4		61.7	18.90	5.22	3.45	1.18	5.50	3.23	<0.01	
KN 3.1		74.6	11.70	2.81	0.96	0.52	2.84	4.62	<0.01	
KN 1.3		77.8	12.30	1.46	0.93	0.21	2.79	4.81	<0.01	
KN 2.3		69.4	15.25	1.77	1.09	0.24	3.52	6.32	<0.01	
R.1.1		79.4	10.35	2.75	1.94	0.48	3.13	1.30	0.01	
ØRN1.1		74.1	14.60	1.84	1.39	0.39	3.72	4.89	<0.01	
ØRN 1.3		72.0	14.50	2.09	1.40	0.43	3.65	4.93	<0.01	
Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME- ICP06	ME- ICP06	ME- ICP06	ME- ICP06	ME- ICP06	OA- GRA05	TOT- ICP06	ME- 4ACD81	ME- 4ACD81
		TiO2 %	MnO %	P2O5 %	SrO %	BaO %	LOI %	Total %	Ag ppm	As ppm
SØR 1.4		0.10	0.01	0.01	0.01	0.05	0.28	101.25	1.2	<5
KV 1.2		0.05	0.01	0.03	0.01	0.08	0.57	101.26	<0.5	<5
KN 1.4		0.69	0.07	0.27	0.02	0.05	0.30	100.58	0.9	<5
KN 3.1		0.38	0.03	0.10	0.01	0.08	0.53	98.98	<0.5	<5
KN 1.3		0.15	0.02	0.01	0.01	0.07	0.60	101.16	0.8	<5
KN 2.3		0.20	0.02	0.04	0.01	0.06	0.47	98.39	<0.5	<5
R.1.1		0.31	0.03	0.06	<0.01	0.03	0.83	100.62	0.7	6
ØRN1.1		0.26	0.03	0.06	0.01	0.07	0.05	101.41	<0.5	<5
ØRN 1.3		0.26	0.03	0.07	0.01	0.08	0.20	99.65	0.6	<5
Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME- 4ACD81	ME- 4ACD81	ME- 4ACD81	ME- 4ACD81	ME- 4ACD81	ME- 4ACD81	ME- 4ACD81	ME- 4ACD81	ME- 4ACD81
		Cd ppm	Co ppm	Cu ppm	Li ppm	Mo ppm	Ni ppm	Pb ppm	Sc ppm	Tl ppm
SØR 1.4		<0.5	1	930	<10	481	<1	38	1	10
KV 1.2		<0.5	4	253	10	5210	1	25	<1	<10
KN 1.4		<0.5	7	24	60	26	3	27	10	10
KN 3.1		<0.5	4	324	10	5230	<1	34	4	<10
KN 1.3		<0.5	1	136	<10	413	<1	34	2	<10
KN 2.3		<0.5	1	282	20	5530	<1	42	3	<10
R.1.1		<0.5	4	47	10	>10000	1	16	3	<10
ØRN1.1		<0.5	3	49	20	23	2	37	3	10
ØRN 1.3		<0.5	2	484	20	309	2	37	3	<10

Sample Description	Method Analyte Units LOR	WEI- 21	CRU- QC	PUL- QC	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81
		Recvd Wt.	Pass2mm	Pass75um	Ba	Ce	Cr	Cs
		kg	%	%	ppm	ppm	ppm	ppm
		0.02	0.01	0.01	0.5	0.5	10	0.01
SØR 1.4		1.14	84.4	88.0	404	25.6	10	0.72
KV 1.2		1.37			674	30.5	20	0.57
KN 1.4		0.45			472	414	20	3.38
KN 3.1		0.62			669	60.8	20	2.29
KN 1.3		0.65			603	10.7	20	0.99
KN 2.3		0.45			439	86.7	<10	0.84
R.1.1		0.32			260	332	40	1.06
ØRN1.1		0.22			640	94.1	10	1.06
ØRN 1.3		0.30			661	73.2	<10	1.64
Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81
		Dy	Er	Eu	Ca	Cd	Hf	Ho
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
		0.05	0.03	0.03	0.1	0.05	0.2	0.01
SØR 1.4		0.85	0.48	0.66	20.0	1.13	4.9	0.15
KV 1.2		0.65	0.42	0.82	15.2	1.74	1.3	0.14
KN 1.4		17.90	8.36	1.56	35.6	22.5	17.6	3.22
KN 3.1		2.89	1.38	0.72	20.8	3.83	10.0	0.53
KN 1.3		0.58	0.32	0.86	18.6	0.89	7.9	0.11
KN 2.3		2.57	1.11	0.62	24.8	4.06	4.8	0.42
R.1.1		4.30	1.62	1.35	20.1	10.95	15.5	0.66
ØRN1.1		1.66	0.69	0.80	22.8	2.91	7.0	0.26
ØRN 1.3		1.88	0.85	0.75	24.6	2.88	7.1	0.34
Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81
		La	Y	Yb	Zr	Lu	Nb	Nd
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
		0.5	0.5	0.03	2	0.01	0.2	0.1
SØR 1.4		13.3	5.2	0.37	110	0.07	11.8	9.6
KV 1.2		15.7	3.6	0.29	37	0.01	1.9	12.1
KN 1.4		208	89.3	6.18	586	0.80	32.1	165.0
KN 3.1		27.8	16.6	1.25	304	0.17	20.0	26.0
KN 1.3		7.1	3.6	0.39	241	0.08	5.8	4.1
KN 2.3		43.6	12.0	0.68	136	0.13	13.9	34.2
R.1.1		160.5	16.4	1.25	520	0.18	4.9	130.0
ØRN1.1		48.6	7.8	0.62	213	0.11	8.4	32.2
ØRN 1.3		38.4	9.9	0.64	214	0.10	9.9	26.8
Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81
		Pr	Rb	Sm	Sn	Sr	Ta	Tb
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm
		0.03	0.2	0.03	1	0.1	0.1	0.01
SØR 1.4		2.78	287	1.62	1	166.5	2.0	0.17
KV 1.2		3.49	235	2.17	1	162.5	<0.1	0.13
KN 1.4		46.3	248	29.8	3	238	1.8	3.32
KN 3.1		7.12	321	5.21	2	174.0	1.3	0.59
KN 1.3		0.99	244	0.91	1	159.0	0.4	0.10
KN 2.3		9.57	375	6.23	1	115.5	0.9	0.57
R.1.1		37.0	81.6	18.85	1	154.0	0.3	1.12
ØRN1.1		9.83	285	4.44	1	189.0	0.2	0.32
ØRN 1.3		8.05	303	4.59	2	171.5	0.5	0.37
Sample Description	Method Analyte Units LOR	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81	ME- MS81	ME- 4ACD81	Mo- OG62
		Th	Tm	U	V	W	Zn	Mo
		ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
		0.05	0.01	0.05	5	1	2	0.001
SØR 1.4		20.4	0.04	3.36	<5	<1	9	
KV 1.2		5.94	0.08	3.55	<5	2	12	
KN 1.4		52.4	1.10	4.77	41	1	164	
KN 3.1		26.2	0.18	3.92	29	1	58	
KN 1.3		3.74	0.03	1.56	8	1	40	
KN 2.3		24.9	0.12	7.32	8	1	35	
R.1.1		31.1	0.16	1.59	14	3	104	1.145
ØRN1.1		30.5	0.08	5.93	12	1	44	
ØRN 1.3		27.7	0.07	6.45	14	<1	54	

Appendiks B. Mikrosondadata

Tabell B. 1 Sulfider

Standard brukt i sulfidanalyse for mikrosonde med telletid		
Element	Standard	Telletid
O	Cu2O.Ast14	10 sek
S	FeS2.Ast30	10 sek
V	V. AST9	10 sek
Ti	Benito.Ast6	20 sek
Cr	Cr.AST10	10 sek
Mo	Molyb.Ast31	20 sek
Mn	Rhodo.Ast39	10 sek
Fe	FeS2.Ast30	10 sek
Ni	Pentl.Ast36	10 sek
Cu	CuO2.Ast14	10 sek

Analysis #	Mineral	Rock	Theoretical DL (ppm) :	#	S %	185	200	122	211	316	243	264	343	429
						V %	Ti %	Cr %	Mo %	Mn %	Fe %	Ni %	Cu %	Total %
	Molybdenite													
KN-19.su5	core	Grey granite		#	40,606	0,039	0	0,006	60,173	0,006	0,027	0,002	0,013	100,872
KN-19.su6	edge	Grey granite		#	40,209	0,032	0	0	59,425	0	0,135	0	0,014	99,815
KN-19.su7	edge	Grey granite		#	40,383	0,018	0,008	0,018	59,95	0	0,067	0,03	0	100,474
KN-19.su8	core	Grey granite		#	40,494	0	0,009	0	60,141	0,012	0	0	0,018	100,674
KN-19.su9	edge	Grey granite		#	40,053	0	0	0,028	59,987	0	0,145	0,022	0,175	100,41
KN-19.su10	edge	Grey granite		#	39,463	0,032	0	0,008	59,796	0,038	0,047	0,012	0	99,396
KN-19.su13	core	Grey granite		#	40,384	0,028	0	0,006	60,117	0,001	0,055	0,023	0	100,614
KN-19.su14	edge	Grey granite		#	39,528	0,013	0	0	58,91	0	0,024	0	0	98,475
KN-19.su15	edge	Grey granite		#	40,066	0	0	0	59,435	0	0	0	0,022	99,523
KN-19.su18	core	Grey granite		#	40,629	0,014	0,005	0,03	60,697	0,02	0,037	0	0	101,432
KN-19.su19	edge	Grey granite		#	40,254	0	0,011	0	58,952	0,02	0	0	0	99,237
KN-19.su20	edge	Grey granite		#	39,69	0,014	0	0	59,309	0	0,012	0,023	0,035	99,083
KN-19.su23	core	Grey granite		#	38,925	0,004	0	0,017	57,689	0	1,017	0	0,005	97,657
KN-19.su24	edge	Grey granite		#	39,635	0,005	0	0,023	58,911	0,037	0,061	0	0	98,672
KN-19.su25	edge	Grey granite		#	40,552	0	0,014	0	60,2	0	0,06	0,09	0	100,916
KN-19.su30	core	Grey granite		#	39,854	0	0	0,012	59,254	0	0,007	0,006	0	99,133
KN-19.su31	edge	Grey granite		#	38,379	0	0	0,016	57,626	0	0,024	0,022	0,066	96,133
KN-19.su32	edge	Grey granite		#	39,115	0,012	0,007	0	58,538	0,007	0,051	0	0	97,73
KN-24.su15	core	Grey granite		#	39,949	0	0	0,003	59,826	0	0,062	0	0,06	99,9
KN-24.su16	edge	Grey granite		#	40,433	0	0	0,015	59,874	0,01	0,029	0,007	0,056	100,424
KN-24.su17	edge	Grey granite		#	40,248	0,018	0,004	0	59,33	0,01	0,126	0,032	0,057	99,825
R1.1.sulfid.1	core	Flasergneis granite		1	40,261	0,031	0	0,012	59,256	0,019	0	0	0	99,579
R1.1.sulfid.2	edge right	Flasergneis granite		2	39,968	0,04	0	0	59,468	0,001	0,053	0	0,044	99,574
R1.1.sulfid.3	edge left	Flasergneis granite		3	39,396	0,031	0	0,025	59,036	0,023	0	0,057	0,025	98,593
R1.1.sulfid.4	core	Flasergneis granite		4	39,387	0	0	0,018	58,727	0,014	0,033	0,007	0	98,186
R1.1.sulfid.5	edge	Flasergneis granite		5	39,939	0,037	0	0	59,698	0	0,072	0	0,053	99,799
R1.1.sulfid.6	core	Flasergneis granite		6	39,527	0,001	0,002	0,008	59,288	0,012	0,297	0,06	0	99,195

Analysis #	Mineral	Rock	Teoretical DL (ppm) :										429	
			#	185	200	122	211	316	243	264	343	429		
			S %	V %	Ti %	Cr %	Mo %	Mn %	Fe %	Ni %	Cu %	Total %		
R 1.2.2	Molybdenite edge	Amphibolite w/quartz vein	# 38,658	0	0	0	60,63	0	0,01	0,01	0,053	103,315		
R 1.2.3	core	Amphibolite w/quartz vein	# 40,97	0,002	0	0,045	60,16	0	0,148	0,031	0	102,926		
R 1.2.4	edge	Amphibolite w/quartz vein	# 40,185	0,018	0	0	59,36	0,04	0,312	0,041	0,007	101,966		
R 1.2.9	core	Amphibolite w/quartz vein	# 40,45	0	0	0,023	59,88	0,025	0,032	0,069	0,042	101,208		
R 1.2.10	edge	Amphibolite w/quartz vein	# 40,4	0,004	0,003	0	60,16	0	0,041	0	0,037	101,63		
R 1.2.11	core	Amphibolite w/quartz vein	# 40,151	0	0	0,002	59,72	0	0,149	0,062	0,03	101,991		
R 1.2.12	edge	Amphibolite w/quartz vein	# 40,71	0	0	0	59,27	0,004	0,165	0	0	102,111		
KN-14A.su1	core	Amphibolite w/quartz vein	# 38,955	0,041	0	0	57,87	0	0,041	0,022	0,006	96,933		
KN-14A.su2	edge	Amphibolite w/quartz vein	# 39,066	0,008	0,003	0,001	58,86	0	0,069	0,002	0	98,012		
KN-14A.su3	edge	Amphibolite w/quartz vein	# 39,489	0	0	0,024	59,17	0,011	0,006	0	0	98,703		
KN-14A.su4	core	Amphibolite w/quartz vein	# 40,322	0	0,014	0	59,85	0	0,031	0,028	0	100,242		
KN-14A.su5	edge	Amphibolite w/quartz vein	# 39,552	0	0	0	59,33	0,033	0,073	0	0,053	99,044		
KN-14A.su6	edge	Amphibolite w/quartz vein	# 40,005	0,005	0	0	59,50	0,01	0	0	0,003	99,526		
KN-14A.su7	core	Amphibolite w/quartz vein	# 39,579	0	0,006	0,011	58,30	0	0	0	0	97,9		
KN-14A.su8	edge	Amphibolite w/quartz vein	# 39,852	0,004	0,01	0,012	59,24	0	0,029	0,022	0	99,172		
KN-14A.su9	edge	Amphibolite w/quartz vein	# 40,005	0	0	0,017	59,89	0	0,057	0	0,047	100,018		
Microprobe data: Sulphide mass %														
Analysis #	Mineral	Rock	Teoretical DL (ppm)	#	185	200	122	211	316	243	264	343	429	
					S %	V %	Ti %	Cr %	Mo %	Mn %	Fe %	Ni %	Cu %	Total %
SOR 1.4.10	Chalcopyrite core	Grey granite		10	34,126	0,06	0	0,023	0,414	0	30,92	0	34,289	100,691
SOR 1.4.11	edge	Grey granite		11	34,683	0,018	0,005	0	0,388	0,029	30,952	0	34,093	100,73
SOR 1.4.14	core	Grey granite		14	34,609	0,003	0,018	0	0,452	0	31,337	0	34,227	101,225
SOR 1.4.15	edge	Grey granite		15	34,105	0,01	0,017	0	0,394	0,029	31,561	0	33,55	100,202
KN 1.3.5	core	Porphyry w/quartzvein		20	34,386	0	0,009	0	0,433	0	30,671	0	33,597	100,028
KN 1.3.6	edge	Porphyry w/quartzvein		21	34,396	0,008	0,004	0	0,399	0	30,485	0	33,753	99,853
KN 1.4.5	core	Flaser gneiss granite		28	34,368	0	0,017	0,011	0,424	0	31,145	0	34,255	100,406
KN 1.4.6	edge	Flaser gneiss granite		29	34,655	0	0,018	0	0,394	0	31,137	0	34,186	100,655

Analysis #	Mineral	Rock	Theoretical DL (ppm) :	#	S %	200 V %	122 Ti %	211 Cr %	316 Mo %	243 Mn %	264 Fe %	343 Ni %	429 Cu %	Total %
	Molybdenite													
R1.1.sulfid.7	edge	Flasergneis granite		7	37,421	0	0,02	0,047	56,837	0,004	0,671	0	0,07	95,07
KN1.1.sulfid.1	core	Flasergneis granite		#	40,188	0	0	0,001	60,456	0,016	0,018	0,019	0,021	100,719
KN1.1.sulfid.2	edge left	Flasergneis granite		#	39,07	0	0	0,02	59,211	0,031	0,016	0,011	0,017	98,376
KN1.1.sulfid.3	edge left	Flasergneis granite		#	38,751	0,002	0	0,023	58,424	0	0	0	0,016	97,216
KN1.1.sulfid.6	core	Flasergneis granite		#	39,453	0,016	0	0,004	59,611	0	0,025	0	0	99,109
KN1.1.sulfid.7	edge	Flasergneis granite		#	39,477	0	0	0,022	59,597	0	0,096	0,022	0	99,214
KN.2.sulfid.3	core	Grey granite contact zone to pc		#	39,903	0,002	0	0	59,198	0,018	0,035	0	0,025	99,181
KN.2.sulfid.4	edge	Grey granite contact zone to pc		#	39,642	0	0	0	58,587	0	0	0	0,089	98,318
KN.2.sulfid.5	core	Grey granite contact zone to pc		#	38,409	0	0	0,018	57,877	0	0,082	0,047	0,087	96,52
KN.2.sulfid.6	edge	Grey granite contact zone to pc		#	39,239	0	0,001	0	59,44	0,044	0,034	0	0,039	98,797
KN.2.sulfid.7	edge	Grey granite contact zone to pc		#	37,616	0	0,009	0,008	56,83	0,027	0,096	0,035	0	94,621
KN.2.sulfid.12	core	Grey granite contact zone to pc		#	39,356	0	0,019	0,008	58,337	0,016	0,005	0,056	0	97,797
KN.2.sulfid.13	edge	Grey granite contact zone to pc		#	39,44	0	0	0,003	58,489	0,023	0,019	0,029	0,032	98,035
KN.2.sulfid.14	edge	Grey granite contact zone to pc		#	39,084	0,055	0	0,039	57,811	0	0,114	0,029	0,03	97,162
KN.2.sulfid.15	core	Grey granite contact zone to pc		#	39,097	0,031	0,014	0	58,462	0	0,068	0	0	97,672
KN.2.sulfid.16	edge	Grey granite contact zone to pc		#	39,78	0	0	0	54,067	0	0	0	0	93,847
KN3.1.sulfid.1	core	Porphyry granite w/quartz veir		#	39,266	0	0	0,024	58,322	0,013	0,048	0	0,022	97,695
KN3.1.sulfid.2	edge	Porphyry granite w/quartz veir		#	39,052	0,002	0	0	58,731	0,004	0,046	0	0,022	97,857
KN3.1.sulfid.3	edge	Porphyry granite w/quartz veir		#	38,953	0,009	0	0	58,264	0,031	0,006	0,025	0,009	97,297
KN3.1.sulfid.6	core	Porphyry granite w/quartz veir		#	39,019	0,025	0	0	59,232	0,037	0	0	0	98,313
KN3.1.sulfid.7	edge	Porphyry granite w/quartz veir		#	38,843	0,015	0	0,016	58,259	0	0	0	0	97,133
KN3.1.sulfid.8	edge	Porphyry granite w/quartz veir		#	39,776	0,01	0	0,025	58,679	0,029	0,043	0	0,007	98,569
KN3.1.sulfid.9	core	Porphyry granite w/quartz veir		#	38,751	0,02	0,005	0	57,439	0,001	0,261	0,006	0	96,483
KN3.1.sulfid.10	edge	Porphyry granite w/quartz veir		#	38,704	0,017	0,105	0,032	57,341	0	0,406	0	0	96,605
KN3.1.sulfid.11	core	Porphyry granite w/quartz veir		#	38,743	0,026	0,002	0	57,409	0,006	0,352	0,001	0,324	96,863
KN3.1.sulfid.14	edge	Porphyry granite w/quartz veir		#	38,85	0	0	0,069	57,412	0	0,272	0	0,264	96,867
KN3.1.sulfid.15	core	Porphyry granite w/quartz veir		#	39,351	0	0,013	0	58,04	0	0,02	0,031	0,017	97,472
KN3.1.sulfid.16	edge	Porphyry granite w/quartz veir		#	39,477	0	0,008	0,007	58,249	0,027	0,011	0,01	0,023	97,812
ORN 1.1.1	core	Porphyry granite		1	39,752	0	0,001	0	60,91	0	0	0,024	0,054	100,741
ORN 1.1.2	edge	Porphyry granite		2	40,008	0	0	0,035	61,274	0,004	0,079	0	0,013	101,413

Analysis #	Mineral	Rock	Theoretical DL (ppm) :	#	185	200	122	211	316	243	264	343	429
					S %	V %	Ti %	Cr %	Mo %	Mn %	Fe %	Ni %	Cu %
	Molybdenite												
ORN 1.1.3	edge	Porphyry granite		3	40,692	0,018	0	0,034	60,695	0	0,104	0,003	0
ORN 1.1.8	edge	Porphyry granite		8	39,442	0	0	0,009	60,183	0	0,092	0	0,039
ORN 1.1.9	edge	Porphyry granite		9	40,048	0	0	0,006	61,233	0,052	0	0,001	0,114
ORN 1.1.10	core	Porphyry granite		#	40,075	0,004	0	0,03	61,009	0	0,044	0,015	0,011
ORN 1.1.14	core	Porphyry granite		#	40,72	0	0,03	0	61,134	0,009	0,043	0	0,008
ORN 1.1.15	edge	Porphyry granite		#	40,568	0	0	0	61,381	0,011	0,055	0,021	0
KV 1.2.5	core	Porphyry granite w/pegmatite		#	39,873	0	0,006	0	60,304	0,006	0,054	0,03	0,055
KV 1.2.6	edge	Porphyry granite w/pegmatite		#	40,473	0,017	0	0	61,17	0	0	0,08	0,078
KV 1.2.13	core	Porphyry granite w/pegmatite		#	40,001	0	0	0	60,008	0	0,13	0	0
KV 1.2.14	edge	Porphyry granite w/pegmatite		#	40,905	0	0	0	60,904	0,007	0,048	0	0,128
KN 2.3.7	core	Grey granite		#	40,836	0,004	0	0	60,468	0,012	0	0	0
KN 2.3.8	edge	Grey granite		#	40,23	0	0	0,015	60,683	0	0,027	0,004	0,013
KN 2.3.9	edge	Grey granite		#	40,974	0	0	0,036	61,287	0	0,01	0	0,039
KN 2.3.10	core	Grey granite		#	40,019	0,005	0	0,032	60,46	0,017	0,027	0,015	0,004
KN 2.3.11	edge	Grey granite		#	40,673	0	0	0,061	60,43	0	0,075	0,017	0
KN 2.3.14	core	Grey granite		#	40,648	0,019	0	0	60,506	0	0,02	0,005	0,018
KN 2.3.15	edge	Grey granite		#	40,326	0,026	0	0	61,359	0	0	0,034	0,038
SOR 1.4.4	core	Grey granite w/vein		4	40,901	0,005	0	0	61,48	0	0	0,03	0,028
SOR 1.4.5	edge	Grey granite w/vein		5	41,031	0,012	0	0,021	62,424	0,01	0,024	0,02	0
SOR 1.4.8	core	Grey granite w/vein		8	40,777	0	0	0	61,005	0	0,01	0,025	0
SOR 1.4.9	edge	Grey granite w/vein		9	41,127	0,005	0	0,03	61,076	0,032	0,037	0	0
SOR 1.4.12	core	Grey granite w/vein		#	41,1	0	0,017	0,004	61,236	0,014	0	0,039	0,079
SOR 1.4.13	edge	Grey granite w/vein		#	41,023	0	0	0,033	61,278	0	0	0	0
KN 1.3.1	core	Porphyry granite w/pegmatite		#	40,774	0,035	0	0	61,284	0,015	0,03	0	0
KN 1.3.2	edge	Porphyry granite w/pegmatite		#	39,885	0	0	0,018	59,174	0,012	0,257	0,03	0
KN 1.3.3	core	Porphyry granite w/pegmatite		#	40,461	0	0	0	61,184	0,001	0,071	0,054	0,047
KN 1.3.4	edge	Porphyry granite w/pegmatite		#	40,342	0,004	0	0	60,749	0,007	0,022	0	0,017
KN 1.4.1	core	Porphyry granite w/pegmatite		#	40,622	0	0,041	0,003	60,43	0	0,092	0	0,063
KN 1.4.2	edge	Porphyry granite w/pegmatite		#	40,529	0,035	0	0,013	60,65	0	0,046	0	0,095
R 1.2.1	core	Amphibolite w/quartz vein		#	40,355	0	0	0	59,94	0,026	0,135	0,001	0

Microprobedata: Sulphide mass %		Teoretical DL (ppm):																	
Analysis #	Mineral Rock	#	S %	V %	200	Ti %	122	Cr %	211	316	Mn %	243	Fe %	264	Ni %	343	Cu %	429	Total %
	Pyrite																		
KN-1.su11	core	11	50,855	0	0,003	0	0,003	0	0,607	0,008	46,942	0,019	0	0,034	0	0,027	0,052	99,579	
KN-1.su12	edge	12	51,62	0,003	0,007	0,013	0,559	0	46,2	0	46,88	0	0,027	0,052	0	0,027	0,052	99,579	
KN-1.su13	edge	13	51,249	0	0,009	0	0,559	0,001	46,885	0,027	0,026	0	0,005	100,017					
KN-19.su2	core	50	52,456	0,035	0	0,006	0	0,551	0,006	47,095	0	0,005	100,017						
KN-19.su4	edge	52	52,452	0	0,006	0	0,525	0	47,095	0	0,022	99,077							
KN-19.su27	core	75	52,392	0	0	0	0,507	0,01	46,789	0	0,04	99,105							
KN-19.su28	edge	76	51,74	0,004	0,004	0,001	0,507	0,01	46,789	0	0,04	99,105							
KN-19.su29	edge	77	51,852	0	0	0	0,645	0	46,568	0	0,04	99,105							
KN-24.su3	core	83	51,501	0	0	0,023	0,583	0	46,629	0	0	98,736							
KN-24.su4	edge	84	51,401	0,016	0,002	0,011	0,569	0	46,541	0,045	0,038	98,623							
KN-24.su5	edge	85	51,448	0,017	0	0,017	0,499	0	46,735	0,031	0,017	98,764							
KN-24.su9	core	89	52,376	0	0	0,003	0,581	0	47,027	0	0,046	100,033							
KN-24.su10	edge	90	52,797	0	0	0,028	0,503	0,005	47,249	0	0,196	100,778							
KN-24.su11	edge	91	52,371	0	0	0,021	0,438	0,004	47,347	0,031	0,083	100,295							
KN1.1.sulfid.4	core	13	51,706	0	0	0	0,514	0	46,423	0	0,02	98,663							
KN1.1.sulfid.5	edge	14	51,779	0	0	0	0,597	0,029	46,485	0,031	0	98,921							
KN-2.sulfid.8	core	24	50,921	0	0,006	0	0,618	0,004	46,092	0,014	0,025	97,68							
KN-2.sulfid.9	edge	25	50,982	0,018	0	0,016	0,812	0	46,105	0	0,021	97,954							
KN-2.sulfid.10	core	26	50,951	0,015	0	0,002	0,772	0	46,193	0	0	97,933							
KN-2.sulfid.11	edge	27	50,485	0,006	0	0	0,738	0	45,64	0,055	0,013	96,937							
ORN 1.1.4	core	4	52,671	0,009	0	0	0,516	0,031	46,637	0,025	0,021	99,91							
ORN 1.1.5	edge	5	51,865	0	0	0,007	0,547	0	46,735	0,21	0	99,364							
ORN 1.1.6	core	6	52,428	0,025	0	0,017	0,568	0,001	46,253	0,316	0,06	99,668							
ORN 1.1.7	edge	7	52,513	0	0	0	0,577	0	46,587	0,171	0	99,848							
KV 1.2.1	core	18	50,993	0	0	0	0,547	0,005	46,485	0	0,039	98,069							
KV 1.2.2	edge	19	51,352	0,002	0	0	0,547	0	46,54	0,038	0,027	98,506							
KV 1.2.17	Porphyry granite w/pegmatite	34	52,439	0	0	0	0,648	0	46,773	0	0,055	99,915							

Microprobedata: Sulphide mass %		Teoretical DL (ppm):																	
Analysis #	Mineral Rock	#	S %	V %	Ti %	122	Cr %	211	Mo %	Mn %	243	Fe %	264	Ni %	343	Cu %	429	Total %	
	Pyrite																		
KN 2.3.1	core	35	52,97	0,01	0	0,013	0	0,013	0,679	0	0	46,977	0	0,007	0	0,007	0	100,656	
KN 2.3.2	edge	36	52,211	0,025	0	0,025	0	0,025	0,676	0	0	46,831	0	0,141	0	0,141	0	99,884	
KN 2.3.12	core	46	52,21	0,003	0	0,003	0	0,003	0,569	0	0	47,071	0	0,115	0	0,115	0	99,968	
KN 2.3.13	edge	47	52,038	0	0	0	0	0	0,55	0	0	46,808	0	0	0	0	0	99,396	
KN 1.3.7	core	22	49,464	0	0	0	0	0	0,612	0,004	0,004	46,123	0,018	0,077	0,018	0,077	0	98,825	
KN 1.3.8	edge	23	52,21	0	0	0,01	0,028	0,028	0,525	0	0	47,104	0,033	0,069	0,033	0,069	0	100,809	
KN 1.4.3	core	26	53,086	0,015	0	0,015	0	0,032	0,55	0	0	45,618	0,029	0	0,029	0	0	99,487	
KN 1.4.4	edge	27	52,389	0	0	0	0,018	0,018	0,499	0	0	45,463	0	0,05	0	0,05	0	98,757	
R 1.2.5	core	38	52,331	0,016	0	0,016	0	0,016	0,569	0	0	47,366	0	0	0	0	0	101,114	
R 1.2.6	edge	39	52,034	0,004	0	0,004	0	0	0,602	0	0	47,429	0,083	0	0,083	0	0	101,005	
R 1.2.7	core	40	51,817	0,022	0,014	0,014	0,014	0,014	1,241	0,01	0,01	45,658	0,454	0,065	0,454	0,065	0	99,539	
R 1.2.8	edge	41	51,861	0,023	0	0,023	0	0,021	1,327	0	0	46,355	0,098	0	0,098	0	0	99,906	
R 1.2.13	core	46	52,063	0,01	0	0	0	0	0,52	0,015	0,015	46,514	0,298	0,081	0,298	0,081	0	99,915	
R 1.2.14	edge	47	51,401	0	0	0	0	0	0,585	0	0	46,789	0,191	0,049	0,191	0,049	0	99,589	
KN-19-su1	core	49	53,148	0,016	0	0,016	0	0	0,527	0,038	0,038	46,924	0,017	0,022	0,017	0,022	0	100,692	

Microprobe data: Sulphide mass %																
Analysis #	Mineral	Rock	Theoretical DL (ppm)	#	S %	V %	Ti %	122	Cr %	211	316	243	264	343	429	Total %
	Pyrrhotite															
KN-1.su1	core	Grey granite		1	39,894	0,004	0	0,02	0	0,484	0	60,521	0,046	0	0	100,964
KN-1.su2	edge	Grey granite		2	38,591	0,01	0,153	0	0,467	0	60,077	0,02	60,077	0	0,031	99,349
KN-1.su3	edge	Grey granite		3	38,302	0	0,003	0	0,509	0	60,018	0,034	60,018	0	0,001	98,867
KN-1.su19	core	Grey granite		19	38,705	0	0,025	0,01	0,362	0	60,188	0,013	60,188	0	0,107	99,406
KN-1.su20	edge	Grey granite		20	38,98	0,003	0	0	0,48	0,441	60,902	0,013	60,902	0	0,051	100,433
KN 1.4.7	core	Flaser gneiss granite		30	38,958	0,006	0	0,01	0,441	0	61,079	0,06	61,079	0,06	0,016	100,798
KN 1.4.8	edge	Flaser gneiss granite		31	39,245	0	0	0	0	0,451	60,911	0,076	60,911	0,076	0	101,201
KN 1.4.9	core	Flaser gneiss granite		32	39,627	0	0,008	0,03	58,521	0	0	0	0	0,012	0	100,23
KN 1.4.10	edge	Flaser gneiss granite		33	39,803	0,055	0	0	59,316	0	0,046	0	0,046	0	0,002	101,37
KV 1.2.7	core	Porphyry granite w/pegmatite		24	38,884	0	0	0,03	0,469	0,029	60,531	0,033	60,531	0,033	0,049	100,021
KV 1.2.8	egde	Porphyry granite w/pegmatite		25	34,25	0	0	0	0,353	0,02	30,84	0,006	30,84	0,006	33,43	98,9
KV 1.2.3	core	Porphyry granite w/pegmatite		20	39,081	0,002	0	0,02	0,43	0	60,464	0	60,464	0	0	100,001
KV 1.2.4	edge	Porphyry granite w/pegmatite		21	39,002	0,009	0,001	0	0,518	0	60,684	0,022	60,684	0,022	0,054	100,29
KN.2.sulfid.1	core	Grey granite contact zone to porphyry granite		17	38,046	0,003	0	0	0,519	0,03	60,262	0	60,262	0	0,018	98,878
KN.2.sulfid.2	edge	Grey granite contact zone to porphyry granite		18	37,863	0,013	0,012	0,02	0,37	0,025	59,71	0	59,71	0	0	98,008
KN-24.su6	core	Grey granite		86	38,703	0	0	0,04	0,479	0	60,521	0,033	60,521	0,033	0,003	99,777
KN-24.su7	edge	Grey granite		87	39,175	0,019	0	0	0,396	0	60,246	0	60,246	0	0,273	100,109
KN-24.su13	core	Grey granite		93	38,406	0,024	0	0	0,391	0,024	61,113	0,066	61,113	0,066	0	100,024
KN-24.su14	edge	Grey granite		94	38,662	0	0	0,04	0,464	0,026	60,534	0	60,534	0	0	99,73
KN-24.su18	core	Grey granite		98	38,826	0,003	0	0,01	0,424	0	59,858	0,003	59,858	0,003	0	99,121

Microprobe data: Sulphide mass %															
Analysis #	Mineral	Rock	Theoretical DL (ppm)	#	S %	185	200	122	211	316	243	264	343	429	
							V %	Ti %	Cr %	Mo %	Mn %	Fe %	Ni %	Cu %	Total %
KN-1.su4	core	Chalcopyrite	Grey granite	4	33,859		0	0	0	0,393	0	30,921	0	33,957	99,13
KN-1.su17	core	Grey granite	Grey granite	17	34,018		0,006	0	0,031	0,358	0,02	30,884	0	33,549	98,866
KN-1.su18	edge	Grey granite	Grey granite	18	34,184		0	0	0	0,39	0,008	31,392	0,012	33,427	99,413
KN-19.su11	core	Grey granite	Grey granite	59	34,247		0	0	0,012	0,556	0	30,668	0	33,697	99,18
KN-19.su12	edge	Grey granite	Grey granite	60	33,789		0	0	0	0,987	0,013	29,929	0,032	33,413	98,163
KN-24.su1	core	Grey granite	Grey granite	81	34,122		0	0	0	0,397	0	30,657	0,019	33,934	99,129
KN-24.su2	edge	Grey granite	Grey granite	82	34,109		0	0	0,018	0,403	0	30,51	0,009	33,611	98,66
KN-24.su8	core	Grey granite	Grey granite	88	34,584		0,019	0,01	0,014	0,388	0	30,947	0	34,036	99,998
KN-24.su12	core	Grey granite	Grey granite	92	34,366		0	0	0	0,464	0,013	30,818	0,065	34,351	100,077
KN3.1.sulfid.4	core	Porphyry granite w/quartz vein	Porphyry granite w/quartz vein	36	33,511		0,012	0,01	0	0,354	0,021	30,273	0	34,132	98,313
KN3.1.sulfid.5	edge	Porphyry granite w/quartz vein	Porphyry granite w/quartz vein	37	33,711		0,017	0,003	0	0,409	0,025	30,923	0	33,893	98,981
KN3.1.sulfid.11	core	Porphyry granite w/quartz vein	Porphyry granite w/quartz vein	43	32,829		0,002	0,007	0	0,44	0,021	30,671	0	34,078	98,048
KN3.1.sulfid.12	edge	Porphyry granite w/quartz vein	Porphyry granite w/quartz vein	44	33,622		0	0	0	0,435	0,013	30,823	0,004	34,247	99,144
ORN 1.1.11	core	Porphyry granite	Porphyry granite	11	33,939		0,013	0	0	0,416	0	30,95	0	34,134	99,452
ORN 1.1.12	right edge	Porphyry granite	Porphyry granite	12	34,335		0,032	0,006	0,015	0,407	0	30,897	0,062	34,005	99,759
ORN 1.1.13	left edge	Porphyry granite	Porphyry granite	13	34,392		0	0	0	0,378	0	30,987	0,003	34,074	99,834
ORN 1.1.16	core	Porphyry granite	Porphyry granite	16	34,488		0	0	0	0,426	0,001	30,393	0,023	34,052	99,383
ORN 1.1.17	edge	Porphyry granite	Porphyry granite	17	34,198		0,048	0,01	0,012	0,404	0,01	30,548	0	33,699	98,929
KV 1.2.8	edge	Porphyry granite w/pegmatite	Porphyry granite w/pegmatite	25	34,25		0	0	0	0,353	0,02	30,84	0,006	33,431	98,9
KV 1.2.9	core	Porphyry granite w/pegmatite	Porphyry granite w/pegmatite	26	34,393		0	0,002	0	0,403	0,008	30,989	0	34,112	99,907
KV 1.2.10	edge	Porphyry granite w/pegmatite	Porphyry granite w/pegmatite	27	33,828		0,021	0,001	0	0,319	0	31,147	0	34,012	99,328
KV 1.2.15	core	Porphyry granite w/pegmatite	Porphyry granite w/pegmatite	32	34,405		0,028	0	0,005	0,704	0,035	30,858	0,002	33,858	99,895
KV 1.2.16	edge	Porphyry granite w/pegmatite	Porphyry granite w/pegmatite	33	35,008		0,001	0,002	0,004	1,073	0	30,825	0,034	33,751	100,698
KN 2.3.3	core	Grey granite	Grey granite	37	34,001		0	0	0	0,336	0,025	30,72	0	34,116	99,198
KN 2.3.4	edge	Grey granite	Grey granite	38	34,579		0,024	0,016	0	0,417	0	31,237	0	33,977	100,25
SOR 1.4.6	core	Grey granite	Grey granite	6	34,398		0,002	0	0	0,455	0,008	30,846	0	34,297	100,371
SOR 1.4.7	edge	Grey granite	Grey granite	7	34,484		0	0,003	0,033	0,425	0	30,953	0,005	34,866	101,211

Tabell B.2 Silikater

Standard brukt i silikatanalyse for mikrosonde med telletid		
Element	Standard	Telletid
Al ₂ O ₃	Albite.Ast1	20 sek
F	Apatit.Ast4	10 sek
Cl	Tugtupi.45	10 sek
MnO	Rhodo.Ast39	10 sek
SiO ₂	Quar.Ast38	10 sek
Na ₂ O	Albite.Ast1	10 sek
K ₂ O	Sanidi.Ast41	10 sek
FeO	Garnet.Ast2	10 sek
MgO	Diopsi.Ast21	10 sek
CaO	Diopsi.Ast21	10 sek
CuO	Cu ₂ O.Ast14	10 sek
P ₂ O ₅	Apatit.Ast4	10 sek
TiO ₂	Benito.Ast6	10 sek
ZrO ₂	ZrO ₂ .Ast47	10 sek

Microprobe data: Mass % silicate																	
Analysis #	Mineral Rock	Theoretical DL (ppm)															
			#	Al2O3 %	117	657	91	191	267	144	141	218	142	156	289	206	176
				F %	Cl %	MnO %	SiO2 %	Na2O %	K2O %	FeO %	MgO %	CaO %	CuO %	P2O5 %	TiO2 %		
R1.1-10	edge	Flaser gneiss granite	9	10,952	1,513	0,356	37,107	0,057	10,449	23,571	8,786	0	0	0	2,921	96,832	
R1.1-11	edge	Flaser gneiss granite	10	12,373	1,487	0,351	37,003	0,114	10,115	23,799	9,023	0,056	0,056	0	2,828	96,661	
R1.1-11	edge	Flaser gneiss granite	11	12,155	1,487	0,351	37,003	0,114	10,115	23,799	9,023	0,056	0,056	0	2,828	96,661	
R1.1-16	core	Flaser gneiss granite	16	12,558	1,411	0,334	37,634	0,146	10,222	23,352	9,192	0	0	0	2,911	97,487	
R1.1-17	edge	Flaser gneiss granite	17	12,485	1,31	0,259	37,465	0,09	10,047	23,393	9,114	0,087	0,105	0	2,941	97,094	
R1.1-18	edge	Flaser gneiss granite	18	11,796	1,4	0,27	37,4	0,082	10,074	23,545	9,369	0,052	0,066	0,037	2,841	95,462	
R1.1-21	edge	Flaser gneiss granite	21	12,175	1,733	0,271	37,374	0,13	10,14	22,223	9,684	0,145	0	0	2,948	95,502	
R1.1-22	core	Flaser gneiss granite	22	12,28	1,564	0,283	37,347	0,092	10,263	22,316	9,083	0,083	0	0,057	2,906	95,98	
KN1.1-1	core	Flaser gneiss granite	23	13,334	1,177	0,286	37,328	0,131	10,493	24,367	8,129	0,027	0,032	0,051	2,467	97,678	
KN1.1-2	edge	Flaser gneiss granite	24	13,115	1,197	0,249	36,909	0,148	10,011	24,529	8,528	0,034	0	0	2,347	96,967	
KN1.1-8	core	Flaser gneiss granite	30	14,114	1,222	0,309	36,994	0,126	10,085	22,815	8,869	0	0	0	2,264	96,651	
KN1.1-9	edge	Flaser gneiss granite	31	14,05	1,161	0,299	36,238	0,121	10,19	22,566	8,113	0,024	0	0	2,296	94,826	
KN1.1-14	core	Flaser gneiss granite	36	12,787	1,516	0,304	36,602	0,158	9,954	23,457	8,476	0,032	0,06	0	2,461	95,524	
KN1.1-15	edge	Flaser gneiss granite	37	13,14	1,21	0,268	37,271	0,164	10,166	23,583	8,349	0	0	0	2,319	96,316	
KN3.1-11	core	Porphyry w/quartzvein	81	14,371	1,564	0,278	37,706	0,054	10,125	18,569	12,213	0	0	0	1,93	96,43	
KN3.1-12	edge	Porphyry w/quartzvein	82	14,738	1,645	0,25	38,03	0,106	10,293	18,25	12,543	0	0	0	1,746	97,135	
KN3.1-22	core	Porphyry w/quartzvein	92	13,759	0,873	0,252	37,035	0,106	10,318	22,201	9,453	0,001	0,05	0	2,998	96,999	
KN3.1-23	edge	Porphyry w/quartzvein	93	13,478	0,738	0,266	36,809	0,124	10,215	22,661	9,316	0,038	0	0	2,903	96,543	
KV1.2-1	core	porphyry w/pegmatite	7	14,897	0,951	0,121	34,956	0,054	7,523	25,232	9,974	0,016	0	0	1,978	95,505	
KV1.2-2	edge	porphyry w/pegmatite	8	13,787	1,065	0,151	36,898	0,123	9,629	23,348	8,598	0	0	0	3,052	96,473	
KV1.2-3	edge	porphyry w/pegmatite	9	14,373	1,183	0,159	37,549	0,114	10,114	23,281	8,463	0	0	0,025	2,712	97,799	
KN-24.si1	core	Grey granite	73	13,823	0,805	0,166	36,885	0,097	8,836	23,957	7,455	0	0	0	2,712	94,865	
KN-24.si2	edge	Grey granite	74	14,234	0,941	0,248	37,434	0,122	8,61	23,449	7,483	0	0	0	2,629	95,225	
KN-24.si7	core	Grey granite	79	14,037	0,797	0,224	36,852	0,069	8,725	24,633	7,034	0	0	0,046	2,652	95,172	
KN-24.si8	edge	Grey granite	80	14,742	0,652	0,205	35,661	0,039	7,598	25,208	7,175	0	0	0,042	2,343	93,858	
KN-24.si9	edge	Grey granite	81	14,653	0,75	0,191	36,708	0,058	8,746	24,053	6,672	0	0	0,042	2,538	94,538	
KN-24.si10	core	Grey granite	82	13,975	0,903	0,222	36,631	0,097	8,571	24,659	7,376	0	0	0	2,296	94,881	

Microprobe data: Mass % silicate																	
Analysis #	Miner Rock	Theoretical DL (ppm)	117	657	91	191	267	144	141	218	142	156	289	206	176		
			# Al2O3 %	F %	Cl %	MnO %	SiO2 %	Na2O %	K2O %	FeO %	MgO %	CaO %	CuO %	P2O5 %	TiO2 %	Total %	
KN-24.s11	edge Grey granite		83	14,093	0,559	0,197	0,343	35,717	0,107	8,065	25,518	6,985	0,017	0,056	0,042	2,085	93,505
KN-24.s12	edge Grey granite		84	14,088	0,709	0,215	0,498	36,19	0,055	8,322	24,872	7,363	0	0,034	0	2,32	94,318
SOR 1.4.1	core Grey granite w/vein		7	14,752	1,095	0,142	0,282	36,52	0,065	9,842	22,717	9,226	0	0	0	2,356	95,976
SOR 1.4.8	edge Grey granite w/vein		8	15,39	0,547	0,105	0,322	34,037	0,058	6,554	26,187	8,821	0,13	0	0	1,664	93,597
SOR 1.4.9	core Grey granite w/vein		9	13,771	0,98	0,19	0,29	37,416	0,077	10,689	23,076	8,937	0	0	0	2,561	97,531
SOR 1.4.10	edge Grey granite w/vein		10	13,838	0,891	0,182	0,328	37,454	0,119	10,459	22,886	9,164	0	0	0	2,625	97,53
KN 1.3.1	core Porphyry w/quartzvein		21	13,295	0,652	0,387	0,294	37,518	0,079	9,875	23,546	8,614	0,037			2,773	96,773
KN 1.3.2	edge Porphyry w/quartzvein		22	13,457	0,717	0,354	0,189	37,368	0,079	10,045	23,785	8,708	0,027	0,029	0,029	2,685	97,088
KN 1.3.3	core Porphyry w/quartzvein		23	13,613	0,636	0,386	0,301	37,982	0,095	9,928	23,892	8,766	0,095	0,043	0	2,573	97,955
KN 1.3.4	edge Porphyry w/quartzvein		24	13,212	0,539	0,398	0,38	37,521	0,12	9,867	23,832	8,718	0,075	0	0,043	2,609	96,997
KN 1.4.1	core Flaser gneiss granite		29	13,471	1,35	0,191	0,366	36,662	0,088	10,292	25,921	7,787	0	0	0	2,264	97,79
KN 1.4.2	edge Flaser gneiss granite		30	13,814	1,395	0,184	0,38	36,923	0,085	10,248	25,71	7,498				2,488	98,131
R 1.2.9	core Amphibolite w/pegmatite		49	13,201	1,294	0,283	0,33	37,84	0,123	10,092	20,739	11,44	0	0	0	2,241	96,974
R 1.2.10	edge Amphibolite w/pegmatite		50	13,161	1,538	0,253	0,326	37,78	0,078	9,849	20,863	11,538	0	0,042	0,039	2,248	97,01
R 1.2.15	core Amphibolite w/pegmatite		55	13,337	1,291	0,341	0,407	37,62	0,067	10,115	21,986	11,072	0	0,044	2,171	97,831	
R 1.2.16	edge Amphibolite w/pegmatite		56	13,322	1,192	0,388	0,38	37,29	0,125	9,956	21,763	10,872	0,131	0,039	2,237	97,149	
KN-14A.s11	core Amphibolite w/pegmatite		41	13,51	1,133	0,234	0,286	37,463	0,118	8,831	20,181	11,802	0,001	0	0,005	2,431	95,465
KN-14A.s12	edge Amphibolite w/pegmatite		42	13,663	0,914	0,234	0,304	37,361	0,174	8,66	19,123	11,345	0,002	0	0,055	2,525	93,922
KN-14A.s13	edge Amphibolite w/pegmatite		43	13,373	1,001	0,228	0,236	37,289	0,171	8,396	19,761	11,576	0,036	0,027	0	2,266	93,888
KN-14A.s14	core Amphibolite w/pegmatite		44	13,378	1,126	0,22	0,315	37,215	0,098	8,836	20,142	11,575	0	0,018	0	2,404	94,803
KN-14A.s15	edge Amphibolite w/pegmatite		45	13,391	1,189	0,244	0,388	37,41	0,078	8,853	20,232	11,46	0	0,018	0	2,562	95,269
KN-1.s17	core Grey granite		9	14,337	0,566	0,181	0,272	36,099	0,105	8,663	24,204	7,879	0,042	0	0	2,515	94,584
KN-1.s18	edge Grey granite		10	14,49	0,097	0,161	0,156	34,687	0,066	7,372	29,202	4,938	0,378	0,119	2,261	93,851	
KN-1.s19	edge Grey granite		11	14,646	0,441	0,183	0,2	35,729	0,099	8,182	25,089	6,768	0,066	0	0	2,528	93,704
KN-1.s110	core Grey granite		12	13,985	0,488	0,198	0,29	35,963	0,06	8,827	24,672	7,559	0	0,042	0	2,563	94,397
KN-1.s111	edge Grey granite		13	14,812	0,236	0,168	0,248	33,59	0,033	6,72	30,495	4,759	0,062	0	0	2,478	93,464
KN.2-31	core Grey granite contact zone to porphyry granite		53	15,8	0,191	0,04	0,263	28,933	0,106	1,632	31,993	6,571	1,231	0,038	0,033	1,945	88,713
KN.2-32	edge Grey granite contact zone to porphyry granite		54	16,855	0	0,025	0,332	28,177	0,07	0,949	34,383	6,466	0,194	0	0,005	1,168	88,627
KN.2-33	core Grey granite in the porphyry section		55	18,491	0,061	0,004	0,305	26,4	0,046	0,551	33,675	9,065	0	0,042	0,029	2,208	88,85
KN.2-34	edge Grey granite in the porphyry section		56	15,873	0,23	0,08	0,261	31,66	0,01	4,953	28,376	9,489	0,023	0	0,005	1,319	92,199

Microprobe data: Mass % silicate		Rock	Theoretical Dl (ppm)	#	Al2O3 %	117	657	91	191	267	144	141	218	142	156	289	206	176	Total %
Analysis #	Mineral				F %	Cl %	MnO %	SiO2 %	Na2O %	K2O %	FeO %	MgO %	CaO %	CuO %	P2O5 %	TiO2 %			
KN.2-42	core	Grey granite in the porphyry section		64	17,116	0,033	0,324	28,698	0,009	1,655	30,935	9,109	0,029	0	0,038	0,708			88,736
KN.2-43	edge	Grey granite in the porphyry section		65	16,553	0,053	0,305	28,799	0,054	1,673	32,014	9,276	0,042	0,059	0	1,05			89,859
KN.2-46	core	Grey granite contact zone to porphyry granite		68	16,965	0,204	0,038	28,301	0,054	1,122	31,084	9,412	0	0,011	0,01	1,129			88,721
KN.2-47	edge	Grey granite contact zone to porphyry granite		69	16,698	0,06	0,041	29,104	0	0,997	30,475	10,094	0	0	0	0,869			88,717
KN-19.si8	chloritized core next to Mol	Grey granite		71	21,827	0	0,006	23,015	0,005	0,028	40,741	2,72	0	0	0,019	0,011			88,426
KN-19.si9	chloritized core next to Mol	Grey granite		72	21,644	0	0,003	23,566	0,028	0,024	40,32	3,184	0,002	0	0,014	0,03			88,841
KN-19.si3	core	Grey granite		66	19,79	0,043	0,048	27,138	0,019	0,231	35,044	5,6	0,025	0	0,005	0,558			88,503
KN-19.si4	edge	Grey granite		67	20,015	0,016	0,04	27,361	0,002	0,237	34,542	5,158	0,108	0,148	0,005	0,709			88,325
KN 2.3.14	core	Grey granite		31	18,633	0,061	0,013	25,893	0,007	0,049	36,322	7,293	0	0	0	0,085			88,597
KN 2.3.15	edge	Grey granite		32	18,197	0,167	0,049	26,42	0,043	0,108	35,365	7,982	0,026	0,039	0,01	0,332			88,941
KN 2.3.8	cleavage in Mol-dark spot	Grey granite		25	14,88	0,487	0,165	33,006	0	6,437	27,549	7,717	0	0	0,015	1,761			92,014
KN 2.3.9	dark spot	Grey granite		26	15,409	0,166	0,138	32,183	0	5,579	29,643	7,139	0	0	0	1,717			92,168
KN 2.3.10	light spot	Grey granite		27	0,326	0,022	0,074	0,063	1,01	0,046	1,94	0,081	0,232	0	0,022	69,533			73,397
KN 2.3.11	light spot	Grey granite		28	1,514	0,291	0,022	0,011	2,619	0	3,317	0,576	0,154	0,092	0	66,597			75,082
KN-10.si7	core	Porphyry granite- no mineralization		7	13,737	0,708	0,117	37,659	0,061	8,947	17,591	12,544	0	0	0,06	2,943			94,244
KN-10.si8	edge	Porphyry granite- no mineralization		8	13,835	0,764	0,123	37,656	0,133	8,934	17,371	12,438	0	0	0,042	2,861			93,972
KN-10.si9	edge	Porphyry granite- no mineralization		9	13,942	0,831	0,122	37,414	0,191	8,511	17,153	13,103	0,013	0,045	0,032	2,401			93,517
KN-10.si15	core	Porphyry granite- no mineralization		31	13,648	0,725	0,11	37,638	0,097	8,916	16,485	13,644	0	0	0,051	2,708			93,919
KN-10.si16	edge	Porphyry granite- no mineralization		32	17,618	0,034	0,011	27,811	0,025	0,083	24,166	16,892	0	0,014	0,019	0,024			86,956
KN-10.si17	edge	Porphyry granite- no mineralization		33	13,633	0,725	0,086	38,035	0,091	8,815	16,358	13,615	0	0	0	2,707			93,951
KN-14A.si21	core	Amphibolite w/pegmatite		61	13,388	1,084	0,258	37,283	0,103	8,659	20,41	11,381	0	0	0	2,548			94,903
KN-14A.si22	edge	Amphibolite w/pegmatite		62	13,23	1,106	0,29	37,032	0,082	8,578	20,432	11,273	0,022	0,06	0	2,463			94,328
KN-14A.si23	edge	Amphibolite w/pegmatite		63	13,326	1,206	0,282	37,008	0,126	8,794	20,002	11,349	0	0	0,005	2,508			94,342

Microprobe data: Mass % silicate																															
Analysis #	Mineral	Rock	Teoretical DL (ppm):	#	Al2O3 %	117	F %	657	Cl %	91	MnO %	191	SiO2 %	267	Na2O %	144	K2O %	141	FeO %	218	MgO %	142	CaO %	156	CuO %	289	P2O5 %	206	TiO2 %	176	Total %
R 1.2.1	Amphibolite core	Amphibolite w/pegmatite		41	24,386	0,031	0,007	0,007	0,001	0,007	0,007	0,007	61,046	6,041	0,246	0,115	0	0,246	0,115	0,115	0	0,01	6,633	0	0	0	0	0,009	98,506		
R 1.2.2	Amphibolite edge	Amphibolite w/pegmatite		42	24,294								61,28	6,193	0,24	0,12	0,01	0,24	0,12	0,12	0,01	0,01	6,446	0	0	0	0,01	0,001	98,597		
R 1.2.7	Amphibolite core	Amphibolite w/pegmatite		47	10,579	0,564	0,372	0,634	0,372	0,634	0,584	0,584	41,706	1,673	1,859	21,72	7,714	11,293	1,859	21,72	7,714	11,293	0	0	0	0	0	0,702	98,495		
R 1.2.8	Amphibolite edge	Amphibolite w/pegmatite		48	10,93	0,477	0,393	0,584	0,393	0,584	0,584	41,209	1,649	1,826	1,826	21,967	7,393	11,473	1,826	21,967	7,393	11,473	0	0	0	0	0	0,742	98,353		
R 1.2.11	Amphibolite core	Amphibolite w/pegmatite		51	11,348	0,526	0,367	0,601	0,367	0,601	0,601	41,483	1,677	1,904	1,904	21,189	7,66	11,297	1,904	21,189	7,66	11,297	0,022	0,005	0,005	0,005	0,005	0,739	98,514		
R 1.2.12	Amphibolite edge	Amphibolite w/pegmatite		52	10,766	0,547	0,431	0,61	0,431	0,61	0,61	41,452	1,751	1,817	1,817	21,759	7,597	11,25	1,817	21,759	7,597	11,25	0	0	0	0	0	0,709	98,362		
KN-10.si4	edge	Porphyry granite-no Mo		20	9,151	0,328	0,108	0,388	0,108	0,388	0,388	43,497	1,913	1,316	1,316	16,366	11,375	10,981	1,316	16,366	11,375	10,981	0	0,074	0	0	0,005	1,309	96,644		
KN-10.si5	core	Porphyry granite-no Mo		21	9,194	0,371	0,091	0,378	0,091	0,378	0,378	42,894	1,79	1,239	1,239	16,085	11,123	11,059	1,239	16,085	11,123	11,059	0	0,005	0	0	0,005	1,348	95,4		
KN-10.si6	edge	Porphyry granite-no Mo		22	9,192	0,378	0,088	0,33	0,088	0,33	0,33	43,443	1,86	1,179	1,179	16,183	11,38	11,222	1,179	16,183	11,38	11,222	0	0,037	0	0	0,037	1,271	96,384		
KN-10.si12	core	Porphyry granite-no Mo		28	9,149	0,407	0,092	0,372	0,092	0,372	0,372	43,031	1,834	1,253	1,253	16,189	11,414	11,179	1,253	16,189	11,414	11,179	0,043	0	0	0,043	0	1,307	96,078		
KN-10.si13	core	Porphyry granite-no Mo		29	9,069	0,342	0,093	0,418	0,093	0,418	0,418	43,351	1,876	1,185	1,185	15,944	11,243	11,298	1,185	15,944	11,243	11,298	0	0,009	0	0	0,009	1,384	96,047		
KN-10.si14	core	Porphyry granite-no Mo		30	9,241	0,338	0,099	0,395	0,099	0,395	0,395	43,299	1,889	1,242	1,242	16,096	11,128	11,12	1,242	16,096	11,128	11,12	0	0	0	0	0	1,388	96,071		
R 1.2.3	Amphibolite core	Amphibolite w/pegmatite		43	10,659	0,508	0,355	0,688	0,355	0,688	0,688	41,492	1,734	1,76	1,76	21,821	7,798	11,21	1,76	21,821	7,798	11,21	0	0	0	0	0,029	0,683	98,443		
R 1.2.4	Amphibolite edge	Amphibolite w/pegmatite		44	11,06	0,606	0,404	0,654	0,404	0,654	0,654	41,226	1,759	1,832	1,832	21,64	7,419	11,115	1,832	21,64	7,419	11,115	0	0,01	0	0	0,01	0,611	97,99		

Microprobe data: Mass % silicate																					
Analysis #	Mineral	Rock	Teoretical DL(ppm)	#	Al2O3 %	117	F %	657	91	191	267	144	141	218	142	156	289	206	176		
									Cl %	MnO %	SiO2 %	Na2O %	K2O %	FeO %	MgO %	CaO %	CuO %	P2O5 %	TiO2 %	Total %	
	Microcline/Plagioclase																				
KN-19.si1	Mc core	Grey granite		64	18,299				0,021	0	65,004	0,731	14,594	0,033	0		0,084	0			
KN-19.si2	Mc edge towards molybdenite	Grey granite		65	18,276				0	0,033	64,734	0,283	14,995	0	0		0	0,039	0		98,375
KN-19.si6	Mc core	Grey granite		69	18,34				0,013	0	64,826	0,576	14,723	0	0		0	0	0	0,021	98,497
KN-19.si7	Mc edge	Grey granite		70	18,24				0	0,025	64,619	0,302	15,011	0,232	0	0	0	0	0	0	98,438
KN-24.si13	Mc core	Grey granite		85	18,125				0	0	64,814	0,684	14,278	0	0,023	0	0	0	0	0	97,935
KN-24.si14	Mc edge	Grey granite		86	18,109				0	0,03	64,595	0,333	14,884	0,044	0	0	0,031	0	0	0	98,026
KN.2-39	Mc core in the porphyry granite section	Grey granite contact zone to porphyry		61	18,011		0,066		0		66,753	0,538	14,096	0,054	0			0	0	0	99,554
KN.2-40	Mc edge in the porphyry granite section	Grey granite contact zone to porphyry		62	17,994		0		0		66,337	0,624	15,424	0,073	0	0,049	0	0	0	0	100,34
KN.2-41	Mc edge in the porphyry granite section	Grey granite contact zone to porphyry		63	17,992		0		0		65,832	0,782	15,636	0,026	0		0	0,024	0	0	100,323
KN3-1-19	Mc core	Porphyry granite w/quartz vein		89	18,098				0,016		66,63	0,964	13,541		0	0,017	0	0	0	0,045	99,341
KN3-1-20	Mc edge	Porphyry granite w/quartz vein		90	17,968				0,012	0	66,472	0,698	14,709	0,022	0	0,016	0	0	0	0	99,999
KN3-1-21	Mc edge	Porphyry granite w/quartz vein		91	18,035		0		0		66,847	0,77	14,263		0		0,042	0	0	0	99,983
KN3-1-26	Mc core	Porphyry granite w/quartz vein		96	18,056		0		0		65,784	0,841	15,381		0	0,019	0,083	0	0	0	100,175
KN3-1-27	Mc edge	Porphyry granite w/quartz vein		97	18,185		0		0		66,011	0,892	15,184	0,169	0	0	0	0	0	0,02	100,547
KN3-1-28	Mc edge	Porphyry granite w/quartz vein		98	18,055				0		66,109	1,118	15,165	0,017	0	0	0	0	0	0,02	100,528
SOR 1.4.3	Mc core	Grey granite		3	18,331		0		0	0,02	67,251	0,324	14,646	0,016	0	0,017	0,047	0	0,03	0,032	99,914
SOR 1.4.4	Mc edge	Grey granite		4	17,984				0		66,664	0,398	14,892	0,068	0	0	0,03	0,055	0,04	0,02	100,313
SOR 1.4.13	Mc core	Grey granite		13	18,122				0		66,664	0,398	14,892	0,068	0	0	0,03	0,055	0,04	0,02	100,313
SOR 1.4.14	Mc core	Grey granite		14	18,041				0		66,857	0,774	14,586	0,072	0	0	0,068	0	0	0	100,406
KN 1.3.7	Mc core	Porphyry granite w/quartz vein		27	22,51		0		0	0,025	63,659	6,962	0,274	0	0	4,606	0	0	0	0	98,088
KN 1.3.8	Mc edge	Porphyry granite w/quartz vein		28	22,652		0		0	0	63,597	7,277	0,27	0	0	4,782	0	0	0	0	98,578
R 1.2.5	Plg core	Amphibolite w/pegmatite		45	24,648		0		0,01	0	61,16	5,968	0,19	0,053	0	6,424	0,029	0,072	0	0	98,552
R 1.2.6	Plg edge	Amphibolite w/pegmatite		46	24,079		0		0	0	62,542	5,896	0,195	0,067	0	6,247	0	0,036	0	0	99,104
KV1.2.4	Plg core	Porphyry granite w/pegmatite		10	19,09		0		0	0	70,2	9,845	0,022	0,204	0	0,002	0,187	0	0	0	99,6
KV1.2.5	Plg edge	Porphyry granite w/pegmatite		11	18,927		0		0	0	70,683	8,667	0,028	0,17	0	0	0	0	0	0	98,559
KV1.2.6	Mc core	Porphyry granite w/pegmatite		12	18,061		0		0		67,802	0,623	14,094	0,03	0	0	0	0	0,023	0	100,68
KV1.2.7	Mc edge	Porphyry granite w/pegmatite		13	18,086				0		67,485	0,542	14,812		0	0	0	0,042	0	0	101,031

Microprobe data: Mass % silicate		Rock	Theoretical DL(ppm)	#	Al2O3 %	117	657	91	191	267	144	141	218	142	156	289	206	176	
Analysis #	Mineral				F %	Al2O3 %	F %	Cl %	MnO %	SiO2 %	Na2O %	K2O %	FeO %	MgO %	CaO %	CuO %	P2O5 %	TiO2 %	Tot %
	Microcline/Plagioclase																		
ORN 1.1.5	Plg core	Porphyry granite		5	21,649	0	0,014	0	0	61,598	6,686	0,098	0,089	0	3,307	0	0,022	0	93,225
ORN 1.1.6	Plg edge	Porphyry granite		6	22,318	0	0,022	0	0	60,885	6,394	0,164	0,063	0	3,837	0,08	0	0,023	93,788
KN 2.3.1.2	Mc core	Grey granite		29	18,262	0	0	0	0	68,344	0,745	12,801	0,037	0	0,019	0	0,037	0,035	100,31
KN 2.3.1.3	Mc edge	Grey granite		30	18,095	0	0	0	0	67,162	0,36	14,466	0,056	0	0	0	0	0	100,17
KN-14A.si7	Plg edge	Amphibolite w/pegmatite		47	24,45	0	0	0,047	0	59,797	7,977	0,191	0,357	0,074	6,147	0	0,044	0,026	99,072
KN-14A.si8	Plg edge	Amphibolite w/pegmatite		48	24,639	0	0	0	0	59,86	7,905	0,212	0,049	0	6,366	0	0	0,022	99,105
KN-14A.si9	Plg core	Amphibolite w/pegmatite		49	24,679	0	0	0	0	60,178	7,849	0,188	0,063	0	6,18	0	0	0,025	99,178
KN-14A.si10	Plg edge	Amphibolite w/pegmatite		50	24,515	0	0	0	0	60,365	7,801	0,166	0,06	0	6,195	0,08	0	0,022	99,206
KN-14A.si11	Plg edge	Amphibolite w/pegmatite		51	24,526	0,088	0	0	0	59,91	8,019	0,17	0,523	0	6,225	0,066	0	0	99,502
KN-14A.si12	Plg core	Amphibolite w/pegmatite		52	24,212	0	0	0,021	0	60,196	7,969	0,282	0,104	0	5,825	0,043	0	0	98,66
KN-14A.si13	Plg edge	Amphibolite w/pegmatite		53	24,19	0	0	0	0	60,659	8,213	0,264	0,077	0	5,831	0	0	0	99,252
KN-14A.si14	Plg edge	Amphibolite w/pegmatite		54	24,166	0	0	0	0	60,34	8,159	0,269	0,081	0	5,759	0	0,024	0	98,81
KN-1.si12	Mc core	Grey granite		14	17,94	0	0	0	0	64,073	1,129	14,094	0,015	0	0,031	0	0	0,032	97,314
KN-1.si13	Mc core	Grey granite		15	18,207	0	0,01	0	0	64,148	1,378	13,788	0,063	0	0,005	0	0	0,059	97,682
KN-1.si14	Mc core	Grey granite		16	18,032	0	0	0	0	64,207	1,129	13,962	0,025	0	0,028	0	0	0	97,425
KN-10.si10	Mc core	Porphyry granite-No mineralization		26	17,987	0	0	0	0	63,12	0,932	14,157	0,025	0	0,055	0	0	0,064	96,351
KN-10.si11	Mc core	Porphyry granite-No mineralization		27	17,862	0	0	0	0	63,049	0,752	14,416	0,071	0	0	0,064	0	0,031	96,248
KN-14A.si6	Plg core	Amphibolite w/pegmatite		46	24,597	0	0	0	0	59,864	7,866	0,213	0,101	0,032	6,454	0	0,034	0	99,186
KN-2-22	Mc core in the grey granite section	Grey granite contact zone to porphyry		44	18,157	0	0	0	0	67,115	0,673	14,091	0,054	0	0,029	0	0	0	100,15
KN-2-23	Mc edge in the grey granite section	Grey granite contact zone to porphyry		45	17,979	0	0	0	0	66,58	0,69	14,669	0,054	0	0	0,048	0	0,027	100,09
KN-2-24	Mc edge in the grey granite section	Grey granite contact zone to porphyry		46	17,926	0	0,015	0	0	67,318	0,637	13,845	0,049	0	0,007	0,029	0,029	0	99,832
KN-19.si5	Mc	Grey granite		68	18,132	0,026	0,013	0	0	64,776	0,249	14,893	0,01	0	0,007	0,046	0	0,018	98,156

Microprobe data: Mass % silicate		Rock	Teoretical DL (ppm)	#	Al2O3 %	117	657	91	191	267	144	141	218	142	156	289	206	176	
Analysis #	Mineral						F %	Cl %	MnO %	SiO2 %	Na2O %	K2O %	FeO %	MgO %	CaO %	CuO %	P2O5 %	TiO2 %	Total %
R1.1-14	Apatite core	Flaser gneiss granite		14	0.001	3,434	0.017	0.055	0.03	1,536	0	0	0.011	0.024	53,221	0	42,243	0	98,261
R1.1-15	edge	Flaser gneiss granite		15	0.000	3,159	0.046	0.03	0.077	2,457	0	0.022	0.05	0	50,925	0	41,111	0	95,661
KN.2-25	core	Grey granite contact zone to porphyry granite		47	0.000	3,714	0	0.077	0.047	2,526	0	0	0.16	0	52,072	0	34,887	0.041	91,869
KN.2-26	edge	Grey granite contact zone to porphyry granite		48	0.000	3,286	0	0.047	0.047	2,526	0	0	0.344	0	51,911	0	34,441	0.144	91,364
KN.2-37	core inside biotite,55,56	Grey granite contact zone to porphyry granite		59	0.086	3,017	0	0.015	1,799	0	0	0.02	0.52	0	52,656	0	35,162	0.073	92,174
KN.2-38	edge	Grey granite contact zone to porphyry granite		60	0.106	3,435	0	0.034	2,077	0	0	0	0.64	0.056	52,008	0	35,812	0	92,849
KN.2-48	core	Grey granite contact zone to porphyry granite		70	0.024	3,757	0.03	0.08	5,366	0	0.015	0.402	0	0	46,027	0	35,125	0	89,242
KN3.1-29	core	porphyry granite w/quartz		99	0.000	3,268	0.018	0.066	1,056	0	0	0	0	0	54,186	0	37,776	0	94,998
KN3.1-30	edge	porphyry granite w/quartz		100	0.000	3,496	0.025	0.098	0.95	0	0.015	0.013	0.046	0.011	54,365	0	38,245	0	95,84
KN-24.s13	core	Grey granite		75	0.000	3,695	0.029	0.096	1,018	0	0	0	0.046	0.011	53,981	0.032	40,283	0	97,643
KN-24.s14	edge	Grey granite		76	0.008	4,021	0	0.09	1,472	0	0	0	0.174	0	53,151	0	39,71	0.106	97,039
KN-24.s15	core	Grey granite		77	0.008	3,748	0.006	0.061	1,028	0.023	0.012	0.219	0.219	0	52,666	0	40,441	0	96,639
KN-24.s16	edge	Grey granite		78	0.107	3,616	0	0.062	1,163	0	0.114	0.825	0.04	0.138	52,802	0	40,138	0.046	97,39
KN-24.s15	core	Grey granite		87	0.036	3,499	0	0.107	0.907	0	0.013	0.377	0.036	0.036	52,925	0.038	40,195	0.029	96,689
KN-24.s16	edge	Grey granite		88	0.082	3,572	0.01	0	1,001	0	0.016	0.494	0	0	51,836	0	40,368	0	95,901
KN-24.s17	core	Grey granite		89	0.106	3,751	0.001	0.043	0.899	0.132	0	0	0.077	0	53,12	0	40,852	0.025	97,427
KN-24.s18	edge	Grey granite		90	0.228	3,766	0.025	0.036	1,519	0.166	0.024	0.038	0.038	0	52,391	0	39,783	0	96,394
SOR 1.4.11	core	Grey granite w/vein		11	0.021	3,252	0.017	0	0.636	0	0.04	0.029	0	55,429	0	40,495	0.025	98,604	
SOR 1.4.12	edge	Grey granite w/vein		12	0.020	3,162	0	0	0.832	0	0	0.044	0	0	55,113	0	40,073	0	98,102
SOR 1.4.15	core	Grey granite w/vein		15	0.000	3,137	0.013	0.042	0.01	0.023	0.116	0	0.116	0	56,594	0	41,97	0.08	100,79
SOR 1.4.16	edge	Grey granite w/vein		16	0.000	3,106	0.013	0.049	0.154	0	0	0	0.133	0	56,245	0.073	41,083	0.061	99,635
KN 1.4.3	core	Flaser gneiss granite		31	0.047	3,936	0	0.074	1,311	0	0.04	0.295	0.02	0.02	54,744	0	36,663	0.023	95,741
KN 1.4.4	edge	Flaser gneiss granite		32	0.093	3,648	0.018	0.031	1,227	0	0.121	0.623	0.295	0.02	54,64	0	37,107	0.023	96,035
KN 1.4.7	inside biotite	Flaser gneiss granite		35	0.078	2,845	0.008	0.008	0.647	0	0.068	0.321	0.021	0.021	56,529	0	37,378	0.025	96,753
KN 1.4.8	(edge) inside biotite	Flaser gneiss granite		36	0.068	2,45	0.025	0.107	0.789	0	0.028	0.321	0.045	0.045	57,003	0.097	37,386	0	97,411
ORN 1.1.3	core	Porphyry granite		3	0.044	3,982	0.031	0.056	0.011	0.016	0	0	0.043	0.044	55,047	0	42,151	0	99,884
ORN 1.1.4	edge	Porphyry granite		4	0.053	3,935	0.046	0.101	0.014	0	0	0	0.139	0	54,264	0	42,212	0	99,259

Microprobe data: Mass % silicate		Rock	Teoretical DL (ppm)	#	Al2O3 %	F %	657	91	191	267	144	141	218	142	156	289	206	176	
Analysis #	Mineral						Cl %	MnO %	SiO2 %	Na2O %	K2O %	FeO %	MgO %	CaO %	CuO %	P2O5 %	TiO2 %	Total %	
	Apatite																		
KV1.2.10	core	Porphyry granite w/pegmatite		16	0.000	2.997	0.028	0.041	1.362	0.02		0.055	0	55,057	0.042	39,314	0.019	97.73	
KV1.2.11	edge	Porphyry granite w/pegmatite		17	0.000	0.053	0.033	0.020	93.881	0.000	0.010	0.038	0.000	0.215	0.055	0.195	0.030	94.511	
KN 2.3.6	inside MoS2	Grey granite		23	0.000	3.077	0.003	0.059	1.598			0.039	0.019	53,005	0	37,167		93,725	
KN 2.3.7	edge	Grey granite		24	0.026	3.215	0.024	0.017	1,511	0.062		0	0.069	0	52,523	0	36,394	0	92,55
KN 2.3.16	core	Grey granite		33	0.092	2.986	0.021	0.053	0.665	0.05	0.053	0.276		55,832	0	39,092	0.02	97,884	
KN 2.3.17	edge	Grey granite		34	0.134	3.512	0	0.074	0.735	0.066	0.107	0.174		54,622	0	38,785	0	96,796	
KN-1.si1	core	Grey granite		3	0.000	3.048	0.018	0.184	2.66			0.092	0.025	49,437	0	37,203	0	91,388	
KN-1.si2	edge	Grey granite		4	0.000	3.142	0.038	0.223	4.191			0.137	0	46,718	0	34,89		88,057	
KN-1.si3	edge	Grey granite		5	0.000	3.318	0.013	0.078	1,568			0	0.03	0.022	52,006	0	39,401	0	95,044
KN-10.si1	core	Porphyry- no Mo		17	0.000	3.327	0.057	0.029	0.133	0		0	0.075	53,762	0	41,89	0	97,869	
KN-10.si2	edge	Porphyry- no Mo		18	0.006	2.888	0.021	0.07	0.482		0.019	0.076	0.014	52,603	0	41,876	0	96,835	
KN-10.si3	edge	Porphyry- no Mo		19	0.034	2.962	0.049	0.007	0.14			0.116	0.003	53,902	0	42,551		98,544	
KN-10.si23	core	Porphyry- no Mo		39	0.010	3.791	0.035	0	0.088			0	0.051	0.016	54,52	0	42,417	0	99,343
KN-10.si24	edge'	Porphyry- no Mo		40	0.000	3.909	0.04	0.059	0.745			0.018	0.198	0.025	54,142	0	40,928		98,411
KN-10.si18	core	Porphyry- no Mo		34	0.011	3.446	0.036	0.053	0.215	0.014	0.004	0.087	0.044	54,530	0.000	41,970	0.000	98,951	
KN-10.si19	edge	Porphyry- no Mo		35	0.062	3.741	0.053	0.036	0.096	0.000	0.028	0.347	0.047	54,703	0.019	41,487	0.010	99,042	
KN-10.si20	edge	Porphyry- no Mo		36	0.083	3.622	0.086	0.032	0.368	0.001	0.055	0.373	0.122	54,256	0.000	41,709	0.000	99,163	
KN-14A.si15	core	Amphibolite w/pegmatite		55	0.095	3.474	0.013	0.076	0.297	0	0.063	0.476	0.124	53,491	0.036	40,881	0	97,56	
KN-14A.si16	edge	Amphibolite w/pegmatite		56	0.143	3.48	0.021	0.065	0.246	0	0.158	0.611	0.108	53,045	0	41,57	0.032	98,009	
KN-14A.si17	edge	Amphibolite w/pegmatite		57	0.236	3.292	0.028	0.074	0.419	0.068	0.072	0.417	0.073	52,819	0	41,096		97,211	
KN-14A.si18	core	Amphibolite w/pegmatite		58	0.038	3.858	0.035	0.048	0.258	0	0.044	0.302	0.033	53,905		41,374	0	98,289	
KN-14A.si19	edge	Amphibolite w/pegmatite		59	0.121	4.191	0.015	0.072	0.13	0	0.079	0.496	0.113	54,807	0	41,893		100,16	
KN-14A.si20	edge	Amphibolite w/pegmatite		60	0.105	3.564	0.023	0.066	1.03	0	0.106	0.484	0.109	52,725		39,821	0.024	96,571	

Microprobe data: Mass % silicate																			
Analysis #	Mineral	Rock	Teoretical DL(ppm)	#	Al2O3 %	117	657	91	191	267	144	141	218	142	156	289	206	176	
						F %	Cl %	MhO %	SiO2 %	Na2O %	K2O %	CaO %	FeO %	MgO %	CaO %	CuO %	P2O5 %	TiO2 %	Total %
	Ilmenite																		
KN1.1-20	core	Flaser gneiss granite		42	0.000	0.050	0.009	3.789	0.054	0.001	0.000	0.000	44.833	0.040	0.000	0.000	0.000	36.097	84.911
KN1.1-21	edge	Flaser gneiss granite		43	0.013	0.000	0.012	3.842	0.083	0.000	0.019	0.003	44.587	0.003	0.000	0.009	0.041	38.287	86.893
KN1.1-3	core	Flaser gneiss granite		25	0.014	0.000	0.011	3.290	0.000	0.000	0.000	0.030	46.442	0.030	0.000	0.025	0.000	37.189	87.060
KN1.1-4	edge	Flaser gneiss granite		26	0.008	0.000	0.017	3.442	0.089	0.092	0.019	0.043	46.045	0.043	0.000	0.000	0.029	37.340	87.166
KN1.1-10	core	Flaser gneiss granite		32	0.000	0.000	0.017	3.258	0.073	0.073	0.000	0.008	44.313	0.008	0.000	0.000	0.066	39.018	86.959
KN1.1-11	edge	Flaser gneiss granite		33	0.016	0.000	0.003	3.324	0.271	0.052	0.000	0.017	43.061	0.017	0.000	0.000	0.000	38.940	85.683
KN1.1-16	core	Flaser gneiss granite		38	0.077	0.000	0.005	3.322	0.000	0.000	0.006	0.000	46.378	0.000	0.000	0.000	0.021	37.869	87.730
KN1.1-17	edge	Flaser gneiss granite		39	0.000	0.000	0.000	3.452	0.181	0.000	0.002	0.000	45.669	0.000	0.000	0.038	0.000	37.565	86.976
KN.2-27	core	Grey granite contact zone to porphyry	ξ	49	0.015	0.004	0.000	1.972	0.177	0.025	0.000	0.025	46.210	0.025	0.000	0.000	0.008	39.588	88.060
KN.2-28	edge	Grey granite contact zone to porphyry	ξ	50	0.020	0.000	0.000	1.559	0.930	0.000	0.000	0.003	49.326	0.003	0.000	0.000	0.000	33.943	85.781
KN.2-29	core in porphy	Grey granite contact zone to porphyry	ξ	51	0.013	0.000	0.000	2.832	0.039	0.000	0.000	0.000	47.117	0.000	0.025	0.000	0.004	37.473	87.579
KN.2-30	edge in porphy	Grey granite contact zone to porphyry	ξ	52	0.067	0.000	0.004	2.811	0.110	0.000	0.002	0.024	46.367	0.024	0.056	0.000	0.017	37.135	86.684
KN.2-35	core	Grey granite contact zone to porphyry	ξ	57	0.190	0.000	0.000	3.399	0.399	0.151	0.000	0.036	45.394	0.036	0.128	0.019	0.058	37.593	87.367
KN.2-36	edge	Grey granite contact zone to porphyry	ξ	58	0.229	0.000	0.005	3.621	0.377	0.008	0.006	0.060	45.120	0.060	0.004	0.000	0.000	37.951	87.441
KN3.1-3	core	Porphyry granite w/quartz vein		73	0.000	0.000	0.013	2.955	0.032	0.060	0.006	0.000	46.097	0.005	0.000	0.014	0.000	38.216	87.395
KN3.1-4	edge	Porphyry granite w/quartz vein		74	0.000	0.000	0.000	2.949	0.027	0.023	0.002	0.000	45.982	0.000	0.000	0.000	0.008	38.273	87.264
KN3.1-5	core	Porphyry granite w/quartz vein		75	0.002	0.000	0.004	3.038	0.000	0.000	0.026	0.020	46.072	0.020	0.000	0.000	0.000	38.349	87.510
KN3.1-6	edge	Porphyry granite w/quartz vein		76	0.020	0.000	0.015	2.618	0.000	0.000	0.002	0.000	47.768	0.000	0.000	0.025	0.000	37.031	87.476
KN3.1-7	edge	Porphyry granite w/quartz vein		77	0.006	0.000	0.003	2.833	0.040	0.034	0.004	0.000	47.702	0.000	0.000	0.000	0.000	35.965	86.586
KN3.1-13	core	Porphyry granite w/quartz vein		83	0.000	0.000	0.000	2.985	0.087	0.008	0.000	0.000	46.595	0.000	0.000	0.000	0.000	37.569	87.244
KN3.1-14	edge	Porphyry granite w/quartz vein		84	0.023	0.000	0.001	2.944	0.012	0.000	0.000	0.009	48.240	0.009	0.000	0.026	0.021	36.301	87.577
KN3.1-17	core	Porphyry granite w/quartz vein		87	0.000	0.000	0.000	2.861	0.001	0.000	0.000	0.021	47.057	0.021	0.000	0.053	0.029	38.180	88.202
KN3.1-18	edge	Porphyry granite w/quartz vein		88	0.006	0.000	0.000	2.901	0.308	0.000	0.000	0.021	46.705	0.021	0.000	0.000	0.000	37.631	87.572
KN3.1-24	core	Porphyry granite w/quartz vein		94	0.009	0.000	0.000	2.348	0.000	0.000	0.000	0.014	47.682	0.014	0.000	0.000	0.050	38.187	88.351
KN3.1-25	edge	Porphyry granite w/quartz vein		95	0.106	0.000	0.000	2.397	0.117	0.010	0.000	0.011	47.417	0.011	0.000	0.000	0.008	38.247	88.313
KN 2.3.1	core	Grey granite		18	0.000	0.000	0.000	2.729	0.000	0.000	0.000	0.000	48.216	0.000	0.000	0.001	0.000	36.585	87.531
KN 2.3.2	edge	Grey granite		19	0.103	0.000	0.000	2.709	0.293	0.113	0.000	0.000	48.143	0.000	0.000	0.000	0.004	36.114	87.479
KN 2.3.3	core with lamellae	Grey granite		20	0.042	0.000	0.000	2.444	0.074	0.000	0.000	0.000	48.050	0.000	0.000	0.000	0.009	36.787	87.554
KN 2.3.4	edge with lamellae	Grey granite		21	0.030	0.000	0.009	2.369	0.030	0.006	0.000	0.000	47.208	0.000	0.000	0.008	0.000	37.295	87.068
KN 2.3.5	core, inside Mol	Grey granite		22	0.002	0.000	0.003	2.912	0.000	0.000	0.000	0.001	46.856	0.001	0.001	0.017	0.000	37.377	87.168

	GLITTER!: Minimum_detection_limits_(99%_confidence).						
Standard	Cp	Intern standard	Po	Intern standard	Intern standard	Intern standard	Intern standard
Element	Sulfid_63	MASS-1_11	Sulfid_64	MASS-1_13	MASS-1_14	MASS-1_01	MASS-1_02
SMR34	362,43	118,19	115283,95	120,58	274,57	97,1	163,07
FeMR57	16,52	5,17	7102,2	5,37	5,73	2,38	2,32
CoMR59	0,312	0,0759	104,33	0,0443	0,102	0,0361	0,0417
NiMR60	9,4	2,49	3453,97	2,3	2,71	0,844	0,826
CuMR65	6,33	1,88	2348,54	1,81	2,01	0,777	0,82
ZnMR66	3,33	1,22	1352,26	0,898	3,24	1,16	2,62
GaMR69	0,0815	0,0385	47,46	0,0429	0,0485	0,0346	0,0466
GeMR74	0,558	0,13	103,37	0,0812	0,0965	0,111	0,103
AsMR75	<0.00000	0,231	<0.00000	<0.00000	<0.00000	0,177	0,115
SeMR77	3,31	<0.00000	809,17	0,67	<0.00000	0,387	0,706
MoMR95	3,45	0,875	982,58	0,769	0,846	0,342	0,344
MoMR98	2,52	0,643	826,18	0,509	0,606	0,255	0,291
AgMR107	0,396	0,115	163,15	0,0713	0,0715	0,0503	0,0618
InMR115	0,066	0,0201	28,59	0,0151	0,0322	0,0123	0,0124
SnMR118	0,283	0,106	48,58	0,0402	0,132	0,0404	0,0509
SbMR121	<0.00000	<0.00000	<0.00000	0,0766	0,0946	0,0261	0,0252
TeMR125	2,38	<0.00000	<0.00000	<0.00000	0,36	0,129	<0.00000
WMR182	<0.00000	<0.00000	<0.00000	<0.00000	<0.00000	<0.00000	<0.00000
OsMR189	<0.00000	<0.00000	<0.00000	<0.00000	<0.00000	<0.00000	<0.00000
AuMR197	<0.00000	<0.00000	15,41	<0.00000	0,0216	0,00826	<0.00000
PbMR204	3,36	0,912	1132,48	1,25	1,7	0,653	0,985
PbMR208	0,0793	0,0429	46,89	0,0503	0,063	0,0199	0,0164
BiMR209	0,07	0,0147	31,41	0,0206	0,0253	0,0104	0,013
RuMR101	<0.00	<0.00	<0.00	<0.00	<0.00	<0.00000	<0.00000

		Values are reported in ppm																							
Location spot of molybdenite	Rock	Sample	Analysis #	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Ag	In	Sn	Sb	Te	W	Re	Os	Au	Pb	Bi	U	
Left rim	Amphibole w/pegmatite	KN14A	Sulfid_01	160.79	0.12	1.40	2.62	3.60		0.58	0.52	232.81	0.37	0.11	0.14	0.14	36.70	379.82	1.78				0.34	0.13	0.06
Core	Amphibole w/pegmatite	KN14A	Sulfid_02	337.20	0.18			4.15	0.20	0.74	0.36	240.66	0.40	0.05	0.18	0.11	0.11	36.23	295.52	2.95	0.20	0.01	4.62	1.17	0.06
Right rim	Amphibole w/pegmatite	KN14A	Sulfid_03	31.95	0.05		3.49	3.97		0.62	0.28	234.50	0.75	0.11	0.14	0.14	41.90	266.38	6.10			0.01	0.14	0.02	0.01
Rim	Amphibole w/pegmatite	KN14A	Sulfid_04	700.30	0.30			4.13	0.29	0.70	0.32	285.71	0.78	0.09	0.18	0.18	43.43	304.24	3.98	0.19	0.01	0.01	2.65	0.69	0.11
Core	Amphibole w/pegmatite	KN14A	Sulfid_05	190.08				2.40		0.51	0.28	288.25	0.40	0.07	0.13	0.10	45.27	357.01	7.63	0.20	0.01	1.76	0.31	0.16	
Rim	Amphibole w/pegmatite	KN14A	Sulfid_06	625.72	0.27			5.73	0.34	0.91	0.19	293.53	0.58	0.07	0.13	0.10	44.08	293.79	6.75	0.23	0.02	4.60	0.74	0.40	
Rim	Amphibole w/pegmatite	KN14A	Sulfid_07	494.17	0.54			3.02		0.93	0.38	267.80	0.75	0.10	0.22	0.05	43.28	275.40	7.11	0.01	0.01	5.12	1.70	0.05	
Rim	Amphibole w/pegmatite	KN14A	Sulfid_08	376.57	0.62			7.32		0.98	0.47	179.27	0.62	0.10	0.15	0.02	43.56	391.27	11.23	0.43	0.01	18.15	6.91	0.15	
Rim to core to rim	Grey granite	KN24	Sulfid_15	3689.57	0.10	2.22	7.51	1.93	1.29	0.47		179.27	0.62	0.10	0.15	0.02	43.56	391.27	11.23	0.43	0.01	18.15	6.91	0.15	
From core to rim	Flaser gneiss	R.1.1	Sulfid_16	5865.37	1.34			61.47	0.62	1.03		307.96	1.35	0.36	0.36	0.36	39.51	29.31	1.87	0.43		5.37	1.81	0.04	
Core	Flaser gneiss	R.1.1	Sulfid_19	735.52	0.26			125.12	2.84	0.14	0.91	253.33	0.43	0.05	0.13	0.13	37.53	59.35	2.77			7.79	0.59	0.08	
Rim to core	Porphyry granite	KN1.3	Sulfid_21	1546.88	0.07			4.25	2.15		0.06	107.98	0.38	0.04	0.10	0.10	51.01	167.22	1.97			0.00	0.82	0.47	0.00
Core to rim	Porphyry granite	KN1.3	Sulfid_22	30.69		3.89						0.09	103.37	0.33	0.07	0.13	0.06	40.98	158.90	1.27		0.01	1.72	0.51	0.01
Rim to core to rim	Porphyry granite	KN1.3	Sulfid_23	3085.95				8.45	3.58	0.80	0.77	155.29	0.35	0.09	0.20	0.05	37.45	304.79	0.50			0.00	1.37	10.35	0.01
Rim	Grey granite	KN2.3	Sulfid_27	798.12	0.11	2.56	84.38	3.53	0.12	0.82		226.23	0.41	0.05	0.21	0.05	8.16	22.68	4.75			0.00	4.91	0.12	0.02
Core	Grey granite	KN2.3	Sulfid_28							1.15		347.83	0.28	0.08			28.20	4.17	38.83	1.04		0.00	0.17	0.00	0.00
Rim to core	Grey granite	KN2.3	Sulfid_29	6.33		2.65		2.86	0.04	0.57		184.56	0.18	0.05	0.05	0.05	0.01	8.64	29.69	3.14	0.44	0.02	0.25	0.04	0.00
Rim to core	Flaser gneiss	KN1.4	Sulfid_35	824.56	0.59	5.22	132.63	6.23		0.82	0.13	207.59	22.48	0.04	0.17	0.17	0.02	36.29	30.26	10.24		0.03	22.45	5.02	0.18
Lengthwise from core to rim	Flaser gneiss	KN1.4	Sulfid_38	3.47		3.47	3.74	3.18	0.05	0.13		58.97	0.86	0.04	0.04	0.04	0.02	43.70	196.18	25.94		0.01	0.38	0.05	0.01
Rim to core	Grey granite	KN19	Sulfid_39	37.85			7.44	3.56		0.69		130.80	1.21	0.07	0.11	0.11	13.18	281.37	1.16	0.54		0.00	0.70	0.35	0.21
Rim to core	Grey granite	KN19	Sulfid_41	43.47	0.08	4.29		3.99		0.65	0.13	220.82	4.38	0.05	0.05	0.05	0.03	5.64	23.63	1.58	0.92	0.02	0.55	20.27	
Rim to core	Grey granite	KN19	Sulfid_42	0.18	3.24			3.17		0.44		180.25	0.38	0.04	0.04	0.04	0.02	8.86	151.36	0.71	0.47	0.36	0.36	0.05	
Lengthwise	Grey granite	KN19	Sulfid_43	2667.14	0.24					0.55	0.10	166.82	4.04	0.04	0.31	0.31	0.02	8.14	53.65	1.08	0.62		31.63	1.90	3.93
Lengthwise	Grey granite	KN19	Sulfid_44	7.85	0.12	4.10		8.94	1.18	0.60	0.15	208.72	0.84	0.03	0.03	0.03	0.08	4.32	33.72	0.18	0.60	0.01	1.06	0.02	0.00
Core	Grey granite	KN19	Sulfid_45	67.21	4.94	16.94		2.71	0.11	0.54	0.16	148.65	0.41	0.04	0.04	0.04	0.08	7.52	174.36	1.30	0.95		1.80	1.63	0.02
Rim to core	Grey granite	KN19	Sulfid_48	11.45			2.77			1.07		279.83		0.04	0.10	0.10	0.08	36.80	110.27	0.61		0.25	0.07	0.01	
Core	Amphibole w/pegmatite	R.1.2	Sulfid_49	303.24	0.27			7.58		0.93		274.61	0.40	0.09	0.12	0.12	38.23	86.53	3.60			0.02	2.16	1.98	0.12
Core to rim	Amphibole w/pegmatite	R.1.2	Sulfid_50	30.92	0.47	4.53	7.42	1.98	0.10	0.64		287.50	0.31	0.08	0.22	0.22	0.10	38.53	45.27	4.43	2.07	0.01	1.89	1.57	0.01
Core	Amphibole w/pegmatite	R.1.2	Sulfid_50	30.92	0.47	4.53	7.42	1.98	0.10	0.64		287.50	0.31	0.08	0.22	0.22	0.10	38.53	45.27	4.43	2.07	0.01	1.89	1.57	0.01

Location spot of molybdenite		Rock	Sample	Analysis #	Values are reported in ppm																					
					Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Ag	In	Sn	Sb	Te	W	Re	Os	Au	Pb	Bi	U	
Across the grain	Grey granite	KN2	Sulfid_52	2233,55					26,31	0,51	136,17	0,75			0,09	0,14	0,03	9,31	62,07	2,38				1,60	0,22	0,02
Crossing darker area in cleavage	Grey granite	KN2	Sulfid_53						2,02		205,23	0,49						11,09	25,36	0,38	1,09	0,00	0,09			0,00
Crossing darker area in cleavage	Grey granite	KN2	Sulfid_55	25,74			4,39	9,25	3,15	0,02	194,02	0,78	0,22		0,05	0,26	0,02	7,58	28,83	0,46	1,36		23,01	0,24		
Polluted grain	Grey granite	KN2	Sulfid_56	742,91			5,20	5,29		0,48	211,03	0,55			0,92	0,61	0,03	8,80	23,01	1,43			49,95	1,03	0,06	
Core to rim	Porphyry granite w/quartz	KN3.1	Sulfid_58	443,23	0,47			19,23	4,63	0,31	249,30	1,40	0,11		0,04	0,05	0,05	23,47	7,95	1,43	1,65	0,01	4,26	0,77	0,20	
Lengthwise	Porphyry granite w/quartz	KN3.1	Sulfid_59	27,14							190,06	0,71						55,39	6,74	4,49			0,11		0,00	
Crossing darker area in cleavage	Porphyry granite w/quartz	KN3.1	Sulfid_60	41,58	0,19			3,33	2,99	0,04	237,89	1,50	0,10		0,05	0,23	0,01	29,89	6,06	1,77			2,09	0,30		
Core to rim	Porphyry granite w/quartz	KN3.1	Sulfid_61	531,63			4,34	5,06		0,24	266,66	1,03	0,05		0,40	0,40	0,03	21,89	9,00	6,32	0,02	0,02	0,52	0,22	0,09	
Core lengthwise	Porphyry granite w/quartz	KN3.1	Sulfid_62	183,28			4,10	50,25		0,11	168,78	0,47	0,25		0,03	0,18	0,04	47,00	6,58	6,42		0,02	3,32	0,71	0,02	
Rim to core	Porphyry granite	ØRN1.1	Sulfid_65	602,77			1,67	9,72			19,42	0,18	0,21		0,18	0,18	0,04	19,81	9,06	1,67		0,00	0,18	0,07	0,02	
Core to rim	Porphyry granite	ØRN1.1	Sulfid_66	1209,28				10,53		0,39	19,30	0,28	0,06		0,06	0,13	0,01	19,35	8,93	12,98		0,01	0,55	0,41	0,04	
Core lengthwise	Porphyry granite	ØRN1.1	Sulfid_70	35631,61				241,23	9,19	2,78	20,36	0,28	0,06		0,10	0,45	0,04	19,32	9,34	2,40		0,00	92,48	0,62	0,16	
Darker areas in cleavage	Porphyry granite	ØRN1.1	Sulfid_72	8754,81				109,13	8,21	1,14	17,36	0,21	0,21		0,09	0,23	0,04	16,82	7,44	8,67		0,01	5,86	0,02	0,17	
Core lengthwise	Flaser gneiss	KN1.1	Sulfid_73	8,66	0,07			2,44			219,45	0,99			0,06			32,47	24,14	3,93	0,10		1,36	0,27	0,02	
Core lengthwise	Flaser gneiss	KN1.1	Sulfid_74	5,16						0,04	218,43	0,93						24,85	149,74	7,07			0,39	0,05		
Darker spots in cleavages	Flaser gneiss	KN1.1	Sulfid_75				0,13	2,88			218,33	1,11						0,08	20,08	42,58	5,15	0,16	0,00	0,11	0,08	0,04
Core to rim	Porphyry granite w/pegmat	KV1.2	Sulfid_77				3,08				120,16	0,53	0,03		0,04			35,35	43,73	2,30		0,01	0,12	0,04	0,00	
Core lengthwise	Porphyry granite w/pegmat	KV1.2	Sulfid_78	917,58	0,57			7,66	3,57	0,24	136,06	0,55	0,26		0,06	0,14	0,02	17,47	60,83	1,95	0,00	29,91	2,25	0,11		
Rim to core	Porphyry granite w/pegmat	KV1.2	Sulfid_81	8767,36	0,12			8,73	7,16	2,40	141,05	0,69	0,07		0,02	0,23	0,08	10,21	23,37	1,18	0,13	0,02	16,56	0,55	0,55	
Core to rim	Porphyry granite w/pegmat	KV1.2	Sulfid_82	1389,08	0,27			9,58		0,25	141,86	0,39	0,08		0,08	0,08	0,07	15,18	17,91	0,50		0,04	8,47	0,40	0,73	
Core to rim	Grey granite w/quartz vein	SØR.1.4	Sulfid_85	88,69	0,24			15,08	3,09		185,25	0,39	0,03		0,03	0,17	0,05	8,48	13,54	4,29			0,48	0,83	0,02	
Lengthwise	Grey granite w/quartz vein	SØR.1.4	Sulfid_86	2384,52	0,29	4,73		53,26	11,01	0,13	157,87	0,68	0,09		0,07	0,28		6,30	5,59	4,92			13,65	1,70	4,41	
Rim to core	Grey granite w/quartz vein	SØR.1.4	Sulfid_88	1305,00	0,23			23,39	7,15	0,30	173,24	0,76	0,18		0,03	0,14	0,05	9,97	6,91	5,70		0,01	50,30	0,56	4,90	
Crossing darker spots in the clea	Grey granite w/quartz vein	SØR.1.4	Sulfid_89	15,40							208,99	0,19	0,03		0,09	0,04	0,04	6,70	20,80	3,25		0,00	0,57	0,41		

Pyrite				Values are reported in ppm								
Rock	Sample	Location of ablation	Analysis #	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	
Grey granite	KN24	Rim-core-rim	Sulfid_09	33,00	39,47	39,73	1,62	0,12	0,36	2,84	102,66	
Grey granite	KN24	Rim-core-rim	Sulfid_11	18,53	118,77	20,61	25,27	0,05	0,45		119,03	
Grey granite	KN24	Rim-core-rim	Sulfid_14	84,21	103,12	50,18	2,30		0,49	1,18	162,44	
Grey granite	KN2.3	Rim-core-rim	Sulfid_30	165,69	12,08	47,50	2,53	0,72	0,43		27,68	
Grey granite	KN2.3	Rim-core-rim	Sulfid_32	11274,57	14,14				0,28	0,77	76,24	
Grey granite	KN2	Rim-core-rim	Sulfid_54	2,95	10,48	32,93			0,52	1,27	188,05	
Grey granite	KN19	Rim-core-rim	Sulfid_40	33,34	212,97	4328,31	23,06		0,43	0,42	120,80	
Grey granite	KN19	Rim-core-rim	Sulfid_46	903,38	50,83	5112,97	326,23	2,14	1,31	0,32	140,09	
Amphibole w/pegmatite	R1.2	Rim-core-rim	Sulfid_47	212,02	1093,77	8123,84	51,84		0,54	25,65	185,07	
Porphyry granite no Mo	KN10	Rim-core-rim	Sulfid_51	4156,48	60,48				0,21	7,85	7,95	
Porphyry granite	ØRN1.1	Rim-core-rim	Sulfid_67	1,70	571,12				0,35	0,13	91,94	
Porphyry granite w/pegmatite	KV1.2	Rim-core-rim	Sulfid_79	563,38	78,44				0,55	0,87	89,13	
Porphyry granite w/pegmatite	KV1.2	Rim-core-rim	Sulfid_80	3,37					0,51	31,92	121,74	
Flaser gneiss granite	KN1.1	Rim-core-rim	Sulfid_76	164,89	40,32	154,85	3,03	0,42	0,18	24,56	51,97	
Grey granite	KN-1	Rim-core-rim	Sulfid_24	274,46	64,27					0,52	19,35	
Grey granite	KN-1	Rim-core-rim	Sulfid_25	1,53	3,75				0,18	0,13	22,70	
Flaser gneiss granite	KN1.4	Rim-core-rim	Sulfid_37	17537,58	2,88	18,38			0,03	0,18	1,13	38,11

Pyrite				Values are reported in ppm													
Rock	Sample	Location of ablation	Analysis #	Mo	Mo	Ag	In	Sn	Sb	Te	W	Re	Os	Au	Pb	Bi	U
Grey granite	KN24	Rim-core-rim	Sulfid_09	1,22	1,32			0,11	0,01	0,58				0,00	3,93	0,15	2,37
Grey granite	KN24	Rim-core-rim	Sulfid_11					0,01	2,23					0,01	2,21	0,48	0,00
Grey granite	KN24	Rim-core-rim	Sulfid_14			1,96	0,03	0,12	0,02	19,21			0,16	0,74	50,98	14,91	
Grey granite	KN2.3	Rim-core-rim	Sulfid_30	1,73	2,26	2,03		1,51		0,76					255,74	2,59	0,11
Grey granite	KN2.3	Rim-core-rim	Sulfid_32							0,94	0,01				0,24	0,06	
Grey granite	KN2	Rim-core-rim	Sulfid_54	10,01	7,59	0,57								0,02	382,21	7,44	2,64
Grey granite	KN19	Rim-core-rim	Sulfid_40			3,41		0,59		1,02				0,00	188,10	0,55	0,27
Grey granite	KN19	Rim-core-rim	Sulfid_46	144,20	137,79	5,67	0,42	1,07	0,05	10,94				0,01	220,84	3,28	4,12
Amphibole w/pegmatite	R1.2	Rim-core-rim	Sulfid_47			29,01	0,11	0,11	1,25	14,96				0,06	60,89	37,77	
Porphyry granite no Mo	KN10	Rim-core-rim	Sulfid_51										0,38		0,09		0,00
Porphyry granite	ØRN1.1	Rim-core-rim	Sulfid_67	8,50	9,05	0,27		0,06			0,01				5,76		0,00
Porphyry granite w/pegmatite	KV1.2	Rim-core-rim	Sulfid_79			0,45			0,19						0,33		0,01
Porphyry granite w/pegmatite	KV1.2	Rim-core-rim	Sulfid_80		0,34	0,11			0,34	4,72	0,01			0,01	12,35	0,24	0,01
Flaser gneiss granite	KN1.1	Rim-core-rim	Sulfid_76	20,16	26,86	4,15	0,03	1,15	0,97	1,17	1,51			0,05	22,98	12,44	0,23
Grey granite	KN-1	Rim-core-rim	Sulfid_24		1,19				0,05						0,65	0,17	
Grey granite	KN-1	Rim-core-rim	Sulfid_25							3,76				0,00	4,31	1,45	0,09
Flaser gneiss granite	KN1.4	Rim-core-rim	Sulfid_37	4,00	1,38									0,00	0,42	0,02	

Chalcopyrite				Values are reported in ppm							
Rock	Location of ablation	Sample	Analysis #	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se
Grey granite	Rim-core-rim	KN24	Sulfid_10	0,21		484,87			0,42	0,83	86,65
Grey granite	Rim-core-rim	KN24	Sulfid_12	0,57		815,27		0,28	0,26	0,30	84,09
Grey granite	Rim-core-rim	KN24	Sulfid_13	0,47		670,32		0,37	0,33	0,26	102,25
Grey granite	Rim-core-rim	KN2.3	Sulfid_33	0,62		550,58		0,56	0,83	0,20	126,40
Grey granite w/quartz vein	Rim-core-rim	SØR.1.4	Sulfid_84			444,53		0,29	0,31	0,34	79,62
Flaser gneiss granite	Rim-core-rim	KN1.4	Sulfid_36			663,90				0,06	71,34
Flaser gneiss granite	Rim-core-rim	KN1.3	Sulfid_20	1,40		885,54		0,38	0,31		24,93
Grey granite	Rim-core-rim	KN-1	Sulfid_26	0,74		401,64		0,25			9,89
Porphyry granite w/quartz vein	Rim-core-rim	KN3.1	Sulfid_57	1,01		583,67		0,51	0,64		153,07
Porphyry granite w/quartz vein	Rim-core-rim	KN3.1	Sulfid_63	1,26		629,44		0,27	0,62		119,26
Porphyry granite	Core	ØRN1.1	Sulfid_69	0,09		3392,18		0,12	0,18		58,61
Porphyry granite	Core-rim	ØRN1.1	Sulfid_71		15,19	717,92		0,39	0,31		67,99
Porphyry granite w/pegmatite	Inclusion in mol	KV1.2	Sulfid_83	1,37		834,18			0,63		80,57
Porphyry granite w/pegmatite	Core-rim	KV1.2	Sulfid_87			227,93		0,69	0,80	0,31	268,97

Chalcopyrite			Values are reported in ppm															
Rock	Location of ablation	Sample	Analysis #	Mo	Mo	Ag	In	Sn	Sb	Te	W	Re	Os	Au	Pb	Bi	U	
Grey granite	Rim-core-rim	KN24	Sulfid_10			113,41	36,08	188,37			0,01				4,23		2,76	
Grey granite	Rim-core-rim	KN24	Sulfid_12			130,27	11,66	104,93		6,26			0,22		7,13	0,18	0,00	
Grey granite	Rim-core-rim	KN24	Sulfid_13			107,82	6,98	6,29		2,07	0,03		0,15	0,01	0,60	0,04		
Grey granite	Rim-core-rim	KN2.3	Sulfid_33	2,15		160,19	9,56	44,87							0,90		0,02	
Grey granite w/quartz vein	Rim-core-rim	SØR.1.4	Sulfid_84			1,04	22,44	32,14			0,01				0,31	0,46	0,00	
Flaser gneiss granite	Rim-core-rim	KN1.4	Sulfid_36	4,71	3,76	185,69	21,71	8,86		2,34					12,68	0,25		
Flaser gneiss granite	Rim-core-rim	KN1.3	Sulfid_20	13,34	22,35	465,82	10,03	21,42	0,06	0,84	3,36				6,33	1,55	0,00	
Grey granite	Rim-core-rim	KN-1	Sulfid_26		1,26	416,39	17,72	4,67		1,60					5,48	0,86	0,20	
Porphyry granite w/quartz vein	Rim-core-rim	KN3.1	Sulfid_57		7,56	15,92	36,04	28,52		9,54				0,01	13,90	0,25	0,02	
Porphyry granite w/quartz vein	Rim-core-rim	KN3.1	Sulfid_63	64,56	46,96	21,71	73,30	22,50	0,34						4,10	0,22		
Porphyry granite	Core	ØRN1.1	Sulfid_69			99,48	8,56	21,88		17,76					21,85	0,82		
Porphyry granite	Core-rim	ØRN1.1	Sulfid_71	2,01	1,11	111,59	7,75	22,23		19,99				0,01	27,20	0,87	0,00	
Porphyry granite w/pegmatite	Inclusion in mol	KV1.2	Sulfid_83	59,55	46,68	5,89	3,72	26,07		1,78			0,34		2,21	0,03	0,01	
Porphyry granite w/pegmatite	Core-rim	KV1.2	Sulfid_87	318,94	294,60	121,42	12,76	17,08		1,30	0,23				78,89	16,01	4,61	

Tabell C.2 Deteksjonsgrenser for apatittanalyser

Apatite analysis. GLITTER!: Minimum_detection_limits_(99%_confidence).													
Standard	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Si29	98,09	65,37	83,96	96,32	255511	89,83	65,21	64,62	58,51	51,59	58,59	78,92	99,44
P31	20,36	13,5	17,16	20,5	55645	19,47	13,7	13,61	12,33	10,43	12,08	16,2	20,61
Ca44	70,39	47,08	58,6	71,36	195431	67,81	47,01	47,58	43,04	34,91	41,46	55,74	72,09
Ti47	7,49	5,13	5,72	7,51	22287	7,69	4,87	5,02	4,87	3,23	4,19	5,71	7,5
Mn55	0,468	0,315	0,399	0,462	1218,1	0,43	0,315	0,315	0,289	0,25	0,284	0,388	0,485
Sr88	0,131	0,0904	0,105	0,127	360,18	0,133	0,0834	0,0857	0,0892	0,0617	0,076	0,107	0,131
Y89	0,0582	0,0342	0,0434	0,0569	171,04	0,0492	0,0425	0,048	0,0384	0,0261	0,0435	0,0511	0,0682
Zr90	0,303	0,208	0,236	0,319	925,29	0,308	0,203	0,213	0,197	0,137	0,173	0,256	0,317
La139	0,0215	0,0163	0,0139	0,0212	49,15	0,0184	0,0142	0,0164	0,0143	0,0091	0,0167	0,013	0,0239
Ce140	0,0875	0,0662	0,0766	0,0856	235,72	0,0819	0,0551	0,0521	0,0471	0,0353	0,0422	0,0555	0,0768
Pr141	0,0426	0,0298	0,0353	0,0391	98,9	0,0348	0,0253	0,0243	0,0165	0,0158	0,0205	0,0237	0,0285
Nd143	0,821	0,576	0,611	0,746	1994,7	0,736	0,445	0,42	0,397	0,282	0,362	0,471	0,609
Nd144	0,388	0,277	0,3	0,344	947,27	0,333	0,217	0,209	0,19	0,149	0,163	0,237	0,284
Sm152	0,0339	0,0288	0,046	0,0411	110,62	0,0501	0,025	0,0255	0,0225	0,0122	0,0208	0,0394	0,0523
Eu151	0,0465	0,0257	0,0279	0,039	89,22	0,0415	0,0225	0,0225	0,0258	0,0203	0,0219	0,0318	0,0329
Eu153	0,0289	0,0201	0,0268	0,0297	84,75	0,0315	0,0147	0,0242	0,0272	0,0149	0,0197	0,0263	0,0301
Gd158	0,0868	0,0608	0,0781	0,0939	260,07	0,0807	0,0704	0,0664	0,0552	0,0505	0,052	0,0937	0,132
Tb159	0,0151	0,0072	0,0095	0,0123	42,01	0,0185	0,0095	0,0082	0,0099	0,0057	0,0108	0,011	0,0143
Dy163	0,0278	0,0134	0,0172	0,0219	96,85	0,0398	0,0181	0,0093	0,0159	0,01	0,0141	0,0263	0,0148
Ho165	0,00928	0,0078	0,0042	0,0083	30,79	0,0112	0,0095	0,0067	0,0069	0,0067	0,0056	0,0102	0,0132
Er167	0,0395	0,029	0,0234	0,0416	114,33	0,0404	0,0158	0,0281	0,031	0,0169	0,025	0,03	0,0446
Tm169	0,016	0,0093	0,0123	0,0111	24,12	0,0121	0,008	0,0062	0,0088	0,0067	0,0045	0,0083	0,0146
Yb171	0,0437	0,0386	0,0504	0,0398	90,3	0,0522	0,0232	0,0191	0,0395	0,0134	0,032	0,0478	0,0597
Lu175	0,0153	0,0073	0,0101	0,0152	33,23	0,0135	0,0116	0,0064	0,0062	0,0068	0,0107	0,013	0,0115
Th232	<0.00000	<0.00000	<0.00000	0,0031	<0.00000	0,0044	<0.00000	<0.00000	0,0033	<0.00000	<0.00000	0,0025	<0.00000
U238	<0.00000	<0.00000	<0.00000	0,0042	<0.00000	0,0035	<0.00000	<0.00000	<0.00000	<0.00000	<0.00000	0,0018	0,0022

Apatite analysis. GLITTER!: Minimum_detection_limits_(99%_confidence).														
Standard	15	17	18	19	20	21	24	25	30	31	33	34	44	45
Si29	127,21	52,95	84,55	56,97	64,5	58,48	87,42	55,81	58,96	56,54	57,37	65,01	53,79	55,96
P31	25,9	10,43	16,91	11,52	12,97	12,18	17,53	13,33	13,58	13,25	12,82	14,64	11,59	12,22
Ca44	89,02	34,84	56,35	39,12	44,25	42,38	59,28	50,12	48,98	47,98	46,37	52,45	41,81	44,26
Ti47	9,73	3,69	5,59	4,04	4,59	4,6	5,74	6,7	6,26	6,26	6,4	7,01	5,15	5,42
Mn55	0,618	0,262	0,413	0,284	0,323	0,297	0,438	0,296	0,316	0,306	0,321	0,36	0,299	0,315
Sr88	0,17	0,0759	0,116	0,0831	0,0923	0,0907	0,115	0,109	0,0972	0,0966	0,105	0,112	0,0855	0,089
Y89	0,0898	0,0365	0,0468	0,0346	0,0454	0,0432	0,0569	0,0371	0,0388	0,0465	0,0396	0,0571	0,0386	0,046
Zr90	0,411	0,158	0,261	0,17	0,204	0,198	0,27	0,204	0,195	0,191	0,197	0,207	0,185	0,209
La139	0,0334	0,0132	0,0132	0,0115	0,0155	0,0175	0,016	0,0201	0,0125	0,0139	0,0181	0,0213	0,0128	0,0119
Ce140	0,0994	0,0373	0,0611	0,0425	0,0466	0,0434	0,0583	0,0997	0,0907	0,0908	0,0871	0,0962	0,0677	0,0689
Pr141	0,0453	0,0179	0,0238	0,0179	0,0184	0,0167	0,0228	0,034	0,0334	0,0309	0,0334	0,0393	0,0272	0,0277
Nd143	0,848	0,309	0,516	0,351	0,408	0,371	0,513	0,894	0,85	0,822	0,762	0,85	0,608	0,628
Nd144	0,37	0,152	0,244	0,166	0,193	0,186	0,232	0,407	0,391	0,368	0,365	0,395	0,284	0,291
Sm152	0,06	0,0296	0,0351	0,0264	0,0342	0,0325	0,0398	0,0354	0,0245	0,0303	0,0329	0,0383	0,0359	0,0382
Eu151	0,0392	0,0211	0,0366	0,0246	0,0257	0,0193	0,0268	0,031	0,0395	0,0287	0,0401	0,0344	0,0289	0,03
Eu153	0,0299	0,0165	0,0161	0,017	0,0185	0,023	0,0258	0,027	0,0266	0,0257	0,0198	0,0379	0,0114	0,0215
Gd158	0,144	0,0548	0,098	0,0616	0,074	0,0711	0,0952	0,0684	0,0583	0,0758	0,0721	0,0826	0,0605	0,0773
Tb159	0,0194	0,0065	0,0136	0,0038	0,0108	0,0114	0,0124	0,0132	0,0095	0,0105	0,0134	0,0156	0,0089	0,0046
Dy163	0,0684	0,0199	0,0414	0,0174	0,0242	0,0274	0,0328	0,0315	0,0173	0,0203	0,0344	0,0354	0,0248	0,0346
Ho165	0,0136	0,0067	0,012	0,0062	0,0084	0,0056	0,0069	0,0082	0,0112	0,0084	0,0081	0,0068	0,005	0,0089
Er167	0,0484	0,0176	0,0405	0,0269	0,0333	0,0377	0,0214	0,0368	0,0342	0,0219	0,0311	0,0426	0,0244	0,0198
Tm169	0,0168	0,0043	0,0105	0,0029	0,0076	0,0082	0,0131	0,0085	0,0081	0,0106	0,0098	0,0102	0,0107	0,0064
Yb171	0,0372	0,0145	0,04	0,0299	0,0357	0,0279	0,0195	0,0672	0,0574	0,0398	0,0428	0,0706	0,0373	0,0249
Lu175	0,0188	0,0072	0,016	0,009	0,0078	0,0101	0,0101	0,0115	0,0102	0,0106	0,0066	0,0141	0,0096	0,0069
Th232	<0.00000	<0.00000	<0.00000	<0.00000	<0.00000	0,0022	<0.00000	<0.00000	<0.00000	<0.00000	0,0027	<0.00000	<0.00000	<0.00000
U238	0,0034	<0.00000	<0.00000	<0.00000	<0.00000	0,0023	0,0019	0,0016	<0.00000	0,0015	<0.00000	<0.00000	0,0015	<0.00000

Apatitanalyser

Apatite in rock	Sample	Zone	#	Si	P	Ca	Ti	Mn	Sr	Y	Zr	La	Ce
Porphyry granite w/quartz vein	KN3.1	3	1	37538	191532	382600	59,7	654,8	150,3	2839,3	0,7	642,5	2276,5
Porphyry granite w/quartz vein	KN3.1	3	2	4156	236938	382600	157,6	805,8	164,2	7380,6	1,0	749,4	3358,3
Porphyry granite w/quartz vein	KN3.1	5	3	2666	237776	382600	157,5	477,4	133,8	2271,4	0,8	145,3	583,6
Porphyry granite contact	KN 2	6	4	3807	207142	382600	124,6	305,4	69,0	6342,8	1,1	1208,8	4050,0
Grey granite contact	KN 2	4	6	6816	211781	382600	82,3	508,8	74,3	14604,5	1,5	2301,7	7651,8
Porphyry granite-no Mo	KN 10	4	7	2014	209343	382600	92,3	245,9	414,8	2071,8	0,6	444,5	2289,7
Porphyry granite-no Mo	KN 10	3	8	1321	229631	382600	100,0	299,9	437,7	348,1	0,6	1114,6	2620,6
Porphyry granite-no Mo	KN 10	1	9	1268	264907	382600	154,9	302,1	381,1	116,3	0,9	718,3	1595,2
Flaser gneiss	KN1.4	1	10	4665	214174	382600	131,3	680,0	127,4	5103,5	1,5	1160,3	5696,5
Flaser gneiss	KN1.4	3	11	2865	242657	382600	168,9	636,7	142,6	3529,7	0,5	993,7	4520,1
Flaser gneiss	KN1.4	2	12	4994	210872	382600	93,1	491,8	127,4	8416,7	1,9	1850,3	6388,5
Grey granite	KN2.3	1	13	3168	190999	382600	63,7	537,0	77,6	5903,5	0,7	2257,0	4620,0
Grey granite	KN2.3	3	15	5218	213465	382600	57,9	505,4	91,4	12299,1	65,5	2846,5	6444,6
Amphibolite w/pegmatite	KN 14 A	4	17	4850	208861	382600	104,1	490,1	107,7	1587,2	0,4	384,3	1700,4
Grey granite	KN 24	4	18	2504	207984	382600	93,4	509,6	101,9	3245,5	2,0	1447,6	4680,1
Grey granite	KN 24	3	19	3492	235248	382600	160,1	668,6	92,9	5038,2	0,8	1848,6	6469,9
Grey granite	KN 24	1	20	3755	244222	382600	129,2	644,6	96,3	5528,2	0,7	2146,0	6603,4
Flaser gneiss	R.1.1	3	21	3114	226763	382600	132,7	607,5	147,6	3158,8	0,4	1932,7	7108,0
Grey granite	KN1	2	24	9473	216122	382600	89,2	852,2	59,3	25071,1	1,0	309,1	1650,7
Porphyry granite w/pegmatite	KV1.2	2	30	2935	253415	382600	91,8	453,9	155,2	5211,6	0,5	1574,3	4826,2
Porphyry granite w/pegmatite	KV1.2	3	31	2421	205493	382600	90,1	461,2	136,2	3036,6		1200,1	4080,6
Grey granite w/quartz vein	SØR 1.4	1	33	1983	244628	382600	109,6	359,5	131,7	3600,3	0,4	1087,0	2491,3
Grey granite w/quartz vein	SØR 1.4	2	34	3453	222965	382600	88,0	401,7	138,1	5604,3	1,0	1417,4	3675,6
Grey granite	KN-1	4	44	6611	238354	382600	139,4	973,7	72,9	15476,5	0,7	1751,1	7986,2
Grey granite	KN-1	X	45	11316	197297	382600	134,9	1067,1	69,7	25769,0	0,9	486,0	3684,6

All values are reported in ppm, Internal standard; Ca, Eksternal calibration standard NIST 610

Apatite in rock	Sample	Zone	#	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	U
Porphyry granite w/quartz vein	KN3.1	3	1	370,0	2007,5	721,1	16,8	724,9	108,2	593,4	110,6	256,0	30,2	174,9	21,0	18,3	13,6
Porphyry granite w/quartz vein	KN3.1	3	2	587,5	3410,1	1350,6	66,0	1553,3	251,2	1411,8	256,3	650,9	82,3	487,7	62,5	137,8	111,0
Porphyry granite w/quartz vein	KN3.1	5	3	109,3	736,8	286,1	25,6	429,1	58,5	382,7	72,8	177,9	22,1	133,6	17,1	18,8	18,3
Porphyry granite contact	KN 2	6	4	615,9	3047,5	1035,4	37,5	1072,3	179,3	863,6	163,1	385,7	55,9	399,8	57,0	101,5	60,5
Grey granite contact	KN 2	4	6	1149,6	5425,3	1987,2	37,8	2282,1	384,3	2221,9	388,5	1024,1	150,4	997,4	140,7	152,3	143,5
Porphyry granite-no Mo	KN 10	4	7	445,6	2439,0	636,8	42,5	541,2	76,1	380,2	72,5	172,1	21,0	127,6	15,9	6,5	6,7
Porphyry granite-no Mo	KN 10	3	8	269,2	984,0	151,3	27,6	106,4	12,2	56,7	11,7	28,8	3,8	24,8	4,0	14,7	6,9
Porphyry granite-no Mo	KN 10	1	9	130,1	396,6	47,4	17,4	32,6	3,6	14,6	2,9	7,5	1,0	7,5	1,5	8,3	4,7
Flaser gneiss	KN1.4	1	10	861,7	3313,4	993,5	34,3	1062,5	162,4	957,1	184,8	455,5	55,7	317,2	41,4	205,0	81,5
Flaser gneiss	KN1.4	3	11	575,7	2419,1	781,4	30,8	757,7	119,7	643,5	131,3	308,8	38,5	218,3	27,4	109,1	41,1
Flaser gneiss	KN1.4	2	12	900,2	4417,5	1289,3	41,6	1435,7	230,8	1261,4	247,5	578,8	75,3	407,2	55,1	191,4	72,5
Grey granite	KN2.3	1	13	634,7	3083,3	1179,9	32,7	1370,0	216,8	1195,5	212,7	467,9	56,3	309,6	38,4	72,0	32,4
Grey granite	KN2.3	3	15	877,8	4982,4	2022,3	64,4	2479,7	425,3	2331,5	438,0	1094,3	139,0	890,8	102,3	310,7	172,1
Amphibolite w/pegmatite	KN 14 A	4	17	213,2	972,6	288,8	25,0	345,7	48,3	296,6	59,9	152,7	18,6	105,5	14,9	73,8	50,0
Grey granite	KN 24	4	18	534,8	2362,2	625,7	51,9	588,5	88,0	448,7	83,7	206,3	24,6	128,5	18,5	118,3	40,4
Grey granite	KN 24	3	19	807,2	3404,3	926,1	43,1	960,1	137,4	703,5	133,5	331,7	38,2	200,1	26,2	192,0	103,4
Grey granite	KN 24	1	20	813,0	3544,8	927,0	46,6	845,8	121,4	629,1	126,2	302,5	38,4	241,8	32,7	231,1	95,6
Flaser gneiss	R.1.1	3	21	923,1	4392,6	1093,7	32,2	1010,6	138,9	704,3	130,6	277,2	29,5	164,4	19,8	114,9	33,2
Grey granite	KN1	2	24	378,8	2933,1	1883,1	86,3	3185,7	693,0	4691,3	880,4	2178,3	275,3	1651,1	153,9	185,1	84,8
Porphyry granite w/pegmatite	KV1.2	2	30	617,0	3141,5	1066,5	79,1	1206,4	190,8	1100,6	208,0	482,1	59,0	339,5	45,0	72,7	68,6
Porphyry granite w/pegmatite	KV1.2	3	31	594,1	2828,7	870,5	37,2	833,6	125,6	637,2	116,6	267,2	30,8	171,1	21,5	73,5	47,9
Grey granite w/quartz vein	SØR 1.4	1	33	309,8	1703,5	618,7	72,8	736,6	121,1	686,7	128,5	307,0	39,2	236,1	32,6	78,0	37,5
Grey granite w/quartz vein	SØR 1.4	2	34	560,4	2707,8	974,3	83,6	1094,9	172,2	941,5	177,8	447,3	55,9	340,9	45,4	172,0	63,3
Grey granite	KN-1	4	44	1216,6	5609,5	1976,4	46,2	2510,4	475,4	3075,4	666,7	1379,1	145,2	803,0	75,3	128,9	42,6
Grey granite	KN-1	X	45	619,6	4676,9	2681,9	87,9	4042,7	835,7	5812,0	#####	2810,9	331,3	1585,6	159,8	214,7	116,0

All values are reported in ppm, Internal standard; Ca, Eksternal calibration standard NIST 610