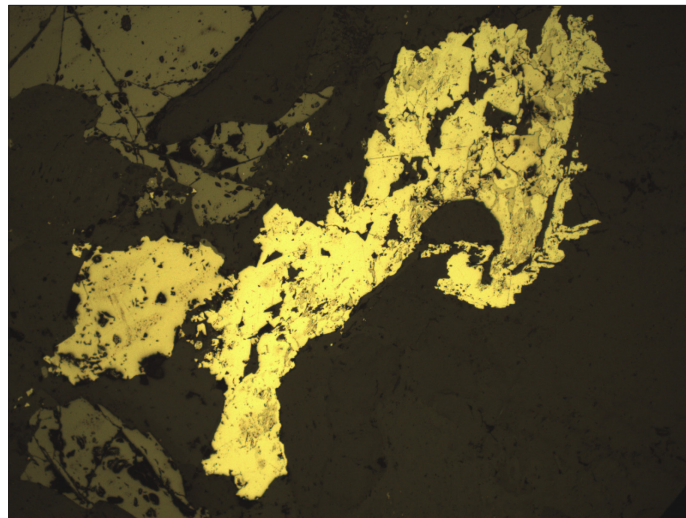


Mineralogisk och malmpetrografisk studie av disseminerade sulfider i rika och fattiga prover från Kleva

Andreas Björk

Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet,
kandidatarbete, nr 365
(15 hp/ECTS credits)



Geologiska institutionen
Lunds universitet
2013

Mineralogisk och malmpetrografisk studie av disseminerade sulfider i rika och fattiga prover från Kleva

Kandidatarbete
Andreas Björk

Geologiska institutionen
Lunds universitet
2013

Innehåll

1	Introduktion	5
1.1	Syfte	5
1.2	Frågeställningar	5
1.3	Geologi	5
2	Metoder	7
2.1	Insamling och preparering av prover	7
2.2	Malmmikroskopering	7
2.3	Svepelektronmikroskopering	7
2.4	Försök med polering	8
3	Resultat	8
3.1	De opaka faserna	8
3.1.1	Kopparkis (CuFeS_2)	8
3.1.2	Magnetit ($\text{Fe}_2\text{Fe}_3\text{O}_4$)	8
3.1.3	Ilmenit (FeTiO_3)	8
3.1.4	Magnetkis (Fe_{1-x}S) där $x = 0 - 0.17$	8
3.1.5	Pyrit (FeS_2)	8
3.1.6	Pentlandit ($\text{Fe,Ni}_9\text{S}_8$)	8
3.1.7	Violarit ($\text{Fe}^{2+}\text{Ni}^{3+}_2\text{S}_4$)	8
3.1.8	Zinkblände (Zn,FeS)	8
3.2	Deskriptiva texturer	10
3.2.1	K5	10
3.1.2	K2	10
3.1.3	LG	10
3.1.4	MG	10
3.3	Kvantitativ kemisk analys	12
3.4	Inscannade prover	15
4	Diskussion	15
4.1	Malmgenetiska texturer	15
4.2	Tolkning av kvantitativa analyser	16
4.3	Malmpetrologi	16
4.4	Felkällor	18
5	Slutsatser	18
6	Tack	18
7	Referenser	19

Omslagsbild: Aggregat (resorbtion) av pyrit och kopparkis ur prov från lokalen Mörka gången.

Mineralogisk och malmpetrografisk studie av disseminerade sulfider i rika och fattiga prover från Kleva

ANDREAS BJÖRK

Björk, A., 2013: Mineralogisk och malmpetrografisk studie av disseminerade sulfider i rika och fattiga prover från Kleva. *Examensarbeten i geologi vid Lunds universitet*, Nr. 365, 19 sid. 15 hp.

Sammanfattning: Kleva koppar-nickel -sulfidmineralisering i Jönköpings län associeras med en elongerad mafisk pluton. I denna studie presenteras de opaka faserna för disseminerad malm från platsen. De relativt rika resp. fattiga proverna skiljer sig åt textuellt och mineralogiskt. Prover med nätverkstexturer rymmer magnetkis medan de med enbart aggregat domineras av pyrit. Kobalt saknas i pentlandit från de fattigare proverna men utgör en säkerställd del i de rikare proverna. Samtidigt är andelen Ni hos samma mineral större i fattigare prover, främst ifrån lokalen Mörka gången. Samma lokal visar optiskt tydligast tecken på förändringar hos magman i form av resorbtion av sulfider. Järnoxiderna magnetit och ilmenit förekommer som inklusioner i sulfiderna eller som enskilda aggregat. Interna sprickor hos magnetit har fyllts av kopparkis resp. pyrit. Resultaten tolkas som att mineraliseringen tidigt under sitt viloläge hettades upp på nytt till följd av tension och ett inflöde av sulfidfattig magma rubbade balansen i den delvis redan kristalliserade magman.

Nyckelord: Kleva, koppar-nickel, mineralisering, disseminerad malm

Handledare: Anders Scherstén och Karolina Bjärnborg

Ämnesinriktning: Berggrundsgeologi

Andreas Björk, Geologiska institutionen, Lunds universitet, Sölvegatan 12, 223 62 Lund, Sverige.

E-post: ast05abj@student.lu.se

Mineralogy and ore petrology of disseminated ore from Kleva

ANDREAS BJÖRK

Björk, A., 2013: Mineralogy and ore petrology of disseminated ore from Kleva. *Dissertations in Geology at Lund University*, No. 365, 19 pp. 15 hp (15 ECTS credits).

Abstract: The Kleva copper-nickel sulphide mineralization in Jonkoping County, southeastern Sweden, is categorized as an elongated mafic pluton. In this study, ore microscopy and quantitative chemical analysis using SEM-EDS have been used to describe the relative abundance and distribution of sulphides and iron oxides in disseminated samples. The overall dominant mineral ore phase is chalcopyrite. In the richer samples it is associated with pyrrhotite and inclusions of iron oxides. In samples of lower grade, pyrite is the most dominant sulphide also filling out aertheritic textures of granular magnetite, and bordering ilmenite grains. Pentlandite is common in all samples but only contains Co in richer samples while with higher Ni content in samples of lower grade. The results presented here are interpreted in a model of enrichment in the ore. It is proposed that tension caused an influx of a magma poor in sulfur that reheated and altered the chemical balance of the already partly crystallized body.

Keywords: Kleva, copper nickel mineralization, disseminated ore.

*Andreas Björk, Department of Geology, Lund University, Sölvegatan 12, SE-223 62 Lund, Sweden.
E-mail: ast05abj.student.lu.se*

1 Introduktion

Förekomster av nickel och koppar med magmatiskt ursprung associeras generellt med disseminerade sulfider i mafiska och ultramafiska bergarter. Bakomliggande processer för anrikning är ett populärt forskningsområde inte minst inom industrin. Detta har generat ett flertal bildningsmodeller. I denna studie identifieras de opaka faserna ur sulfidbärande disseminerade prover från Kleva gruva i Småland. Därefter jämförs resultaten från proverna inbördes och en möjlig bildningsmodell diskuteras.

1.1 Syfte

Genom att studera disseminerade prover kan en bild tas fram av det tidiga skeendet vid bildningen av en malm. För att genomföra en större magmatisk petrografisk studie är mikroskoperingen en självklar del i fastställning av texturer, mineralsammanhang och kemisk sammansättning. I denna studie jämförs rika resp. fattiga prover med avseende på sulfidinhåll, och oberoende av andra förekommande malmtypen inom gruvan. Det är inte dess avsikt att ge en generell bild, utan snarare en indikation på i vilka inbördes mängder och sammanhang identifierade mineral förekommer. För en mer ingående beskrivning av förekommande silikaterna i viktprocent (w%) och klassificering hänvisas läsaren till (Persson 1989: tabell 28, Grip 1961, Nilsson 1984, och Naldrett and Cabri 1976).

1.2 Frågeställningar

- Vilka olika opaka mineral finns i proverna?
- Vilka sammanhang och texturer förekommer?
- Finns det trender i resultaten ifrån de kvantitativa kemiska analyserna?

1.3 Geologi

Kleva koppar-nickelgruva började som dagbrott uppe på toppen av berget. Trots sin ringa storlek utgjorde den ändå mer än hälften av nickelproduktion i Sverige under krigstiden 1914-1919 (Tegengren 1924). Att det fanns koppar var känt redan i slutet av 1600-talet, men då hade Axel Fredrik Cronstedt ännu inte upptäckt nickel, vilket han gjorde år 1751. Därtill behövdes smältprocesser utvecklas. När verksamheten i Kleva låg nere under de 50 år från att kopparbrytningen slutade vattenfylldes gruvan. Basplanet, vilket de nya proverna i denna studie är ifrån, ligger i höjd med den dräneringsgång som sprängdes upp år 1824 inför återöppnandet. År 1838 gjorde Berzelius analys på prover från Kleva och fann nickel bundet i pentlandit. Mot slutet av kriget hade Ni-halten minskat i malmen och verksamheten lade ner bara några månader efter Versaillesfreden i november 1918. Redan ett halv sekel tidigare hade stora nickelförekomster upptäckts i Nya Kaledonien och Kanada. Den enda liknande större brytningen av Ni som förekommit i Sverige sedan dess är Lainijaur, vilket skedde under nästa krigstid

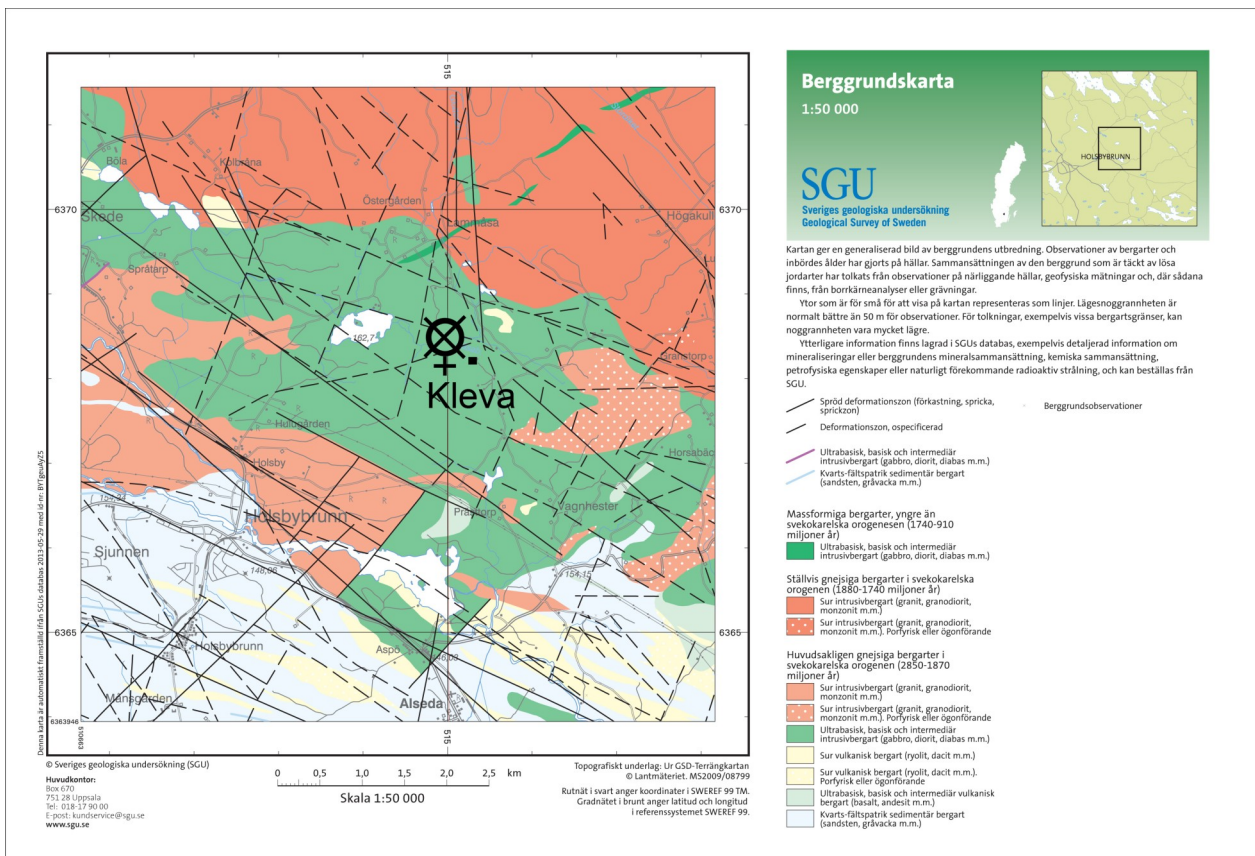


Fig. 1. Modifierad berggrundskarta från SGU:s kartdatabas. Ultrabasisk, basisk och intermediär intrusivbergart är grön på bilden, och sträcker sig i nordostlig riktning. Obs. Gabbrodioriten i Kleva, i vilken kleva koppar-nickel-gruva ligger, utgör ett betydligt mindre område på några km².

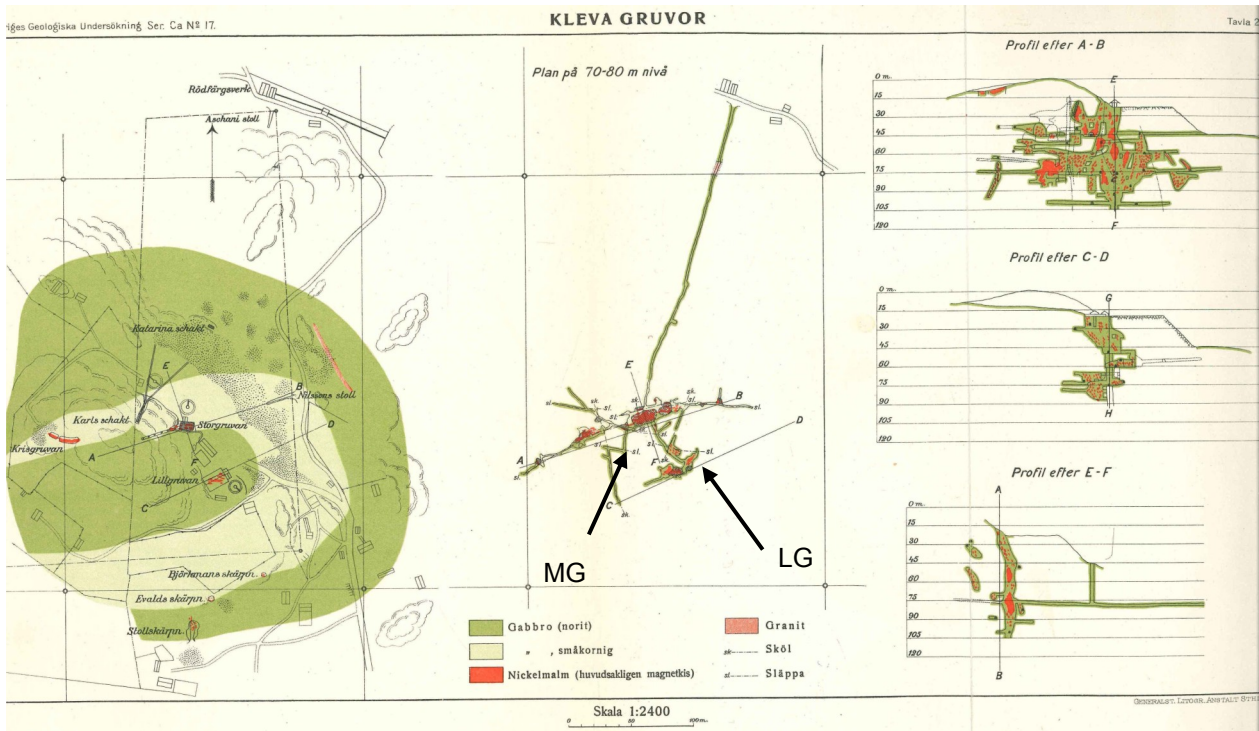


Fig. 2. Skiss av Kleva nickel-koppargruva modifierad efter Tegengren (1924). Lokaler för provtagning, Lillgruvan (vid ingången) och böjen till Mörka gången, är utmarkerade.

(Boliden 1941-1945). Idag är gruvan i Kleva ett turistmål och hjälper likt många andra omgjorda nedlagda gamla gruvor till väcka intresse för geologi hos allmänheten

Bergarten för mineraliseringen är en väl avgränsad (6,5 x 2,5 km²) och fin- till medelkornig gabbrodiorit/amfibolgabbro (se fig. 1, och Nilsson 1984). Den faktiska gruvan är ett område på 200x100 m (fig. 2).

Intrusionen ingår i de undre svekofenniska (svekokarelska) djupbergarter som skär genom Vetlandagruppen (Persson 1989), och gabbron i Kleva har daterats till 1790 Ma (Björnborg et al. 2013). De sedimentära delarna av Vetlandagruppen har jämförts med en snarlik sedimentbergart nära Västervik, vilken med zirkoner daterats till ca 2200 Ma (Åberg & Persson 1984). I norr angränsar granitiska bergarterna. Vimmerby batholiten vilket ligger nordost om dessa tillhör samma bälte och har U/Pb daterats till 1808–1794 Ma (Mansfeld 2005, m.fl. i referens).

Den centrala delen av malmkroppen i Kleva som idag är borta utgjordes av en massiv sulfidmalm med 70-90 vol. %, vilken gradvis övergick till en sulfidbärande mafisk bergart med över 30 % sulfider (Zakrzewski 1988). Enligt Tegengren (1924) bestod centrala delarna av ortopyroxenrik gabbro till norit.

De äldre sedimentära bergarterna i Vetlandaområdet består av växellagrade sedimentära och vulkaniska bergarter. Området är som nämnt en rest av de undre Svecofenniska bergarterna och sträcker sig i ett bälte från Oskarshamn till Jönköping (OJB). De omringas av de yngre djupbergarterna, mer kända som Transcandivian Ingeous Belt (TIB). Klevas exakta roll är ännu inte klargjord. Tillsammans har de dock alla

genomgått olika grad av metamorfos. Enligt Tegengren genomgick endast ytterdelarna av gabbron i Kleva metamorfos till gabbrodiorit.

Bland de många faktorer som avgör om en mineralisering är brytvärd är mängd och vilka mineral som förekommer en viktig del. Malm som är en ekonomisk term beror i sin tur inte bara av marknaden utan även på tekniska framsteg i utvinningsprocessen, d.v.s. en mineralisering är en malm så fort den kan brytas med förtjänst. Idag har tekniken gjort att de sällsynta förekomsterna kan vara brytvärda ner till 0,2 w% (Outokumpu, Finland) (Evans 1997). Samtidigt måste smältverken (och vi) hantera det faktum att varje ton Ni som produceras också lämnar efter sig 8 ton oanvändbara sulfider.

När ett mikroskop används för att identifiera opaka mineral är tillvägagångssättet ungefär detsamma som vid vanlig ljusmikroskopiering. Den största skillnaden är att ljuset, istället för att passera genom det, faller ovanifrån ner på provet och reflekteras. Detta gör att såväl tunnslip som väl polerade ytor kan studeras. Skillnader mellan olika opaka mineral är svaga och det är bara genom att jämföra de olika kornens egenskaper som identifiering är möjlig (Ineson 1989).

Disseminerad malm (även kallad låggradig malm) har en halt av opaka mineral vanligtvis mellan 30-50 %. I regel ligger mineraliseringarna utspridda i bergarten. Kornen förekommer enskilt och i aggregat som också kan ha länkats ihop till en nätverkstextur. Disseminerad malm förknippas med felsiska och mafiska intrusioner där metallerna är bundna till mineral som kristalliserats ur magman. Undersökning av den ger information om en mineraliserings tidiga

petrologi som i mindre grad riskerar vara överskuggad av senare skeenden.

2 Metoder

2.1 Insamling och preparering av prover

Stuffer inhämtades från Mörka gången (MG) respektive Lillgruvan (LG) i Kleva gruva (fig. 2) av Karolina Bjärnberg, sommaren 2012. Båda lokaler ligger i mittemrådet på basplanet i gruvan. Proverna K2 och K5 har okänd provtagningsplats och kommer från geologiska institutionens samlingar. I denna studie valdes ett nytt prov vardera från MG resp. LG, båda med synliga sulfidaggregat. Detta material utgjorde grundmaterialet vid jämförelser mot de två rikare proverna som inhämtades ur arkivet. Sågning av prover K5, K2, LG1A, och MG1A gjordes av Bjärnberg (2013). Pole-ring av det första samt tunnslip av de tre sistnämnda gjordes externt.

2.2 Malmmikroskopiering

Proverna K5, K2, LG1A och MG1A undersöktes med optiskt mikroskop 'Nikon Eclipse E400 Pol'. De opaka faserna bestämdes med reflekterat ljus under luft. Objektiven som användes gav förstoringarna 5X, 10X och 50X. Fotografering gjordes med en Infinity 1 – TV Lens C-0.45X och programvaran Infinity Analyze version 5.0.3. I mikroskopet särskiljdes mineralen åt utifrån färg, form, reflektants, hårdhet/relief, bireflek-tans, anisotropi, och interna reflektioner. Identifiering gjordes med tabellverk för malmmikroskopie-ring (Schouten 1962). För att strukturera och hålla isär den deskriptiva geometriska beskrivningen från den genetiska användes även Schneidershöhn's systematik (1952; i tabellform av Ramdohr 1969). Malmpetrolo-gin bedömdes utifrån beskrivningar av malminera-lernas texturer till följd av kristallbildningsprocesser och inväxningar (Ineson 1989; Ramdohr 1969). Korn-storlekar mättes utifrån bilder med en fotograferad mikrometerskala med en noggrannhet på 10 µm.

2.3 Svepelektronmikroskopiering

Proverna K5, K2, LG1A och MG1A kolbelades på geologiska institutionen i Lund med en Cressington Carbon-Coater108, Carbon/A. Proverna studerades sedan med ett svepelektronmikroskop (SEM) av modellen HITACHI S-3400N Instrument med programvaran INCA Suite version 4.06. Vid optimeringen användes en koboltstandard. Till analyserna i denna studie användes en spänning av 17,5 keV, och en elektronström av 50-55 mA på ett avstånd av 10 mm. För specifika standards se tabell 2.

Principen för elektronmikroskopiering är följande: Proven bestrålas med en ström av elektroner. Interaktio-nen mellan den kvarvarande elektronströmmen och de elektroner i proven orsakar olika typer av strålning.

1.) De elektroner som interagerar elastiskt och studsar tillbaka upp igen kallas - Backscattered electrons (BSE) och registreras hos en detektor. Storle-

ken, vilken i sin tur beror av atommassa, topografi, och kristallografi återspeglas som mörka och ljus fält på skärmen i datorn (t.ex. Klein och Dutrow 2007). Detta göra att tyngre mineral framträder som ljusare. För att framhäva svavel- och metallrika mineral gentemot silikater och få ut mer av EDS-analyser (se nedan) kan spänningen sättas något över standard på 15,0 keV

2.) Vid bestrålning av elektroner förekommer också oelastisk interaktion som orsakar excitation (elektroner lyfts upp till högre energinivåer) och följaktligen emission av sekundärstrålning när de återgår till normalläget. Eftersom varje specifik energinivå utifrån K, L, M -serierna svarar mot ett fåtal jonradier kan den kemiska sammansättningen på så sätt bestämmas i ett punktbestrålat område. Vid kvantitativ analys (i Point Mode) användes på så sätt den generade röntgenstrålningen för att indirekt bestämma andelen av olika grundämnen hos mineralen (Energy-dispersive X-ray detection (EDS)). Observera att denna metod inte gav någon information om mineralets kristallstruktur i form av molekyllära bindningar.

Insamlad data från analyser presenteras i viktprocent (w%). Varje mineral som undersöktes analyserades i 3, eller i undantagsfall 2 punkter. Detektionsgrän-sen sattes till 2σ (dvs. två gånger beräknad osäkerhet) . För att åskådliggöra mängdförhållanden för grundäm-

Tabell 1. Använda metoder för resp. lokaler och prover. Ljusedmikroskop (Ljus), Flatbäddsscanner (Sc.)

Lokal	Prov	Prep.		Analysmetod		
		typ	plats	Ljus	SEM	Sc.
LG	K5	pol.	ext.	x	x	
	K2	tslp	ext.	x	x	
	LG1A	tslp	ext.	x	x	
	”	LGAB1	pol.	int.		x
	”	LGAB2	pol.	int.		x
MG	MG1A	tlsp	ext.	x	x	
	”	MGAB1	pol.	int.		x
	”	MGAB2	pol.	int.		x

Tabell 2. Standards som användes vid de kvantitativa kemiska analyserna under SEM-mikroskopiering.

	Standard	Källa
Mg	(Mg,Fe) ₂ SiO ₄	Taylorolivin 2-dec-11
Al	Al ₂ SiO ₅	Kyanit 2-dec-11
S	FeS ₂	FeS2 17,5 kV 17-maj-13
Mn	CaMn ₄ [Si ₅ O ₁₅	Ny15kVRodonit 31-aug-11
Ca	CaSiO ₃	Wollastonit 15kV060404 31-aug-11
Ti	CaTiSiO ₅	Ny15kVTitanit 31-aug-11
V	Vanadin	V 1-jun-99
Fe	Fe2O3	Fe2O3 17.5keV ny2013 17-maj-13
Co	Co	Co 17,5 kV 17-maj-13
Ni	NiO	NiO 17,5 kV 17-maj-13
Cu	CuFeS2	CuFeS2 17,5 kV 17-maj-13
Zn	ZnS	ZnS 17,5 kV 17-maj-13

nen i ilmenit och pentlandit normerades detekterade värden mot av medelvärdet av alla analyser för respektive grundämne. För att undvika falska indikationer normerades även totalvärdet i diagram.

2.4 Försök med polering

Under våren 2013 sågades proverna LGAB 1, 2, 3 samt MGAB 1, och 2. Polering gjordes internt i Keramiska laboratoriet på geologiska institutionen i Lund. Polering genomfördes med diamantmagnetskiva: MD-Piano 220, diamantsuspension 7 μm samt magnetskiva: MD Chem, colloidal silicates suspension 4 μm . Eftersom proverna inte uppnådde ett fullgott resultat för mikroskopering scannades de in med en flatbäddsscanner inställd på 4200 dpi. Mätningar av kornstorlek prover i serierna LGAB och MGAB gjordes utifrån bilder och med en noggrannhet på mm-nivå. För en sammanfattning av alla prover se tabell 1.

Polering av sulfider är ett hårt arbete, vilket t.ex. bergingenjör Lindroth (1920) med viss bitterhet kunde intyga då han året efter Kleva stängt intresserade sig för nickelförande magnetkiser.

3 Resultat

3.1 De opaka faserna

3.1.1 Kopparkis (CuFeS_2)

Kopparkis är med sin klargula färg det mest iögonfallande mineralet i proverna. Det återfinns i alla prover och är i de rika stofferna lättidentifierat med blotta ögat. Vanligtvis förekommer kopparsulfiden i aggregat tillsammans med andra sulfider men finns även spridda som små korn. Konturen runt kopparkisen har mjuka kanter. Tecken på birefleksions saknas eller är som i MG svagt rödbrun i proverna och endast mycket svag anisotropi förekommer i K5.

3.1.2 Magnetit ($\text{Fe}_2\text{Fe}_3\text{O}_4$)

Det i proven vanligaste opaka mineralet ur oxidgruppen är magnetit, som är ett grått (ofta med en brun ton) Mineralet är varken birefleksions eller anisotrop och reflektionen låg. Kornen är i alla proverna anhedralla och bildar granulära aggregat. Magnetiten förekommer även som mellanstora inklusioner i sulfider. Mineralet är hårdare än magnetkisen men mjukare än ilmeniten.

3.1.3 Ilmenit (FeTiO_3)

Den näst vanligaste opaka järnoxiden är från askgrå K5 till nära mörkbrunt i K2. Ilmenitens svagt rosa ton är tydlig i provet från Lillgruvan. Mineralet identifieras främst utifrån dess distinkta birefleksions (varierande rosa och brun ton) samt den starka anisotropin. Allra tydligast blir kristallernas tvillinglameller (fig. 8i) i korspolariserat ljus. Konturen mot andra intilliggande opaka mineral är ofta rak men mineralet finns även som sfäriska inklusioner i sulfider. Mineralet påträffas nästan uteslutande tillsammans med

magnetit (undantag i framförallt K2). Mineralet har få sprickstrukturer och en slät yta opåverkad av poleringen. Den kan i första anblick se mjuk ut men har egentligen en stark relief och högre hårdhet än magnetit.

3.1.4 Magnetkis (Fe_{1-x}S) där $x = 0 - 0.17$

Ett ljusbeige till ljusgult mineral som identifierats i båda de rika proverna. Där förekommer mineralet i stort sätt i alla aggregat. Hårdheten är medelhög, högre än för kopparkis men lägre än för ilmenit. Konturerna mot omgivande silikater är kantig. Mineralet är i de flesta fall lätt att urskilja med en distinkt birefleksions med rödbrun ton. Därtill är det anisotrop med sned utsläckning.

3.1.5 Pyrit (FeS_2)

Svavelkis är ett gulvitt mineral som identifierats i de båda fattigare proverna. De vanligaste kännetecknen är den väldigt höga hårdheten och att formen oftast är koncentrisk hexagonal även för subhedralla kristaller. Det något gråare mineralet markasit (FeS_2) kan lätt misstolkas för att vara pyrit. De enda klara skillnaderna är eventuellt formen och att markasit skall ha en uttalad birefleksions, medan pyrit saknar detta helt. Båda mineralen kan ha den rosa ton som påträffas i en del av de studerade kornen. Färgen är för pyriten indikativt på en större grad innehåll av Co, Ni, eller Cu (Uytenbogaardt 1971). Detta har dock inte kunnat påvisas under den kvantitativa analysen.

3.1.6 Pentlandit ($\text{Fe,Ni}_9\text{S}_8$)

I framförallt granulära aggregat förekommer vitgult (krämig ton) kubiskt mineral tillsammans med kopparkis och magnetkis alternativt pyrit. Kornen förekommer som små klungor i utrymmet mellan större rundade korn eller i en konkavitet hos nämnda aggregat. Refleksions ligger mellan hög och medium. Hårdheten är lägre än för magnetkisen men högre än för kopparkisen. Mineralet är isotrop och utan birefleksions.

3.1.7 Violarit ($\text{Fe}^{2+}\text{Ni}^{3+}_2\text{S}_4$)

Ett gråvitt omvandlingsmineral med en violett ton kan iaktas i proverna runtom pentlanditkorn. Bredden på och hur uppsprucken kantningen är kan berätta om bergarten varit exponerad. Enligt Zakrzewski (1987) räcker 40 år av ytvittring utomhus för att 50 % av pentlanditen skall ha omvandlas till violarit i stenhögarna utanför gruvan. Om mineralet förekommer i bergarten även inuti gruvan har varit mindre känt.

3.1.8 Zinkblände (Zn,FeS)

Mineralet har identifierats i prov K2 som korn mindre än 10 μm i diameter. Identifiering skedde dock inte med reflekterat ljus utan endast med SEM (fig. 7). Enligt litteraturen (t.ex. Uytenbogaardt och Burke 1971) är mineralets grå i färgen, ibland även med en brun nyans. Vidare skall birefleksions saknas, men kan ha röda eller gula interna reflektioner.

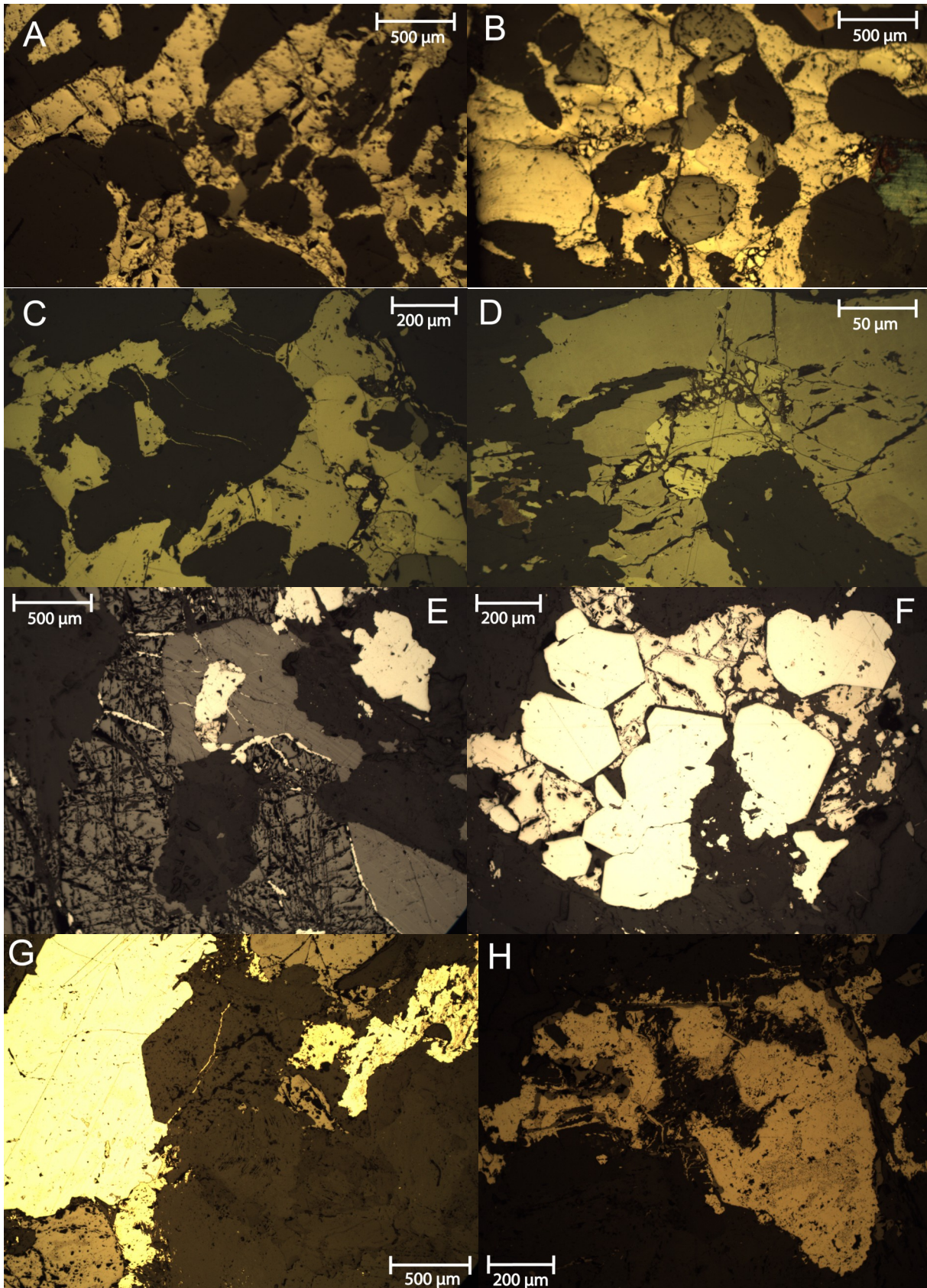


Fig. 3 A-H. A. Parallella stråk (nätverkstextur) av magnetkis med kopparkis och pentlandit (K5). B. Aggregat av sulfider med inklusioner av magnetit och ilmenit (K5). C. Nätverkstextur av magnetkis med kopparkis i korn och som skär i trådliska stråk i silikater. (K2). D. Magnetkis med ring av pentlanditkorn runt ett (50 μm) kopparkiskorn (K2). E. Aggregat av uppsprucken magnetit, grå ilmenit och sprickor fyllda av pyrit (LG). F. Subhedrala pyritkristaller med mellanliggande pentlandit (LG). G. Aggregat av pyrit med kopparkis och angränsande magnetit. H. Oidentifierad järnoxid skär i stråk genom aggregat av pyrit och kopparkis (MG).

3.2 Deskriptiva texturer

3.2.1 K5

Provet har ca 40 % opaka mineral varav största delen utgörs av sulfider. Kopparkis och pyrit kan urskiljas utan förstoring. De bildar ett stort antal aggregat som knyts samman till ett nätverk med band av små korn. Tydliga gränser mellan olika sulfider blir först synliga vid 5X förstoring. Aggregaten av opaka mineral täcker varierande stora areor. De varierar från slutna kroppar via uppspruckna till orienterade korn.

3.2.1.1 *Dominerande malmmineral*

Det klart vanligaste opaka mineralet i aggregat är magnetkis. I flera fall fyller andra mineral gamla sprickor s.k. penetrativa texturer. Två huvudgrupper där magnetkisen utgör huvudmineralet dominerar i provet.

1.) Magnetkis med liten del övriga sulfider som karakteriseras av att ligga i parallella stråk (fig. 3a). Dessa är upp till 500 µm i bredd och mellan 500-1000 µm i längd beroende var gränsen sätts mellan enskilt korn och nätverksstruktur.

2.) Magnetkis som tillsammans med kopparkis förekommer som små (200-500 µm i diameter) korn som bygger upp granulära aggregat. Dessa omger i sin tur rundade järnoxider (fig. 3b)

Det näst vanligaste mineralet i provet är kopparkis. Trots att den täcker en betydligt mindre yta än magnetkisen förekommer den i så stor mängd att den anses vara en av de mest betydande i provet. Det finns ett stort spann på storlekar upp till ca 500 µm. Medelstora korn har som nämnt ofta samma subhedrala kristallform (raka kanter) som magnetkisen medan små helt är anhedrala. Kopparkisen fyller även sprickor och finns som dropplika inklusioner i omgivande silikater.

3.2.1.2 *Vanliga malmmineral*

Järnoxiden magnetit förekommer uteslutande i aggregat. De sfäroida kropparna är 200-500 µm i diameter, inneslutna i magnetkis.

Ilmenit kantar korn av magnetit och/eller är rundade eller svagt ovala kroppar (inklusioner) i sulfider. Ilmenitkornen kan som regel antas vara något mindre än magnetitkornen

3.2.1.3 *Andra malmmineral*

I sprickzoner genom sulfidaggregaten och i kanten till dessa förekommer pentlandit i klungor. Varje enskilt korn är mellan 100-150 µm i diameter. Andelen violarit per korn bedöms vara ca. 10 % (fig. 4d).

3.2.2 K2

Andelen opaka mineral i provet är ca 40 %. De sammanknutna aggregaten av opaka mineral ligger i en nätverkstextur i hålrummen mellan euhedrala silikater. Vid låg förstoring framträder inklusioner och svagt sfäriska eller anhedrala ansamlingar av järnoxider. Andelen interna sprickor hos korn är betydande.

3.2.2.1 *Dominerande malmmineral*

Magnetkis förekommer i aggregat och kan delas upp i samma huvudgrupper som för K5. Här är aggregaten dock snarare kompakta än granulära och nätverksstrukturen är bitvis mer trådlik (fig. 3c). Längden för kornen varierar från 400 till 1000 µm.

Kopparkis finns i alla områden och dominerar ett par av aggregaten. Sammanlänkningen mellan olika aggregat som bygger upp en nätverksstruktur i provet består ofta av magnetkis/kopparkis med inneslutningar av pentlandit och/eller sfärer av järnoxider. Kopparkisen återfinns även som korn i magnetkisen och tvärsnitt. Storleken varierar från små fläckar i magnetkisen på omkring 100 µm till att täcka hela kristaller och utgöra större del av aggregatet.

3.2.2.2 *Vanliga malmmineral*

I detta prov förekommer även magnetit i samma sammanhang som i K5, men kornen (vanligtvis sittandes i ytterkanterna av aggregaten) är oftare tabloida (200-400 µm i bredd) än i rundande inklusioner. Mineralet kan i detta prov kännas igen på en hög andel ihopkopplade interna sprickor jämfört med övriga opaker.

Kornen av ilmenit förekommer i samma sammanhang som i K5 men här är längden uppmätt till 100-300 µm i diameter.

Pentlandit förekommer nästan uteslutande som kantiga korn upp till 100 µm främst i sprickor mellan större kristaller av magnetkis, men också direkt i massiva korn. Pentlandit associeras även med kopparkis ex. fig. 3d, där pentlanditkorn bildar en halvcirkel runt ett större kopparkiskorn). Andelen violarit är under 5 % och utgör endast en tunn kantning.

3.2.3 LG

Tunnslipet utgörs till största del av silikater. De opaka mineralen uppskattas till strax under 10 % av den totala ytan. Fyra aggregat med nätstrukturer däremellan är synliga utan förstoring. Vid låg förstoring (5X) blev det möjligt att dela in aggregaten i grupper av sulfider och järnoxider. Merparten av de större kristallerna har ett stort antal sprickor som i sin tur är fyllda av andra sulfider eller silikater. Mindre korn förekommer runt anhopningar.

3.2.3.1 *Dominerande malmmineral*

Det absolut vanligaste opaka mineralet i provet är magnetit som har en mycket hög sprickfrekvens. Storleken för enskilda korn är svårbedömd pga. den spröda deformationen men de största kornen uppgår till 2000x800 µm

Pyrit är det näst vanligaste mineralet i provet. Små upp till 300 µm hexagonala kristaller, vilka med en mindre andel andra sulfider (och ofta även järnoxider) bildar utspridda granulära aggregat. Pyrit finns även i anhedral form som penetrativa texturer (fyllda sprickor och hålrum) samt som stora subhedrala kristaller inuti större aggregat i ilmenit resp. magnetit (fig. 3e). De fyllda sprickorna korsar mineralkorn. Ådrorna kan följa en spricka i ett korn till ett annat korn, men följer

alltid först längsmed korngränser. Runtom friliggande aggregat går det ofta att urskilja små inklusioner.

Anhedrala korn av ilmenit förekommer i storlekar mellan 100-400 μm , men undantag upp mot 1000 μm . Distinkt rundade former är ovanliga i slipet.

3.2.3.2 Vanliga malmineral

Kantiga pentlanditkorn ligger mellan pyritkorn och täcker i de mindre aggregaten en jämfört med pyrit likvärd area (fig. 3f). Enskilda pentlanditkorn är konkava och uppgår till 200 μm i diameter. Andelen violarit är utgör uppemot 50 % av kornen. (fig. 4e)

3.2.3.3 Andra malmineral

Inuti korn av pyrit och magnetit förekommer som inklusioner (0,05 i μm diameter) av kopparkis.

3.2.4 MG

Provet innehåller ca 5 % opaka mineral och i övrigt silikater. De opaka kristallerna är disseminerade och utan någon sammanlänkande textur.

3.2.4.1 Dominerande malmineral

Det enskilt största kornet av pyrit (ca 2000 x 1000 μm) med tydliga fasetter (både konvexa och konkava) finns i ett större aggregat centralt i provet. Övriga medelstora korn av pyrit uppgår till ungefär en tiondel i jämförelse. Mineraliet förekommer dels i aggregat tillsammans med kopparkis samt ilmenit och magnetit, men även i mängd som små korn spridda runtom större korn (fig. 4b).

Tre stycken mellanstora korn av kopparkis finns på kanterna av stora pyritkornet. Kopparkisen associeras med flest andel små korn runt de mellanstora (fig. 3 g). Därtill förekommer mineraliet även som artärer i ett flertal områden.

Magnetiten har i detta prov en brunrosa ton och de anhedrala kornen är precis som i LG ofta mycket uppspruckna. Kornen uppgår till ca 400 μm i diameter. Mineraliet förekommer i ytterkanten av det större aggregatet och i mindre aggregat tillsammans med ilmenit. De två järnoxiderna bedömdes som snarlika i färg och form i detta prov.

3.12.2 Vanliga malmineral

Ilmenit finns i mindre aggregat tillsammans med magnetit skiljt från sulfider eller enskilt i sulfidaggregaten som genomskärande stråk (fig. 3h). Kornens storlek är ungefär lika med eller mindre än för magnetit.

3.2.4.2 Andra malmineral

Pentlandit har inte identifierats visuellt i provet och därför har inte heller andelen violarit. Utifrån bild i SEM (fig. 7a) bedöms den vara mindre än 10 %.

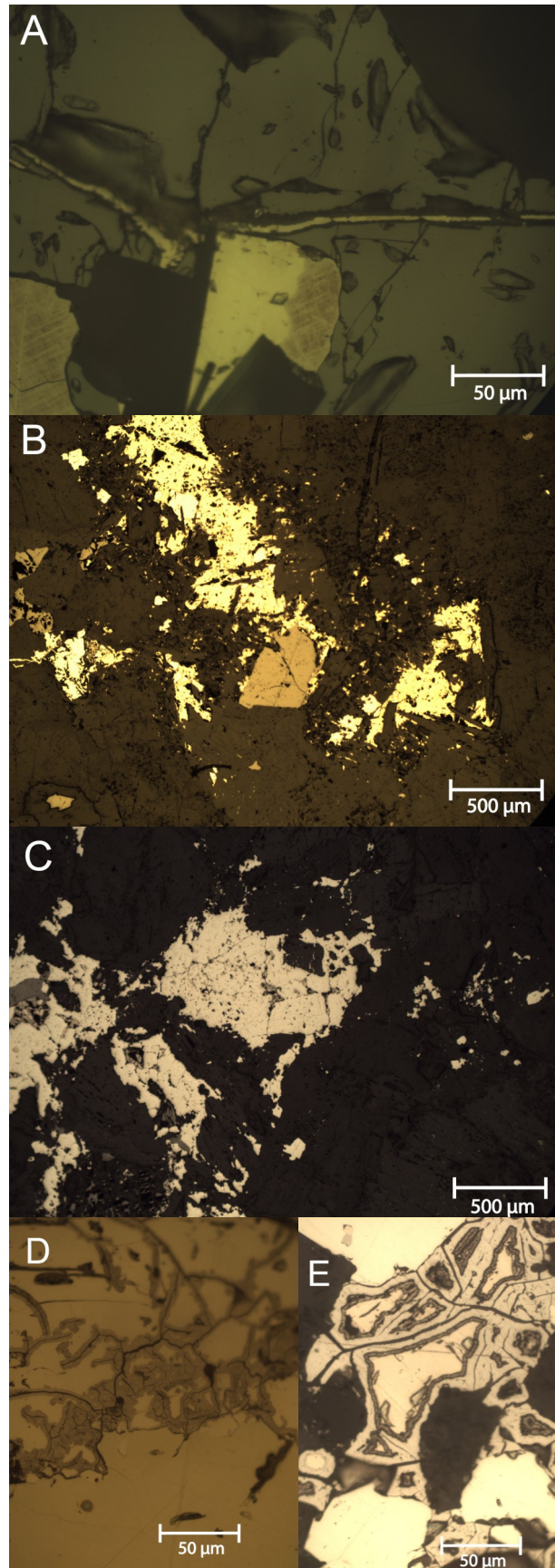


Fig. 4 A-E A. Spricka genom ilmenit fylld av kopparkis (K2). B. Centralt korn av pyrit omgivet av ett stort antal små (MG). C. Aggregat av pyrit med inklusioner av magnetit och pentlandit. D. Pentlanditkorn med mindre än 10% violarit (K5). E. Pentlanditkorn med upp mot 50% violarit (LG).

3.3 Kvantitativ kemisk analys

3.3.1 Kopparkis

Trender är svaga och i samma storleksordning som omräknade värden för 2σ . Andelen koppar är generellt ett par hundradelar lägre av analyserna i fattigare prover.

3.3.2 Magnetkis

Magnetkis har bara identifierats i de rikare proverna. Andelen Ni varierar upp till 0,15 w% mellan olika analyspunkter inom samma provtagningsplats (eng. Site i tabell förkortad S.). Variationerna ligger inom värdet för 2σ . Spår av aluminium har bara detekterats i prov K5.

3.3.3 Pyrit

Svavelkisen som bara identifierats i de fattiga proverna visar väldigt små variationer mellan analyserna. Pyriten visar inga tecken på att ha fångat upp kobolt, nickel eller spårelement av andra grundämnen. Andelen S ligger 0,3-1,2 w% över tabellvärdet på 53,4% (t.ex. Klein 2007).

3.3.4 Magnetit

Aluminium förekommer i analyserna men bara knappt över detektionsgränsen. Kalcium ger utslag i en analys för provplats K5-S3. Totalvärdet för denna analys avviker med 8 w% från ett idealt värde på 100.

3.3.5 Ilmenit

Trots att alla prover innehåller ilmenit har inte mineralet undersökts kvantitativt i K2. Halten Ti är lägre i MG jämfört med övriga analyser. Även Mn visar något lägre w%, vilket svarar mot en större andel Fe. I provet från MG finns också spår av V.

3.13.6 Pentlandit

Högst andel av kobolt i pentlandit påträffas i K5, med en skillnad gentemot K2 av en tiondel. Det är enligt Ramdohr (1979) vanligt att Co spelar samma roll som Fe i pentlandit.

3.13.7 Zinkblände

Variationerna är små inom de tre kornen av zinkblände i prov K2. En mindre andel järn är att förvänta vid analys.

Tabell 4. Sammanställda kvantitativa kemiska analyser för järnoxider. Alla värden är angivna i viktprocent (w%). En detektionsgräns av 2σ har använts och anges även bredvid uppmätta värden. Varje mineralkorn som ingår i analysen anges med provtagningsplats (site förkortad S) och nr. Alltså K5-S2 motsvarar prov K5 provtagningsplats 2. Under detektionsgräns förk. u.d.

Totalt	Al $\pm 2\sigma$	Ti $\pm 2\sigma$	O $\pm 2\sigma$	Fe $\pm 2\sigma$	Mn $\pm 2\sigma$	Ca $\pm 2\sigma$	V $\pm 2\sigma$	Mg $\pm 2\sigma$		
99.90	0.22 .14 u.d.		27.94 .60	71.74 .94 u.d.		u.d.	u.d.	u.d.	1	magnetit
92.85	0.26 .14 u.d.		26.02 .58	63.87 .90 u.d.		2.70 .16	u.d.	u.d.	2 K5-S3	
99.09	0.22 .14 u.d.		27.72 .60	71.16 .94 u.d.		u.d.	u.d.	u.d.	3	
98.71	0.32 .14 u.d.		27.64 .62	70.75 .96 u.d.		u.d.	u.d.	u.d.	1	
98.40	0.21 .14 u.d.		27.52 .62	70.67 .96 u.d.		u.d.	u.d.	u.d.	2 K2-S5	
98.55	0.24 .14 u.d.		27.57 .62	70.74 .96 u.d.		u.d.	u.d.	u.d.	3	
100.00	u.d.	u.d.	28.07 .64	71.31 1.00 u.d.		u.d.	u.d.	u.d.	1	
99.59	u.d.	u.d.	27.92 .64	71.16 1.00 u.d.		u.d.	u.d.	u.d.	2 LG-S10	
100.60	u.d.	u.d.	28.25 .64	71.67 1.00 u.d.		u.d.	u.d.	u.d.	3	
99.88	0.24 .14 u.d.		28.02 .60	71.32 .98 u.d.		u.d.	u.d.	u.d.	1	
99.19	0.25 .14 u.d.		27.91 .58	70.61 .98 u.d.		u.d.	u.d.	u.d.	2 MG-S4	
100.10	0.31 .14 u.d.		28.21 .60	71.19 .98 u.d.		u.d.	u.d.	u.d.	3	
101.53	u.d.	31.61 .50	31.99 .58	35.39 .70	2.53 .28	u.d.	u.d.	u.d.	1	ilmenit
101.27	u.d.	31.55 .50	31.98 .60	34.74 .70	2.79 .28	u.d.	u.d.	0.22 .14	2 K5	
100.79	u.d.	31.43 .50	31.91 .60	34.44 .70	2.65 .28	u.d.	u.d.	0.22 .14	3	
101.41	u.d.	31.93 .52	32.06 .60	35.88 .74	1.54 .26	u.d.	u.d.	u.d.	1	
101.88	u.d.	31.98 .52	32.18 .60	36.15 .74	1.58 .26	u.d.	u.d.	u.d.	2 LG-S5	
101.37	u.d.	32.02 .52	32.08 .60	35.43 .74	1.83 .26	u.d.	u.d.	u.d.	3	
100.67	u.d.	31.63 .52	31.80 .60	35.48 .74	1.76 .26	u.d.	u.d.	u.d.	1	
99.75	u.d.	31.23 .52	31.48 .60	35.52 .74	1.52 .26	u.d.	u.d.	u.d.	2 LG-S6	
101.03	u.d.	31.71 .52	31.91 .60	35.90 .74	1.51 .26	u.d.	u.d.	u.d.	3	
101.35	u.d.	30.91 .50	31.74 .58	36.93 .74	1.77 .26	u.d.	u.d.	u.d.	1	
99.38	u.d.	30.24 .50	31.22 .58	36.13 .74	1.50 .26	u.d.	0.58 .14	u.d.	2 MG-S5	
99.38	u.d.	30.24 .52	31.22 .64	36.13 .74	1.50 .26	u.d.	0.58 .13	u.d.	3	

Tabell 3. Sammanställda kvantitativa kemisk analyser för sulfider. Alla värden är angivna i viktprocent (w%). En detektionsgräns av 2σ har använts och anges även bredvid uppmätta värden. Varje mineral Korn som ingår i analysen anges med provtagningsplats (site förkortad S) och nr. Alltså K5-S2 motsvarar prov K5 provtagningsplats 2. Under detektionsgräns förk. u.d.

Totalt	Al ±2σ	Fe ±2σ	Ni ±2σ	S ±2σ	Cu ±2σ	Zn ±2σ	Co ±2σ							
100.87	u.d.	30.48	.64	u.d.	36.00	.44	34.39	.98	u.d.	u.d.	1	Kopparkis		
101.18	u.d.	30.62	.64	u.d.	35.57	.44	34.99	.98	u.d.	u.d.	2		K5-S2	
100.17	u.d.	30.66	.62	u.d.	35.27	.44	34.24	.98	u.d.	u.d.	3			
101.45	u.d.	30.40	.66	u.d.	35.12	.46	35.93	1.04	u.d.	u.d.	1			
100.32	u.d.	30.28	.66	u.d.	35.32	.46	34.72	1.02	u.d.	u.d.	2		K2-S4	
99.83	u.d.	30.18	.66	u.d.	35.25	.46	34.40	1.02	u.d.	u.d.	3			
98.44	u.d.	30.12	.66	u.d.	34.86	.46	33.47	1.02	u.d.	u.d.	1			
100.11	u.d.	30.65	.68	u.d.	35.53	.46	33.93	1.04	u.d.	u.d.	2		LG-S12	
100.13	u.d.	30.75	.66	u.d.	35.55	.46	33.82	1.02	u.d.	u.d.	3			
100.87	u.d.	31.05	.66	u.d.	35.62	.46	34.20	1.02	u.d.	u.d.	1			
100.47	u.d.	30.57	.66	u.d.	36.04	.46	33.86	1.02	u.d.	u.d.	2		MG-S2	
100.47	u.d.	30.68	.66	u.d.	35.55	.46	34.24	1.02	u.d.	u.d.	3			
99.50	u.d.	29.98	.66	u.d.	35.28	.46	34.24	1.02	u.d.	u.d.	1			
99.24	u.d.	30.20	.66	u.d.	35.29	.46	33.75	1.02	u.d.	u.d.	2		MG-S7	
99.61	u.d.	30.11	.66	u.d.	35.14	.46	34.36	1.02	u.d.	u.d.	3			
101.91	0.19	.14	59.60	.88	1.02	.17	41.10	.46	u.d.	u.d.	1	magnetkis		
101.22	0.18	.14	58.99	.88	0.87	.17	41.19	.46	u.d.	u.d.	2		K5-S6	
102.17	0.16	.14	60.30	.88	0.86	.17	40.85	.46	u.d.	u.d.	3			
99.85	u.d.	59.06	.90	0.96	.17	39.83	.48	u.d.	u.d.	1				
100.13	u.d.	59.37	.90	0.89	.17	39.87	.48	u.d.	u.d.	2	K2-S3			
100.30	u.d.	59.27	.90	1.03	.17	40.00	.48	u.d.	u.d.	3				
98.58	u.d.	58.02	1.12	0.87	.21	39.69	.58	u.d.	u.d.	1	K2-S8			
98.50	u.d.	57.93	.88	0.92	.17	39.66	.46	u.d.	u.d.	2				
99.24	u.d.	45.51	.82	u.d.	53.73	.54	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	1	pyrit		
98.77	u.d.	44.81	.82	u.d.	53.96	.54	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	2		LG-S8	
99.53	u.d.	45.20	.82	u.d.	54.34	.54	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	3			
100.52	u.d.	45.92	.82	u.d.	54.60	.54	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	1			
100.61	u.d.	46.21	.82	u.d.	54.40	.54	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	2		LG-S9	
100.03	u.d.	45.62	.82	u.d.	54.42	.54	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	3			
101.38	u.d.	46.49	.82	u.d.	54.89	.54	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	1			
100.49	u.d.	46.15	.82	u.d.	54.34	.54	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	2		MG-S3	
100.74	u.d.	46.52	.82	u.d.	54.23	.54	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	3			
100.13	u.d.	45.85	.82	u.d.	54.28	.54	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	1			
100.40	u.d.	46.20	.82	u.d.	54.20	.54	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	2	MG-S6		
99.59	u.d.	45.62	.82	u.d.	53.97	.54	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.	3			
102.44	0.24	.14	28.48	.64	36.47	.45	34.01	.44	u.d.	3.24	.44	1	pentlandit	
101.87	u.d.	28.41	.64	36.26	.45	34.32	.44	u.d.	2.87	.44	2	K5-S5		
102.84	0.17	.14	28.77	.64	36.27	.45	34.33	.44	u.d.	3.30	.44	3		
101.13	u.d.	28.39	.64	36.04	.46	33.96	.46	u.d.	2.75	.44	1			
100.42	u.d.	27.89	.64	36.24	.46	33.67	.46	u.d.	2.61	.44	2	K2-S1		
100.05	u.d.	27.64	.64	36.03	.46	33.66	.46	u.d.	2.72	.44	3			
96.08	0.22	.14	26.01	.60	37.51	.46	32.34	.44	u.d.	u.d.	u.d.	1		
96.79	0.26	.14	26.47	.60	37.81	.46	32.24	.44	u.d.	u.d.	u.d.	2		LG-S2
99.56	u.d.	26.82	.62	37.36	.46	32.38	.44	u.d.	u.d.	u.d.	3			
101.93	u.d.	26.67	.62	41.13	.49	34.13	.46	u.d.	u.d.	u.d.	1			
101.11	u.d.	26.43	.62	40.87	.48	33.81	.46	u.d.	u.d.	u.d.	2	MG-S1		
101.96	u.d.	26.35	.62	41.47	.48	34.14	.46	u.d.	u.d.	u.d.	3			
100.18	u.d.	5.64	.34	u.d.	33.24	.46	0.88	.40	60.42	.72	1	zinkbl.		
99.51	u.d.	5.98	.36	u.d.	33.33	.46	1.11	.40	59.10	.72	2		K2-S6	
100.80	u.d.	5.06	.34	u.d.	33.54	.46	0.95	.40	61.24	.72	3			

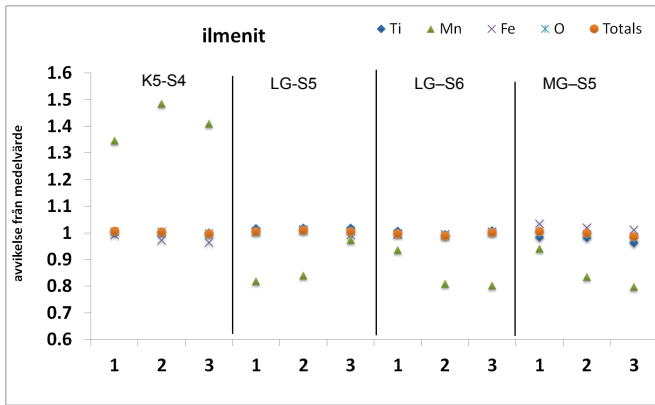


Fig. 5. Normerade värden för ilmenit i prov från lokaler K5, LG, MG. Kvantitativ kemisk analys från K2 saknas. Provtagningsplats (site förk. S1, S2 osv.). Analyspunkter för respektive S. numreras 1, 2 och 3.

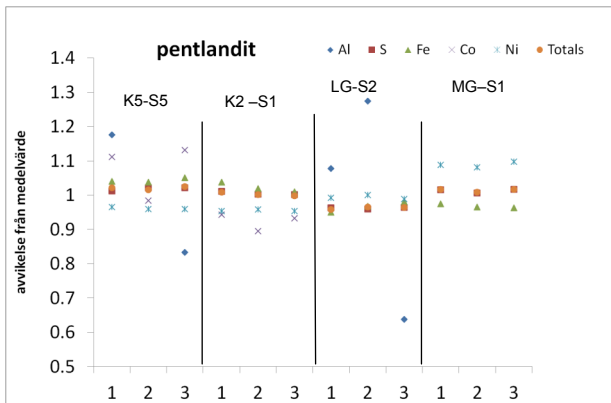


Fig. 6. Normerade värden för pentlandit i prov från lokaler K5, K2, LG, MG. Provtagningsplats (site förk. S1, S2 osv.). Analyspunkter för respektive S. numreras 1, 2 och 3.

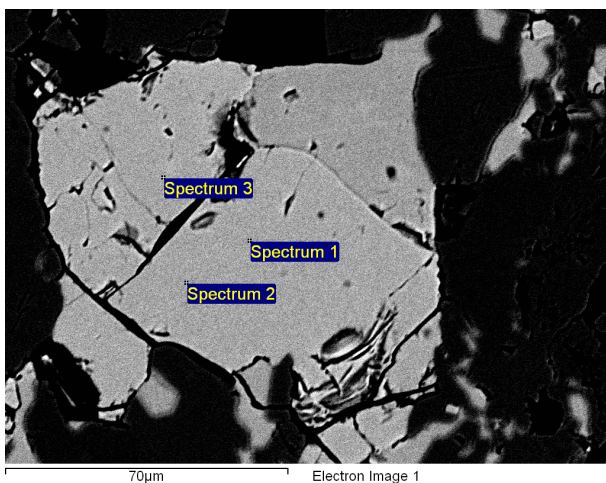


Fig 7A. Analyspunkter för pentlanditkorn i MG. Mineralen har inte identifierats i ljusmikroskop. Andelen violarit bedöms vara under 5%.

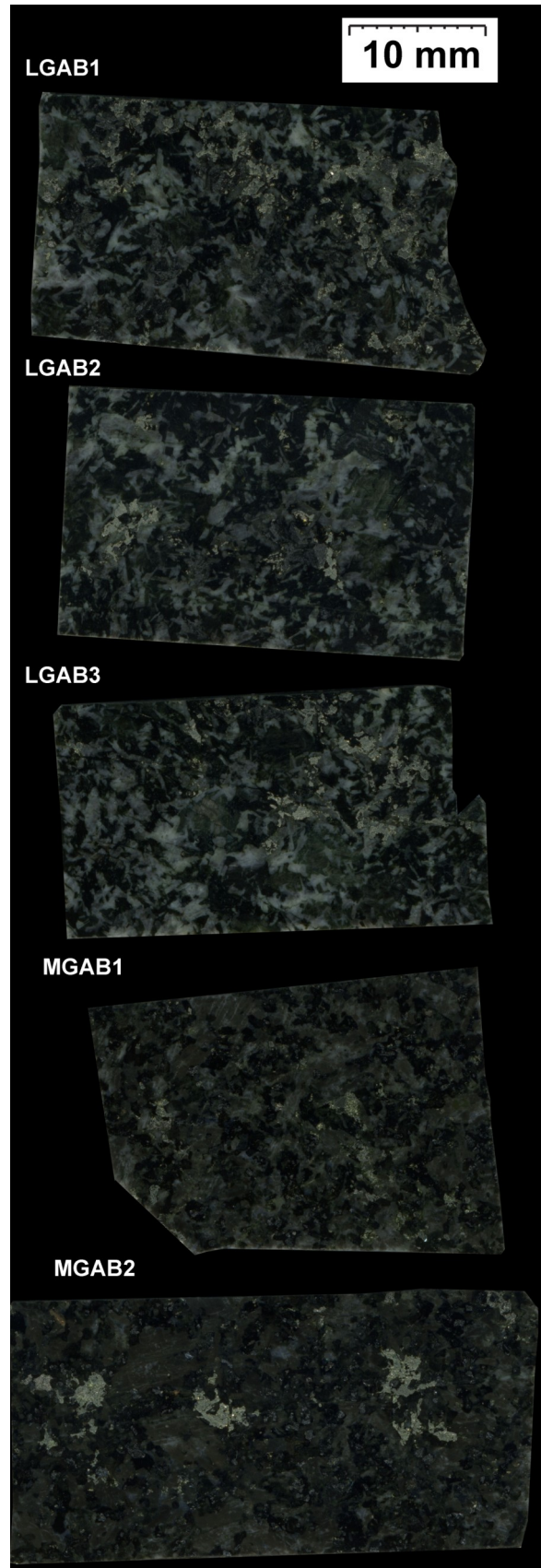


Fig. 7B. Prover LGAB 1, 2, 3 samt MGAB 1 och 2. Proverna polerades på keramiska laboratoriet i Lund och scannades in med flatbäddsscanner. Mätningar gjordes på högupplösta bilder på mm-nivå.

3.4 Inscannade prover

3.4.1 LG

Ljusa strökor av plagioklas i svart mellanmassa. Kornen är subhedrala och det går att mäta c-axeln utifrån observerad kristallstruktur. Optisk textur går att urskilja på ett par platser i vardera prov. I två av proven går det att skilja ut aggregat av järnoxider med inklusioner av sulfider. Det går inte att identifiera olika mineral.

3.4.2 MG

Ljusa och bruna strökor av plagioklas i en svart mellanmassa. Kornen är subhedrala eller anhedrala och gränser och längder är även vid över 20X förstoring svåra att urskilja vid denna poleringsgrad. Järnoxider går urskilja i aggregat. Det går inte att identifiera olika mineral.

4 Diskussion

4.1 Malmpetrogenetiska texturer

4.1.1 K5

Små korn av kopparkis i omgivande silikater runt större korn tolkas som tecken på en period av resorption, varefter de frysts på plats när silikaterna övergått till fast form. Sprickorna med kopparkis tolkas som större eller trådlika (fig. 8a) vener dvs. att mineralet sekundärt fyllt hålrum i silikaterna. De ofta rundade järnoxiderna (fig. 8h) tyder på en snabb avsvälning.

4.1.2 K2

Nämnda texturer i K5 återfinns också i K2 fast i större omfattning. Inklusioner av kopparkis/magnetkis i magnetkis/kopparkis tolkas som öar (eng. island texture). Lite speciellt för detta prov är också ett par större sprickor som påträffas i ena kortänden av tunnslipet (fig. 8f). Sprickorna som skär tvärs igenom de andra faserna bär fragment av framförallt järnoxider (fig. 8g). Det finns även gott om tecken på tidigare spröd deformation. Kopparkis fyller sprickor genom magnetitkorn (se. fig. 8a). Det finns även en större andel vener av kopparkis i omgivande silikater än jämfört med prov K5. I såväl verk av Tegengren (1924) som Grip (1961) diskuteras olika transportvägar genom gabbbron. I den äldre publikationen kallas det att "Samtliga malmerna ligga koncentrerade inom massivets centrala partier och tyckas intimt förbundna med fluidalstruerade, sliriga urskiljningar...". Strukturerna skall ha sträckt sig ett antal paralleller i riktning ONO-VSV. Dessa strukturer bedöms senare än andra sprickorna hos t.ex. magnetiten och utgjort liten inverkan på sammansättningen för den disseminerade malmen i Kleva.

4.1.3 LG

Aggregat i detta prov är mer vagt påverkade i ytterkanten än i prov MG. Utöver vener av pyrit genom järnoxider och spridda medelsmå korn av pyrit i silikaterna runt aggregat finns texturer som kan tolkas genetiskt. Pyrit och kopparkis upplevdes som snarlika och deras relation svårtolkad. Ett undantag är fig. 4c där ett större korn visar tecken på resorption. Inscannade prover från lokalen indikerar en snabb avkylning men

Tabell 5. Sammanställda noteringar för inscannade prover: LGAB 1, 2, 3 samt MGAB 1, och 2. Förkortningar subhedral (Subh.), anhedral (anh.), plagioklas (plag.), mellanmassa (mmassa), aggregat (aggr.). Längder är för kornens c-axel.

Prov	Texturer	andel silikater	andel opaker	varav	Opaka texturer
LGAB1	Subh. plag. 1-3 mm i fink. mmassa fördeln. 50/50. Gröngrå ophitiskt textur.	90%	10%	sulfider 60% järnoxider 40%	Flertal spridda vagt länkade aggr. 1-3 mm vardera.
LGAB2	Subh. plag. upptill 2 mm i fink. mmassa fördeln. 40/60. Gröngrå-vitgrå ophitiskt textur.	95%	5%	sulfider 40% järnoxider 60%	4-5 st utspridda aggr. 3-6 mm vardera.
LGAB3	Subh. plag. <1 mm. i fink. mmassa fördeln. 40/60. Gröngrå-grå ophitiskt textur.	90%	10%	sulfider 20% järnoxider 80%	En klunga av 4-5 aggr. 2 mm vardera
MGAB1	Anh. plag. I fink. mmassa fördeln. 60/40. Liten andel ophitiskt textur.	97%	3%	sulfider 20% järnoxider 80%	2-4 st mkt diffusa aggr. max 3 mm vardera. Stor andel fink. inklusioner i silikater.
MGAB2	Subh. plag. 4mm i fink. mmassa fördeln. 80/20. Ingen ophitiskt textur.	92%	8%	sulfider 10% järnoxider 90%	3-5 st granulära aggr. 3 mm vardera. Stor andel fink. inklusioner i silikater

stabila kemiska förhållanden under den tidiga delen av kristallisationen. Denna idé grundas på de för en gabbro korta kornen, och förekommande ophitisk textur.

4.1.4 MG

I detta prov finns flera texturer ofta samlade på en plats. Här är det ibland svårt att avgöra om texturen tillhör kopparkis och/eller pyrit. Därtill är aggregat av samma mineralgrupper olika påverkade av förändring. Den mest spridda bland denna typ av texturer är korn som ser söndertrasade (eng. shredded texture) ut (fig. 8 d-e). Därefter förekommer även flammor (fig. 8c) och vener (fig. 3g) av sulfiderna. Aggregaten ger intrycket av att ha utsatts för extension (fig 8d) och vid något tillfälle börjat lösas upp till följd av ojämnavikt i magman genom s.k. resorbition (fig. 4b). En grå slät oidentifierad järnoxid skär som tunna stråk genom de ansatta sulfidaggregaten. Allt detta skulle kunna tyda på tillskott av en ny magma som anrikat den tidigare mineraliseringen. Det är också möjligt att magman i detta skede redan befann sig i sitt slutliga nivåläge där den senare helt övergick till fast form (Naldrett 2010).

4.2 Tolkning av kvantitativa analyser

En eventuellt högre andel Cu i kopparkis hos rikare prover kan tolkas som att förhållandena för sulfider har varit olika gynnsam för att plocka upp metallen ur magman. Detta kan bero på rörelser i magman eller mängdförhållanden. Nickel förekommer i magnetkis i de rikare proverna, och är i både rika och fattiga prover bundet till pentlandit. Andelen Ni är något högre i pentlandit från de fattigare proverna. I kemisk sammansättning varierar pyrit som nämnt ytterst lite. Detta stämmer väl överens med att mineralet förekommer i en mängd olika temperaturintervall. Samtidigt kan det konstateras att pyrit bara förekommer i de fattiga proverna. Att andelen S i Pyriten är något högre än tabellvärdet innebär i detta fallet också att magman varit fattig på Fe.

Magnetit har i ett enskilt spektra i prov K5 en viktprocent för Ca på 2,73. Anledningen tros vara ett resultat av bakomliggande silikater. Orthopyroxener innehåller dock vanligtvis inte av mer än 1,5 viktprocent CaO (Klein och Dutrow 2007). Andra förklaringar är: 1) Den höga halten av Ca är en indikation på inblandning av en underliggande bergart. 2) Hornblände. 3.) Plagioklas. Enligt Persson (1989: tabell 28) rymmer bergarten i sin helhet enligt två mätningar 10,0 resp. 10,2 w% CaO.

Kobolt bundet till pentlandit förekommer bara i de rikare proverna. Grundämnet har en något lägre jonradie än Fe^{2+} och skulle på så sätt skapa en starkare bindning. Av någon anledning har Ni tagit plats för Fe och Co i de fattigare proverna. Jonradien för nickel ligger nära båda de andra grundämnena men inte inom samma elektronkonfiguration (Best 2007). Aluminium förekommer sporadiskt i testerna och kan stå för ett utbyte av Fe^{3+} .

4.3 Malmpetrologi

Gruvan Lainijaur är på många sätt av samma typ som Kleva. I en av de få publikationer som finns om den (Grip 1961) så beskrivs hur en disseminerad gabbrokropp skulle kunna bestå av flera generationer. Det handlar inte om magmamixing. Tänk först att magman inte bara är en kropp som intruderar vid ett tillfälle. Istället sker förloppet intrudering, kristallisation och uppbrytning i flera omgångar. Magman breder nu inte bara ut sig efter plana lagergränser utan även lateralt. Därmed ges den utrymme att vandra uppåt och sedan ansamlas under ett lägre tryck. Många faktorer kan spela in under processen. Kan bitar av omgivande bergarter falla ner och påverka sammansättningen? Hur snabbt sker avsvälningen? Hur mycket rörelse är det i magman? Hur påverkar pulser magmans kemiska jämvikter? I Kleva kan de olika graderna av resorbition som syns i framförallt lokalen MG vara ett resultat av flera generationer. Samtidigt är Kleva sagd att vara en pluton medan Lainijaur bildats som en gångbergart (Dyke). I modellen diskuteras vidare hur den till följd av snabb avsvälning krympande fakolitkroppen (en linsformad pluton) pressat ur sulfiddroppar, vilket sedan gjort att blivande malm anrikats ytterligare längre upp. Den diskuteras även i ett masterarbete från Luleå tekniska universitet publicerat 2009 (Filoche) och berör då den betydligt större fyndigheten Ägliden. I denna studie har den senare delen av modellen dvs. migration inte kunnat påvisas för Kleva.

I Kleva flyttades vid något tillfälle jämvikten för hur stor andel sulfid som kunde vara i löst i magman. Utdragna texturer hos korn (fig. 8 d-e) i MG tolkas som att kroppen utsatts för deformation i form av tension. Det är känt att gabbrokroppen är elongerad (t.ex. Nilsson 1984) men detta indikerar i sig inte deformation. Skillnaderna i mineralsammansättning anses stora mellan de olika lokalerna. Dessa skillnader kan vara primära dvs. att de första mineral som kristalliserades i magman är kvar idag. Det andra alternativet är att sulfidmineral ombildats från ett till ett annat genom ersättning (eng. replacement). Undertecknad föreslår att en andra puls magma (till följd av tensionen) dels introducerat nya element men också orsakat ombildning. Tension minskade lokalt trycket och orsakade variationer i temperaturen, vilket drev jämvikten för $FeS_2 \leftrightarrow FeS + S$ åt olika håll (Ramdohr 1969). Tidigare kristalliserade aggregat av framförallt pyrit (Naldrett 2010) och kopparkis (kristalliserar vid ca 250°C) gick i resorbition pga. att den intruderande magman hade ett underskott på svavel. I svalare delar utsattes framförallt magnetit för spröd deformation till följd av stress och fylldes sekundärt av pyrit, som aldrig hann bilda några euhedra kristaller i denna miljö. I områden redan tidigare rika på sulfider anrikades mineraliseringen på S samtidigt som energitillskottet spreds mellan de tätt liggande aggregaten och bildade nätverkstexturer. De sfäroida järnoxider som låg inkapslade i sulfider skyddades från förändringar. Att zinkblände (prov K2) förekommer, vilket indikerar hög temperatur (Ramdohr 1969) tros vara spår av

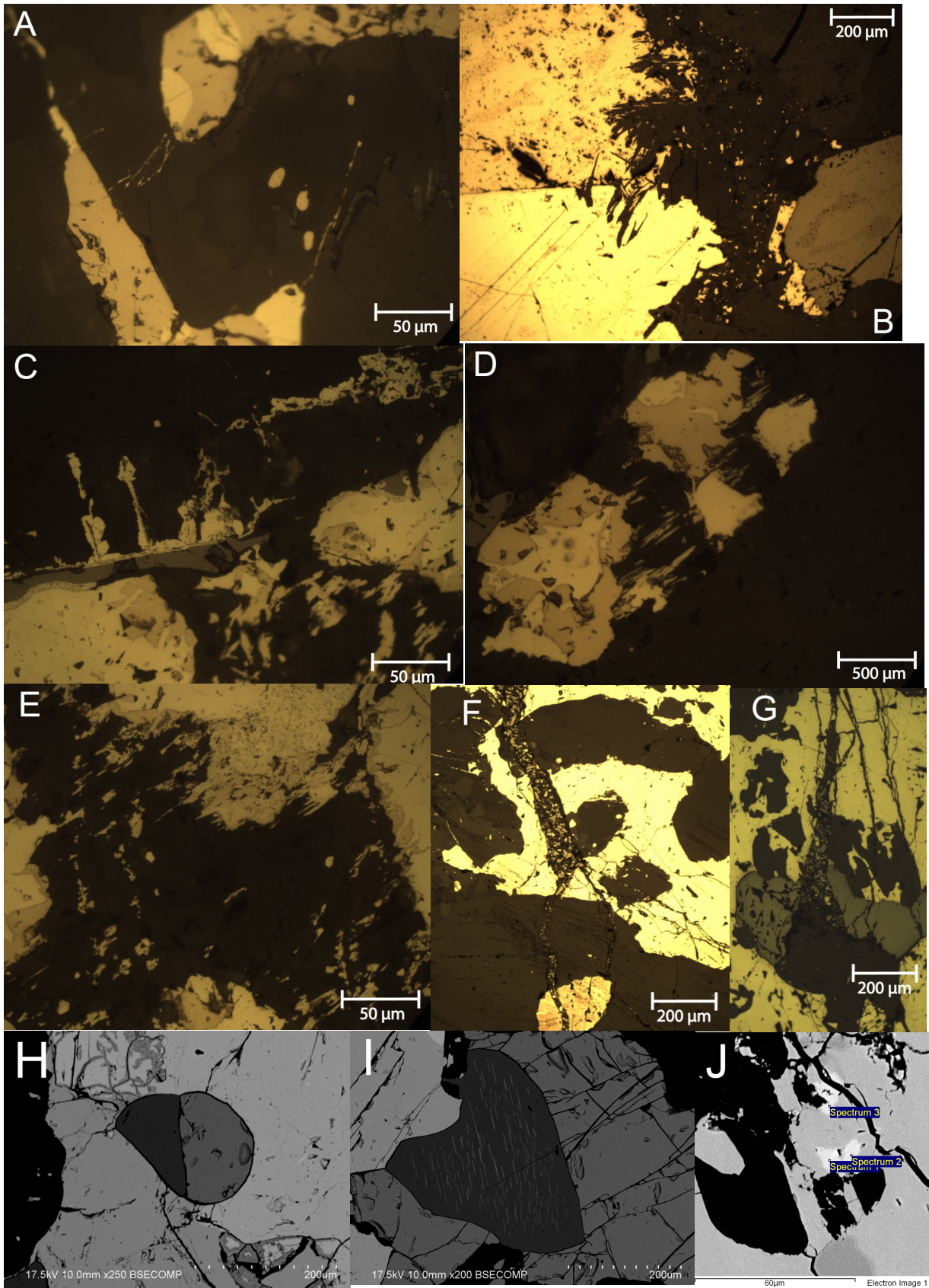


Fig. 8 A-J. A Vener (omgivna av silikater) av kopparkis ut från kopparkiskorn i magnetkisaggregat (K5, se även fig. 3c). B, D, och E. Söndertrasad textur (eng. shredded texture) i närbild. Kopparkis (övre) och pyrit (undre). En stor del mindre korn som inklusioner i silikater. C. Flammor i närbild. (MG). F. Större spricka fylld med fragment som till största delen utgörs av järnoxider (K2). G. Ursprunget till fragmenten i nämnd spricka (K2). H. Droppe av magnetit inuti sulfidaggregat (K5). Ilmenit med synliga 'tvillinglameller' (K5). J. Inklusioner av zinkblände inuti kopparkis (K2).

tidigare kristallisation. Samtidigt visar dock även K2 på tendenser till resorbition. I ett senare skede ombildas de inklämda och fram till dess orörda magnetkiskorn som var rika på Ni, till pentlandit. Långt senare utsätts gabbrokroppen för ett ökat tryck om ombildar pyroxen till hornblände. Under lågmetamorfos omvandlas de mest utsatta delarna av pentlanditkorn till violarit. Omvandlingen är större i vissa zoner (MG), och violarit har raderats ut och lämnat tomrum mellan pyritkorn. Deformationen drabbar hela gabbrokroppen och i samma händelse (eller senare) skapas de mikroskopiska sprickor som påträffas i prov MG1A.

4.4 Felkällor

Identifiering: I en större undersökning av bland annat Kleva som gjordes 1987 (Zakrzewski) identifierades en rad mineral som inte återfunnits i de disseminerade proverna. Det kan finnas många anledningar till detta. Mackinawit kan undgått identifiering. Endast prov K2 har genomgått systematiskt i försök hitta bireflektans i korn som tidigt bedömdes vara pyrit. Samma undersökning kunde inte göras av K5, LG1A, och MG1A då proven vid tillfället redan kolbelagts. Markasit har inte identifierats, och ingen 'bird eye texture' har påträffats. Denna textur är annars vanlig vid omvandlingen från magnetkis. Såväl rutil (TiO_2) som hematit (Fe_2O_3) anses osannolikt ha kunnat undgå identifiering vid mikroskopiering då både färg (grå), nyans (blå) och anisotropi (mycket stark) särskiljer mineralen starkt från de som påträffats. Mineralet kan förstas förekomma utan dessa egenskaper. Andelen magnetit och ilmenit väger som en större andel i de disseminerade proverna än genomsnittet av de prover som Zakrzewski (1987) samlade ihop ifrån kasserade stenhögar utanför gruvan.

SEM-mikroskopieringen: Noggrannheten för de kvantitativa analyserna är god. Totalvärden ligger här som störst avvikelser inom en acceptabel nivå av max. 5 %. Undantaget är K5-S3 analys 2, vilket kan kopplas till Ca och att någonting annat bakom troligen lyser igenom.

För mätningar på mm-nivå resp. med mikrometer bedöms osäkerheten till $\pm 0,5$ mm resp. ± 10 μm .

5 Slutsatser

De opaka mineralen som förekommer i den disseminerade malmen från Kleva är i sjunkande ordning: kopparkis, magnetit, ilmenit, magnetkis, pyrit, pentlandit, violarit och zinkblände. Mineralen förekommer i aggregat av varierande storlek och mängd. Rikare prover karakteriseras av nätverksstrukturer och stora aggregat av magnetkis, kopparkis och inklusioner av mindre aggregat av järnoxider. I fattiga prover dominerar aggregaten av pyrit, kopparkis och järnoxider. Sprickor är vanliga i både typer av prov och ibland fyllda av något av de andra mineralen. Texturerna tyder på att mineraliseringen redan tidigt genomgick antal skeenden där tension, turbulens, och/eller flöden kan spelat in för den kemiska sammansättningen i magman. Andra texturer till följd av deformation har sedan lagts ovanpå. Den kemiska analysen visar på skillnader i framförallt spårämnen hos samma mineral inom olika provtagningsplatser.

6 Tack

Först vill jag tacka mina handledare. Anders Scherstén för dina förklarande skisser och för hjälp med databearbetning. Karolina Bjärnborg för all tid med kalibrering av instrument och inställningar i INCA. För att jag fick chansen att göra denna studie. Jag vill också tacka Leif Johansson, för vänliga ord, samt alla andra anställda på geologiska institutionen i Lund. För tillgång till lokaler och instrument under obekväma tider och för allt intresse ni visat för studien. Jag vill också tacka samtliga bibliotekarier under åren som uppmuntrat min kunskapsörst.

7 Referenser

- Best, M. G., 2003: Igneous and metamorphic petrology. Malden, Blackwell Publishers.
- Björnberg, K., Scherstén, A., Söderlund, U. & Maier, W. 2013. The age of the Kleve intrusion, southeast Sweden. Konferensabstrakt submitte rat till 12th biennial meeting of the SGA, Uppsala, augusti 2013.
- Evans, A. M., 1997: An introduction to economic geology and its environmental impact. Oxford, Blackwell Science.
- Filoche, C., 2009: Geology of the Älggliden Cu-Ni-Au mineralization, northern Sweden. Department of Chemical Engineering and Geosciences, Division of Ore Geology, Luleå University of Technology. Master Thesis.
- Grip, E., 1961: Geology of the nickel deposit at Lainijaur in northern Sweden and a summary of other nickel deposits in Sweden: Sveriges geologiska undersökning C577, 1—79.
- Ineson, P. R., 1989: Introduction to practical ore microscopy. Longman earth science series. Harlow : Longman.
- Klein, C. and B. Dutrow, 2007: The manual of mineral science: (efter James D. Dana). Wiley, New York.
- Maier, W. D., Barnes S.J., Sarkar A., Ripley E., Li C., Livesey T., 2010: The Kabanga Ni sulfide deposit, Tanzania: I. Geology, petrography, silicate rock geochemistry, and sulfur and oxygen isotopes. Mineralium Deposita 45: 419-441.
- Mansfeld J., 2005 The Småland-Värmland belt in southeastern Sweden: I The Transscandinavian Igneous Belt (TIB) in Sweden: a review of its character and evolution, 20—21. Espoo: Geological survey of Finland 17. Norstedt, Stockholm.
- Naldrett, A. J., 2010: Secular variation of magmatic sulfide deposits and their source magmas. Economic Geology 105, 669—688.
- Naldrett, A. J. & L. J. Cabri, 1976: Ultramafic and related mafic rocks; their classification and genesis with special reference to the concentration of nickel sulfides and platinum-group elements. Economic Geology and the Bulletin of the Society of Economic Geologists 71: 1131—1158.
- Nilsson, G, 1984: Nickel-copper deposits in Sweden, Geological Survey Finland Bulletin 333: 313-362.
- Persson, L., 1989: Beskrivning till bergrundskartan 6F Vetlanda SV och SO. Sveriges geologiska undersökningar Af 170-171.
- Ramdohr, P., 1969: The ore minerals and their intergrowths. Pergamon P, Oxford.
- Robb, L., 2004: An introduction to ore-forming processes. Blackwell Publishing.
- Schouten, C., 1962: Determination tables for ore microscopy. Elsevier, Amsterdam.
- Schneidershöhn, H., 1952: Erzmikroskopisches Praktikum. Schweizerbart, Stuttgart.
- Sveriges geologiska undersökning (SGU), 2013: Karta: Sveriges geologiska undersökning, berg grundskarta 1:50000. www.sgu.se (2013-05-29) http://maps2.sgu.se/kageFilemover/data/rock_local_1ZMXUPbz9Z.pdf och den begränsas av koordinaterna syd, väst, nord, ost: 6364896,508013,6372396,515513
- Tegengren, F. R. m.fl., 1924: Kleve nickel- och kopparmalmsgruvor. I Sveriges ädlare malmer och bergverk, 349—353. Sveriges geologiska undersökning Ca 17. Norstedt, Stockholm.
- Uytenbogaardt, W. & E. A. J. Burke, 1971: Tables for microscopic identification of ore minerals. Elsevier. Amsterdam.
- Zakrzewski, M. A., 1988: Mineral parageneses of the sulphide ore deposits of Bergslagen metallogenic province: I. Ni-Cu deposits of southern Sweden. Geologie en Mijnbouw 67: 357

**Tidigare skrifter i serien
”Examensarbeten i Geologi vid Lunds
universitet”:**

315. Badawy, Ahmed Salah, 2012: Sequence stratigraphy, palynology and biostratigraphy across the Ordovician-Silurian boundary in the Röstånga-1 core, southern Sweden. (45 hp)
316. Knut, Anna, 2012: Resistivitets- och IP-mätningar på Flishultsdeponin för lokalisering av grundvattenytor. (15 hp)
317. Nylén, Fredrik, 2012: Förädling av ballastmaterial med hydrocyklon, ett fungerande alternativ? (15 hp)
318. Younes, Hani, 2012: Carbon isotope chemostratigraphy of the Late Silurian Lau Event, Gotland, Sweden. (45 hp)
319. Weibull, David, 2012: Subsurface geological setting in the Skagerrak area – suitability for storage of carbon dioxide. (15 hp)
320. Petersson, Albin, 2012: Förutsättningar för geoenergi till idrottsanläggningar i Kallerstad, Linköpings kommun: En förstudie. (15 hp)
321. Axbom, Jonna, 2012: Klimatets och människans inverkan på tallens etablering på sydsvenska mossar under de senaste århundradena – en dendrokronologisk och torvstratigrafisk analys av tre småländska mossar. (15 hp)
322. Kumar, Pardeep, 2012: Palynological investigation of coal-bearing deposits of the Thar Coal Field Sindh, Pakistan. (45 hp)
323. Gabrielsson, Johan, 2012: Havsisen i arktiska bassängen – nutid och framtid i ett globalt uppvärmningsperspektiv. (15 hp)
324. Lundgren, Linda, 2012: Variation in rock quality between metamorphic domains in the lower levels of the Eastern Segment, Sveconorwegian Province. (45 hp)
325. Härling, Jesper, 2012: The fossil wonders of the Silurian Eramosa Lagerstätte of Canada: the jawed polychaete faunas. (15 hp)
326. Qvarnström, Martin, 2012: An interpretation of oncoïd mass-occurrence during the Late Silurian Lau Event, Gotland, Sweden. (15 hp)
327. Ulmius, Jan, 2013: P-T evolution of paragneisses and amphibolites from Romeleåsen, Scania, southernmost Sweden. (45 hp)
328. Hultin Eriksson, Elin, 2013: Resistivitetsmätningar för avgränsning av lakvattenplym från Kejsarkullens deponis infiltrationsområde. (15 hp)
329. Mozafari Amiri, Nasim, 2013: Field relations, petrography and $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ cooling ages of hornblende in a part of the eclogite-bearing domain, Sveconorwegian Orogen. (45 hp)
330. Saeed, Muhammad, 2013: Sedimentology and palynofacies analysis of Jurassic rocks Eriksdal, Skåne, Sweden. (45 hp)
331. Khan, Mansoor, 2013: Relation between sediment flux variation and land use patterns along the Swedish Baltic Sea coast. (45 hp)
332. Bernhardson, Martin, 2013: Ice advance-retreat sediment successions along the Logata River, Taymyr Peninsula, Arctic Siberia. (45 hp)
333. Shrestha, Rajendra, 2013: Optically Stimulated Luminescence (OSL) dating of aeolian sediments of Skåne, south Sweden. (45 hp)
334. Fullerton, Wayne, 2013: The Kalgoorlie Gold: A review of factors of formation for a giant gold deposit. (15 hp)
335. Hansson, Anton, 2013: A dendroclimatic study at Store Mosse, South Sweden – climatic and hydrologic impacts on recent Scots Pine (*Pinus sylvestris*) growth dynamics. (45 hp)
336. Nilsson, Lawrence, 2013: The alteration mineralogy of Svartliden, Sweden. (30 hp)
337. Bou-Rabee, Donna, 2013: Investigations of a stalactite from Al Hota cave in Oman and its implications for palaeoclimatic reconstructions. (45 hp)
338. Florén, Sara, 2013: Geologisk guide till Söderåsen – 17 geologiskt intressanta platser att besöka. (15 hp)
339. Kullberg, Sara, 2013: Asbestkontamination av dricksvatten och associerade risker. (15 hp)
340. Kihlén, Robin, 2013: Geofysiska resistivitetsmätningar i Sjöcrona Park, Helsingborg, undersökning av områdets geologiska egenskaper samt 3D modellering i GeoScene3D. (15 hp)
341. Linders, Wictor, 2013: Geofysiska IP-undersökningar och 3D-modellering av geofysiska samt geotekniska resultat i GeoScene3D, Sjöcrona Park, Helsingborg, Sverige. (15 hp)
342. Sidenmark, Jessica, 2013: A reconnaissance

- study of Rävliiden VHMS-deposit, northern Sweden. (15 hp)
343. Adamsson, Linda, 2013: Peat stratigraphical study of hydrological conditions at Stass Mosse, southern Sweden, and the relation to Holocene bog-pine growth. (45 hp)
344. Gunterberg, Linnéa, 2013: Oil occurrences in crystalline basement rocks, southern Norway – comparison with deeply weathered basement rocks in southern Sweden. (15 hp)
345. Peterffy, Olof, 2013: Evidence of epibenthic microbial mats in Early Jurassic (Sinemurian) tidal deposits, Kulla Gunnarstorp, southern Sweden. (15 hp)
346. Sigeman, Hanna, 2013: Early life and its implications for astrobiology – a case study from Bitter Springs Chert, Australia. (15 hp)
347. Glommé, Alexandra, 2013: Texturella studier och analyser av baddeleyitomvandlingar i zirkon, exempel från sydöstra Ghana. (15 hp)
348. Brådenmark, Niklas, 2013: Alunskiffer på Öland – stratigrafi, utbredning, mäktigheter samt kemiska och fysikaliska egenskaper. (15 hp)
349. Jalnefur Andersson, Evelina, 2013: En MIFO fas 1-inventering av fyra potentiellt förorenade områden i Jönköpings län. (15 hp)
350. Eklöv Pettersson, Anna, 2013: Monazit i Obbhult-komplexet: en pilotstudie. (15 hp)
351. Acevedo Suez, Fernando, 2013: The reliability of the first generation infrared refractometers. (15 hp)
352. Murase, Takemi, 2013: Närkes alunskiffer – utbredning, beskaffenhet och oljeinnehåll. (15 hp)
353. Sjöstedt, Tony, 2013: Geoenergi – utvärdering baserad på ekonomiska och drifttekniska resultat av ett passivt geoenergisystem med värmeuttag ur berg i bostadsrättsföreningen Mandolinen i Lund. (15 hp)
354. Sigfúsdóttir, Thorbjörg, 2013: A sedimentological and stratigraphical study of Veiki moraine in northernmost Sweden. (45 hp)
355. Månsson, Anna, 2013: Hydrogeologisk kartering av Hultan, Sjöbo kommun. (15 hp)
356. Larsson, Emilie, 2013: Identifying the Cretaceous–Paleogene boundary in North Dakota, USA, using portable XRF. (15 hp)
357. Anagnostakis, Stavros, 2013: Upper Cretaceous coprolites from the Münster Basin (northwestern Germany) – a glimpse into the diet of extinct animals. (45 hp)
358. Olsson, Andreas, 2013: Monazite in metasediments from Stensjöstrand: A pilot study. (15 hp)
359. Westman, Malin, 2013: Betydelsen av raka borrhål för större geoenergisystem. (15 hp)
360. Åkesson, Christine, 2013: Pollen analytical and landscape reconstruction study at Lake Storsjön, southern Sweden, over the last 2000 years. (45 hp)
361. Andolfsson, Thomas, 2013: Analyses of thermal conductivity from mineral composition and analyses by use of Thermal Conductivity Scanner: A study of thermal properties in Scanian rock types. (45 hp)
362. Engström, Simon, 2013: Vad kan inneslutningar i zirkon berätta om Varbergscharnockiten, SV Sverige. (15 hp)
363. Jönsson, Ellen, 2013: Bevarat maginnehåll hos mosasaurier. (15 hp)
364. Cederberg, Julia, 2013: U-Pb baddeleyite dating of the Pará de Minas dyke swarm in the São Francisco craton (Brazil) – three generations in a single swarm. (45 hp)
365. Björk, Andreas, 2013: Mineralogisk och malmpetrografisk studie av disseminerade sulfider i rika och fattiga prover från Kleva. (15 hp)



LUNDS UNIVERSITET

Geologiska institutionen
Lunds universitet
Sölvegatan 12, 223 62 Lund