



Stockholm
University

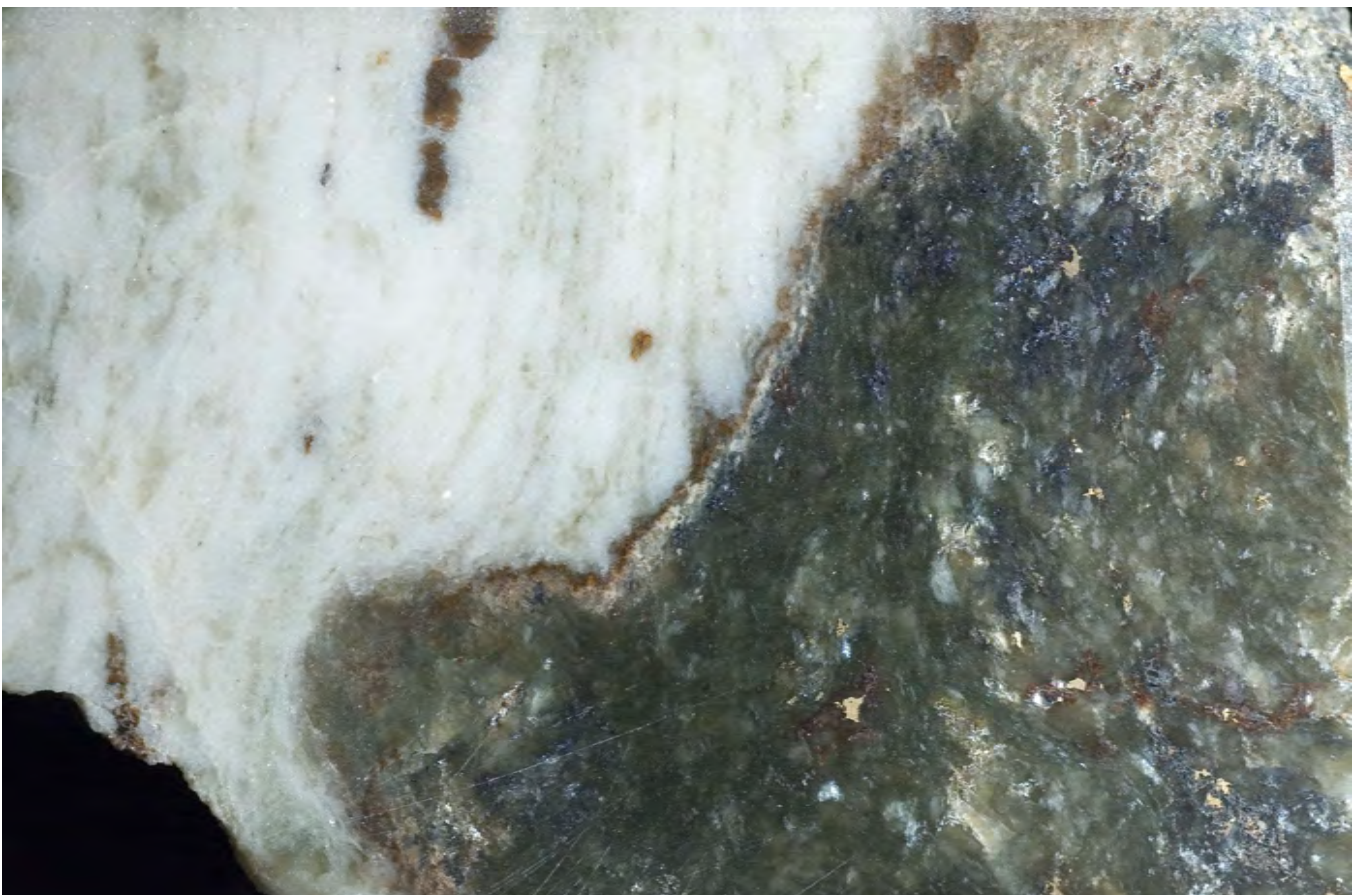
Master Thesis

One year

Degree Project in
Geology 30 hp

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)- gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra: Mineralkemi och förekomstsätt

Anders Zetterqvist



Stockholm 2015

Department of Geological Sciences
Stockholm University
SE-106 91 Stockholm

Omslagsbild: Kontakt mellan tremolitskarn och dolomit. Sulfider, främst blyglans och i mindre mängder även zinkblände och svavelkis förekommer oregelbundet i tremolitskarnet. I dolomit finns små mängder grå tremolit ansamlad i band som är orienterade parallellt med foliationen. I dolomit finns även partier med forsterit, delvis retrogradomvandlad till brun serpentin. Prov GNV1 från malmupplag vid Garpenberg Norra. Bildbredd 6 cm.

Abstract

The Garpenberg Zn-Pb-Ag-(Cu-Au) deposits are hosted by a sequence of felsic volcanoclastic rocks interbedded with marble units. Ore deposition is closely associated with proximal eruptions of rhyolite-dacite pumice breccias, subvolcanic intrusions and strong hydrothermal alteration. Sulphide ores are often occurring along the contacts between altered volcanic rocks and dolomite marble and then consists of skarn with disseminations, breccias and massive pods of sulphides. Dissemination and veins with sulphides also occur in the surrounding altered volcanic rocks and in dolomite marbles. The origins of the skarns associated with the deposits have historically been debated. Current opinion is that the skarns are the result of a later amphibolite facies metamorphic event related to the Svecokarelian orogeny.

In the southern part of the Garpenberg mine skarnhosted ore in the Strand and Kanal deposits have been studied. At the boundary between the footwall altered volcanics and the overlying marble unit, the Strand deposit is situated and is partly hosted by Mg-skarn with tremolite-actinolite and minor diopside. A retrograde assemblage with talc has developed along late deformation zones. The Kanal deposit is situated above Strand and at the upper contact between the main marble unit and overlying altered volcanics. Compared with Strand, skarns in Kanal deposit are more Fe-rich and zoned with tremolite close to dolomite with transitions to actinolite-diopside and finally epidote and magnesiohornblende close to altered hangingwall. In the Garpenberg Norra area, 3km further to NE the stratigraphic sequence is similar to the southern area with the E-deposit at the lower marble contact and F-deposit at the upper contact. Zonations across the skarn/ore zone in both E- and F-deposits are from tremolite close to dolomite with transitions to diopside and finally spessartine garnet at the altered volcanic contact. The upper marble contact, F-deposit, is also in this area enriched in Fe compared with the lower contact, E-deposit. An overall enrichment in Mn is also typical for all skarn minerals in the Garpenberg Norra area compared with the southern Garpenberg area indicating a more district scale zonation. A number of Mn-mineral species also have been identified at Garpenberg Norra, including: rhodonite, tephroite, manganocummingtonite, pyroxmangite, alabandite and rodochrosite. In the Mn-skarns, willemite is also identified.

Size, geometry and chemistry of skarn and skarn minerals indicate skarns are of metasomatic infiltration origin. Origins of skarn generating fluids are uncertain and can be either the ore forming fluids or fluids derived from dehydration reactions released during Svecokarelian regional metamorphism.

Innehållsförteckning

1	INLEDNING OCH SYFTE	1
2	INTRODUKTION TILL SKARN, SKARNBILDNING OCH SKARNMALM	2
2.1	URSPRUNG TILL NAMNET SKARN.....	2
2.2	TERMINOLOGI OCH SKARNBILDNING	2
2.3	SKARNMINERALENS TEMPERATUR- OCH TRYCKBEROENDE	3
2.4	DEFORMATION OCH RETROGRADOMVANDLINGAR AV SKARN OCH SKARNMINERAL	4
2.5	SKARNMALM	4
3	GEOLOGISK BESKRIVNING AV GARPENBERGSOMRÅDET	7
3.1	ALLMÄN GEOLOGISK ÖVERSIKT OCH LITOLOGIER.....	7
3.2	DEFORMATION.....	7
3.3	METAMORFOS	8
3.4	MALMFÖREKOMSTER	8
3.4.1	<i>Järnmalmer</i>	9
3.4.2	<i>Sulfidmalmer</i>	10
3.5	GENETISKA MODELLER FÖR MALMBILDNINGEN	13
4	METODIK	16
5	UTFÖRDA UNDERSÖKNINGAR AV SKARN OCH SKARNMINERAL	18
5.1	UNDERSÖKTA OMRÅDEN I GARPENBERGSGRUVAN	18
5.1.1	<i>Allmän beskrivning</i>	18
5.1.2	<i>Strandmalmen, Liggmalmen nivå 620 m, (1995-02-15)</i>	20
5.1.3	<i>Strandmalmen, Liggmalmen nivå 625m och 675 m (1995-11-29)</i>	23
5.1.4	<i>Strandmalmen, Hängmalmen nivå 625 m (1995-11-29)</i>	24
5.1.5	<i>Kanalmalmen nivå 515 m, (1995-11-29)</i>	25
5.1.6	<i>Kanalmalmen nivå 582 m (1995-11-29)</i>	29
5.1.7	<i>Kanalmalmen nivå 670 m (1995-02-15)</i>	30
5.2	UNDERSÖKTA OMRÅDEN I GARPENBERG NORRA.....	32
5.2.1	<i>Allmän beskrivning</i>	32
5.2.2	<i>D-malmen nivå 680 m (1995-11-28)</i>	32
5.2.3	<i>E-malmen nivå 538 m (1995-11-28)</i>	33
5.2.4	<i>E-malmen nivå 605 m (1995-11-28)</i>	35
5.2.5	<i>E-malmen nivå 811 m (1996-10-10)</i>	36

5.2.6	<i>Borrkärnor från området mellan E- och F-malmen</i>	37
5.2.7	<i>F-malmen nivå 690 m (1995-11-28)</i>	37
5.2.8	<i>Prover från malmupplag vid Garpenberg Norra</i>	39
5.3	SAMMANFATTANDE BESKRIVNING AV SKARN VID GARPENBERG OCH GARPENBERG NORRA	40
5.3.1	<i>Skarnets geometri och relation till andra bergarter</i>	40
5.3.2	<i>Skarntyper och zonerings</i>	40
5.3.3	<i>Protolit till skarnet</i>	41
5.3.4	<i>Sent bildade skarnmineral i sprickor och metamorfos</i>	41
5.3.5	<i>Skarnets relation till malmerna</i>	42
5.4	SKARNMINERALENS MINERALOGI OCH MINERALKEMI	43
5.4.1	<i>Amfibol</i>	43
5.4.2	<i>Pyroxen</i>	48
5.4.3	<i>Granat</i>	50
5.4.4	<i>Mn-mineral</i>	53
5.4.5	<i>Övriga skarnmineral</i>	55
5.5	MASSBALANSBERÄKNING	57
5.6	JÄMFÖRELSE MED ZN-PB-SKARNMALMER	58
6	DISKUSSION	60
6.1	SKARNBILDNING	60
6.1.1	<i>Alternativ 1, skarnbildning genom metamorfos under isokemiska förhållanden</i>	60
6.1.2	<i>Alternativ 2, skarnbildning genom metasomatos</i>	60
6.1.3	<i>Källa till metasomatiska lösningar</i>	61
6.1.4	<i>Deformation och metamorfos</i>	61
6.1.5	<i>Zonering</i>	61
6.1.6	<i>Massbalansberäkning</i>	63
6.1.7	<i>Jämförelse mellan skarn i Garpenberg och skarn i Zn-Pb-skarnmalmer</i>	63
6.1.8	<i>Modeller för skarnbildning</i>	64
6.2	MALM OCH OMVANDLING	64
7	SLUTSATSER	66
8	TACKORD	68
9	REFERENSER	69
10	BILAGA 1. PROVMAERIALET	73
11	BILAGA 2. MINERALANALYSER	77

1 Inledning och syfte

Skarn är en bergart som förekommer i anslutning till metamorfa karbonatstenar. Bergarten är vanlig i Bergslagen och finns ofta närvarande i områdets malmförekomster. Hur och när skarnbergarterna bildats samt dess genetiska relationer till malmerna i Bergslagen har länge debatterats och åsikterna har gått isär om en koppling mellan skarnbildning och malmbildning finns eller inte. I Garpenbergs sulfidmalmsgruvor är skarnbergarter vanliga och de är ofta själva värdbergarten till malmerna. Syftet med detta arbete har varit att undersöka skarnbergarternas uppträdande, mineralogi, mineral kemi samt relation till malmer och malmmineral och om möjligt försöka bestämma på vilket sätt skarnen har bildats samt försöka avgöra om bildningen av skarnen är samtida med malmbildningen eller inte.

Gruvdriften i Garpenberg startade redan på 1400-talet och har fortgått med endast kortare uppehåll till idag. Därmed är Garpenberg Sveriges äldsta i drift varande gruva. Gruvdriften var fram till 1878 huvudsakligen inriktad på kopparmalmsproduktion med brytning i Odalfältet. Brytningen av komplexmalm med Zn, Pb, Cu, Ag och Au startade 1905 (Tegengren 1924). Ett uppsving i gruvdriften skedde i början av 1940-talet när Strandmalmen påträffades. Strandmalmen blev Garpenbergsgruvans största malmkropp och undersökning av området hade tidigare omöjliggjorts på grund av en större vattenförande svaghetszon som hade direktkontakt med den ovan belägna Gruvsjön. Efter uppdämning och tömning av den norra delen av sjön kunde området undersökas och Strandmalmen hittas (Magnusson, 1953; Tegengren, 1924). Boliden blev ägare till gruvan 1957 i och med övertagandet av AB Zinkgruvor. Garpenberg Norra hittades på 1960-talet under prospektering av områden vid den i äldre tider bearbetade Gransjögruvan. År 1972 togs den nya gruvan, Garpenberg Norra i drift. År 1999 bröts 640 000 ton malm i Garpenberg Norra och den var då den största gruvan i Garpenberg. Låga metallpriser gjorde att gruvorna var nära att stängas ner under slutet av 1990-talet. Avgörande för överlevanden blev fyndet 1998 av den stora och rika malmkroppen Lappberget under östra stranden av Finnhytte-Dammsjön. 2004 blev förbindelsen mellan Garpenbergsgruvan och Garpenberg Norra klar. Driften i den ursprungliga Garpenbergsgruvan har sedermera lagts ned då Strandmalmen brutits ut och Kanalmalmen varit för liten för att ensamt motivera driften i Garpenbergsgruvan och brytningen är nu koncentrerad längre norrut i fältet. Ett nytt anrikningsverk har nyligen byggts och produktionen av malm är planerad att öka till 2,5 Mton per år under 2015.

2 Introduktion till skarn, skarnbildning och skarnmalm

2.1 Ursprung till namnet skarn

Namnet skarn är svenskt och användes ursprungligen av gruvarbetare vid Persbergs järngruvor i Värmland för de egendomliga gröna och bruna bergarter som omgav järnmalmerna (Törnebohm 1875). Skarnen indelades i grönskarn, innehållande mineral som amfibol och pyroxen samt brunskarn innehållande mineral i granatgruppen.

2.2 Terminologi och skarnbildning

Skarn är en metamorf bergart som vanligtvis bildas när mineral eller minerallösningar från karbonatstenar och kiselsyrorika bergarter reagerar med varandra under bildning av silikatmineral med varierande innehåll av huvudsakligen Ca, Mg, Fe, Mn och Al. De mineral som uppkommer kallas skarnmineral (även kallade kalksilikatmineral). Vanliga skarnmineral är tremolit-aktinolit, diopsid-hedenbergit, Ca-rik granat, Ca-rik plagioklas, epidot-zoisit, olivin, spinell, skapolit, wollastonit, vesuvian, talk och Mn-silikater som rodonit. Skarnmineral och skarn kan även bildas i andra bergarter än sedimentära och då ofta när sekundärt avsatta karbonatmineral reagerar med Si-Al-rika bergarter vid metamorfos.

Termen skarn används med något varierande betydelse i litteraturen. Vissa använder termen rent deskriptivt, andra med genetisk innebörd. I svenskspråkig litteratur används termen skarn vanligtvis rent deskriptivt och för bergarter som domineras av skarnmineral. De karaktäristiska mineralen för skarnbergarter kallas skarnmineral och det oavsett om de förekommer i skarn eller i andra bergarter och oavsett bildningssätt. En annorlunda och mer genetisk terminologi används ofta internationellt. De karaktäristiska mineralen (skarnmineralen) kallas internationellt kalksilikatmineral (calc-silicate minerals) och bergarter som domineras av kalksilikatmineral benämns beroende på bildningssätt antingen kalksilikatbergarter (calc-silicate rocks) eller skarn. Termen skarn är oftast reserverad för de kalksilikatbergarter som bildas genom metasomatos, när främmande element har tillförts vid bildningen (Einaudi & Burt 1982). Termen "calc-silicate rock" används för de vanligtvis finkorniga kalksilikatbergarter som har bildats genom isokemisk metamorfos av bergarter bestående av en blandning av karbonatmineral och Si-Al-rika komponenter, exempelvis märgel. Termen skarnoid brukar ibland även användas och betecknar ett mellanting mellan skarn och kalksilikat.

I detta arbete har valts att använda termerna skarn och skarnmineral för dessa typer av bergarter och mineral och utan någon genetisk innebörd.

Reaktionsskarn är en typ av skarn som bildas längs kontakten mellan två bergarter. Den förekommer ofta som en några centimeter bred rand längs kontakten mellan karbonatsten och en intilliggande silikatbergart i områden som påverkats av regional metamorfos. Reaktionsskarn uppkommer genom att element under inverkan av högt tryck, hög temperatur och påverkan av lösningar blir mobila och kan vandra mellan bergarterna och reagera med varandra (Magnusson 1930, Einaudi 1981). I Bergslagen förekommer reaktionsskarn på flera platser och Magnusson (1925) har beskrivit en lokal från Gåsgruvans kalkbrott, där han påträffat en tunn rand av reaktionsskarn runt en boudinerad metabasitgång i marmor.

Skarn bildat genom tillförsel av element, metasomatos, är vanligt förekommande i områden där magmatiska bergarter har intruderat in i karbonatstensbergarter. De heta, magmatiska och metallhaltiga lösningar som frigörs från magman kan när de passerar upp genom karbonatstenen reagera med denna under bildning av skarn. Beroende på i vilken bergart skarnet bildas brukar dessa skarn klassificeras som endoskarn om de bildas i den magmatiska bergarten och exoskarn om de bildas i den infiltrerade karbonatstenen. Termen endoskarn används ibland även för skarn bildat i andra silikatbergarter än den magmatiska bergarten (Einaudi och Burt 1982).

Metasomatiskt skarn kan även bildas när lösningar med ursprung från metamorfa processer reagerar med karbonatsten. I storleksordningen 3-4 % H₂O och CO₂ avges när lerskiffer genomgår amfibolitfacies-metamorfos (ex. Ferry & Gerdes 1998). Dessa lösningar är i kemisk jämvikt med de bergarter de bildas i men när de kommer in i bergarter med annan kemi, exempelvis karbonatsten, kan de reagera under bildning av nya mineral eller skarn.

2.3 Skarnmineralens temperatur- och tryckberoende

Skarnmineralreaktioner är likt andra mineralreaktioner beroende av rådande temperatur och tryck. Trommsdorf (1966 och 1972) har från ett område i Alperna visat att vid regionalmetamorfos av kvartsförande dolomitmarmor bildas följande skarnmineral vid successivt ökande temperatur: Talk → talk + tremolit → tremolit → tremolit + diopsid → tremolit + diopsid + forsterit → diopsid + forsterit (Trommsdorf, 1966, 1972). Tryckberoendet är ofta kopplat till andelen koldioxid i lösningen. I och med att koldioxid avges när karbonatsten reagerar med SiO₂ under bildning av skarnmineral kan andelen koldioxid i lösningen vara hög. Detta höga koldioxidtryck är hämmande på skarnmineralreaktioner i ett stängt system där koldioxid inte kan transporteras bort. Är systemet däremot öppet och koldioxid kan transporteras bort kan reaktionerna fortgå vid lägre temperaturer (Skippen, 1974).

2.4 Deformation och retrogradomvandlingar av skarn och skarnmineral

Skarnbergarter bestående av mineral som amfibol, pyroxen, granat och epidot är oftast relativt kompetenta bergarter och reagerar sprött på deformation. I en miljö med karbonatsten som relativt sett är plastisk blir detta förhållande ännu tydligare. Detta medför att vid deformation blir skarnlager ofta sönderslitna och boudinerade. I de bildade tensionssprickorna kan nybildade mineral kristallisera. Ibland bara kalcit eller kvarts men ibland även fritt kristalliserade skarnmineral i vackra kristaller. Jansson och Allen (2015) har vid Ryllshyttan nära Garpenberg påträffat denna typ av sena sprickmineraliseringar i tidigare bildat skarn och kopplar dessa till en sen fas av den Svekokarelska deformationen. Vid Ryllshyttan har de även visat att mineralogin i de nybildade sprickorna styrs av vilken typ av skarn det är som sprickorna bildats i. Även i många andra delar av Bergslagen förekommer denna typ av skarnmineralbildningar med vackra kristaller som är yngre än det massiva skarn sprickorna uppträder i. Exempel är Långban (Magnusson 1930) och Nordmark (Magnusson 1929). Under den senare delen av regionalmetamorfosen har även tidigt bildade skarnmineral blivit retrogradomvandlade. Serpentinisering av tidiga Mg-rika skarnmineral som forsterit, olivin och diopsid är exempelvis vanligt förekommande i marmor i Bergslagen. En vacker marmor med stort inslag av gul-grön, retrograd bildad serpentin är Kolmårdsmarmor (Wikström, 1979).

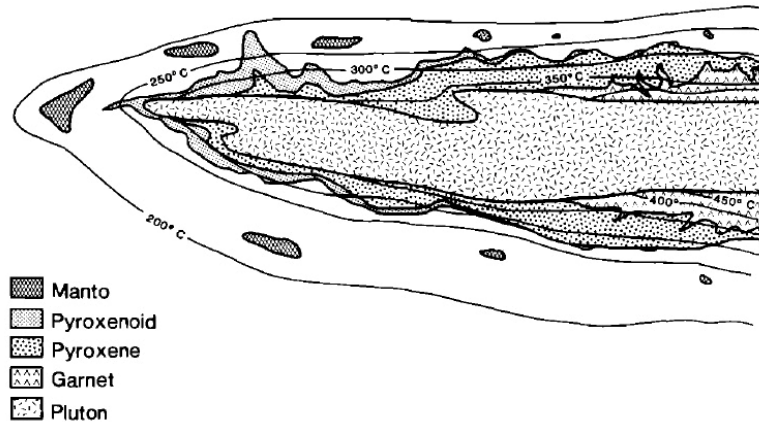
2.5 Skarnmalm

Om skarn och malmmineral avsätts samtidigt bildas skarnmalm (eng. 'skarn deposit'). De flesta skarnmalmer bildas, när magmatiska bergarter intruderar in i en geologisk sekvens innehållande karbonatsten. Skarnmineral och malmmineral avsätts ofta i ett proximalt läge, direkt intill den intrusiva bergarten genom ersättning av karbonatsten. Mera distalt bildade skarnmalmer och då speciellt Zn-skarnmalmer finns även beskrivna som saknar tydlig koppling till intrusioner (Williams-Jones et al. 2010). Granat och pyroxen är de vanligaste skarnmineralen som bildas när karbonatsten ersätts vid skarnmalmbildning. Avsättningen av metaller i skarnmalmer sker ofta till följd av ändring av malmlösningens pH. Många malmlösningar har ett lågt pH vilket gör att de kan transportera stora mängder metaller och när lösningarna kommer i kontakt med karbonatsten höjs pH och metaller fälls ut och bildar mineraliseringar. Sju grupper av skarnmalmer med olika metallassociationer har urskiljts av Meinert et al. (2005), dessa typer är Fe-, Au-, Cu-, Zn-, W-, och Sn-skarn. Nedan ges mer information om Zn-skarnmalmer i och med likheter med malmerna vid Garpenberg.

En sammanställning av geologi och mineralogi i Zn-skarnmalmer ges av Einaudi et al. (1981). Zn/Pb förhållandet är för mer än 50 % av de tabellerade Zn-skarnmalmer i intervallet 1:1 till 2:1 och innehållet av koppar är vanligtvis lågt. Silverhalterna kan ibland vara betydande. Zn-skarnmalmerna bildas vanligtvis i distala lägen i förhållande till samhöriga djupbergartsintrusiv och är mer distala än

andra skarnmalmtyper. Associerade intrusioner är från djupmagmatiska till subvulkaniska och i sammansättning oftast intermediära till sura. Omvandlingen i associerade intrusiv är oftast låg men exempel finns med utbredd K-silikatomvandling. Mineraliseringarna följer ofta strukturella eller litologiska kontakter. Skarnmineralogin är ofta dominerad av pyroxen med mindre mängder av granat. Pyroxener innehåller ofta stor andel av hedenbergitmolekylen och granaterna är rika på andradit. Ett högt Mn- och Fe-innehåll i skarnet är karaktäristiskt för denna skarntyp. Manganmineral som johannsenit, bustamit och rodonit finns beskrivna från flera platser. Endoskarnomvandling av associerade intrusiv innehåller mineral som epidot, klorit och granat. Retrogradomvandling av tidiga skarn är vanlig med bildning av mineral som amfibol, Mn-ilvait, pyroxenoider och klorit. Malmmineralen är oftast koncentrerade till pyroxenskarn (exoskarn) men även omfattande mineralisering utanför skarnfronten, direkt i karbonatsten förekommer.

En för detta arbete, intressant zonerings av ett Zn-Pb-skarnmalmsystem är beskrivet av Meinert (1987) från Groundhog Mine, Central Mining District, New Mexico, USA. Skarnsystemet är här bildat längs kontakten av en tertiär granodioritisk porfyrgång och kalksten bildad under karbonperioden. Malmsystemet är utsträckt i NO-SV längs >3 km längd och visar ett tydligt zoneringsmönster vad gäller vätskeinneslutningstemperaturer, skarnmineralogi och malmelementkvoter. I den proximala delen i NO är förhållandet granat/pyroxen 1:1 i skarnet, i den centrala delen är förhållandet 1:20 och i de distala delarna finns ingen granat, bara pyroxen. Ett konsekvent ökande innehåll av mangan i pyroxen, från <25 % till >50 % av johannsenitmolekylen, finns också i riktning mot den distala delen. För malmelementkvoterna visar Zn/Cu ökande värden i riktning mot den distala delen och Zn/Pb samt Zn/Ag minskande värden i riktning mot den distala delen. Vätskeinneslutningstemperaturer ger värden från > 400°C proximalt till < 320°C distalt. En mer storskalig zonerings i kvoten Zn/Pb finns också som sträcker sig utanför gruvan och har sin proximala del med höga Zn/Pb-värden centrerad kring Hanover-Fierro-intrusionen 5 km NO om gruvan, där även porfyrokopparmineralisering finns.



Feature	Distal	Central	Proximal
Gar/pyx	No garnet	1:20	1:1
Max jo in pyx	>50	25-50	<25
Fe oxides	Hm > mt	Hm ~ mt	Mt > hm
Ore sulfides	Sl ~ gl > cp	Sl > gl > cp	Sl > gl ~ cp
Skarn/manto ore	<1	1-10	>10
Temperature	<320°C	320°-400°C	≥400°C
Salinity	<7.5%	7.5-15%	>15%
Zn/Cu (wt %)	>20	10-20	<10
Zn/Pb (wt %)	<2	2-5	>5
Zn/Ag (wt %/oz)	<5	5-10	>10

Figur 1. Idealiserad skarnzonering i Zn-skarnmalm vid Groundhog mine, New Mexico, USA (från Meinert 1987).

gar = granat, pyx = pyroxen, jo = johannsenit, sl = zinkblände, gl = blyglans, cp = kopparkis, hm = hämatit och mt = magnetit.

3 Geologisk beskrivning av Garpenbergsområdet

3.1 Allmän geologisk översikt och litologier

Bergarterna i Garpenbergsområdet ingår i den Svekofenniska domänen som är en del av den Baltiska skölden. Garpenbergsområdets malmer uppträder i en sekvens av vulkaniska och sedimentära bergarter som bildar ett i NO-SV utsträckt block med 15 km längd och 7 km bredd. Det omges åt SV, NV och NO av granitoider och begränsas åt SO av Stora Jelken-skjuvzonen. Beskrivningar av den suprakrustala sekvensen i området har behandlats av Vivallo (1984, 1984a & 1985), Allen et al. (1996), Allen et al. (2003) och Jansson och Allen (2011a). Den suprakrustala sekvensen har en tjocklek av ca 2 km och består huvudsakligen av klastiska vulkaniter med sur till intermediär sammansättning. Mindre inslag av basiska gångbergarter och extrusiv finns liksom några större områden med subvulkaniska dacitintrusioner. I den vulkaniska packen finns tre större karbonatstensenheter inlagrade. Områdets malmförekomster är huvudsakligen knutna till dessa nivåer. I den mellersta horisonten uppträder Ryllshyttans Fe-Zn-Pb-förekomst (Jansson & Allen 2015). Till den översta karbonatstenshorisonten är Garpenbergs sulfidmalmsgruvor lokaliserad liksom Smältarmossens Fe-förekomst (Allen et al. 2003, Jansson & Allen 2013). De klastiska vulkaniterna i området har tolkats vara bildade av pyroklastiska eruptioner i en grundhavsmiljö (Allen et al. 2003). De vulkaniska intervallen utgörs av vulkaniska silt- och sandstenar växellagrande med ryolitiska och dacitiska pimpstensbreccior. Den höga andelen pyroklastiskt material antyder att eruptionerna skedde i en grundvattenmiljö eller på land. Ovanpå den malmförande karbonatstenshorisonten vilar vulkaniska breccior och konglomerat och däröver en minst 300 m tjock ryolitisk pimpstensbreccia. Pimpstensbreccian är tolkad att vara bildad i en kaldera i en aktiv vulkan som haft sin proximala del i direkt anslutning till Garpenbergs gruvor. Inga bergarter överlagrande pimpstensbreccian finns bevarade men ett flertal subvulkaniska dacitintrusioner intruderar pimpstensbreccian och är tolkade att vara en del av samma vulkancentra (Allen et al. 2003). SIMS U-Pb-dateringar av zirkoner i den undre och översta delen av vulkanitsekvensen och på granodioriten väster om Garpenbergs suprakrustalstråk har alla gett åldrar inom ett snävt tidsintervall kring 1893-1895 Ma (Jansson och Allen 2011a).

3.2 Deformation

Suprakrustalbergartsståket vid Garpenberg har under den svekokarelska orogenesisen veckats i en F2-synklinalstruktur som är utsträckt i NO-SV. Axialplanfoliationen till veckaxeln stupar brant mot SO. Ett komplext mönster av F2-parasitveck tillsammans med senare bildade förkastningar och skjuvzoner har styrt det geometriska uppträdandet av de malmförande bergarterna (Allen et al. 2003). Tre

deformationsfaser har urskiljts i området. En tidig lager-parallell S1-foliation utan åtföljande storskaliga D1-strukturer, följt av huvuddeformationen (D2) och sist sena skjuvningar och förkastningar (D3).

3.3 Metamorfos

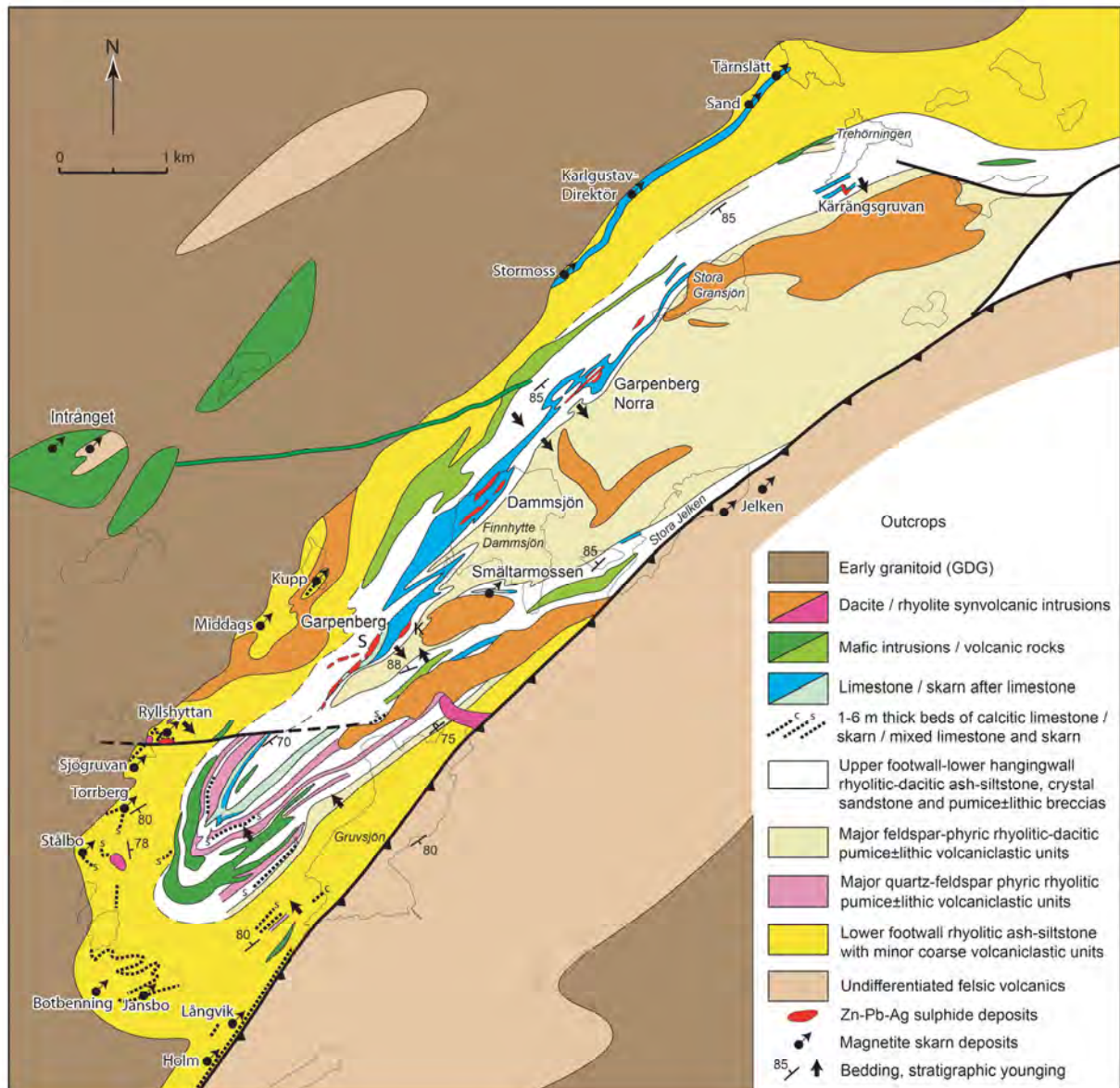
Metamorfosgraden i Garpenbergsområdet nådde amfibolitfacies under peakfasen av den svekokarelska orogenesisen och har påverkat malmerna, suprakrustalbergarterna och de äldre intrusiven. Vivallo (1984a) har med det faktum att andalusit och staurolit finns tillsammans i omvandlingsbergarterna vid Garpenbergsgruvan och med hjälp av granat-biotitgeotermometri kommit till slutsatsen att huvudmetamorfosen skedde vid ca 550°C och trycket mindre än 3,5 kbar. Han urskiljer även en senare, låggradig metamorfos i grönskifferfacies som karaktäriseras av mineral som talk, klorit och serpentin i skarnbergarterna. Något högre värden, 600° - 700° C och 5-7 kbar har Sandeck (1982) fått vid undersökningar i Garpenberg Norra. För att bestämma temperaturen har han använt geotermometri i systemet kalcit-dolomit och för att bestämma trycket har han använt systemet zinkblände-hexagonal magnetkis-svavelkis.

3.4 Malmförekomster

Inom en sträcka av ca 5 km och i anslutning till det övre karbonatstenslagret finns ett 10-tal kända sulfidmalmer och mineraliseringar. Dessa är från SV till NO: Odalfältet, Strandmalmen, Kanalmalmen, Finnhyttan, Tyskgården, Kyrkmalmen, Dammsjön, Kvarnberget, Lappberget, Kaspersbo, Garpenberg Norra (Huvudmalmen) och Gransjön. Flera av dessa är i drift och bryts av Boliden AB. Tidigare var driften indelad i två gruvor: Garpenbergsgruvan och Garpenberg Norra men sedan 2004 finns en förbindelseort mellan gruvorna som då blivit sammanslagna till en gruva. Produktionen 2014 var 2,2 Mton och är planerad att öka till 2,5 Mton 2015. Ytterligare en sulfidmalmsförekomst finns vid Ryllshyttan, sydväst om Garpenbergsgruvan, i ett av de undre karbonatstensstråken. Den bröts på zink- och järnmalm fram till början av 1900-talet (Tegengren 1924).

Malmförekomsterna i området kan indelas i två grupper:

- (1) Magnetitjärnmalmer.
- (2) Sulfidmalmer med Zn-Pb-Ag-(Cu-Au) i skarn, karbonatsten och omvandlingsbergarter.



Figur 2. Berggrund och malmer i Garpenbergsområdet, modifierad efter Allen et al. (2003). S = Strandmalmen och K = Kanalmalmen.

3.4.1 Järnmalmer

Denna grupp är egentligen ingen homogen grupp vad gäller bildning utan är en sammanslagning av alla magnetitjärnmalmer. Järnmalm finns vid Ryllshyttan och har brutits under 1800-talet tillsammans med en associerad Zn-malm med Pb och Ag. Förekomsten har nyligen studerats av Jansson & Allen (2015). Järnmalm finns även vid Smältarmossen. Den uppträder i samma karbonatstensstråk som Garpenbergs sulfidmalmsgruvor men på sydöstra skänkeln av synklinalen. Malmen uppträder vid kontakten till en subvulkanisk dacitintrusion och är tolkad att vara bildad som en riktig skarnjärnmalm. Det med magnetiten åtföljande skarnet består av ferrodioopsid och

andraditgranat (Jansson & Allen 2013). Jansson (2011) har även beskrivit en järnmineralisering i anslutning till Lappbergets sulfidmalm som uppträder i dolomit och tillsammans med fram för allt sulfider som blyglans. Denna Fe-mineralisering är bedömd att vara samhörig med sulfidmalmsbildningen i Lappberget.

3.4.2 Sulfidmalmer

Garpenbergsgruvan

Förekomsterna i den södra delen av malmområdet, vid Odalfältet har beskrivits av Tegengren (1924) och Vivallo (1984, 1984a och 1985). Malmområdet utgörs av en tjock sekvens av omvandlingsbergarter med varierande innehåll av kvarts, biotit, muskovit och klorit. De kvartsdominerade bergarterna är mera massiva och de biotit-, muskovit- och kloritrika dito mera skiffrika. Innehållet av fältspat i bergarterna är lågt. Omvandlingsbergarterna har med litogeokemiska metoder visats vara ursprungligen vulkaniska bergarter som blivit omvandlade (Vivallo 1984). Stratigrafin stupar brant mot SO och överlagras åt SO av karbonatsten. Längst i NV och längst ned i stratigrafin återfinns de koppardominerade malmer som bröts redan på 1400-talet. De utgörs av kvartsgångssystem och silicifierade zoner med innehåll av kopparkis samt något magnetkis, svavelkis, zinkblände och blyglans. Ett betydande guldinnehåll finns även i malmtypen. I en del områden har även flusspat varit vanligt förekommande. Metamorfa porfyroblaster av almandingranat, staurolit och andalusit är vanliga i omvandlingsbergarter och malmer (Tegengren 1924, Vivallo 1985). I förlängningen under de gamla brytområdena finns malmkropparna Printz och Stockenström som brutits på senare tid. De följs mot SO och uppåt i stratigrafin av malmkropparna Rödgruvan, Strandgruvan och Zinkgruvan. Malmkropparna visar en zonerings-trend där kopparinnehållet minskar samtidigt som första bly och sedan zink ökar i riktning mot SO och uppåt i stratigrafin (Vivallo 1984a). Malmmineralen uppträder antingen direkt i omvandlingsbergarterna eller i skarn bestående av tremolit och talk. Sulfiderna är ansamlade som impregnationer, band och mera massiva partier med upp till 1-2 m tjocklek. Tektoniska kulmalmzoner är även beskrivna. Sulfidmineralogin består av svavelkis, zinkblände, blyglans, kopparkis och magnetkis. Spår av tetrahedrit, argentit och gediget silver har också påträffats.

Vivallo (1985) har även undersökt omvandlingsbergarterna till malmen. Han har iakttagit att mineralogin i omvandlingszonen blir successivt magnesiumrikare i riktning från oomvandlad vulkanit och mot malmzonen. Samtidigt som omvandlingen tilltar och magnesiuminnehållet ökar, minskar innehållet av fältspat.

Garpenberg Norra

De geologiska förhållandena vid Garpenberg Norra har beskrivits kort av Sandeck (1982) och mera ingående av Allen et al. (2003). Sex malmzoner (A-F) har urskiljts i det så kallade huvudmalmområdet i Garpenberg Norra. Malmzonerna uppträder på den norra skänkeln av den F2-synklinal som är utsträckt i riktning SV-NO genom Garpenbergsområdet och är knutna till den övre karbonatstenshorisonten. Talrika parasitveck med axialplan parallella med F2-synklinalen har gjort att malmzonerna har en komplicerad geometri med omväxlande branta och flacka stupningar åt SO men även åt NV. Skjuvningar och förkastningar som är både parallella och övertvänder D2-axialplanfoliationen har också påverkat geometrin på malmerna. I de lägre stratigrafiska delarna av gruvområdet återfinns huvudsakligen fältspatporfyriska pimpstensbreccior med dacitisk sammansättning liksom dacitiska intrusioner. Däröver följer ryolitiska ask-siltstenar och kristallrika sandstenar innan karbonatstenen som malmen är knuten till, tar vid. Karbonatstenen är 10-80 m tjock och överlagras av monomikta och polymikta breccior med olika litiska vulkanitfragment och även karbonatstensfragment. Däröver ligger en tjock ryolitisk pimpstensbreccia som tolkas vara bildad i en kaldera. Den ryolitiska pimpstensbreccian fyller hela synklinalens mitt (Allen et al. 2003).

I borrkärnor som går genom karbonatstenen som malmerna är knutna till har indikationer påträffats som tyder på att karbonatstenarna ursprungligen var stromatolitiska rev (Allen et al. 2003). Även kortare intervall med omarbetade vulkaniter och sediment tolkade som vara avsatta i strömmande vatten har påträffats. Detta indikerar att området under kortare perioder var beläget ovanför havsytan. Huvuddelen av bergartssekvensen är ändå tolkad att vara avsatt i ett grundhav.

Omvandlingen av de ryolitiska och dacitiska vulkaniterna i anslutningen till malmerna går att urskilja upp till 400 m ned i ligger vid Garpenberg Norra (Allen et al. 2003). En något svagare omvandling av vulkaniterna finns även en kortare sträcka in i hängsidan till malmerna. På liggsidan är de översta 20-70 metrarna kraftigt silicifierade med senare infingrande omvandling och innehållande flogopit-, kordierit- och granat. Liggbergarterna i övrigt visar annars en oregelbunden omvandling och innehåller mineral som flogopit, biotit, kordierit, granat och kvarts-muskovit. Vid omvandlingen har vulkaniterna utsatts för kraftig lakning av Na och Ca samtidigt som de fått tillskott av element som Mg, Fe och K (Allen et al. 2003). Vid omvandlingen har även kol- och syreisotopsammansättningen i karbonatstenen nära malmerna påverkats. En förskjutning mot lägre $D^{18}O$ -värden har tolkats som att den dolomitomvandling som huvudsakligen bara finns i anslutning till malmerna är bildad samtidigt med malmerna. Även kalcitdominerad karbonatsten i anslutning till malmerna visar dessa låga $D^{18}O$ -värden (Gebeyehu och Vivallo 1991).

Malmerna i Garpenberg Norra är lokaliserade till karbonatstenshorisonten och fram för allt till den undre och övre kontaktzonen där karbonatstenen är i kontakt med omvandlingsbergarterna. Sulfiderna uppträder som impregnation, breccierande nätverk och mindre massiva partier i både skarn och karbonatsten. Exempel finns även på malmer i omvandlingsbergarten i den stratigrafiska ligger (D-malmen) liksom malm i bergarterna stratigrafisk överliggande karbonatstenen (delar av F-malmen). Malmerna som uppträder ovan eller under karbonatstenshorisonten tolkas som tektoniskt remobiliserade malmer orsakade av plastisk deformation parallell med F2-veckningens axialplanfoliation (Allen et al. 2003). Påträffade mineraliserade skarntyper är diopsid-spessartin, tremolit-spessartin, hedenbergit-andradit och aktinolit-andradit. De järnrikare skarntyperna är knutna till F-malmen. Skarnen övergår lokalt mot omvandlingsbergarten i finkorniga kvartsbergarter som bedömts vara bildade genom ersättning av karbonatstenen. Mot dolomiten övergår skarnen i gångar med tremolit och Ag-rik blyglans. Sulfidmineralogin i malmerna består av zinkblände, blyglans, ibland magnetkis och mindre mängder av svavelkis och kopparkis (Allen et al. 2003). En lång rad med i små mängder förekommande sulfosaltmineral innehållande fram för allt silver har beskrivits från Garpenberg Norra. Dessa är tetrahedrit, gudmundit, pyrargyrite, gediget silver, argentit, akantit, allargentum, dyskrasit och stephanit (Sandecki & Amcoff 1981). Mn-sulfiden alabandit har även påträffats i dolomit och granatförande tremolitskarn (Zakrzewski 1980). Willemit tillsammans med franklinitt har även påträffats i skarn (Holtstam 2002). I material bestående av rodokrosit och willemit från Garpenberg Norra har även de sällsynta mineralen yeatmanit och magnussonit påträffats. I associationen ingår även zinkit, alleghanyit, tefroit och järnfattigt zinkblände (Nysten 2003). Ett nytt mineral för världen, rinmanit, finns även beskrivet från Garpenberg Norra (Holtstam et al. 2001). Rinmanit är påträffad i en skarnparagenes bestående av tremolit, manganocummingtonit, talk, franklinitt, baryt och svabit.

Lappberget

Malmkroppen Lappberget påträffades 1998 och togs i produktion 2003. Den rapporterades av Jansson (2011) innehålla 37 Mton malm med Zn-Pb-Ag-(Cu-Au). Förekomsten hittades med hjälp av prospekteringsborrning och geofysiska EM-mätningar vid Dammsjöns östra strand, söder om Garpenberg Norra. Förekomsten går inte upp i dagen utan börjar först på 350 m djup under markytan. Här har en antiklinal domform bildats där karbonatstenslagret som malmen är knuten till sticker upp i den överlagrande bergartssekvensen. Malm och bergarter liknar de i Garpenberg Norra och beskrivs därför inte i detalj. Jansson (2011) beskriver att ett zoneringsmönster påträffats i malmen. Den mera polymetalliska delen övergår mot stratigrafiska hängsidan i den övre delen av domstrukturen i Mn-rik järnoxidmineralisering med höga Pb-halter och han tolkar järnoxidmineraliseringen vara samtida med sulfidmineraliseringen. Ett samband mellan Mn-rika

järnmalmer och sulfidmineraliseringar finns även i andra delar av Bergslagen (Jansson 2011). Mineralkemiska analyser på skarnmineral i Lappberget har även utförts av Jansson (2011). Han plottar även data från den undersökning som Allen et al. (2003) utfört i Garpenberg Norra. Klinopyroxener i den polymetalliska delen av Lappberget är Mn-diopsid ($\text{Di}_{81-83}\text{Hd}_7\text{Jhn}_{10-12}$). Pyroxener i den järnoxidrika delen av sulfidmineraliseringen är mera järnrika och har sammansättningen $\text{Di}_{41-49}\text{Hd}_{39-44}\text{Jhn}_{11-15}$. Detta mönster med järnrikare pyroxener mot hängen finns även i Garpenberg Norra. Granat i den järnoxidrika sulfidmalmen i Lappberget är genomgående andradit med sammansättningen $\text{Adr}_{50-86}\text{GrS}_{0-45}\text{SpS}_{1-21}\text{Alm}_{0-6}$. I Garpenberg Norra finns också granat med liknande sammansättning i hängsidan av karbonatstenen. Huvuddelen av granaterna är här dock fattiga på andraditmolekylen och dominerade av spessartinmolekylen. Analyser på klinoamfiboler i skarnet visar en liknande trend som för pyroxenerna. Ett betydande innehåll av mangan i karbonatsten har även identifierats. Manganinnehållet visar positiv korrelation med Mg-innehållet. Innehållet MnO (wt %) i dolomit är i storleksordningen 1-10 %.

3.5 Genetiska modeller för malmbildningen

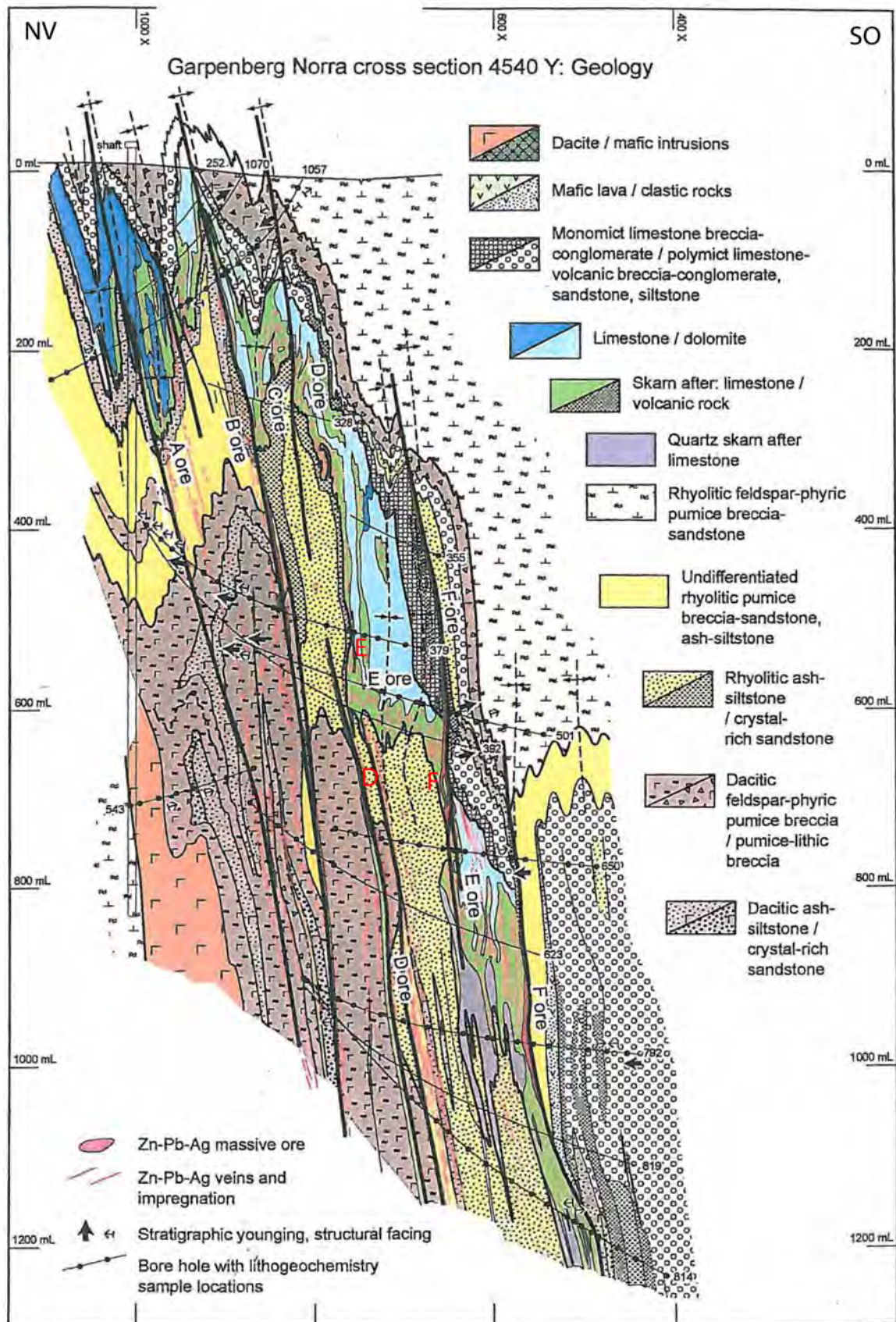
Idéer om hur Garpenbergs sulfidmalmer och liknande malmer i Bergslagen bildats har växlat mellan tre olika huvudmodeller under de senaste 100 åren. Dessa tre modeller är:

- (1) den kontaktmetasomatiska (Geijer 1916),
- (2) VMS-modellen (Vivallo 1985, Koark 1962) och
- (3) SVALS-modellen (Allen et al. 1996 och Allen et al. 2003).

I den kontaktmetasomatiska modellen anses malmerna vara samtida med de äldre intrusionerna och ha bildats när heta malmlösningar associerade med intrusiven trängt upp genom stratigrafien, omvandlat denna och reagerat med karbonatstenslager på djupet och där avsatt sulfider samtidigt som även skarn bildas i karbonatstenen.

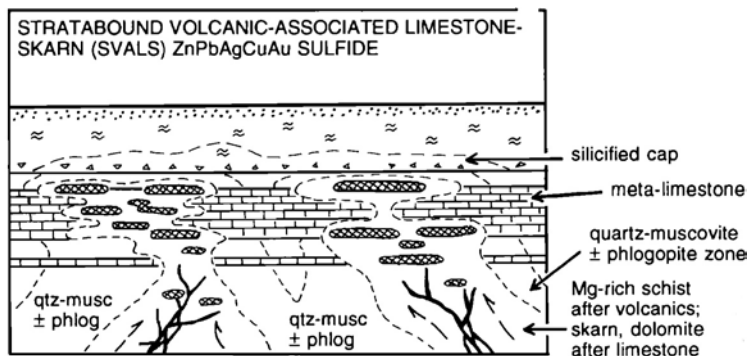
I *VMS-modellen* anses malmerna vara samtida med vulkanismen och ha bildats när heta malmlösningar associerade med vulkanismen trängt upp till havsbotten och där fällt ut sulfider på havsbotten. Karbonatsten har därefter avsatts som sediment ovanpå malmen. Skarnet anses ha tillkommit senare under den regionala metamorfosen.

I *SVALS-modellen* (stratabound volcanic-associated limestone-skarn) anses malmerna vara samtida med vulkanismen och ha bildats när heta malmlösningar associerade med vulkanismen trängt upp genom stratigrafien, omvandlat denna och reagerat med karbonatstenslager i ett ytnära läge och där avsatt sulfider som gångar och impregnationer i karbonatstenen. Skarnet anses ha tillkommit senare under den regionala metamorfosen.



Figur 3. Geologisk tvärsnitt genom Garpenberg Norra, modifierad efter Allen et al. (2003). Ungefärliga lägen för platser som undersökts i detta arbete är markerade. D = D-malmen 680 m, E = E-malmen 538 m, F = F-malmen 690 m.

Idag vet vi att de äldre granitoiderna och de vulkaniska bergarterna i Bergslagen är bildade samtidigt (Jansson och Allen 2011a, Stephens et al. 2009). Vi vet även att den värme, de magmatiska lösningar och de metaller som avges från en magmakammare på djupet i ett vulkaniskt-magmatiskt system är viktig vid malmbildning (Hedenquist och Lowenstern 1994). Något som för övrigt redan Geijer (1916) insåg, nämligen att de vulkaniska intrusiva bergarter som omger Falu gruva var för små för att vara källa till den stora mängd lösningar som krävs för att bilda en malm av Faluns storlek och därför måste en större källa till malmlösningar finnas på djupet i form av en magma, de äldre granitoiderna. Således är de tre modeller för bildning av malmer i Bergslagen av den typ som finns i Garpenberg, Falun med flera förekomster ganska lika varandra. Den huvudsakliga skillnaden är hur avsättningen av sulfiderna skedde och vilken relation malmbildningen har till skarnbildningen.



Figur 4. Malmbildning enligt SVALS-modellen, efter Allen et al. (1996).

4 Metodik

Det geologiska materialet till detta arbete har insamlats vid tre olika tillfällen och från ett tiotal brytområden under jord i gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra. Till provmaterialet hör även borrhånsprover från ett borrhål i Garpenberg Norra samt ett flertal stuffer som insamlats från ett malmupplag ovan jord vid Garpenberg Norra. Vid besöken under jord har fokus varit att samla in representativa stuffer av alla de olika typer av skarn som har kunnat påträffas samt att dokumentera eventuella zoner, texturer, strukturer med flera variationer i skarnet. Där det har varit möjligt har även stuffer av sidoberg och malm insamlats för undersökning.

Vid Geologiska institutionen i Stockholm har sedan det insamlade materialet gått igenom och prover har valts ut för tillverkning av tunnslip och polerprov. I arbetet har ingått att tillverka tunnslipen vid institutionens prepareringsavdelning. Totalt har ca 45 tunnslip och polerprov tillverkats och undersökts. Stufvoprover har även sågats och polerats för att få fram intressanta texturer och strukturer i proverna. Tunnslip och polerprov har sedan undersökts i polarisationsmikroskop. Mikrokemiska analyser med SEM-EDS har slutligen utförts på ett stort antal mineral i tunnslip och polerprov. Analyserna har utförts vid Stockholms universitet med en SEM-EDS-utrustning av märket EG & G Ortec system 5000. Instrumentet har använt sig av standardlös ZAF-korrektion och AUTOZAP version 3.08. Accelerationsspänningen har varit 25 kV. I några enstaka fall har även strukturkemisk undersökning utförts med hjälp av XRD, pulverröntgen. Analyserna har utförts av mineralogiska avdelningen vid Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm.

SEM-EDS är en semikvantitativ analysmetod. Den är anpassad för att snabbt ge ett svar på vilka grundämnen som ingår i ett prov och ger ungefärliga halter (Goodhew & Humphreys 1988). Med det aktuella instrumentet som använts vid undersökningen ges halterna för de analyserade elementen relativt varandra och normaliseras till 100 %. Ingen uppskattning av mängden av de element som instrumentet inte klarat av att analysera ges. Grundämnen med atomvikt från Na och uppåt har varit möjliga att analysera. I analysdata har observerats ett systematiskt fel vid analys av element med låga atomnummer. I detta arbete har det betydelse för speciellt Mg, som ingår i de flesta av de analyserade skarnmineralen. Orsaken till detta analysfel är inte känd men kan bero på att den standardlösa korrektion instrumentet använder sig av inte är lämpad för analys av denna typ av material. Störst avvikelse vid analyserna har noterats för talk. Det stökiometriska förhållandet mellan Si och Mg i talk är enligt formeln 4:3. Medelvärde från 3 talkanalyser ger efter normalisering ett förhållande på ca 4:1.9. Det vill säga halten Mg ges med ca 37 % för lågt värde. Repeterbarheten vid upprepade analyser på samma mineralkorn är dock god varför analysdata ändå bedömts vara

användbara vid relativa jämförelser av mineralkemin inom en och samma mineralgrupp. Ytterligare osäkerheter vid kvantifiering med EDS fås genom det faktum att upplösningen i röntgenstrålningspektrat är dåligt för denna metod vilket leder till att risken för överlapp mellan de mätta energinivåerna för de olika elementen är betydligt större än med SEM-WDS (Goodhew & Humphreys 1988).

5 Utförda undersökningar av skarn och skarnmineral

5.1 Undersökta områden i Garpenbergsgruvan

5.1.1 Allmän beskrivning

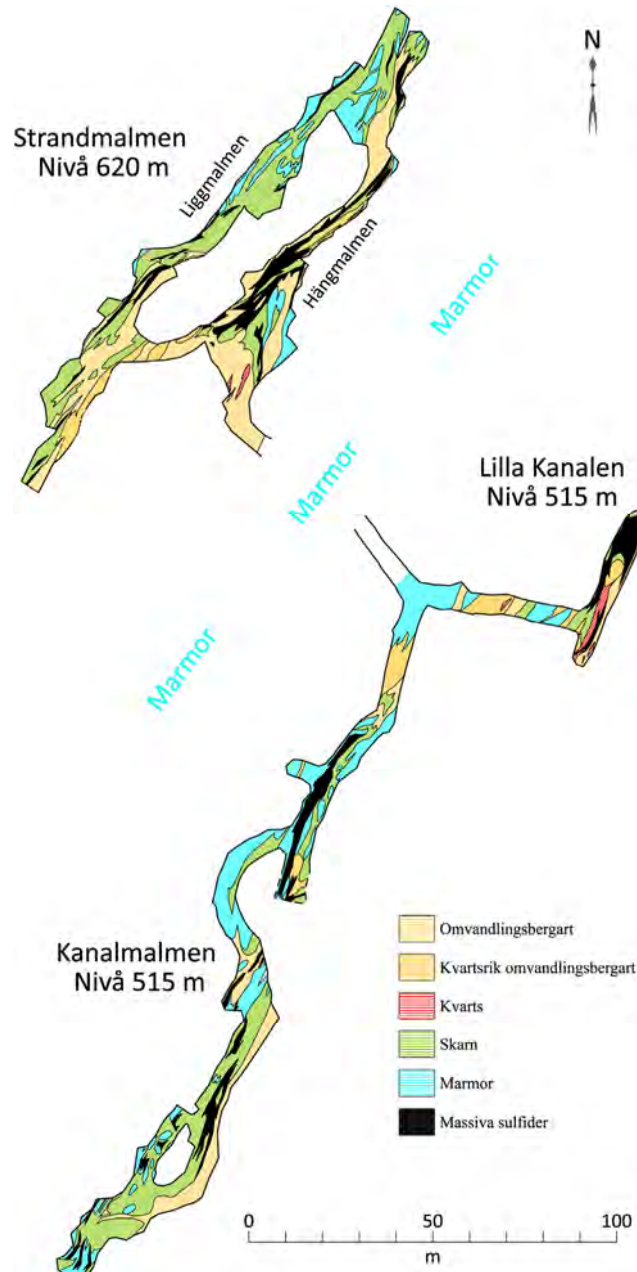
Undersökningarna i Garpenbergsgruvan utfördes vid två olika tillfällen, den 15 februari 1995 och den 29 november 1995. Tre nivåer i Strandmalmen och tre nivåer i Kanalmalmen undersöktes och provtogs.

Geologin i området stryker i NO-SV-riktning och stupar med ca 70 grader lutning mot SO. Stratigrafiskt uppåt är mot SO. Bergartssekvensen som malmerna uppträder i är belägen på den nordvästra skänkeln av den storskaliga synkinal som sträcker sig genom Garpenbergsområdet. Strandmalmen är den stratigrafiskt lägsta av de två malmerna och vilar direkt på den stora omvandlingszon som bildar stratigrafisk ligg i malmfältet. Malmzonen är knuten till kontaktzonen mellan omvandlingsbergarten och den överlagrande karbonatstenen. Veckning och förkastningar har gjort att malmbilden är komplicerad. Strandmalmen bildar i det undersökta området ett veck med en antiformal omböjning mot NO och där kärnan till det antiforma vecket utgörs av omvandlingsbergarten. Den stratigrafiskt överlagrande karbonatstenen återfinns i NO. Brytning längs bägge veckskänklarna har utförts och på ca 160 m längd längs den nordvästra skänkeln och på ca 110 m längd längs den sydöstra skänkeln. I fortsättningen kommer malmen längs den nordvästra sidan kallas Liggmalmen och den på sydostsidan kallas Hängmalmen. Sydost om Strandmalmen följer den karbonatstenshorisont som hela malmfältet är knuten till. Den är här ca 80 m mäktig och består mestadels av kalцитdominerad karbonatsten. Tunna inlagringar av vulkaniska bergarter förekommer. Vid den övre kontakten är Kanalmalmen belägen. Den är bruten längs ca 300 m längd och är uppdelad på Kanalmalmen samt en längre mot NO belägen mindre malmkropp kallad Lilla Kanalen. Vidare mot SO och stratigrafiskt ovan Kanalmalmen följer de breccior, konglomerat och slutligen ryolitiska pimpstensbreccior som beskrivits av Allen et al. (1996, 2003).

De övre delarna av Strandmalmen (Strandgruvan) hittades ca 1930 (Magnusson 1973). Brytningen av Strandmalmen pågick fram till 2006 och djupaste brutna nivå är 860 m. Medelhalter för 4 brytningsetager (750, 785, 825 och 855 m) är 3,4 % Zn, 3,1 % Pb, 0,46 % Cu, 125 g/ton Ag och 1,09 g/ton Au (Stina Danielsson, Boliden personligt meddelande 2008). Kanalmalmen påträffades 1983 av Boliden. Malmen har brutits mellan nivåerna 300 och 845 m. Totalt malmtonnage uppgår till ca 2,4 Mton. Brytningen var huvudsakligen avslutad 2008 och endast restbrytning pågick. Medelhalter för fyra brytningsetager (385, 710, 775 och 825 m) är 6,1 % Zn, 2,4 % Pb, 0,04 % Cu, 53 g/ton Ag och 0,3

g/ton Au (Stina Danielsson, Boliden personligt meddelande 2008). Kanalmalmen (mineraliseringen) fortsätter på djupet men halter och tonnage är för låga för att vara brytvärda.

I det följande avsnittet beskrivs geologin vid de undersökta områdena i Garpenbergsgruvan. Beskrivningen är ordnad så att de stratigrafiskt lägre delarna beskrivs först och därefter i tur och ordning de allt högre nivåerna upp till hängen.

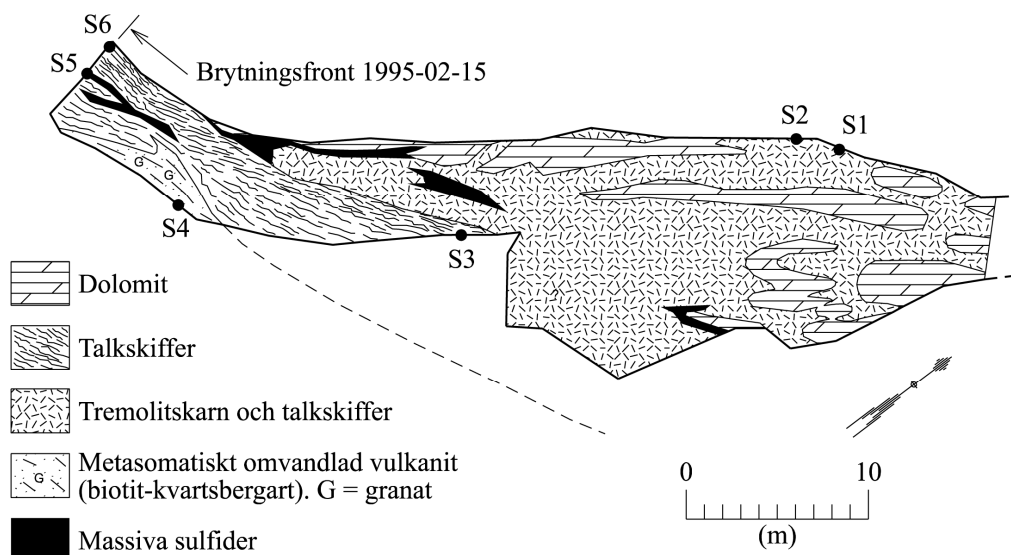


Figur 5. Strandmalmen nivå 620 m och Kanalmalmen nivå 515 m i Garpenbergsgruvan, enligt Boliden gruvkartor.

5.1.2 Strandmalmen, Liggmalmen nivå 620 m, (1995-02-15)

Omvandlingsbergarten i stratigrafisk ligg

Den stratigrafiska liggens omvandlingsbergarter undersöktes vid punkt S4 (här geometrisk häng på grund av tidigare omnämnd veckning). Den utgörs av en grågrön, finkornig och svagt folierad bergart huvudsakligen bestående av kvarts och med inblandning av biotit, kloritomvandlad glimmer och något muskovit. Några procent av röd almandinggranat (bestämd med EDS-analys) som runda porfyroblaster till 0,5 cm storlek är även ett karaktäristiskt inslag. Vidare finns staurolit och gahnit som porfyroblaster samt något magnetit som korn. Spår av de vanliga sulfidmineralen finns även liksom trolig ilmenit. En inneslutning av staurolit i granat har påträffats i tunnslip och indikerar att staurolit bildades före granat.



Figur 6. Geologi på 620 m nivå i Strandmalmen, enligt Boliden gruvkarta. Provtagningslokaler, S1-S6 markerade.

Malmzonen

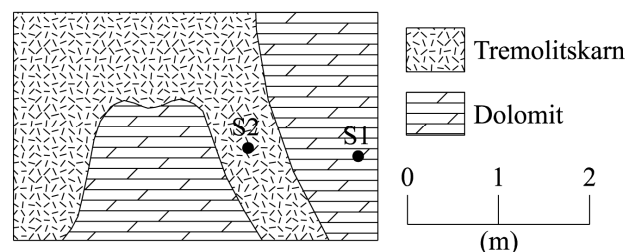
Malmzonen utgörs av kulmalm samt talkskiffer, tremolitskarn och dolomit med varierande innehåll av sulfider. Efter omvandlingsbergarten, beskriven ovan, följer en några meter bred zon med talkskiffer som har provtagits vid S3 och S6. Talkskiffern består till 80-95 % av talk i de undersökta proverna med resterande del av tremolit-aktinolit och sulfider som svavelkis, zinkblände, blyglans och kopparkis. Talk ser i tunnslip ut att ersätta amfibol och bör därmed vara en retrograd bildning (jämför Vivallo 1984). Sulfiderna är starkt utplattade parallellt med foliationen i talkskiffern. I talkskiffern finns även en mera massiv kulmalmzon, som provtagits vid S5. Sulfidmineralogin i kulmalmen är magnetkis, kopparkis, zinkblände, kubanit och blyglans. Rikligt med rundade till kantiga fragment med upp till 50 mm storlek av kvarts och biotitrika omvandlingsbergarter finns i

sulfidmassan. Hela zonen med talk och kulmalm ger intryck av att vara en skjuvzon där rörelsen skett i ett ganska sent skede i och med att sulfiderna bitvis är finkorniga och har ett bandat uppträdande.

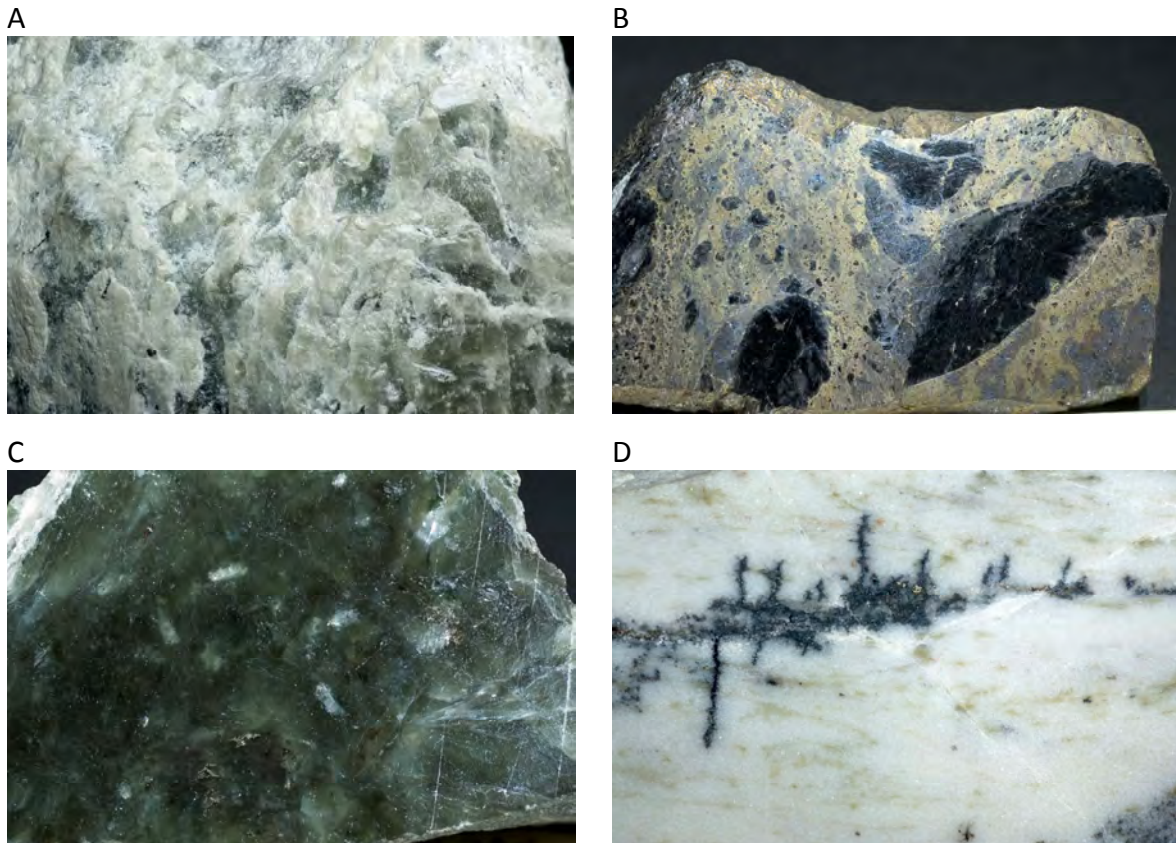
Talkskiffern övergår mot NV i ett massivt och blekgrönt tremolitskarn med svag impregnation av zinkblände, svavelkis och blyglans. Tremolitskarnet är massivt, monomineraliskt och består av omkring 1 cm långa amfibolkristaller som förefaller vara orienterade helt regellöst och utan någon iakttagbar foliation eller lineation. Vid punkten S2 uppträder massivt tremolitskarn som en bred gång i dolomit, se figur 7. Kontakten mellan bergarterna är vindlande och helt skarp. Ingen nämnvärd inblandning finns av vare sig karbonatmineral i tremolitskarnet eller skarn i karbonatstenen. I dolomiten direkt utanför skarnfronten uppträder ett förgrenat nätverk och impregnation av fram för allt blyglans. Blyglansmineraliseringen var enligt Gerhard Hakkarainen (Boliden) ovanligt rik på silver, vilket även bekräftades vid undersökningar i tunnslip. Sulfidparagenesen visar ett zonerat mönster med zinkblände, magnetkis och svavelkis i de grövre sprickorna. Utanför dessa finns finare sprickor och även fin impregnation i dolomiten som består av blyglans, kopparkis och i låga halter Ag-rik tetrahedrit, gudmundit och dyskrasit. Även något tremolit och kalcit uppträder i sprickmineraliseringen. I ett av proverna visar sprickmineraliseringen ett diskordant uppträdande gentemot den svaga foliationen i dolomiten. Sprickmineraliseringen förefaller därmed vara sent bildad, eventuellt efter eller i slutet av D2-deformationen.

Karbonatstenen i stratigrafisk häng

Karbonatstenen i stratigrafiska hängen består av vit, sockerkornig dolomit som är ganska homogen och strukturlös. Innehållet av andra mineral är lågt och utgörs fram för allt av små porfyroblaster och tunna band av ljusgrön tremolit. I partier som innehåller sådana tremolitband kan en svag foliation urskiljas i bergarten.



Figur 7. Detalj av NV-sidan av ortväggen i Strandmalmen 620 m nivå. Provtagning utförd vid S1 och S2.

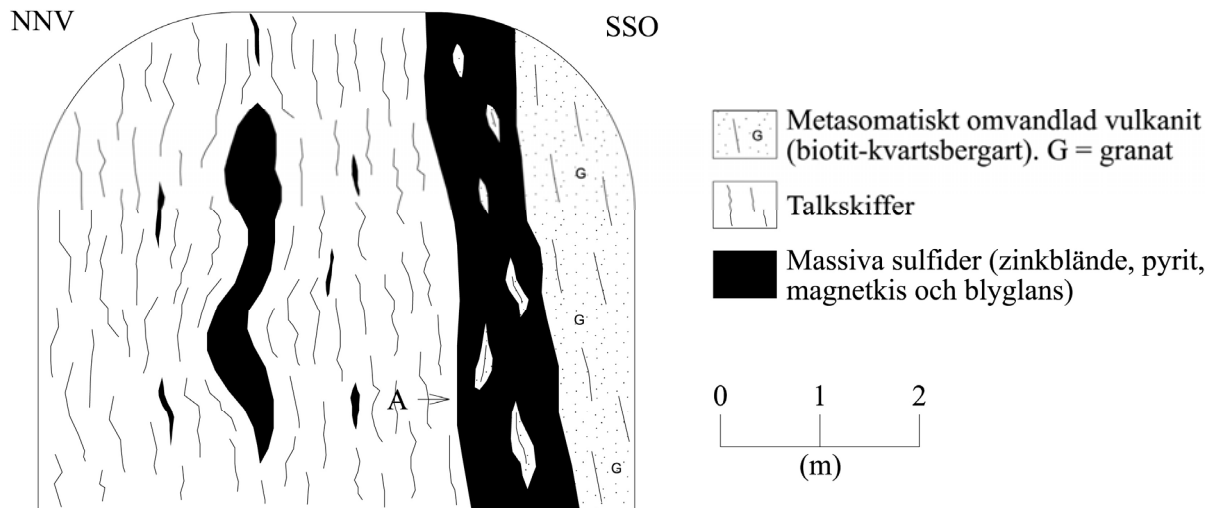


Figur 8. **A.** Talkskarn från Strandmalmen, Liggmalmen 620 m (prov S3). Bildbredd ca 5 cm. **B.** Kulmalm med fragment av biotit- och kvartsrik omvandlingsbergart i finkorniga sulfider. Strandmalmen, Liggmalmen 620 m, (prov S5). Bildbredd 6 cm. **C.** Tremolitskarn med spår av sulfider. Strandmalmen, Liggmalmen 620 m (prov S2). Bildbredd 4 cm. **D.** Blyglans, zinkblände och Ag-mineral som spricknätverk i dolomitmarmor. Tremolit som ljusgröna spridda korn och band i dolomit. Strandmalmen, Liggmalmen 620 m (prov S1). Bildbredd 6 cm.

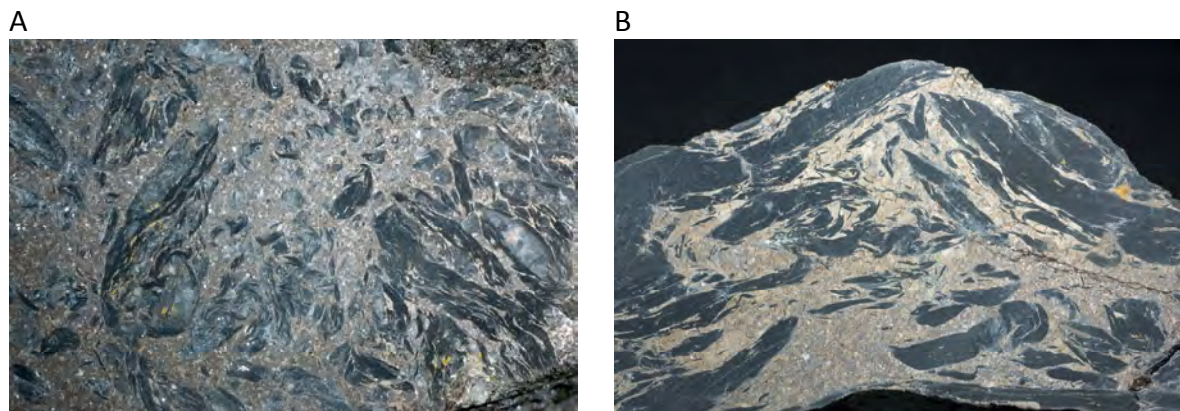
5.1.3 Strandmalmen, Liggmalmen nivå 625m och 675 m (1995-11-29)

Malmzonen

Två korta stopp gjordes vid Liggmalmen på 625 m och 675 m i november 1995. Ett prov på varje ställe från malmzonen togs och undersöktes. En skiss av gaveln på 625 m återges i figur 9. Båge proven består av kulmalm. Malm från 625 m innehåller ca 15 % zinkblände, 10 % magnetkis, 5 % blyglans samt spår av svavelkis, kopparkis och tetrahedrit. I sulfidmassan förekommer kluster bestående av kvarts- och biotitrik omvandlingsbergart. Klasterna är roterade och de glimmerrika fragmenten ligger regellöst orienterade i sulfidmassan. Provet från 675 m nivå är av samma typ som provet från 625 m med skillnad att inslaget av magnetkis är högre i provet från 675 m nivå.



Figur 9. Skiss av malmgaveln på 625 m nivå i Strandmalmen. Provtagning vid punkt A.



Figur 10. A. Zinkbländerik kulmalm med roterade fragment av biotit- och kvartsrik omvandlingsbergart. Strandmalmen, Liggmalmen 625 m (prov GSL625). Bildbredd 6 cm. B. Zinkblände- och magnetkisrik kulmalm med roterade fragment av biotit- och kvartsrik omvandlingsbergart. Strandmalmen, Liggmalmen 675 m (prov GSL675). Bildbredd 7 cm.

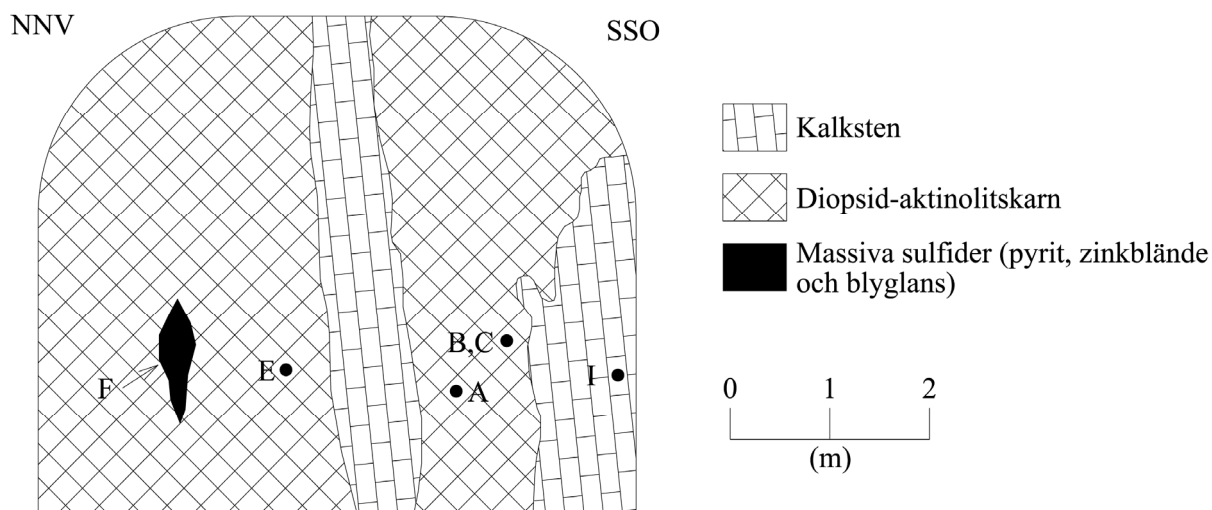
5.1.4 Strandmalmen, Hängmalmen nivå 625 m (1995-11-29)

Malmzonen

Längst ut i NV, nära veckomböjningen undersöktes hängmalmen i Strandmalmen. I ortgaveln kunde malmzonen och lite av karbonatstenen i hängväggen studeras. Malmzonen består av två skarnbankar med sulfider och mellanlagras av ett band med kalцитdominerad karbonatsten. Vid punkt F förekommer ett mindre parti med mera massiv svavelkisdominerad sulfidmalm. Ca 10-20 % zinkblände och blyglans uppträder som utfyllnad mellan de ca 1-3 mm stora kornen av svavelkis. En jämn fördelning av amfibol, glimmer samt något K-fältspat och kvarts finns även i grundmassan. Vid punkt E uppträder ett mycket grovt amfibolskarn med upp till 5 cm stora, blockiga och mörkgröna amfibolindivider, identifierade som aktinolit. Sulfider, kalцит och anhydrit fyller breccierande nätverk och sprickor i aktinolitkristallerna. I kontakten mellan kalцит som sprickfyllnad och breccierad aktinolit uppträder en ca 0,1 mm bård av senare bildad diopsid. Den nybildade diopsiden är udda i sin sammansättning genom att ha ett betydligt lägre innehåll av järn jämfört med övriga analyserade diopsider på platsen. I proverna vid A, B och C uppträder ett mera finkornigt skarn än vid föregående plats och med mörkgrön färg. Här utgörs skarnmineralogin av aktinolit och något diopsid. Rikligt med grov blyglans, zinkblände och svavelkis liksom ljuslila anhydrit i spatiga massor fyller sena sprickor i skarnet. Längs kontakten mellan sulfiderna och skarnet sitter upp till 1 cm idiomorfa kristaller av mörkgrön pyroxen. Sulfider finns även som finkornig impregnation jämnt spridd i den finkorniga skarnmassan.

Karbonatsten på hängsidan

Kalцитdominerad karbonatsten bildar hängsida till malmzonen. Den är vit till ljusorange visar en tydlig foliation som är subparallell med den brutna malmen och har kornstorlek 0,1-5 mm. Den är därmed betydligt grovkornigare än dolomiten vid Liggmalmen. Ca 10 procent icke karbonat finns i bergarten. Aktinolit som spridda små kristaller orienterade i foliationsriktningen är vanligast, därefter kvarts och ett glimmerliknande mineral.



Figur 11. Skiss av malmgaveln på 625 m nivå i hängmalmen, Strandmalmen. A-I är provtagningslokaler.

5.1.5 Kanalmalmen nivå 515 m, (1995-11-29)

Stratigrafisk ligg till Kanalmalmen

Provtagningen utfördes i 4 olika områden av Kanalmalmen på 515 m nivå. Prov A och B, se figur 12 för lägen, är tagna i ett område där orten har drivits en bit ut på liggsidan av malmen för att kringgå ett rasområde. En något annorlunda typ av skarn utan mineralisering förekommer här som ett några meter brett lager omgivet av kalcitmarmor. Skarnet är mycket finkornigt och består vid provpunkt A av epidot, aktinolit-magnesiohornblände, grossular och diopsid-hedenbergit. I bergarten ingår även små mängder av kalcit, kopparkis, magnetkis och titanit. Skarnet har genom sitt höga innehåll av Al och Ti samt sin finkorniga textur karaktären av skarnomvandlad silikatbergart (Al-skarn). På bägge sidor om den beskrivna skarnbergarten uppträder kalcitmarmor. Marmor är svagt bandad, fin-medelkornig och smutsgrå till färgen. I stuff B som är tagen från denna marmor finns ett cm-tjockt, svart och något veckat mineralband. Den svarta färgen på bandet orsakas av ett högt innehåll av en mörk amfibol. Amfibolen är identifierad som magnesiohornblände. Ca-rik plagioklas, kvarts, biotit samt eventuellt omvandlad K-fältspat åtföljer magnesiohornbländet i det svarta bandet. Bandet förefaller därmed vara ett skarnomvandlat siliciklastiskt lager i kalcitmarmor.

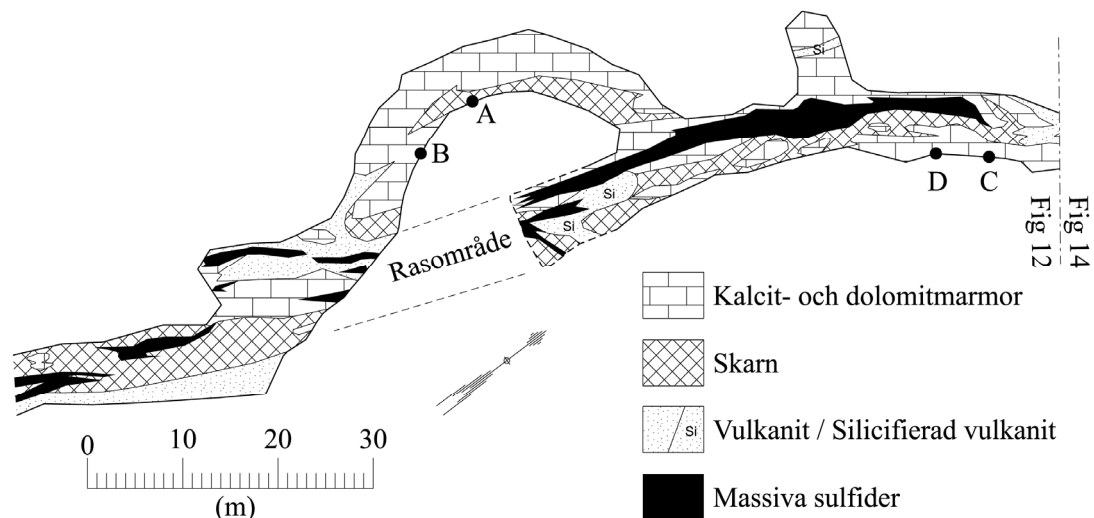
Malmzonen i Kanalmalmen

Vid provplats C och D bestod den utbrutna malmzonen enligt gruvgeolog Gerhard Hakkarainen (Boliden) av ett skarn rikt på sulfider. Omgivande bergart på bägge sidor om malmzonen är dolomit. Vid besöket på platsen kunde iakttas något kvarvarande mineralisering i form av gångformigt uppträdande aktinolitskarn med rikligt innehåll av zinkblände och blyglans i ortväggarnas dolomitbergart. Utanför amfibolskarngångarna uppträder även ett oregelbundet och rikligt förgrenat

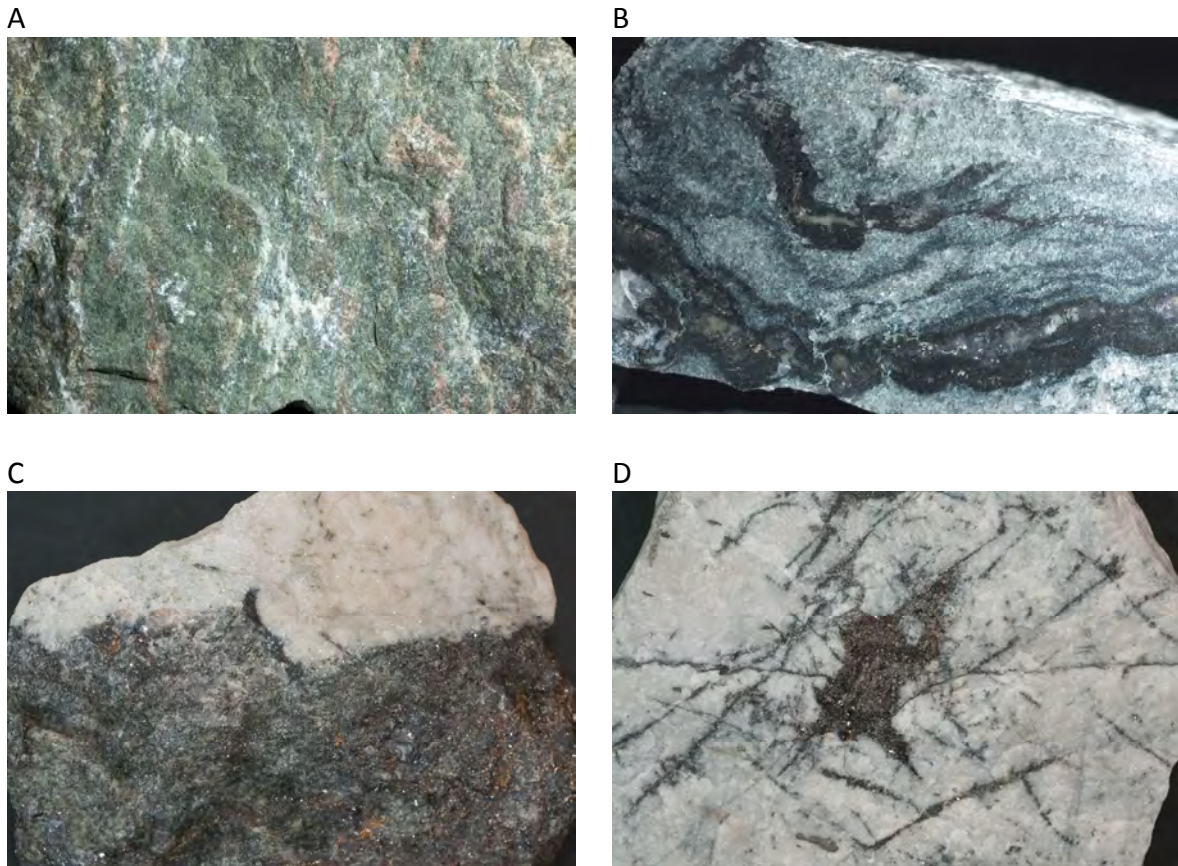
nätverk med låga halter av blyglans och zinkblände direkt i dolomiten. Sprickorna är ibland mycket raka och ger då intryck av att vara sent bildade. Vid undersökning i tunnslip har spår av gudmundit i upp till 0,25 mm stora idiomorfa kristaller påträffats i sprickorna liksom spår av tetrahedrit, boulangerit och trolig dyskrasit.

Stratigrafisk ligg till Lilla Kanalen

I nordöstra änden av Kanalmalmen bröts längs en kortare sträcka ut mot hängsidan en malm som kallas Lilla Kanalen, se figur 14. I tillfartsorten in till Lilla Kanalen har en inlagring av omvandlad vulkanit i karbonatstenen provtagits vid punkt E. Bergarten är här en tydligt folierad sericitskiffer med blekt gulgrön färg som domineras av mineralen kvarts och muskovit. Sporadiskt förekommer även kordierit som porfyroblaster i sericitskiffern. Vid malmgaveln undersöktes liggens bergarter i direkt kontakt med malmen (prov F). Den består av en kraftigt förskiffrad talkdominerad bergart med inslag av kvarts, klorit, biotit-flogopit och muskovit. Spår av zinkblände, kopparkis, svavelkis, magnetkis och blyglans finns också spridd i bergarten.



Figur 12 Geologi på 515 m nivå i norra delen av Kanalmalmen, enligt Boliden gruvkarta. Provtagning utförd vid punkterna A-D.



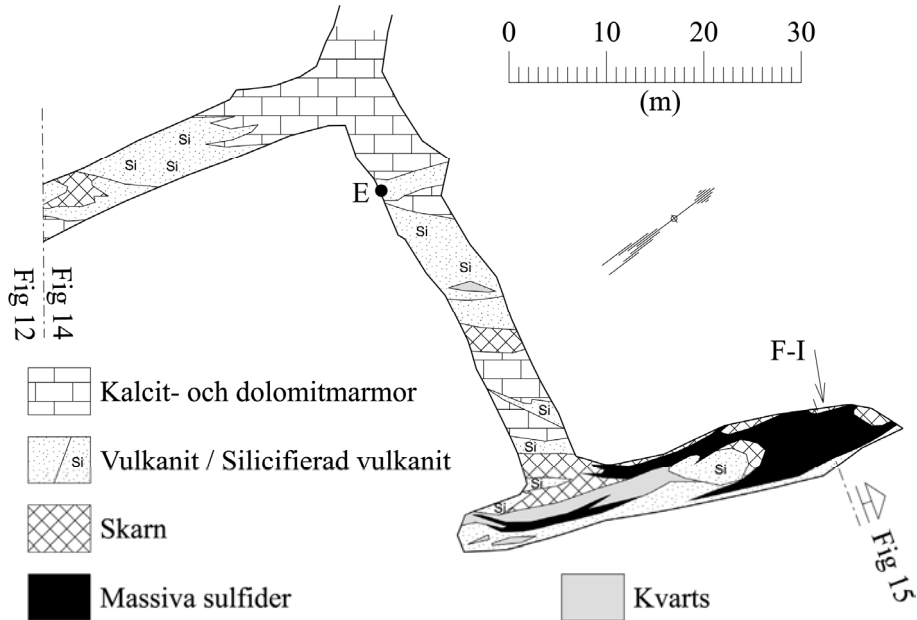
Figur 13. **A.** Finkornigt Fe-rikt Al-skarn med epidot, aktinolit-magnesiohornblände, grossular och diopsid-hedenbergit. Kanalmalmen 515 m (prov GK515A2). Bildbredd 7 cm. **B.** Kalcitmarmor med tunt vulkanitband omvandlat till skarn med magneshornblände. Kanalmalmen 515 m (prov GK515B2). Bildbredd 6 cm. **C.** Mineraliserat aktinolitskarn med kontakt till vit dolomit. Kanalmalmen 515 m (prov GK515D). Bildbredd 11 cm. **D.** Dolomit med zinkblände som sena gångar och oregelbunden ersättning. Kanalmalmen 515 m (prov GK515C). Bildbredd 15 cm.

Malmzonen i Lilla Kanalen

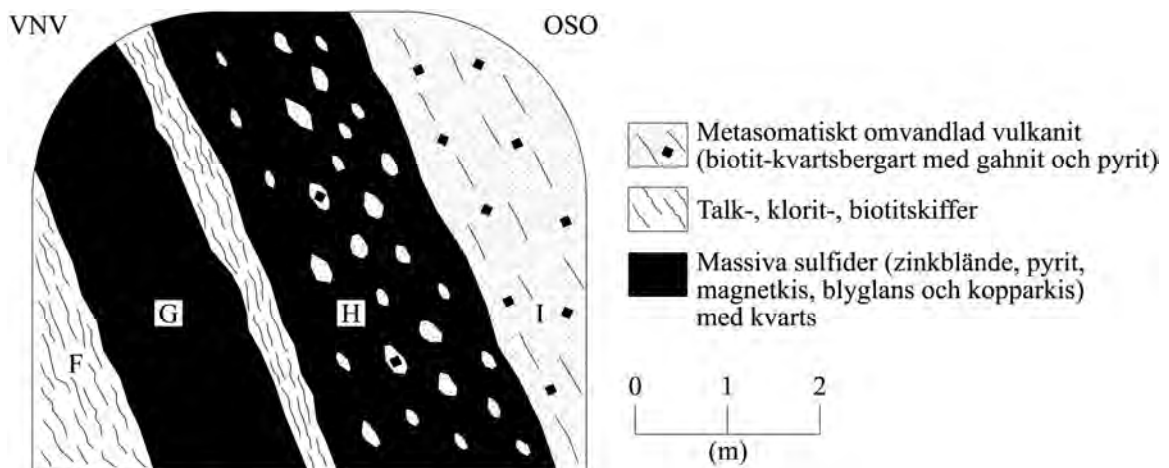
Malmzonen utgörs mot liggväggssidan av en ganska massiv sulfidmassa som består av huvudsakligen zinkblände med innehåll av svavelkis som ca 1 mm stora korn. Ca 30 procent kvarts finns även jämnt spridd i malmen (prov G). En talk- och kloritrik zon genomkorsar den centrala delen av malmzonen. Mot hängväggsdelen av malmzonen minskar sulfidmängden (prov H). En kvarts-biotitrik omvandlingsbergart utgör huvudkomponenten och sulfiderna förekommer som ett fint nätverk i bergarten med övergångar till kulmalm där omvandlingsbergarten uppträder som rundade fragment i sulfidmassan. Malmmineralen utgörs av zinkblände, blyglans, svavelkis och kopparkis. I den undersökta malmgaveln är kopparkis och blyglans huvudsakligen ansamlad i hängväggsdelen av malmzonen.

Hängväggen till Lilla Kanalen

Hängväggen till malmen består av kvarts- och biotitrik omvandlingsbergart med ett sporadiskt innehåll av gahnit och ett kordieritliknande mineral som porfyroblaster (prov I).



Figur 14. Geologi på 515 m nivå vid Lilla Kanalen, enligt Boliden gruvkarta. Provtagning utförd vid E och F-I.



Figur 15. Skiss av malmgavel vid Lilla Kanalen, 515 m nivå. Provtagning utförd vid punkterna F-I.

5.1.6 Kanalmalmen nivå 582 m (1995-11-29)

Liggväggen

En vit och finkornig dolomit utgör liggvägg till malmen. Bergarten visar en svag och otydlig foliation.

Malmzonen

Provtagningen utfördes i lössprängt berg från malmzonen (prov A-C). Provmaterialet visar två typer av malm, dels dolomit med varierande mängder sulfider och dels massiv kulmalm. Prov A utgörs av finkornig vit dolomit med spår av blekgrön amfibol. I dolomiten finns ett breccierande nätverk av grova sulfider bestående av zinkblände, blyglans, magnetkis och svavelkis. Prov B består också av dolomit men här utgör sulfiderna större andel av provet, ca 50 % och svavelkis dominerar. Några procent magnetit finns i provet samt mindre mängder kalcit och amfibol. Prov C är kulmalm med rik zinkblände, magnetkis, svavelkis och blyglans som matrix och innehållande klaster av bergarter med kvarts, fältspat och amfibol.

Hängväggen

I hängväggen uppträder ett klorit-amfibolskarn (skölskarn) med kraftig foliation och ett sporadiskt innehåll av sulfider som sliror utdragna i foliationsriktningen (prov D).

A



B

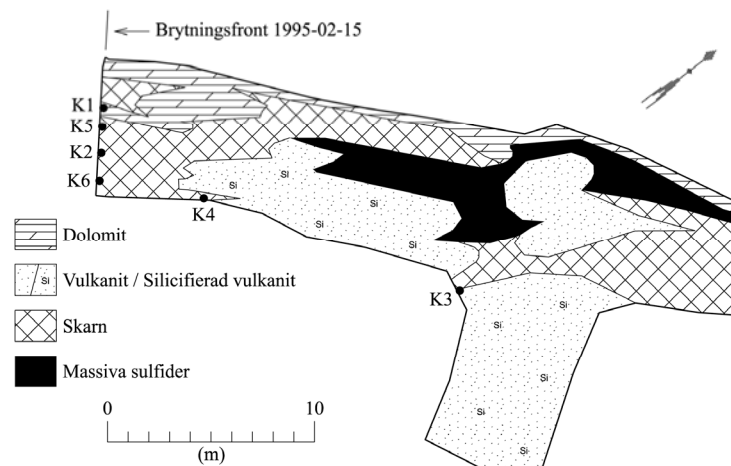


Figur 16. **A.** Dolomit med mineralisering av zinkblände, blyglans, svavelkis och magnetkis som gångar. Kanalmalmen 582 m (prov GK582A). Bildbredd 15 cm. **B.** Amphibolskarn med stark foliation. Svag zinkblände som sliror parallella med foliationen. Kanalmalmen 582 m (prov GK582D). Bildbredd 9 cm.

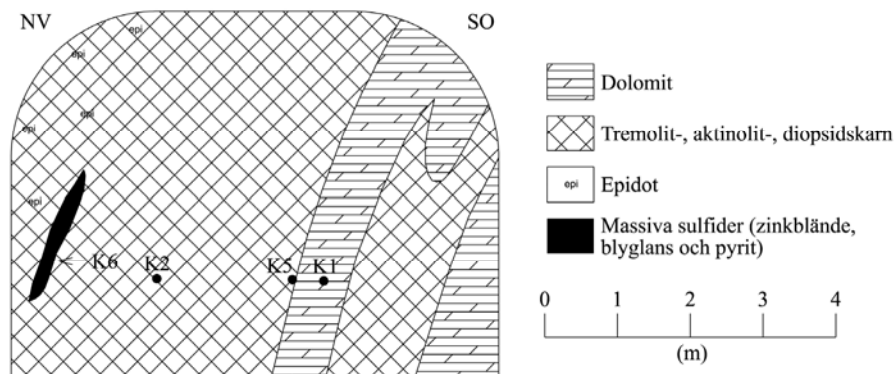
5.1.7 Kanalmalmen nivå 670 m (1995-02-15)

Malmzonen

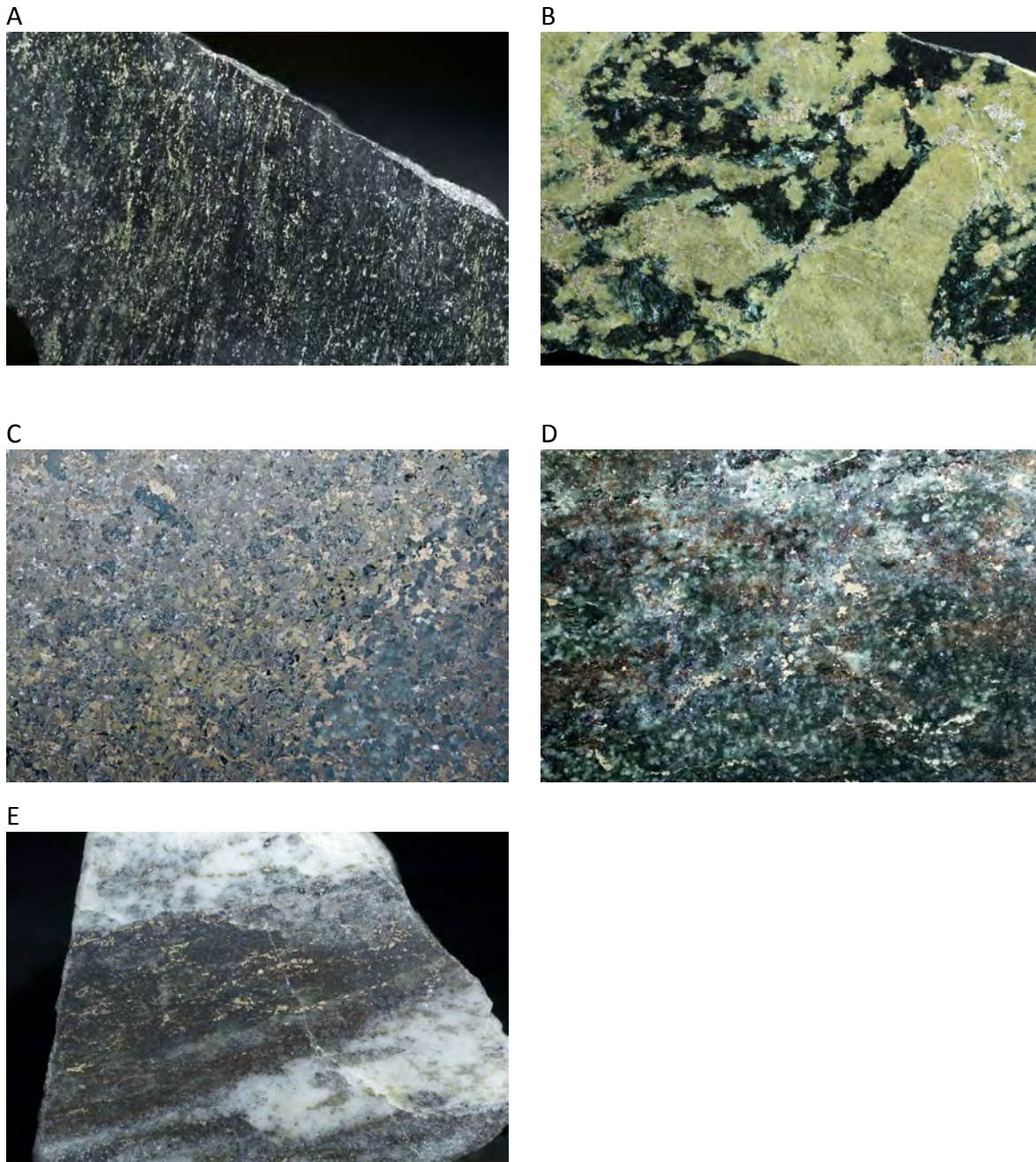
Provtagningen utfördes i en aktiv malmgavel med relativt fattig Zn-Pb-malm uppträdande i kontaktzonen mellan dolomit i liggväggen och omvandlingsbergarter i hängväggen, se figur 17 och 18 för lägen och en skiss av gaveln. Bruten malmzon utgörs av skarn som innehåller impregnation och sliror av zinkblände, svavelkis, magnetkis och blyglans. Skarnet visar en zonerings från dolomiten i ligggen till omvandlingsbergarten i hängen som ser ut på följande sätt: dolomit → tremolitskarn → diopsid-aktinolitskarn → diopsid-aktinolit-epidotskarn → kvarts-hornbländebergart → omvandlingsbergart. Ett mindre parti med massiv sulfid påträffades vid punkt 6 i skarnet. Sulfidmineralogin består av zinkblände, blyglans, magnetkis och svavelkis. I detta förekommer en hel del karbonat och även amfibolkristaller. Sulfiderna ger intryck av att förtränga karbonaterna.



Figur 17. Geologisk plankarta över del av Kanalmalmen på 670 m nivån (geologi och ortkonturer från Boliden gruvkarta). Markeringarna K1-K6 visar lägen för insamlade prover.



Figur 18. Geologisk sektion längs med brytningsfronten i Kanalmalmen på 670 m nivån. Markeringarna K1, K2, K5 och K6 visar lägen för insamlade prover.



Figur 19. **A.** Skarn med magnesiohornblände och kvarts innehållande svavelkis som impregnation. Kanalmalmen 670 m (prov K3). Bildbredd 4 cm. **B.** Epidotskarn med mörk aktinolit samt något svavelkis. Kanalmalmen 670 m (prov K4). Bildbredd 3 cm. **C.** Zinkbländerik malm med spridda inneslutna aktinolitkristaller och något kalcit. Kanalmalmen 670 m (prov K6). Bildbredd ca 3 cm. **D.** Aktinolitskarn med ljusgrön diopsid samt zinkblände och svavelkis. Kanalmalmen 670 m (prov K2). Bildbredd 4 cm. **E.** Tremolitskarn och sulfider som gång i dolomitmarmor. Kanalmalmen 670 m (prov K1). Bildbredd 6 cm.

5.2 Undersökta områden i Garpenberg Norra

5.2.1 Allmän beskrivning

Provtagningen i Garpenberg Norra utfördes 1995-11-28 tillsammans med gruvgeolog Stina Danielsson (Boliden). Ett kort besök gjordes även i oktober 1996. Ytterligare provmaterial i form av borrhärdar och prover från ett malmupplag ovan jord har kompletterat materialet från gruvan. De besökta brytområdena var D-malmen, E-malmen och F-malmen. D-malmen uppträder inne i de omvandlade liggbergarterna och följer där D2-foliationen. Den har av Allen et al. (2003) tolkats som en remobilisering av svaga sulfidimpregnationer i liggväggen in i strukturer parallella med foliationen under D2-deformationen. E-malmen uppträder längs gränsen mellan liggbergarter och den överlagrande karbonatstenen. F-malmen uppträder längs karbonatstenens övre kontakt mot överlagrande vulkaniska breccior. På vissa ställen har även F-malmen remobiliserats längs skjuvplan parallella med D2 och då upp i den överliggande stratigrafien.

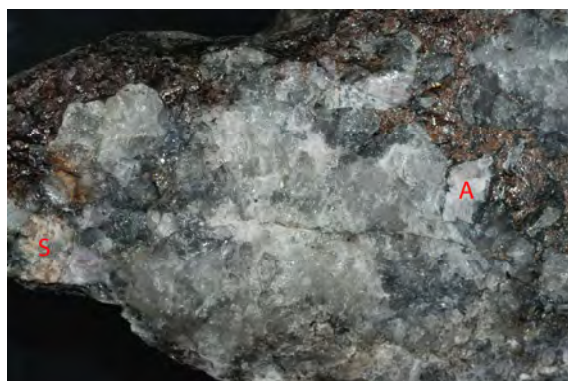
5.2.2 D-malmen nivå 680 m (1995-11-28)

Provtagning utfördes på 680 m nivå i D-malmen. D-malmen är en malm av stockworktyp och följer skiffriheten i omgivande bergarter. Malmmineralen uppträder som nätverk och upp till ½ m breda gångar i klorit- och biotitskiffrig vulkanit (pers. med. Stina Danielsson, Boliden, 1996). Vid provtagningen påträffades sulfidförande kvartsgångar och oregelbundna granulära kvartspartier i mörk, glimmerskiffrig och omvandlad vulkanit. Vanligaste sulfid i proverna är brunt zinkblände följt av mindre mängder svavelkis och blyglans. I ett prov från en kvartsgång förekommer ljuslila anhydrit som spatiga massor upp till 1 cm storlek samt gulaktig scheelit.

A



B

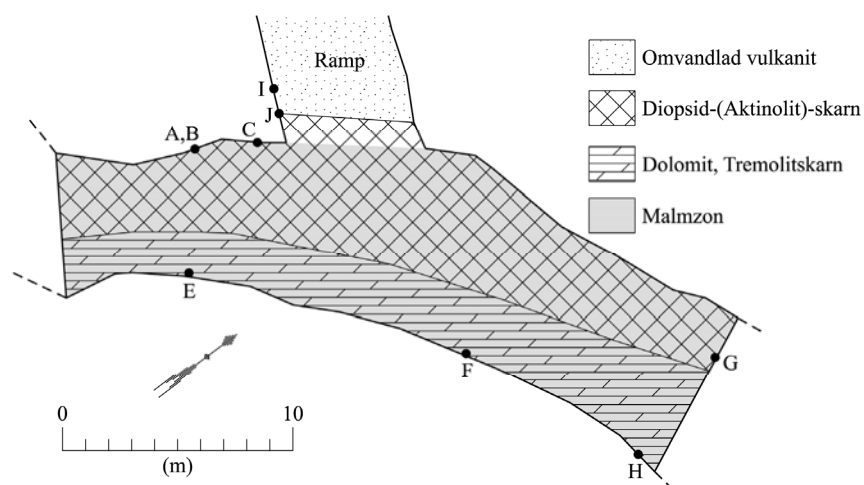


Figur 20. **A.** Omvandlingsbergart från sidoberget till D-malmen, bestående av kvarts, biotit och svavelkis. Prov GND680B). Bildbredd 6 cm. **B.** Del av kvartsgång innehållande brunt zinkblände, ljuslila anhydrit (A) och gul scheelit (S). D-malmen 680 m (prov GND680A). Bildbredd 8 cm.

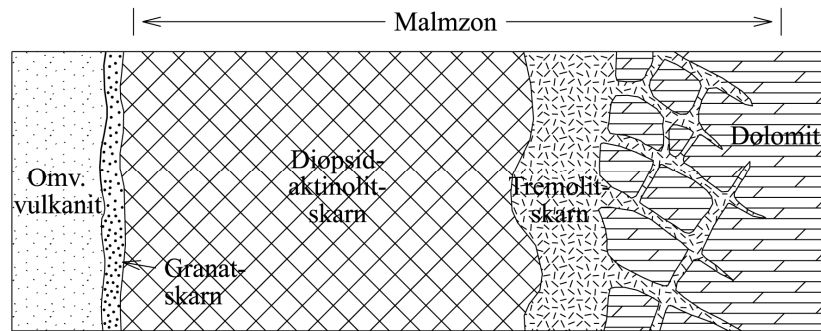
5.2.3 E-malmen nivå 538 m (1995-11-28)

Provtagning utfördes i E-malmen på 538 m nivån. Vid besökstillfället hade brytningen nyligen kommit igång på nivån och via ett inslag från en kort ramp hade malmzonen följts ca 15 m åt SV och NO. Bruten malm består av en ca 7 m bred zinkblände- och blyglansförande skarnzon som uppträder i kontakten mellan omvandlad vulkanit i NV och dolomit i SO, se figur 21.

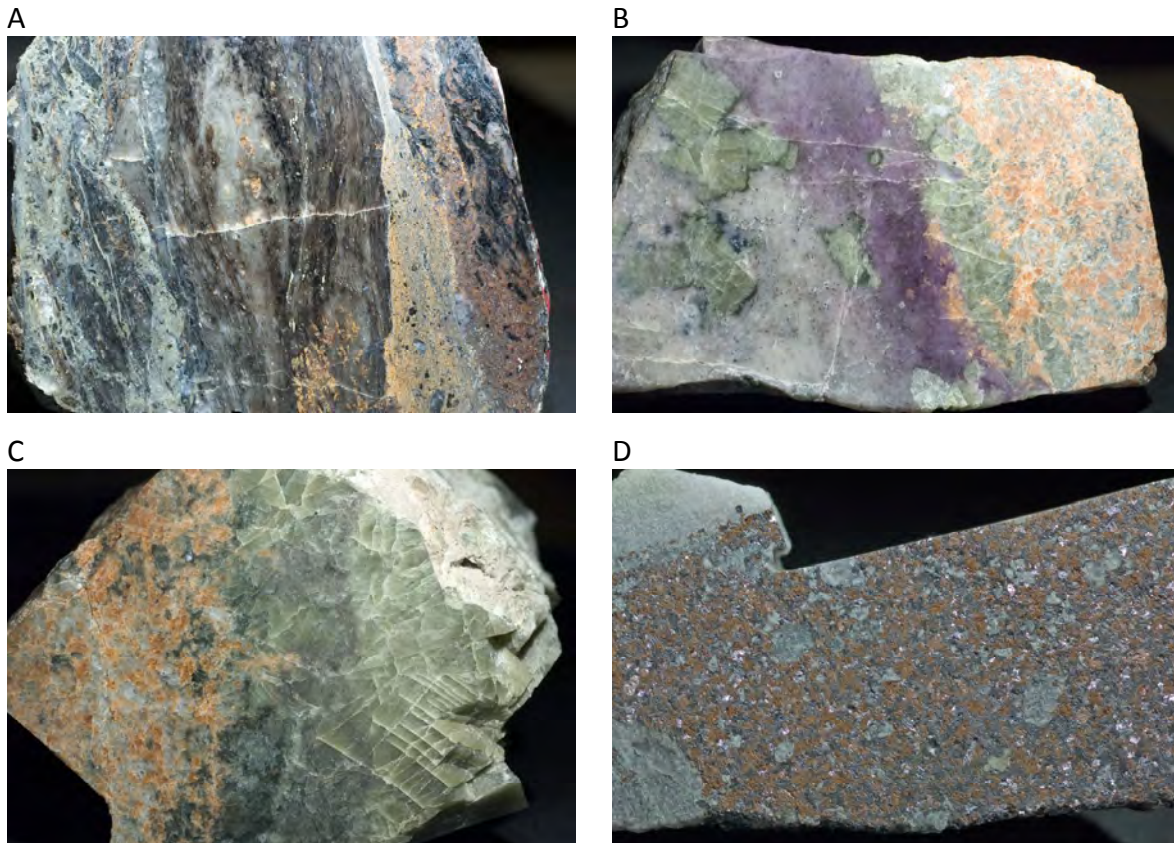
Skarnzonen består av tre skarntyper. (1) En tunn kontaktzon mot vulkaniten, (2) en bred mittersta skarnzon och (3) nätverk av skarn i dolomiten. Vid inslaget till malmen kunde kontaktzonen studeras (punkt J). Kontaktzonen är här ett par decimeter bred och utgörs närmast vulkaniten av en ljusgrå-lilafärgad omvandlingsbergart med sericit, prehnit, zoisit, titanit och porfyroblaster av diopsid. Därefter följer en decimeterbred rand av orangefärgad granoblastisk spessartingranat med inblandning av diopsid innan den mittersta skarnzonen vidtar. Den mittersta skarnzonen byggs huvudsakligen upp av ett grönt, fin-grovkornigt och massivt diopsidskarn med inblandning av mörkgrön aktinolit och accessoriskt orangefärgad spessartingranat. Lokalt finns rikligt med massiv, vit kvarts i skarnet. Mot dolomitkontakten övergår pyroxenskarnet i massivt blekgrönt-vitt och stråligt tremolitskarn som även bildar breccierande gångar i dolomit. Den rena dolomiten är vit, finkornig och massiv utan urskiljbar foliation. En generaliserad sektion genom skarnzonen återges i figur 22. Sulfidmineralen i malmzonen uppträder som massiva sliror, gångar och impregnation i diopsid-(aktinolit)-skarnet, i tremolitskarnet och i dolomiten. Sulfidmineralen utgörs av zinkblände, blyglans samt något svavelkis och magnetkis. I malmmikroskop har även dyskrasit, boulangierit och ett tetrahedritliknande mineral identifierats i blyglansrik malm. I blyglansmalm påträffades även ett 5 cm stort parti med kornig bandad flusspat.



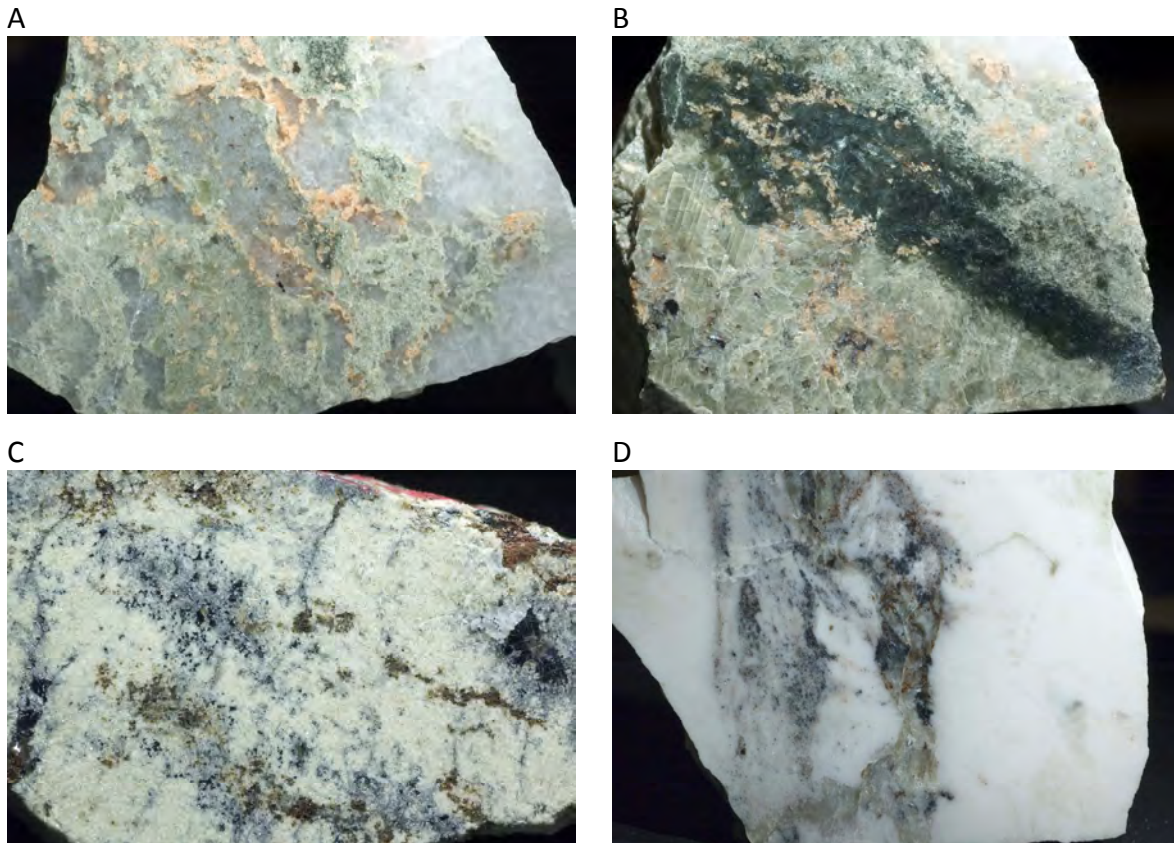
Figur 21. Geologisk karta över brytområde i E-malmen 538 m nivån, efter Boliden gruvkarta. Provtagning utförd vid punkterna A-J.



Figur 22. Generaliserad sektion genom malmzonen på 538 m nivå i E-malmen, Garpenberg Norra som visar uppträdandet för de tre skarn typerna granatskarn, diopsid-(aktinolit)skarn och tremolitskarn. Sektionens bredd är ungefär 10 m.



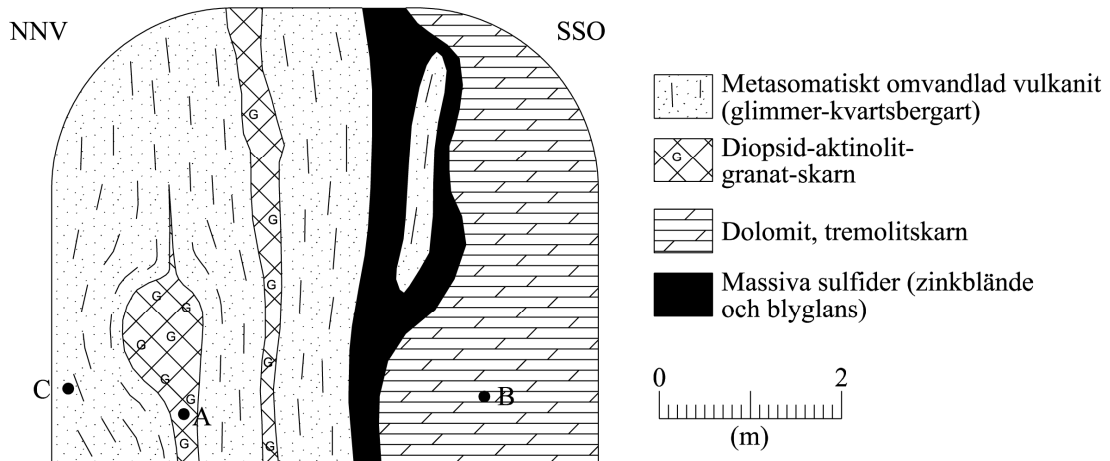
Figur 23. **A.** Omvandlad vulkanit nära skarnkontakten. Smal deformationszon med kulmalm på högra sidan. E-malmen 538 m (prov GNE538I). Bildbredd 8 cm. **B.** Kontaktzonen mellan omvandlad vulkanit och granatskarn. E-malmen 538 m (prov GNE538J). Bildbredd 9 cm. **C.** Kontakten mellan granatskarn och diopsidskarn. E-malmen 538 m (prov GNE538J) Bildbredd 7 cm. **D.** Massiv blyglans-zinkbländemalm. E-malmen 538 m (prov GNE538B). Bildbredd 4 cm.



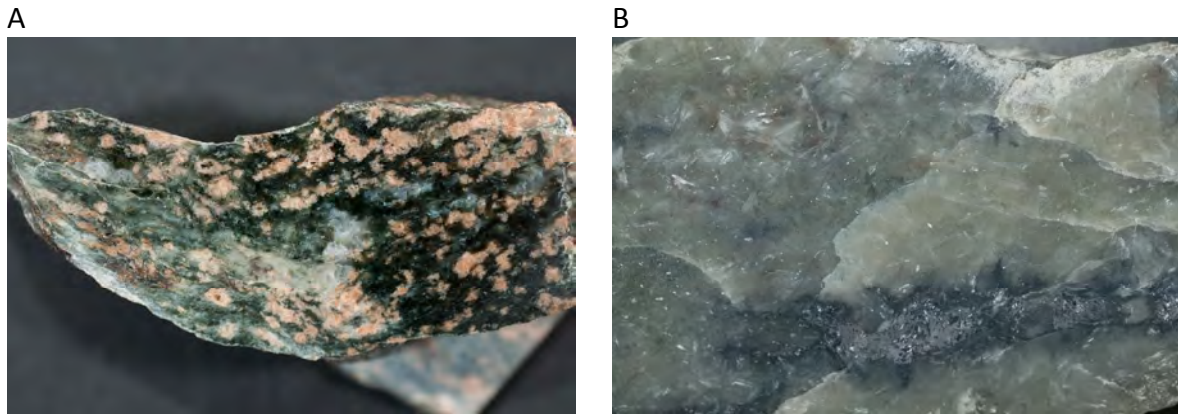
Figur 24. **A.** Diopsidskarn med rikligt av vit kvarts och något orange spessartingranat. E-malmen 538 m (prov GNE538C2). Bildbredd 8 cm. **B.** Ljusgrönt pyroxenskarn med mörkgrön aktinolit och orange granoblastisk spessartingranat. E-malmen 538 m (prov GNE538C1). Bildbredd 5 cm. **C.** Ljusgrönt, finkornigt diopsidskarn med impregnation och sprickfyllnad av brunt zinkblände och grå blyglans. E-malmen 538 m (prov GNE538G). Bildbredd 5 cm. **D.** Ljusgrönt tremolitskarn tillsammans med blyglans, zinkblände och kalcit som gångar i dolomitmarmor. E-malmen 538 m (prov GNE538E). Bildbredd 12 cm.

5.2.4 E-malmen nivå 605 m (1995-11-28)

Provtagning utfördes på 605 m nivå i E-malmen. Provtagningsområdet är beläget direkt under föregående provtagningsområde. Malmen uppträder här liksom på 538 m nivån i kontaktområdet mellan omvandlad vulkanit i NNV och dolomit i SSO. Påträffat skarn utgörs av ljusgröna tremolitskarngångar i dolomit samt mörkgrönt skarn med diopsid, aktinolit och spessartingranat som lager och boudinerade linser i den omvandlade vulkaniten. Malmen utgörs av en massiv malmslira med ca 1 m bredd bestående av zinkblände och blyglans. Sulfider förekommer även som impregnation och sliror i skarn och i dolomit.



Figur 25. Skiss av gaveln vid brytningsfronten på 605 m nivå i E-malmen, Garpenberg Norra. A-C anger lägen för insamlade prover.



Figur 26. **A.** Deformerat skarn med mörkgrön aktinolit, orange spessartin, ljusgrön diopsid och kvarts från provpunkt A. E-malmen 605 m (prov GNE605A). Bildbredd 7 cm. **B.** Massivt ljusgrönt tremolitskarn med gång av blyglans från provpunkt B. E-malmen 605 m (prov GNE605B). Bildbredd 6 cm.

5.2.5 E-malmen nivå 811 m (1996-10-10)

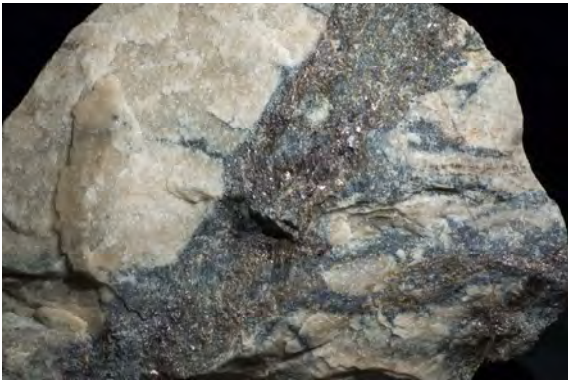
I E-malmen på 811 m nivå vid gränsen mellan malmen och den i hängen förekommande dolomiten påträffades ett nätverk av Mn-skarn med sulfider i den vita dolomiten. Gångarna är upp till ca 1 dm breda och oregelbundet förgrenade. Sena och flackt stupande förkastningar har förskjutit gångarna på några ställen. I gångarna har manganocummingtonit och tefroit identifierats.

Manganocummingtonit förekommer som kristaller och omges av en bård av tefroit. Silikaterna omges i sin tur av zinkblände som innehåller avblandningar av Mn-sulfiden alabandit.

A



B



Figur 27. **A.** Nätverk av zinkblände, blyglans och svavelkis samt manganocummingtonit och tefroit i vit dolomitmarmor. Ortväggen i E-malmen 811 m nivå. Bildbredd ca 2 m. **B.** Stuff från ortväggen i bild A. Nätverk av zinkblände, blyglans och svavelkis samt manganocummingtonit och tefroit i vit dolomitmarmor. E-malmen 811 m nivå. Bildbredd ca 10 cm.

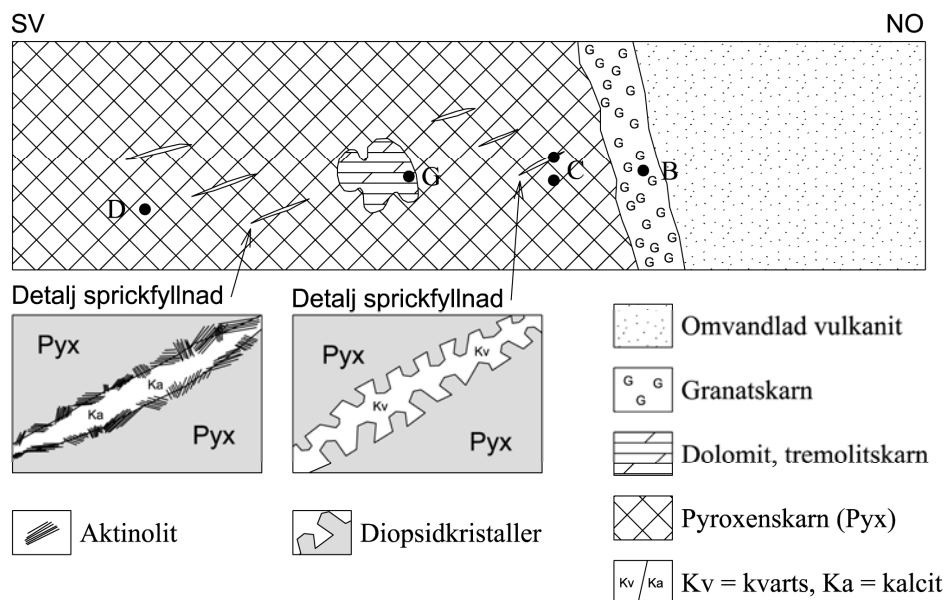
5.2.6 Borrkärnor från området mellan E- och F-malmen

I dolomitområdet mellan E-malmen och F-malmen har prover från borrhål 644 undersökts. Vid 97,5, 106,4 och 113,8 m har alabandit som förgrenade nätverk tillsammans med magnetkis och zinkblände i dolomit identifierats. De åtföljs av andra manganrika mineral som Mn-rik spessartin, den Ca-fattiga amfibolen manganocummingtonit, pyroxmangit och rodokrosit. Ett betydande innehåll av mangan finns även i zinkblände och magnetit i området.

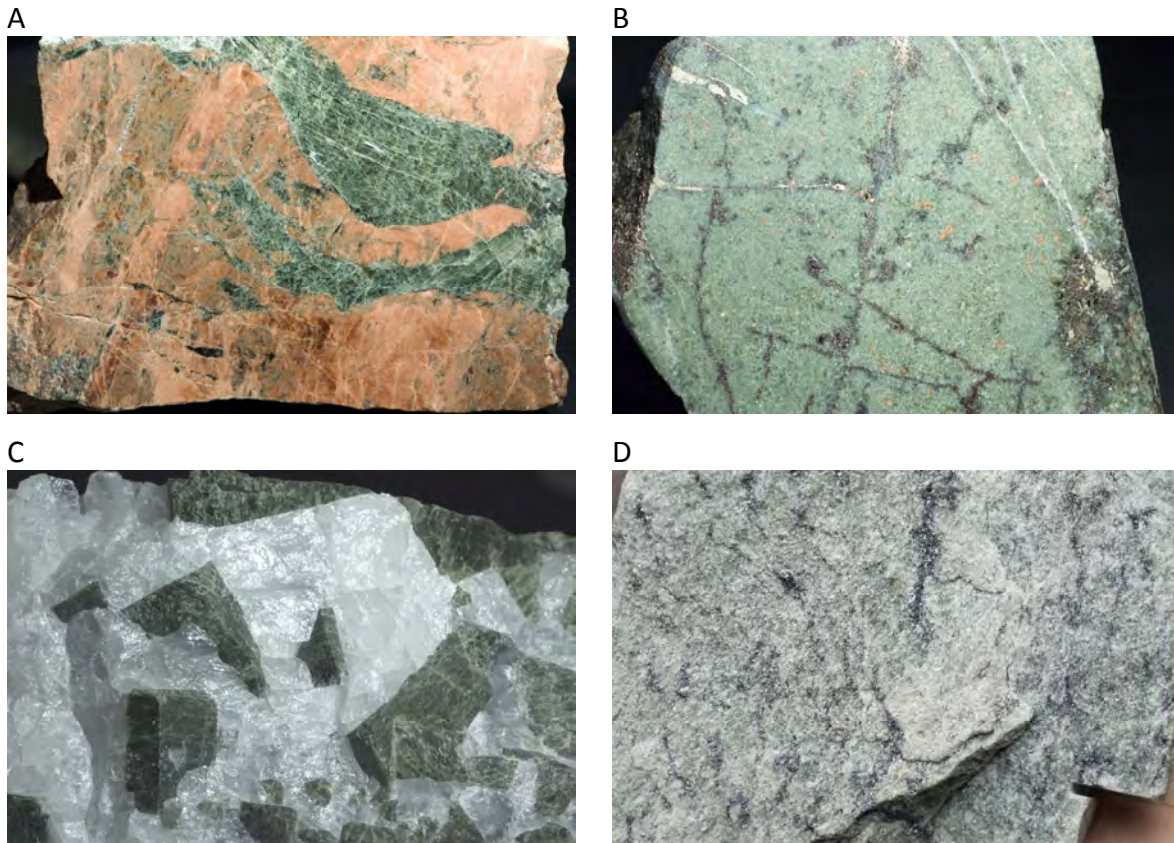
5.2.7 F-malmen nivå 690 m (1995-11-28)

Provtagning utfördes i F-malmen på 690 m nivån. Malmkroppen är orienterad i SV-NO. Vid provtagningstillfället hade brytningen nått nära den sydvästligaste spetsen av malmkroppen och provtagningen koncentrerades till detta område. Den brutna malmen utgörs här av en upp till 17 m

bred zon med massiva sulfider, av sulfider i skarn och sulfider i karbonatsten. Malmen uppträder i kontaktzonen mellan omvandlad vulkanit i SO och karbonatsten i NV. Skarnzonen kunde bara studeras på liggsidan (NV-sidan) av malmen och består här av tre skarntyper, ett tunt Al-rikt granatskarn vid kontakten till vulkanit, ett mäktigt centralt diopsidskarn och ett tremolitskarn vid kontakten till dolomit, se figur 28. Skarnets kontaktzon mot vulkaniten utgörs av ett orangefärgat, mycket finkornigt spessartingranatskarn. Övergången från vulkaniten till granatskarnet sker gradvis och den bandning som förekommer i vulkaniten går även att skönja i granatskarnet. Den centrala diopsidskarnzonen utgörs av ett fin- grovkornigt, grönt och massivt diopsidskarn, vari ingår mindre mängder mörkgrön aktinolit, kalcit och kvarts. Mot dolomitkontakten övergår diopsidskarnet i ett grönt-blekgrönt och fibrigt tremolitskarn. Påträffade sulfidmineral i ligger till malmzonen uppträder som impregnation och gångar i pyroxen- och amfibolskarn. I den aktiva malmgaveln iaktogs även ett meterstort parti av grovkristallin zinkblände, blyglans, magnetkis och kvarts. I skarnet förekommer ett regelbundet spricksystem med kvarts, kalcit och sulfider. Sprickorna som är upp till några cm breda och meterlånga är alla flackt lutande och orienterade ungefär vinkelrät mot D2-foliationen. I de sprickor som är fyllda med kvarts påträffades upp till 5 cm stora och idiomorfa diopsidkristaller som växer från skarnkontakten och in mot kvartsfyllnaden. På liknande sätt förekommer mörkgröna aktinolitkärvar i sprickor som är fyllda med kalcit, se figur 28.



Figur 28. Geologisk profil längs med liggsidan (NV-sidan) av F-malmen på 690 m nivå med provtagningspunkter markerade. Längden på profilen är ca 30 m. Därunder detaljbilder som schematiskt visar hur de sena sprickor som förekommer i det massiva skarnet ser ut.



Figur 29. **A.** Finkornigt granatskarn med antydning till foliation. Sen sprickfyllnad av diopsid som är ungefär vinkelrät mot foliationen. F-malmen 690 m (prov GNF700B1). Bildbredd 7 cm. **B.** Finkornigt diopsidskarn med magnetkis och zinkblände som sprickfyllnader och impregnation. F-malmen 690 m (prov GNF700D1) Bildbredd 5 cm. **C.** Grova diopsidkristaller i kvarts från sen sprickfyllnad i massivt diopsidskarn. F-malmen 690 m (prov GNF700C3). Bildbredd 8 cm. **D.** Finkornigt ljusgrönt tremolitskarn med svag zinkblände och blyglans i tunna sprickor som skär över foliationen i skarnet. F-malmen 690 m (prov GNF700E). Bildbredd 8 cm.

5.2.8 Prover från malmupplag vid Garpenberg Norra

Ett tiotal prover från ett malmupplag vid Garpenberg Norra har kompletterat undersökningsmaterialet. Detta har gjort det möjligt att undersöka de lite mera udda skarnparageneserna med fram för allt rodonit som inte fanns tillgängliga i gruvan vid besöket.

5.3 Sammanfattande beskrivning av skarn vid Garpenberg och Garpenberg Norra

5.3.1 Skarnets geometri och relation till andra bergarter

Skarn i Garpenbergs gruvor uppträder i anslutning till den karbonatstenshorisont som går att följa genom hela gruvområdet och till vilken även de flesta malmer är knutna. Skarn har bildats i kontakten mellan karbonatsten och omgivande kisel- och aluminiumrika bergarter, vilka i de undersökta områdena nästan genomgående är kvarts- och biotitrika omvandlingsbergarter. Bredden på skarnzonerna är vanligtvis mellan någon meter och upp till ca 15 m som mest. Vanligtvis är skarnen massiva, det vill säga de består huvudsakligen av skarnmineral med liten inblandning av andra mineral. Undantag finns och ingående mineral är då ofta kvarts eller kalcit, sulfidmineral ej medräknade. Kontakterna till omgivande bergarter är vanligtvis skarpa. I de områden där skarnen gränsar till dolomitisk karbonatsten förekommer förgreningar av skarn som gångar ut i karbonatstenen. Motsvarande gångar har inte observerats när omgivande karbonatsten är kalcitdominerad.

5.3.2 Skarntyper och zoner

Om skarnen indelas efter det skarnmineral som är dominerande eller efter karaktäristiska element i skarnen kan följande grupper urskiljas; talkskarn (talkskiffer), amfibolskarn, pyroxenskarn, granatskarn, Mn-skarn, epidotskarn och Al-skarn. Talkskarn har påträffats i bägge gruvorna men i störst omfattning från Strandmalmen i Garpenbergsgruvan. När talkskarn påträffats har de varit lokaliserade till den delen av skarnzonen som är nära kontakten med omvandlingsbergarten. De har en stark foliation och förefaller vara knutna till sena rörelsezoner. Ibland finns amfibolskarn i talkskarn och talk förefaller då ersätta amfibolerna. Amfibolskarn är vanlig i alla undersökta områden och är den skarntyp som påträffas när skarnet är i kontakt med dolomit. Amfibolskarnen är ofta monomineraliska med liten inblandning av andra skarnmineral. Undantag finns och andra skarnmineral består då ofta av pyroxen eller talk. Förgrenade nätverk av amfibolskarn i dolomit är vanliga och har påträffats i Strandmalmen, Kanalmalmen och E-malmen. Pyroxenskarn har bara påträffats i Garpenberg Norra (E-, och F-malmen) och upptar där den centrala delen av skarnzonen. De utgör där den största volymen av skarnzonen, de är massiva och innehåller mindre mängder granat, aktinolit, kvarts och kalcit. Granatskarn har påträffats vid E- och F-malmen i Garpenberg Norra. Granatskarn bildar en smal kontaktzon mellan den omvandlade vulkaniten och den betydligt bredare zonen med pyroxenskarn. Gradvisa övergångar finns mellan granatskarn och omvandlingsbergarten och granatskarnen förefaller vara bildade genom ersättning av omvandlingsbergarten. Epidotskarn är bara påträffade i Kanalmalmen och där på en plats. Det

uppträder på samma sätt som granatskarnet i Garpenberg Norra, det vill säga i kontaktzonen mellan omvandlingsbergarten och skarnzonen. Al-skarn har urskiljts på ett par platser i Kanalmalmen. De utgörs av skarnomvandlingar av Si- och Al-rika bergarter i sidoberget till malmen. Svarta bergarter bestående av magnesiohornblände och kvarts samt gröna bergarter med epidot, diopsid-hedenbergit, magnesiohornblände och titanit förekommer här. Mn-skarn förekommer bara i Garpenberg Norra och har påträffats i E-malmen samt i borrhäror från dolomitområdet mellan E- och F-malmen. I borrhäror uppträder Mn-skarn som spridda och oregelbundna partier ute i dolomiten. Vid lokalen i E-malmen bildar Mn-skarn oregelbundna gångar tillsammans med sulfider i dolomiten. Av det material som insamlats på malmhögen vid Garpenberg Norra framgår att Mn-skarn även uppträder i form av rodonit och då fram för allt i amfibolskarn men även i pyroxenskarn. Rodonit uppträder som oregelbundna och finkorniga massor i de andra skarnen men även som grovkorniga och sena sprickfyllnader i de äldre skarnen.

5.3.3 Protolit till skarnet

Allen et al. (2003) visade att aluminium har varit immobilt vid malmomvandlingen och således kan protoliten till skarnen bedömas med hjälp av dess aluminiuminnehåll. I detta fall saknas kemiska data för hela bergarten men med hjälp av skarnmineralens sammansättning och uppträdande kan ändå en grov bedömning göras av dess Al-innehåll. Amfibolskarn, pyroxenskarn, talkskarn och Mn-skarn bedöms på detta sätt vara uppkomna genom ersättning av karbonatsten. Övriga skarn med granat, epidot, magnesiohornblände och Al-skarn bedöms vara bildade genom ersättning av Si-, och Al-rika bergarter eller en blandning av sådana bergarter och karbonatsten. Andelen skarn som bildats i karbonatsten utgör en klar majoritet av den totala skarnvolymen i undersökta områden.

5.3.4 Sent bildade skarnmineral i sprickor och metamorfos

Sena sprickor innehållande skarnmineral har hittats på några platser. I Strandmalmen har påträffats stora aktinolitkristaller som breccierats av kalcit, anhydrit och sulfider. I tunnslip har identifierats en tunn bård av nybildad diopsid längs kontakten mellan kalcit och aktinolit. Denna nybildade diopsid har ett lägre järninnehåll än diopsid i massivt skarn från samma plats. Nybildning av skarnmineral i sprickor har även iakttagits i F-malmen vid Garpenberg Norra. Här förekommer i både pyroxen- och granatskarn sprickfyllnader av grov diopsid, aktinolit, kalcit och kvarts. Från sprickornas väggar växer stora idiomorfa kristaller av pyroxen och aktinolit. Sprickorna har fyllts av kalcit, kvarts och sulfider. Sprickorna är subhorisontella och förefaller vara vinkelräta mot D2-foliationen. De är därmed förmodligen bildade samtidigt med D2-deformationen. Liknande sprickor har även påträffats vid Ryllshyttans Fe-Zn-Pb-förekomst (Jansson & Allen 2015).

I prov GNV1 från malmhögen vid Garpenberg Norra finns massivt sulfidförande tremolitskarn i kontakt med dolomit. Ute i dolomiten finns fläckar med brun delvis serpentinomvandlad forsterit. En millimetertunn brun serpentinrand finns även längs kontakten mellan tremolitskarn och dolomit. Uppträdandet av forsterit och serpentin antyder att forsteriten bildats efter tremolitskarnet och att en peak i metamorfosen skett efter bildningen av tremolitskarnet. Reaktionen som skett är troligen: $1 \text{ tremolit} + 11 \text{ dolomit} \rightarrow 8 \text{ forsterit} + 13 \text{ kalcit} + 1 \text{ H}_2\text{O} + 9 \text{ CO}_2$ (Slaughter et al. 1975). Trots att många prover med dolomit/tremolitkontakten insamlats från flera olika delar av gruvan är det bara i detta prov från malmhögen som forsterit och serpentin påträffats.

5.3.5 Skarnets relation till malmerna

Malmerna är liksom skarnen knutna till kontaktzonerna mellan omvandlingsbergarter och karbonatsten. Således finns ett starkt rumsligt samband mellan var malmerna och skarnen uppträder. Mycket av den malm som bryts i gruvorna utgörs av skarn med sulfidmineral. Relationerna mellan sulfider och skarn är ofta komplicerade. Sulfider förekommer ofta som impregnation i skarn men även som tydliga sprickfyllnader i skarn. Deformation och metamorfos har gjort att sulfidmineral och då speciellt blyglans och zinkblände har mobiliserats ut i sprickor (Sanddecki 1983). Skillnader mellan skarn och sulfiders uppträdande finns också. Således finns ställvis rikligt med både amfibol och pyroxenskarn i karbonatsten utan sulfider och även sulfider som impregnation och gångar i karbonatsten utan några nämnvärda mängder skarn.

5.4 Skarnmineralens mineralogi och mineralkemi

Analysdata från mineralkemiska analyser redovisas i bilaga 2.

5.4.1 Amfibol

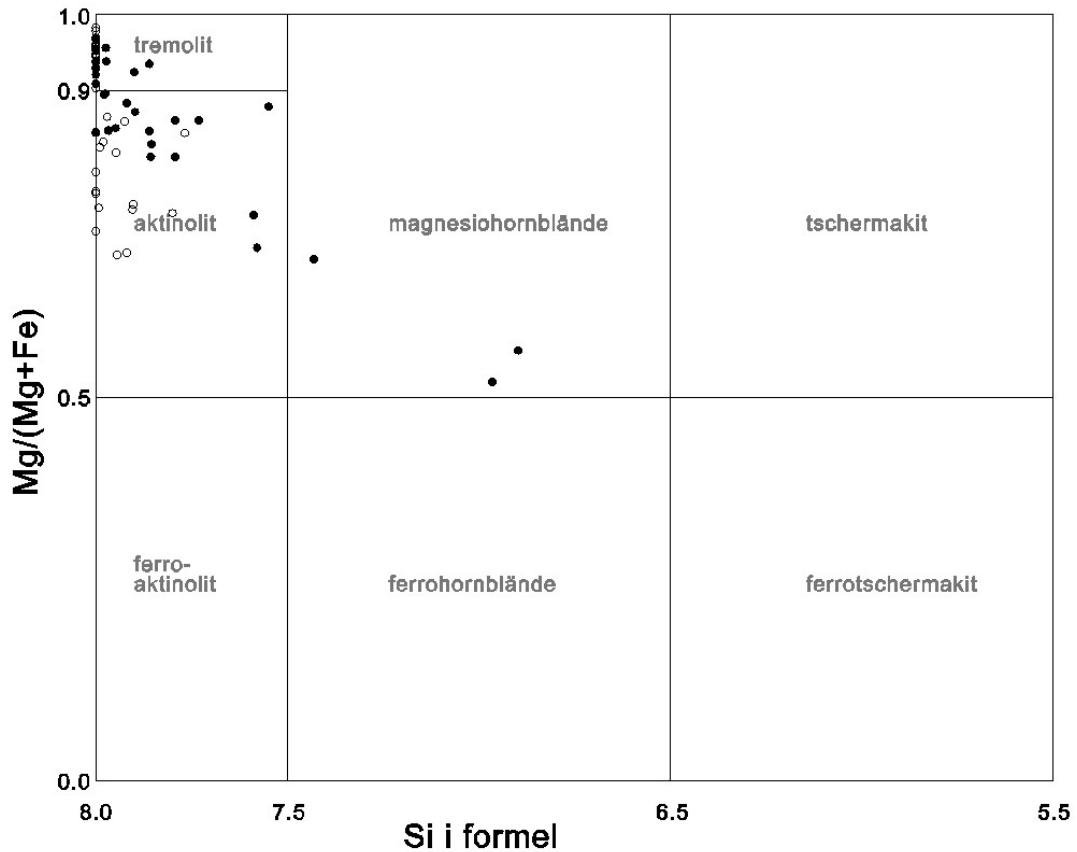
Totalt 71 EDS-analyser har utförts på amfibolmineralen från Garpenberg och Garpenberg Norra. Det analyserade materialet utgörs av amfibol i massiva skarn, amfibol som gångar i karbonatsten och amfibol som porfyroblaster i karbonatsten. Analyserade prover är genomgående mer eller mindre mineraliserade med Fe-Zn-Pb-Cu-Ag-sulfider.

Klassificering

Enligt Leake et al. (1997) klassificering är analyserade amfiboler tremolit och aktinolit samt i enstaka fall magnesiohornblände och manganocummingtonit. Generellt kan sägas att de amfiboler som uppträder som porfyroblaster i dolomit samt som massiva amfiboldominerade skarn i direkt anslutning till dolomit vanligtvis är tremolit. Övriga skarnamfiboler i de stora skarnmassorna och i skarn i kontakt med kalcitmarmor är vanligtvis aktinolit. Avvikande är skarnen i Kanalmalmen som även innehåller den något Fe- och Al-rikare amfibolen magnesiohornblände som där förekommer i kontaktzonen mot omvandlingsbergarten i hängväggen samt även ca 10 m ner på liggsidan av malmzonen direkt i kalcitmarmor. Avvikande är också amfibolerna påträffade i Garpenberg Norra i borrhål 644, ca 100 m längd och i E-malmen på nivå 811 m nivå där den Ca-fattiga och Mn-rika amfibolen manganocummingtonit identifierats i skarn-sulfidgångar i dolomit.

Färg

Amfibolernas kemiska sammansättning avspeglar sig även i dess färger. Analyserade tremoliter är färglösa till blekt grönaktiga; aktinoliter är klargröna till mörkgröna; magnesiohornbländen är svarta. Manganocummingtonitens färg har inte kunnat bestämmas då den påträffats intimt sammanblandad med andra silikater och sulfider.



Figur 30. Klassificeringsdiagram för Ca-amfiboler enligt Leake et al (1997). Diagramparametrar: $Ca_B \geq 1,5$; $(Na+K)_A < 0,5$. Plottade data är SEM-EDS värden från samtliga undersökta amfiboler från Garpenbergsgruvan (fyllda cirklar) och Garpenberg Norra (ofyllda cirklar), exklusive manganocummingtoniter. Ca 50 % av analysvärdena plottar i tremolitfönstret. Huvuddelen av dessa punkter ligger längs med linjen "Si i formel" = 8 i och med att innehållet av Al och Ti är obetydligt. De tre amfiboler som plottar i fönstret för magnesiohornblände är alla från Kanalmalmen.

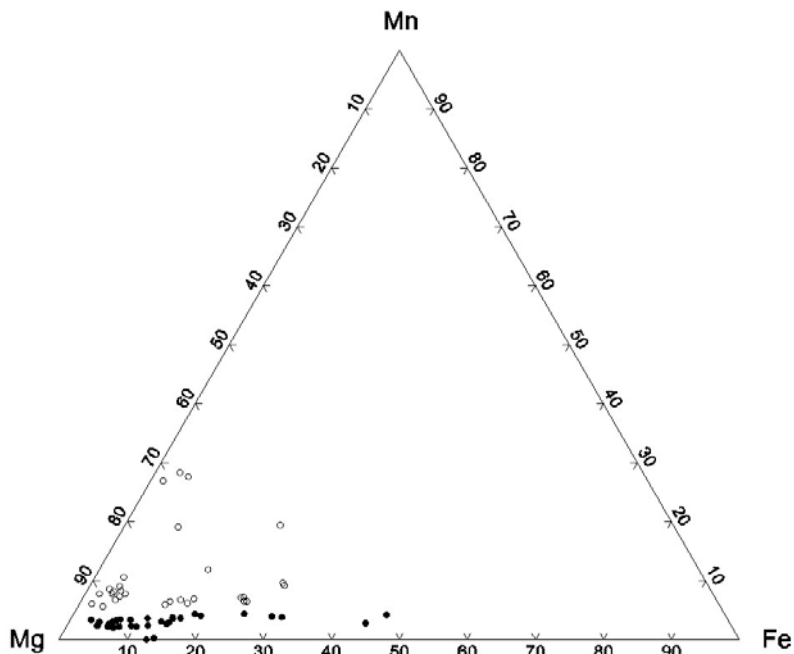
Halten Fe, Mn, Al och Zn

Utöver elementen Ca, Mg och Si som bygger upp det rena ändledet tremolit ($Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$) ingår varierande mängder av elementen Fe, Mn, Al och Zn i det analyserade materialet av amfiboler. Fe är det vanligaste spårelementet och halterna varierar mellan 0,44 – 8,49 atom % för amfiboler klassificerade som tremolit-aktinolit. I Garpenbergsgruvan finns en tendens till förekomst av mera Fe-rika amfiboler i Kanalmalmen jämfört med Strandmalmen. På samma sätt i Garpenberg Norra är amfibolerna i F-malmen rikare på Fe än de i E-malmen. Räknas även de amfiboler som klassificeras som magnesiohornblände in stiger halten järn ytterligare till 13 atom % och då i Kanalmalmen. I denna grupp finns även en betydande halt av Al med som mest 7,4 atom %. Halten Mn uppgår i Garpenbergsgruvan till mellan 0,5 och 1,2 atom % Mn. I Garpenberg Norra varierar innehållet mellan 1,4 – 6,2 atom % Mn i tremolit-aktinolit och en tydlig skillnad i Mn-innehållet föreligger här mellan gruvorna, vilket tydligt framgår av figur 31. Betydande inblandning av Zn, med mellan 4,2 och 4,6

atom % halt, har även konstaterats i Mn-rik aktinolit från Garpenberg Norra. Zn-innehållet har endast bestämts i tre av analyserna vilket gör det svårt att dra några slutsatser av elementets halt i amfibol i allmänhet i gruvorna. Analyserade prov av manganocummingtonit har lågt innehåll av Ca (1,0-3,6 atom %), högt innehåll av Mn (9,6-13,8 atom %) och lågt innehåll av Fe (0,7-1,9 atom %).

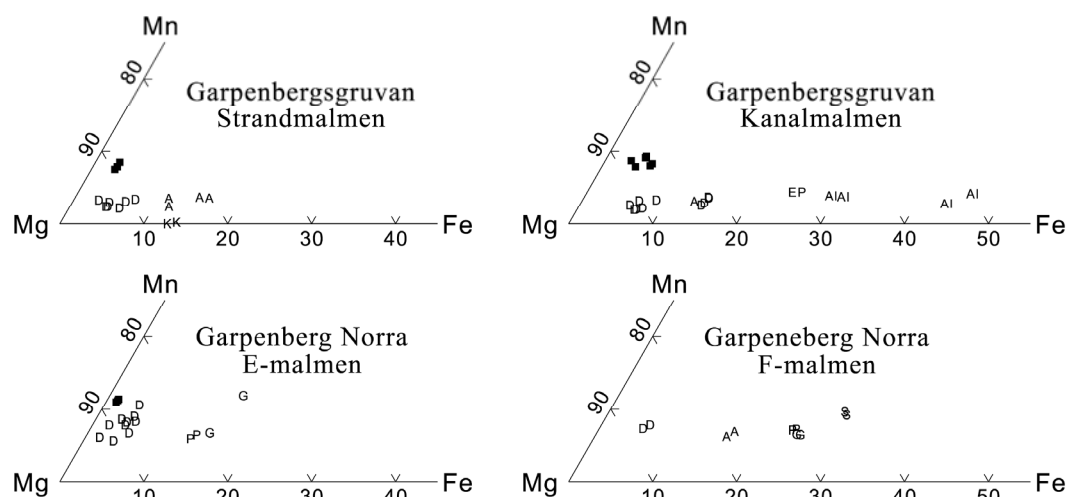
Av figur 32 framgår även att förhållandet mellan Mg, Fe och Mn i amfibolmineral från skarnen skiljer sig från förhållandet mellan samma element i dolomit i den intilliggande karbonatstenen. Det relativa innehållet av Mn är betydligt högre i dolomiten än i skarnamfibolerna. Detta avvikande mönster framgår ännu tydligare om halten Fe plottas mot halten Mn för de bägge mineralen, se figur 33. Orsaken till detta kan vara flera och behandlas vidare under rubriken massbalansberäkning.

Undersökningen visar även att amfibolernas kemiska sammansättning varierar beroende på positionen i skarnzonen. Fe-halten i amfibol är lägst i skarnet intill dolomitkontakten och ökar gradvis i riktning mot vulkaniten för att bli högst i skarnet i kontakt med vulkaniten. Detta zoneringsmönster är tydligt och framkommer på samtliga platser där flera prover tvärs skarnzonen analyserats. Motsvarande zoneringsmönster vad gäller Mn-halter har inte kunnat påvisas.

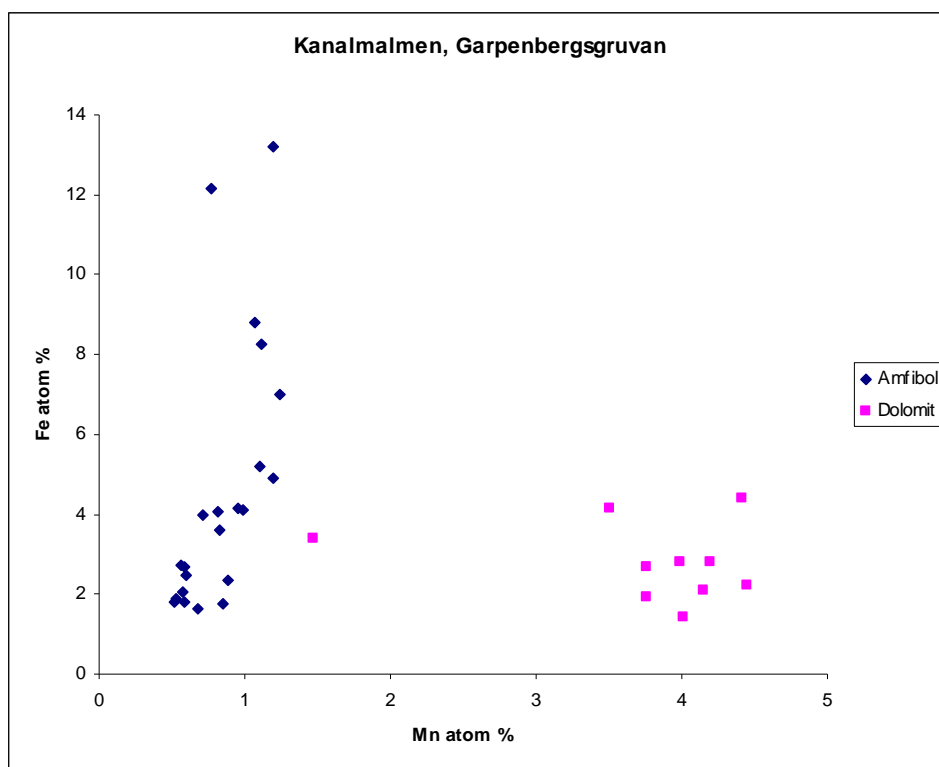


Figur 31. Ternärt diagram visande normaliserat innehåll av Mg, Fe och Mn i amfiboler från Garpenberg och Garpenberg Norra. Fyllda ringar = Garpenbergsgruvan, Ofyllda ringar = Garpenberg Norra. De 7 mest Fe-rika amfibolerna från Garpenbergsgruvan är alla från Kanalmalmen. Fe-rika amfiboler från Garpenberg Norra är huvudsakligen från F-malmen.

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra



Figur 32. Ternära diagram visande normaliserat innehåll av Mg, Fe och Mn i amfiboler vid olika positioner i skarnzonen. D = Dolomit/skarnkontakt, A = Amfibolskarn, P = Pyroxenskarn, G = Granatskarn, EP = Epidot-pyroxenskarn S = Sen sprickfyllnad i pyroxenskarn, K = Porfyroblaster i calcitmarmor och Al = Al-rikt skarn. Fyllda kvadrater är sammansättningen för dolomit i de olika malmzonerna.



Figur 33. Halten järn och mangan i skarnamfiboler och dolomit från Kanalmalmen i Garpenbergsgruvan. De amfiboler som har lägst halt Fe är de som förekommer i skarnzonen nära dolomiten. De med högst Fe-halt är magnesihornbländen från kontakten till omvandlingsbergarten.

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Tabell 1. Mineralkemisk sammansättning för dolomit och amfibol tvärs skarnzonen i E-malmen nivå 538 m, Garpenberg Norra.

ProvNr	GNE538H	GNE538E-F	GNE538C1	GNE538J
Provtyp	Dolomit	Amfibol i amfibolskarn intill dolomitmarmor	Amfibol i pyroxenskarn	Amfibol i granatskarn intill omvandlad vulkanit
Antal analyser	N=3	N=4	N=2	N=2
Mg atom %	41,11-41,97	23,46-24,44	21,83-22,25	21,24-21,33
Mn atom %	5,21-5,35	1,45-3,04	1,59-1,74	1,81-3,51
Fe atom %	0,56-0,61	0,84-1,30	3,45-3,56	3,91-4,72

I bilaga 3 är utförda mineralkemiska analyser på amfiboler redovisade. Vid beräkningar har inte normalisering till O = 23 använts vilket är standard (Leake et al 1997), utan normalisering har istället utförts till (Si+Al+Ti) = 8. Anledningen till detta är att normaliseringen till O = 23 ger en genomgående för hög Si-halt. Detta beror på ett systematiskt analysfel vilket gett något för höga Si halter i allmänhet. Se kapitel "metodik" för mera detaljerad förklaring till detta problem.

5.4.2 Pyroxen

Totalt 33 mineralkemiska analyser har utförts på pyroxen i prover från Garpenbergsgruvan och Garpenberg Norra. Det analyserade provmaterialet utgörs av pyroxen uppträdande i skarnbergarter samt i enstaka fall av pyroxen vid sidan av skarnzonen i det omvandlade sidoberget. Ingen pyroxen har påträffats vid karbonatstenskontakten eller i karbonatstenen varför analyser därifrån saknas.

Klassificering

Analyserade pyroxener har i Garpenbergsgruvan sammansättningen Di_{46-94} , Hd_{5-48} , Jo_{4-8} och i Garpenberg Norra Di_{53-78} , Hd_{11-29} , Jo_{9-28} och är således huvudsakligen diopsid, se figur 34 och 35. De pyroxener med störst inslag av hedenbergitmolekylen (Fe-ändledet) i Garpenbergsgruvan är alla från ett finkornigt Al-skarn i liggssidan till Kanalmalmen. Exkluderas dessa analyser från datasettet blir sammansättningen för pyroxen i Garpenbergsgruvan Di_{61-94} , Hd_{5-31} , Jo_{4-8} och således är alla påträffade pyroxener i malmlägen diopsid.

Zonering

Variationer i pyroxenernas sammansättning inom en och samma malmzon har bara påträffats i Kanalmalmen. Variationen i pyroxenens sammansättning är där från aktinolit-diopsidskarnet i malmzonens mitt till epidot-diopsidskarnet nära omvandlingsbergarten på hängvägssidan, Di_{82} , Hd_{12} , $Jo_5 \rightarrow Di_{64}$, Hd_{28} , Jo_7 . En ökning av fram för allt hedenbergitmolekylen sker alltså mot omvandlingsbergarten på bekostnad av diopsidmolekylen. I övriga undersökta områden har inte några tydliga zoneringsmönster hittats i pyroxensammansättningarna inom en och samma malmzon. Mellan malmzonerna finns dock skillnader. I Garpenbergsgruvan är Kanalmalmen rikare på hedenbergitmolekylen än Strandmalmen och i Garpenberg Norra är F-malmen rikare på hedenbergitmolekylen än E-malmen. Garpenberg Norras pyroxener är också som helhet rikare på johannsenitmolekylen än Garpenbergsgruvan. Mönstret med Fe-rikare pyroxener i malmer som förekommer vid karbonatstenslagrets kontakt med den överliggande omvandlade vulkaniten i Garpenberg Norra och Lappberget har tidigare rapporterats av Jansson (2011). Denna undersökning bekräftar den bilden och visar att detta mönster även finns i Garpenbergsgruvan där skarnpyroxen från Kanalmalmen är rikare på Fe än motsvarande i Strandmalmen.

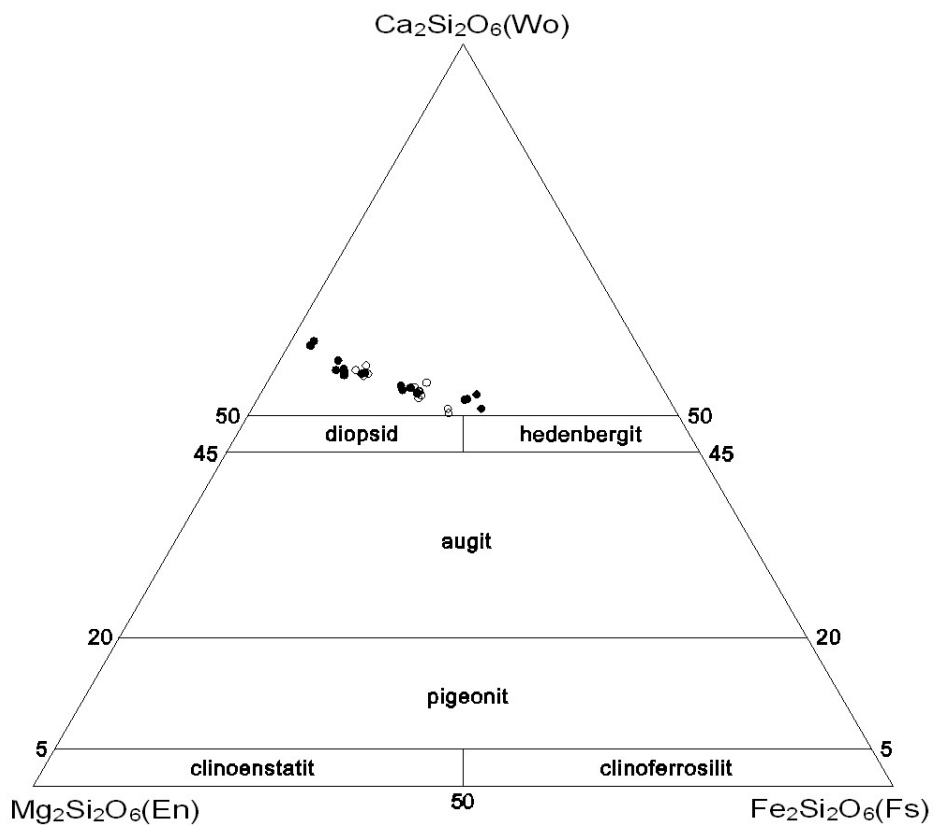
Pyroxen som sen sprickfyllnad

Avvikelse från ovanstående resultat finns från Garpenbergsgruvan (GSH625E). Pyroxen i detta prov har gett endast ca 1 mol % johannsenit och 5 mol % hedenbergit. Detta prov utgörs av stora aktinolitkristaller som i tunnslip visat sig innehålla tunna sprickfyllnader med kalcit, anhydrit och

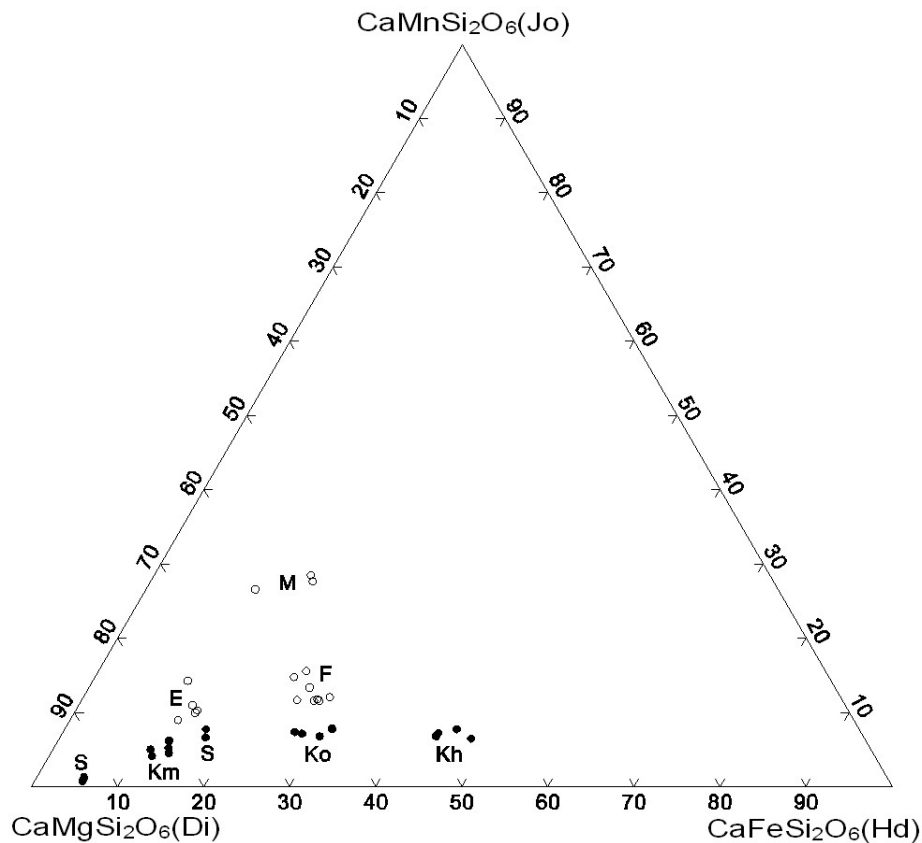
sulfider. Den analyserade avvikande pyroxenen sitter som en tunn bård längs med kontakten till aktinoliten i sprickfyllnaden.

Pyroxen med Zn

En betydande Zn-halt, 2,49 atom %, har konstaterats i ett pyroxenprov (GNV9) från malmupplaget ovan jord vid Garpenberg Norra. Halten motsvarar 10 mol % av petedunnit-molekylen ($\text{CaZnSi}_2\text{O}_6$). Denna pyroxen innehåller förutom höga Zn-halter även höga Mn-halter (Jo_{27}). I denna avvikande paragenes har även påträffats Zn-rik aktinolit, ljusgult zinkblände och willemit. Ytterligare en Zn-analys på en Mn-rik pyroxen har utförts och utan att detekterbara halter av Zn har kunnat påträffas. Detta visar att alla Mn-rika pyroxener inte är Zn-rika.



Figur 34. Ternärt diagram visande sammansättningsvariationer för Ca-Mg-Fe klinopyroxener i Garpenbergsgruvan och Garpenberg Norra, efter Morimoto et al. (1988). Ändleden är enstatit (En), ferrosilit (Fs) och wollastonit (Wo). Fyllda ringar = pyroxener från Garpenbergsgruvan. Ofyllda ringar = pyroxener från Garpenberg Norra. Ett systematiskt analysfel är den troliga orsaken till att punkterna plottar något ovanför diopsid- och hedenbergitfälten.



Figur 35. Ternärt diagram visande molekylproportioner av diopsid (Di), hedenbergit (Hd) och johannsenit (Jo) i analyserade prover från Garpenberg och Garpenberg Norra. Fyllda ringar = Garpenbergsgruvan, Ofyllda ringar = Garpenberg Norra. Beteckningar Garpenbergsgruvan: S = Strandmalmen; Km = Kanalmalmen amfibolskarn i malmzonens mitt; Ko = Kanalmalmen skarn i kontakt med omvandlingsbergarten; Kh = Kanalmalmen Al-skarn på liggisidan till malmzonen; Beteckningar Garpenberg Norra: E = E-malmen; F = F-malmen; M = Malmupplag ovan jord.

5.4.3 Granat

Mineralkemiska analyser har utförts på 18 granatprover från Garpenbergsgruvan och Garpenberg Norra. Det analyserade provmaterialet utgörs i Garpenberg Norra av granat som uppträder i den malmförande skarnzonen. I Garpenbergsgruvan har skarngranat ej påträffats i den malmförande zonen och de fyra analyserade granaterna härifrån utgörs av granat som uppträder som porfyroblaster i omvandlad vulkanit från ligger till Strandmalmen och av granat i Al-skarn påträffad i ligger till Kanalmalmen. Egentligt granatskarn där granat förekommer som dominerande mineral har bara påträffats i Garpenberg Norra och förekommer där huvudsakligen som tunna zoner i skarn/vulkanitövergången. I Garpenberg Norra i övrigt uppträder granat mest som sporadiska korn utspridda i pyroxendominerat skarn.

Klassificering

Alla analyserade granater i Garpenberg Norra är klassificerade som spessartin med ställvis högt innehåll av grossularmolekylen men lågt innehåll av almandin, andradit och pyrop (Sp_{45-89} , Gr_{5-44} , Al_{2-16} , Ad_{0-9} , Py_{0-3}). De två analyserade granaterna i Al-skarn från Kanalmalmen i Garpenbergsgruvan är grossulargranater med stort innehåll av spessartin, almandin och andradit men utan mätbart innehåll av pyrop (Gr_{32} , Sp_{29} , Al_{21} , Ad_{18} , Py_0). De två analyserade granaterna i kvarts-biotit-kloritrik omvandlad vulkanit från Strandmalmen är almandingranater (Al_{64} , Sp_{16} , Py_{13} , Gr_7 , Ad_0) och skiljer sig markant kemiskt från skarngranaterna. Det analysfel som tidigare omnämnts gör att stor osäkerhet finns i en så komplex mineralgrupp som granat. Vid den normalisering till O=12 som har utförts för att beräkna ändleden har molekylen andradit i flera fall blivit negativ, vilket inte är möjligt.

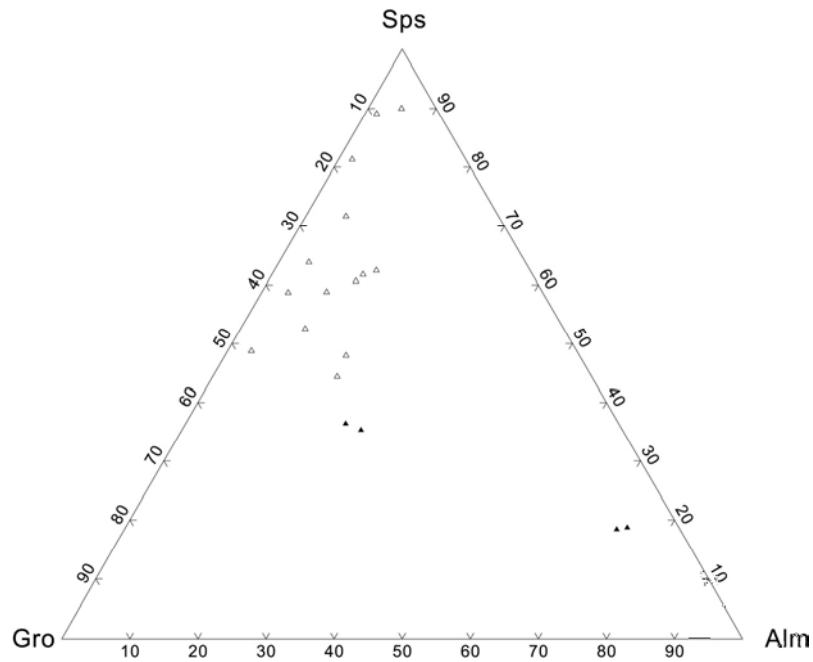
Zonering

I Garpenberg Norra förekommer en viss zonering i granatens sammansättning från Sp_{40-56} vid skarn/vulkanitkontakten till Sp_{54-66} i centrala malmzonens pyroxenskarn till Sp_{81-89} i rodonitskarn/alabanditförande karbonatsten. Vid en jämförelse mellan granaterna i Garpenberg Norras malmförande skarn och granaterna i Al-skarn vid Kanalmalmen framgår också tydligt att Garpenberg Norras granater är betydligt Mn-rikare.

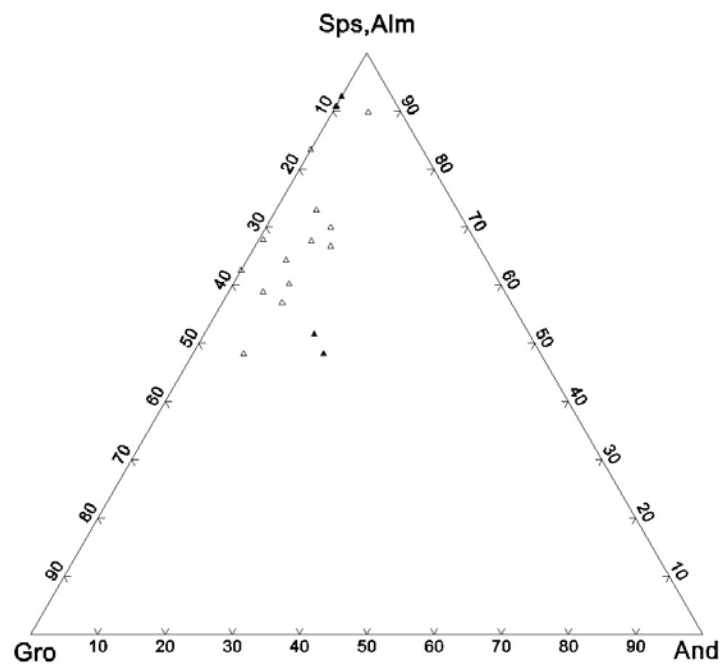
Färg

Granatmineralens kemi avspeglar sig även i dess färger. Spessartin från Garpenberg Norra är rödorange till gulorange. Almandin i den omvandlade vulkaniten från Strandmalmen är lilaröd.

I bilaga 2 redovisas elementhalter i atom % för utförda granatanalyser. Redovisat finns även katjonhalter normaliserade till O = 12. Det systematiska analysfel som konstaterats förekomma i analysdata innebär att normalisering till 12 O per 8 katjoner inte fungerar vid beräkning av mängden Fe^{3+} . Istället har Fe^{3+} beräknats ur formeln $(Fe^{2+} + Mg^{2+} + Mn^{2+} + Ca^{2+}) = ((Fe^{3+} + Al^{3+}) * 1,5)$ vilket bedömts ge mer korrekta värden.



Figur 36. Ternärt diagram visande kemiska variationer inom mineralgruppen granat från Garpenberg och Garpenberg Norra. Fyllda trianglar = prov från Kanalmalmen i Garpenbergsgruvan. Ofyllda trianglar = prov från Garpenberg Norra. Gro = grossular, Sps = spessartin och Alm = almandin.



Figur 37. Ternärt diagram visande kemiska variationer inom mineralgruppen granat från Garpenberg och Garpenberg Norra. Fyllda trianglar = prov från Kanalmalmen i Garpenbergsgruvan. Ofyllda trianglar = prov från Garpenberg Norra. Gro = grossular, Sps = spessartin, Alm = almandin och And = andradit.

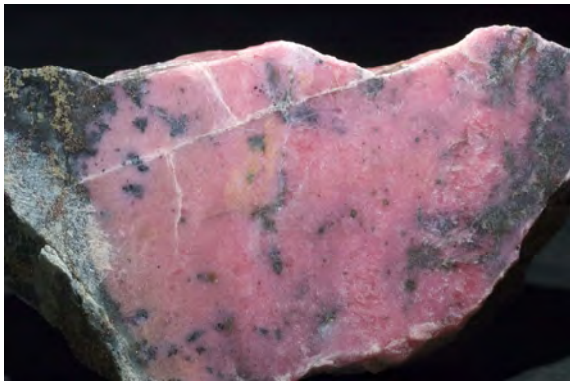
5.4.4 Mn-mineral

Mn-skarn och Mn-mineral har vid undersökningen bara påträffats i Garpenberg Norra. Där har tre olika parageneser med Mn-mineral kunnat urskiljas, vilka är: Mn-mineral i skarn, Mn-mineral som sena sprickfyllnader i skarn och Mn-mineral i karbonatsten.

Mn-mineral i skarn

Underlag för denna paragenes är de stuffer som samlats in från en malmhög vid Garpenberg Norra. Läget varifrån de kommer i gruvan är därmed oklart.

Paragenesen utgörs av röd-rosenröd och oftast ganska finkornig rodonit som uppträder som oregelbundna massor i amfibol- och pyroxenskarn. Mineralisering i form av magnetkis, svavelkis, blyglans och mörkt zinkblände som impregnationer och sprickfyllnad är vanligt förekommande. Sporadiskt förekommer även impregnation av Mn-sulfiden alabandit. Paragenesen förefaller ganska tidigt bildad i och med att rodonit är intimt blandad med amfibol- och pyroxenskarn.



Figur 38. Massivt rodonitskarn med impregnation av magnetkis och blyglans samt spår av alabandit. Oregelbunden kontakt till amfibolskarn på vänstra sidan. Malmhögen vid Garpenberg Norra (prov GNV2). Bildbredd 7 cm.

Mn-mineral som sprickfyllnader i skarn

Materialet till även denna paragenes föreligger endast i form av stuffer som insamlats från ett malmupplag vid Garpenberg Norra.

Karaktäristiskt för paragenesen är rodonit som tydliga sprickfyllnader i amfibol- och pyroxenskarn. Sprickorna är upp till 3-4 cm breda och innehåller tydligt spaltande massor av rodonit med upp till 5-10 mm kornstorlek. Rodoniten i denna paragenes är därmed betydligt grovkornigare än i föregående paragenes. Tillsammans med rodonit i sprickfyllnaderna finns Mn-rik aktinolit, kalcit och ljusgult

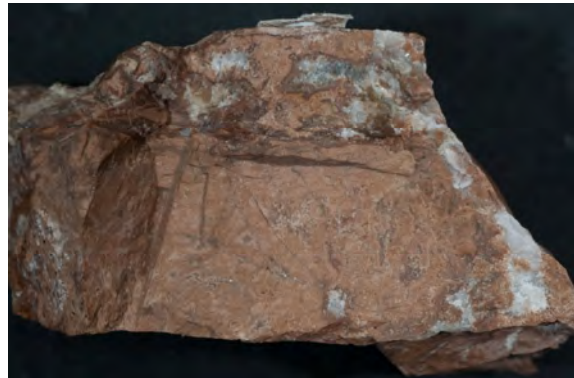
nästan järnfritt zinkblände. I prov GNV12 har även willemitt identifierats som små vita och grönfluorescerande massor i både sprickfyllnader och omgivande massivt skarn. Genetiskt är sprickfyllnaderna av samma typ som de i pyroxenskarn och granatskarn i F-malmen, vilka är orienterade i rät vinkel mot foliationen i bergarterna. En antydning till foliation i amfibolskarnet omgivandes de rodonitförande sprickfyllnaderna kan även anas och förefaller även i detta fall vara ungefär vinkelrät mot sprickplanen. Zn-innehållet i skarnmineralen har även i några fall analyserats. Aktinolit och diopsid i skarnet som omger sprickorna har gett halterna 4,2-4,7 atom % Zn i aktinolit och 2,5 atom % Zn i diopsid. Rodonit i sprickfyllnader har gett 4,0-4,4 atom % Zn.

I material från ett malmupplag vid Garpenberg Norra har prover med ett ljust chokladbrunt och finkornigt mineral påträffats som visat sig vara bementit ($\text{Mn}_8\text{Si}_6\text{O}_{15}(\text{OH})_{10}$). Inga omgivande bergarter finns varför mineralets förekomstssätt är oklart. Karaktären på materialet indikerar ändå att det är någon form av sen utfyllnad i en förkastning. Att mineralet är bementit har även verifierats med XRD utförd av Dan Holtstam på Naturhistoriska riksmuseet i Stockholm.

A



B



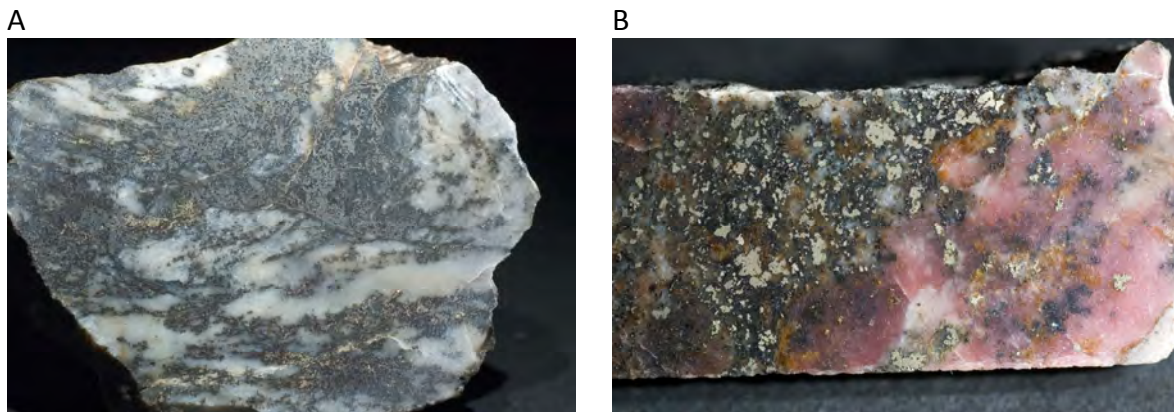
Figur 39. **A.** Sen sprickfyllnad i aktinolitskarn av grovkristallin rodonit, Mn-rik aktinolit, kalcit och gult Fe-fattigt zinkblände. I paragenesen finns även willemitt. Malmupplag vid Garpenberg Norra (prov GNV9). Bildbredd 7 cm. **B.** Brun bementit och vit kalcit. Malmupplaget vid Garpenberg Norra (prov GNV11). Bildbredd 6 cm.

Mn-mineral i dolomit

Mn-mineral i dolomit har påträffats i kärnborrhål 644 mellan 97 och 114 m längd samt i ortväggen på 811 m nivå i E-malmen. Kärnborrhål 644 är borrarat horisontellt på 670 m nivå och träffar den Mn-mineralförande dolomiten i området mellan E- och F-malmen. De mineral som påträffats här är finkorniga blandningar av manganocummingtonit, röd pyroxmangit, Fe- och Mn-rikt zinkblände, Mn-karbonat, gul spessartin, magnetkis och ställvis rikligt med svart alabandit. Alabandit och magnetkis förekommer även som ett fint förgrenat nätverk direkt i dolomiten. Spår av magnetit förekommer

och analyser visar att magnetiten är Mn-rik (8-8,8 atom % Mn). Verifiering av mineralet pyroxmangit har även utförts med XRD av Dan Holtstam på Naturhistoriska riksmuseet.

Vid underjordsbesöken var det bara på 811 m nivå i E-malmen som Mn-skarn kunde lokaliseras i fast berg. Här påträffades rikligt med sulfidförande Mn-skarngångar i vit finkornig dolomit i en brytningsfront. Gångarna bildar ett rikt förgrenat nätverk (breccia) i dolomit och enskilda gångar är från knappa 1 cm till någon decimeter breda, se figur 27, bild A och B. Skarn-sulfidgångarna utgörs till ca 50 % av en finkornig blandning av Mn-silikater som med hjälp av EDS tolkats vara manganocummingtonit, tefroit och rodonit. Resterande ca 50 % av gångmassan utgörs av sulfider, huvudsakligen mörkbrunt zinkblände men även blyglans, magnetkis och svavelkis. I tunnslip kan ses att i gångarna finns inneslutna kristaller av manganocummingtonit i zinkblände. Längs kontakten mellan manganocummingtonit och zinkblände finns en tunn bård av tefroit.



Figur 40. **A.** Nätverk av svart alabandit, tillsammans med magnetkis i dolomitmarmor. Prov från malmupplag vid Garpenberg Norra. Bildbredd ca 12 cm. **B.** Rosenröd pyroxmangit tillsammans med svavelkis, alabandit, manganocummingtonit, spessartin och Mn-karbonat. Borrkärna 644, 113,8 m mellan E- och F-malmen vid ca 670 m nivå. Bildbredd 3 cm.

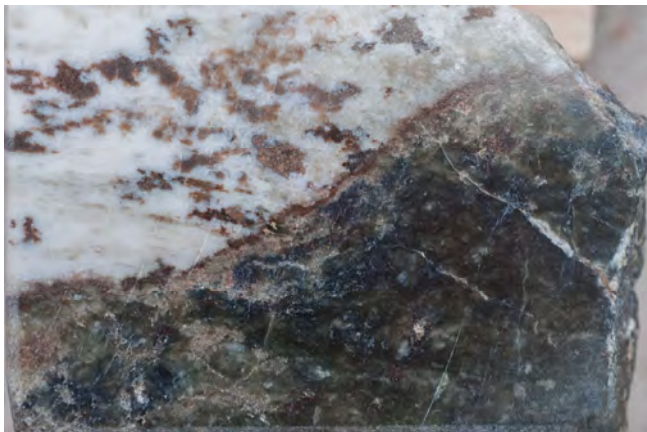
5.4.5 Övriga skarnmineral

Epidot förekommer i Kanalmalmen, Garpenbergsgruvan. Epidot bildar där lokalt massiva skarnpartier med typisk gulgrön färg. Den är knuten till kontaktzonen mellan omvandlingsbergarten i hängen och den intilliggande malmförande skarnzonen. Mindre mängder av finkornig epidot finns även inblandad i Al-rikt skarn på liggsidan av Kanalmalmen och i granatskarn i E-malmen, Garpenberg Norra. Kemiskt håller analyserade epidoter 17-29 mol % av komponenten $\text{Ca}_2\text{Fe}_3\text{Si}_3\text{O}_{12}(\text{OH})$. Innehållet av det Mn-rika ändledet uppgår till ca 1-2 mol %.

Forsterit och serpentin har påträffats i ett prov från malmupplaget vid Garpenberg Norra. Forsterit uppträder där som spridda korn i dolomit utanför det massiva skarnet. Forsterit är delvis omvandlad till ett brunt serpentinliknande mineral. En millimeterbred rand av serpentin finns även längs kontakten mellan massivt tremolitskarn och dolomit och visar att forsterit eventuellt även bildats längs kontakten men nu är omvandlad. Detta indikerar att forsterit bildades efter tremolitskarnet och att en peak i metamorfosen skedde efter amfibolskarnbildningen. Kemiskt innehåller forsterit 4 mol % av fayalit och 10 mol % av tefroit.

Talk är vanligt förekommande i talkskarn från Strandmalmen i Garpenbergsgruvan. Mindre mängder har även påträffats i Kanalmalmen och i E-malmen. Talk uppträder som vita bladiga massor med stark foliation. Vid de platser där talkskarn påträffats uppträder det vid kontaktzonen mellan omvandlingsbergarten och det malmförande skarnet. Tre analyser från Strandmalmen visar att innehållet av det Fe-rika ändledet är 7 mol %.

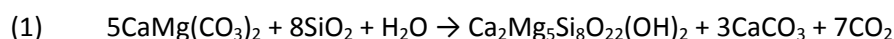
Titanit som små bruna kristaller är påträffade på liggsidan av Kanalmalmen i Al-rikt skarn och i E-malmen Garpenberg Norra i kontaktzonen mellan granatskarn och omvandlingsbergarten. I provet från E-malmen är titanit tydligt anrikad. Något hundratal kristaller med storlek mindre än 0,5 mm går att urskilja i en polerad handstuff. Detta antyder att titan inte varit helt immobilt vid skarn/malmbildningen.



Figur 41. Kontakt mellan tremolitskarn och dolomit. Sulfider, främst blyglans, förekommer oregelbundet i tremolitskarnet. I dolomit finns partier med forsterit, delvis retrogradomvandlad till brun serpentin. En tunn rand av serpentin finns även längs kontakten mellan tremolitskarn och dolomit. Forsterit och serpentin saknas i tremolitskarnet och indikerar att forsterit bildades efter tremolitskarnet. Prov GNV1 från malmupplag vid Garpenberg Norra. Bildbredd 8 cm.

5.5 Massbalansberäkning

I stycket om mineralogi och mineral kemi i amfibol konstaterades att skillnader föreligger mellan förhållandet mellan Fe/Mn i amfibolskarn och Fe/Mn i intilliggande dolomit. För att bättre försöka förstå orsakerna till detta och kvantifiera de skillnader som finns har ett försök till massbalansberäkning utförts. I en miljö med tremolit-aktinolit och dolomit är det troligt att tremolit-aktinolit har bildats när dolomit reagerat med kvarts enligt formel nedan (Skippen 1974). Andra alternativ till reaktioner är möjliga.



Anpassas förhållandena till verkligheten ersätts Mg till viss del av Mn och Fe i både dolomit och tremolit-aktinolit. Vid beräkning har normalisering gjorts med avseende på Ca och med 5 mol $\text{Ca}_{(\text{dolomit})} = 2 \text{ mol Ca}_{(\text{tremolit})}$ enligt reaktionsformel (1). I tabell 2 ges ett exempel på hur beräkning utförts, i detta fall från Strandmalmen och med data från tremolitskarngångar i dolomit. I tabell 3 ges data från ytterligare platser i Garpenbergsgruvan och Garpenberg Norra samt medelvärde från alla platser. Medelvärdet indikerar att 75 % Fe tillförts och 68 % Mn avgått vid reaktionen. Enligt reaktionsformel ovan har även 60 % Ca avgått. Mg har avgått med 20 %. Resultatet visar att metasomatos varit inblandad vid skarnbildningen. Osäkerheter i resultatet finns dock i och med de analystekniska problem som tidigare behandlats.

Tabell 2. Massbalansberäkning för bildning av tremolit-aktinolit ur dolomit och kvarts. Exemplet utfört med sammansättningen för tremolit och dolomit i proverna S1 och S2 från Strandmalmen, Garpenbergsgruvan. Amfibolen innehåller förutom nedanstående element även < 1 atom % Al och K vilka är utelämnade i tabellen. Data har normaliserats till 5 mol $\text{Ca}_{(\text{dolomit})} = 2 \text{ mol Ca}_{(\text{tremolit})}$.

Element	Dolomit (S1) N = 3 mol	tremolit (S2) N = 6 mol	Tillfört (+) bortfört (-) mol	Förändring %
Si	-	7,741	+ 7.741	+ 100
Mg	4.182	3.260	- 0.922	- 22
Ca	5.000	2.000	- 3.000	- 60
Mn	0.375	0.103	- 0.272	- 73
Fe	0.134	0.185	+ 0.051	+ 38

Tabell 3. Sammanställning av resultat från massbalansberäkningar vid amfibolbildning ur dolomit och kvarts. Värdena avser förändringar i mol samt procentuell förändring enligt formel (1) och exempel i tabell 2.

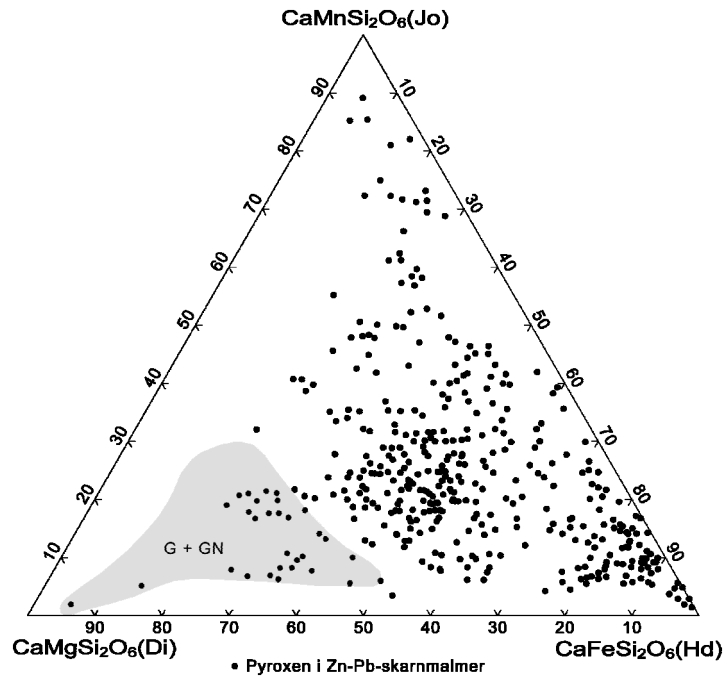
Prover	Si mol	Mg mol	Mg %	Mn mol	Mn %	Fe mol	Fe %
<u>Strandmalmen</u>							
Dol (S1) Tre (S2)	+ 7.741	- 0.922	- 22	- 0.272	- 73	+ 0.051	+ 38
<u>Kanalmalmen</u>							
Dol, Tre (K1)	+ 7.623	- 0.723	- 19	- 0.298	- 80	- 0.015	- 6
Dol (K1) Akt (K5)	+ 7.604	- 0.928	- 24	- 0.241	- 65	+ 0.285	+ 109
Dol (K1) Akt (K2)	+ 7.519	- 0.917	- 23	- 0.259	- 70	+ 0.222	+ 85
Dol, Tre (GK515C)	+ 7.926	- 0.500	- 13	- 0.296	- 76	+ 0.025	+ 13
Dol (GK515C)	+ 7.801	- 0.762	- 20	- 0.285	- 73	+ 0.353	+ 180
Akt (GK515D)							
<u>E-malmen</u>							
Dol, Tre (GNE538H)	+ 8.048	- 0.635	- 16	- 0.253	- 50	+ 0.012	+ 21
Dol (GNE538H)	+ 7.697	- 0.855	- 22	- 0.293	- 58	+ 0.091	+ 163
Tre (GNE538F1)							
Medelvärde	+7,74	-0,78	-20	-0,27	-68	+0,13	+75

5.6 Jämförelse med Zn-Pb-skarnmalmer

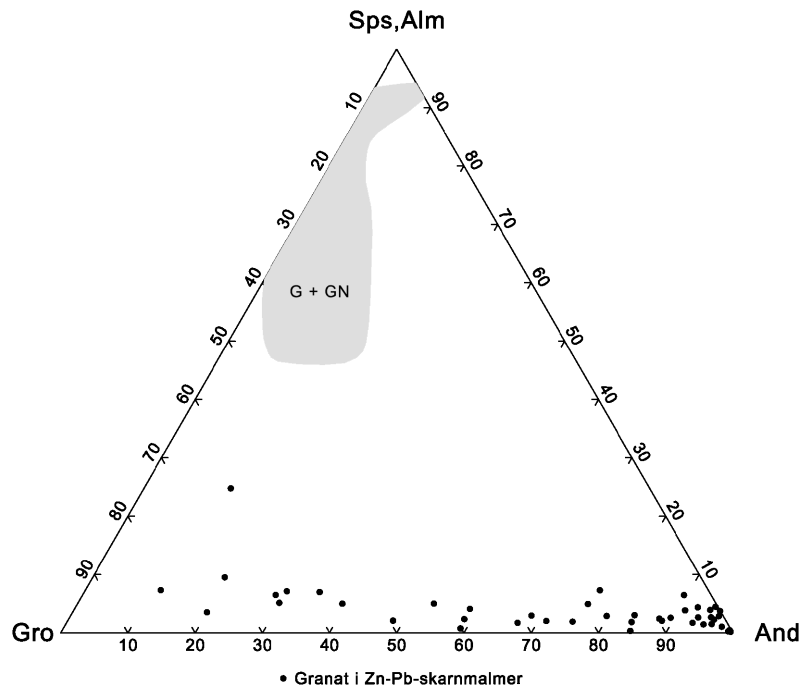
Mineralkemiska undersökningar av skarnmineral i Zn-Pb-skarnmalmer bildade genom metasomatisk infiltration i calcitkalksten har utförts vid ett flertal platser i världen. Fram för allt har sammansättningen av pyroxen och granat ingående studerats. En sammanställning av mineralkemiska data från Einaudi et al. (1981), Einaudi & Burt (1982) och Meinert (1987) visar att sammansättningen av pyroxen är mycket varierande i Zn-Pb-skarnmalmer men att hedenbergit dominerar (figur 42). Sammansättningen av granat i Zn-Pb-skarnmalmer varierar från nästan ren andradit till andradit-grossulargranat med varierande blandningsförhållande samt genomgående lågt innehåll av almandin- och spessartingranat (figur 43).

Vid jämförelse av mineralkemiska data för pyroxen framgår att pyroxen med de sammansättningar som påträffats i Garpenberg även är påträffade i Zn-Pb-skarnmalmer. I medeltal är dock pyroxener i Garpenberg betydligt Fe-fattigare och Mg-rikare än dito i Zn-Pb-skarnmalmer och de utpräglade hedenbergiter som är vanliga i Zn-Pb-skarnmalmer saknas helt i Garpenberg. Vid jämförelse mellan mineralkemiska data för granat framgår att granat med de sammansättningar som påträffats i Garpenberg och Garpenberg Norra inte är påträffade i Zn-Pb-skarnmalmer. Granat i Garpenberg har högre innehåll av Mn och Al samt lägre innehåll av Fe än i granat från Zn-Pb-skarnmalmer. En skillnad

i oxidationsnivå förekommer därmed också då Fe-innehållet i här analyserade granater från Garpenberg huvudsakligen ingår som Fe^{2+} i almandinmolekylen till skillnad från Fe i Zn-Pb-skarnmalms granater som nästan uteslutande ingår som Fe^{3+} i andraditmolekylen.



Figur 42. Ternärt diagram i systemet diopsid-hedenbergit-johannsenit. Svarta prickar = Zn-Pb-skarnmalmer från Einaudi och Burt (1982). Grått fält = Garpenberg och Garpenberg Norra.



Figur 43. Ternärt diagram i systemet grossular-spessartin + almandin och andradit. Svarta prickar = Zn-Pb-skarnmalmer från Einaudi och Burt (1982). Grått fält = Garpenberg och Garpenberg Norra.

6 Diskussion

6.1 Skarnbildning

Flera olika alternativ för när och hur skarnen bildats i Garpenberg har föreslagits. Den rådande hypotesen är att skarnen bildades i samband med den regionala metamorfosen genom metamorfos av en blandning av karbonatsten, vulkaniskt material och malmrelaterade avsättningar (Vivallo 1984, Allen et al. 2003). Komplexiteten vid bildningen och diskussioner om genesen har vidare behandlats av Jansson (2011) där protolitens sammansättning, möjligheterna till skarnbildning genom diffusion och infiltration samt det faktum att vissa skarn är deformerade och därmed ganska tidigt bildade, tagits upp.

6.1.1 Alternativ 1, skarnbildning genom metamorfos under isokemiska förhållanden

Ett alternativ för skarnbildning är genom isokemisk metamorfos av en blandning av karbonatsten och Si-Al-rika bergartskomponenter. Definitionen för isokemisk metamorfos är att bergartens sammansättning inte förändras under metamorfosen och endast H₂O och CO₂ får tillkomma eller avgå. Undersökningar som nu gjorts visar att massiva, närmast monomineraliska tremolitskarn är vanligt förekommande. Enligt formeln för bildning av tremolit från dolomit och kvarts framgår att betydande mängder kalcit bildas vid reaktionen. I många av de observerade tremolitskarnen finns endast obetydliga mängder kalcit och indikerar att borttransport av Ca och CO₂ har skett. De stora skarnmassor med tremolit-aktinolit och diopsid som förekommer i gruvorna är dessutom fattiga på Al- och Ti-mineral vilket visar att de blivit bildade i en ganska ren karbonatsten. Att en ideal blandning av SiO₂ och karbonatsten förelegat innan bildningen är osannolik vilket medför att transport av SiO₂ om än bara några meter måste ha skett för att bilda skarnen. Bägge dessa förhållanden visar att skarnen inte är resultatet av isokemisk metamorfos.

6.1.2 Alternativ 2, skarnbildning genom metasomatos

Vid metasomatiska processer har komponenter, H₂O och CO₂ ej inräknade, tillförts och eller avgått under metamorfosen. Två alternativ för metasomatos finns, genom diffusion och genom infiltration (Korzhinskii 1970). Det första alternativet, genom diffusion, har ansetts ineffektiv vid transport av element längre sträckor än 10 cm (ex. Ferry & Gerdes 1998). Skarnzonerna i Garpenberg är ofta flera meter breda och gångar finns dessutom ut i omgivande dolomit, varför metasomatisk diffusion förefaller mindre trolig. Kvarvarande alternativ är skarnbildning genom infiltration där lösningar innehållande SiO₂ med flera element tillförts utifrån, reagerat med karbonatstenen under skarnbildning och därefter transporterat bort element som Ca. Denna modell med metasomatisk infiltration överensstämmer bäst med de observationer som gjorts i detta arbete.

6.1.3 Källa till metasomatiska lösningar

Källa till de metasomatiska lösningar som bör ha gett upphov till skarnen kan som redan Geijer (1917) föreslår vara de malmlösningar som skapade själva malmen. Ett annat alternativ är att lösningarna har metamorft ursprung och är bildade under regional metamorfos genom dehydrering av fyllsilikater, amfibol m.fl. mineral innehållande vatten. Vid metamorfos frigörs stora mängder H₂O som kan transportera SiO₂ och andra element (Ferry & Gerdes 1998, Pitcairn 2006). För detta talar det faktum att skarn utan mineralisering finns på många ställen både i och utanför gruvan. De skarngångar åtföljda av sulfider som genomkorsar dolomiten på flera ställen i både Garpenberg och Garpenberg Norra kan å andra sidan tyda på ett samband mellan skarnbildning och malmbildning. Som förklaring till detta har Allen et al. (2003) föreslagit att nätverk med sulfider och SiO₂ bildats i dolomiten vid malmbildningen och vid senare tillfälle metamorfoserats under bildning av skarn, vilket inte kan uteslutas vara möjligt.

6.1.4 Deformation och metamorfos

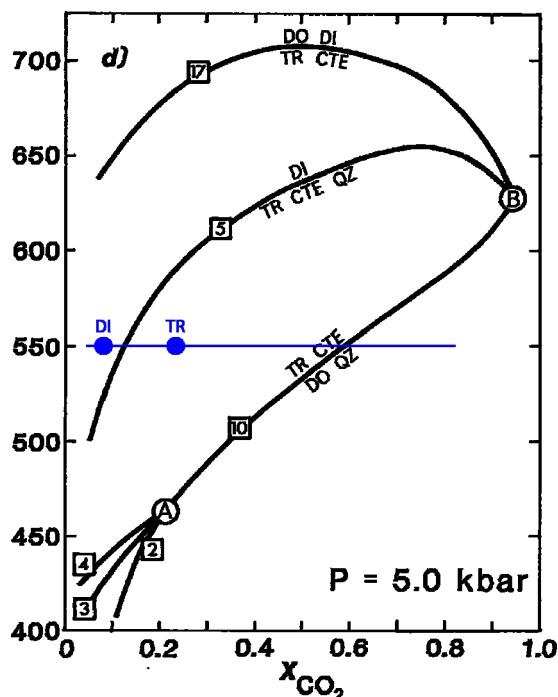
Tidpunkten när skarnet bildades är oklar. Som tidigare konstaterats och som även framkommit i detta arbete är skarnen på många ställen deformerade och har en foliation som troligen är bildad under D2-deformationen (Jansson 2011). Tensionssprickor strukturellt kontrollerade av D2-foliationen är påträffade på flera ställen. I exempelvis Strandmalmen har i denna typ av tensionssprickor påträffats nybildad diopsid som sprickfyllnader i amfibolskarn. Detta kan indikera att en mera höggradig metamorfos förelegat när tensionssprickorna bildades än när skarnet bildades. Även förekomsten av forsterit i dolomit men inte i intilliggande amfibolskarn i prov GNV1 från Garpenberg Norra indikerar metamorfos efter tillkomsten av skarnen. Om detta skett under peakfasen av regionalmetamorfosen eller under en senare kontaktmetamorf händelse är dock oklart.

6.1.5 Zonering

Den skarazonering som påträffats med diopsidskarn → tremolitskarn → dolomit erbjuder viss eftertanke och antyder att en kemisk gradient funnits vid bildningen. Om kemiska förhållanden varit lika i skarazonen borde bara tremolit eller bara diopsid bildats. En förklaring till detta mönster kan vara att under bildandet har partialtrycket av CO₂ varit olika vid olika lägen i skarazonen. I karbonatstenen kan partialtrycket för CO₂ förväntas vara högt i och med att CO₂ finns tillgängligt i karbonatstenen. På samma sätt kan partialtrycket för CO₂ förväntas vara lägre i omgivande bergarter på grund av avsaknaden av karbonatmineral. Kemisk reaktionsformel för bildande av diopsid ur tremolit är $1 \text{ tremolit} + 3 \text{ kalcit} + 2 \text{ kvarts} \rightarrow 5 \text{ diopsid} + 1 \text{ H}_2\text{O} + 3 \text{ CO}_2$. Ett högt partialtryck för CO₂ gynnar bildandet av tremolit och gör att tremolit kan förväntas uppträda närmst karbonatstenen. En jämförelse i ett temperatur – XCO₂ diagram, figur 44, vid de ungefärliga temperatur och

tryckförhållanden som bedömts existera under regionalmetamorfosen (Vivallo 1984a) visar att både tremolit och diopsid kan vara stabila vid samma temperatur och tryck om partialtrycket för CO₂ tillåts variera. Detta alternativ för skarnbildning medför också att bildandet förmodligen skedde i ett relativt stängt system (closed system), med relativt begränsad möjlighet för lösningar att cirkulera. Detta pekar på bildning under regionalmetamorfa förhållanden då skarnbildning i malmsystem sker under mera öppna förhållanden med låga partialtryck för koldioxid (ex. Williams-Jones et al. 2010). Alternativa förklaringar kan vara att lösningar med lågt partialtrycket för CO₂ huvudsakligen rörde sig längs skarn/vulkanitkontakten och partialtrycket för CO₂ var lågt vid kontakten mellan skarn/vulkanit men betydligt högre vid skarn/dolomit-kontakten (Meinert et al. 2005). Ytterligare alternativ är att skarnbildning i ett öppet system med bildning av exempelvis bara pyroxenskarn skedde först. Vid senare tillfälle, vid regionalmetamorfosen, reagerar pyroxenskarnet med dolomit längs skarn/dolomitkontakten under bildande av tremolitskarn. Reaktionsformel för detta är enligt Slaughter et al. (1975).

4 diopsid + 1 dolomit + 1 CO₂ + 1 H₂O → 1 tremolit + 3 kalcit (se även figur 44).



Figur 44. Stabilitetsdiagram för dolomitmarmor och kvarts vid 5 kbar tryck samt varierende temperatur och partialtryck för CO₂, efter Slaughter et al. (1975). Om XCO₂ tillåts variera kan både DI = diopsid och TR = tremolit vara stabila samtidigt vid 550° C, vilket är den temperatur som Vivallo (1984a) föreslår för regionalmetamorfosen i Garpenberg.

6.1.6 Massbalansberäkning

Utförd massbalansberäkning är förenklad och inte gjort enligt principen konstant volym som brukar användas vid denna typ av beräkningar (Lentz 2005). Ytterligare felkällor finns i form av avsaknad av totalanalyser av bergarter. Resultatet visar ändå så pass tydligt att halten Mn är för låg och halten Fe är för hög i skarnzonen jämfört med omgivande dolomit att resultatet verkar relevant. Indikationen att Mn har transporterats bort förefaller dessutom märklig. I de exempel som finns från skarnmalmsystem ökar Mn, Fe med flera element kraftigt vid skarnbildning genom metasomatisk infiltration (Lentz 2005). En intressant förklaring till de låga halterna av Mn i skarn från Garpenberg kan vara att skarnet bildades innan karbonatstenen omvandlades till den Mn-rika dolomit den är idag. Dolomitseringen är tolkad att vara samtida med malmbildningen (Allen et al. 2003, Gebeyehu & Vivallo 1991) och indikerar därmed att skarnbildningen kan ha skett samtidigt med malmbildningen och då troligen i ett tidigt skede av malmbildningen innan de malmförande lösningarna Mn-anrikat karbonatstenen. Detta indikerar i så fall att Garpenberg är en riktig Zn-skarnmalm.

6.1.7 Jämförelse mellan skarn i Garpenberg och skarn i Zn-Pb-skarnmalmer

Skarnmineralogin i Zn-Pb-skarnmalmer utgörs vanligtvis av andradit, hedenbergit och Mn-rika pyroxenoider. En zonerings med andradit mera proximalt, följt av pyroxen och slutligen johannsenit mera distalt är vanlig. Karaktäristisk kemi finns för skarnmineralen bildade i Zn-Pb-skarnmalmer. Vid en jämförelse med motsvarande skarnmineral i Garpenberg kan konstateras att ett visst överlapp i kemin för pyroxener finns mellan skarnmalmer och Garpenberg. Tyngdpunkten för sammansättningen i Garpenberg är dock mycket mera mot det Mg-rik ändledet jämfört med skarnmalmer där de Fe- och Mn-rika varianterna dominerar. För granat kan konstateras att inga likheter finns i nu presenterade material jämfört med skarnmalmer. Skarngranaterna i Garpenberg är klart dominerade av spessartin med viss inblandning av grossular. Likheter mellan sammansättningen för granat i skarnmalmer finns dock med den granat som påträffats i en järnrik del av förekomsten vid Lappberget (Jansson 2011).

De förekomster som jämförelsen bygger på är unga skarnmalmer som är bildade när karbonatsten dominerad av kalcit, metasomatiskt omvandlats till skarn. I Garpenberg anses de malmbildande lösningarna ha varit rika på Mg och dolomitbildning av karbonatstenen bedöms ha skett innan eller samtidigt med malmbildningen. Detta medför att jämförelsen med moderna exempel blir svår. Det är naturligt att Mg-rikare skarnmineral bildas om karbonatstensprotoliten är dolomit jämfört med om den är kalcitkalksten.

6.1.8 Modeller för skarnbildning

Med utgångspunkt från de observationer som nu gjorts, de resonemang som förts ovan och med tidigare data framstår två alternativ för skarnbildningen i Garpenberg som möjliga:

(a)

1. Skarnbildning samtidigt med malmbildningen. Lösningar med SiO_2 , Fe, Mn, Mg och malmelement tillförs utifrån och reagerar med karbonatsten under bildning av pyroxen- och eventuellt amfibolskarn samt malm.
2. Regionalmetamorfos av skarn. Eventuell nybildning av granat- och amfibolskarn. Remobilisering av malmmineral.
3. Deformation av skarn under orogenesisen. Foliation och tensionssprickor bildas i skarn. I tensionssprickor kristalliserar diopsid, aktinolit, rodonit, kvarts, kalcit och sulfider. Remobilisering av malmmineral och bildning av kulmalm.
4. Senare fas av deformation lokaliserad till svaghetszoner och under retrograd förhållanden. Talkskarn bildas genom retrograd omvandling av tidigare bildade skarnmineral och eventuellt även från dolomit. Brecciering av skarn sker och sulfider remobiliseras in i sprickor. Kulmalm bildas i deformationszoner genom remobilisering av tidigare avsatta sulfider.

(b)

1. Malmbildning genom avsättning av sulfider i karbonatsten.
2. Skarnbildning under tidigt skede av regionalmetamorfosen genom tillförsel av metamorfa lösningar som reagerar med karbonatsten och malmelement. Amfibol, pyroxen och granatskarn bildas. Remobilisering av sulfider sker.
3. Samma som ovan.
4. Samma som ovan.

6.2 Malm och omvandling

Vivallo (1984) kom till slutsatsen att malmen i Garpenbergsgruvan är bildad genom exhalation på havsbotten och därmed är en VMS-malm (Volcanic Massive Sulphide). Detta har senare omvärderats av Allen et al. (1996) och Allen et al. (2003) som bedömt att avsättningen skett under havsbotten genom ersättning av karbonatsten och genom avsättning i sprickor. I bägge alternativen anses malmen samtida med den proximala vulkaniska aktivitet som pågått i området.

De observationer som gjorts i detta arbete stämmer bäst överens med den av Allen et al. (1996) föreslagna modellen. I en malm av VMS-typ kan förväntas att primära, massiva sulfidlager finns. De rikare sulfidlinser som nu observerats i gruvorna är mera av karaktären kulmalm och ger intryck av

att vara bildade genom remobilisering i samband med deformation och tektonik eller genom ersättning av karbonatsten. Stora mängder sulfider finns dessutom spridd som impregnation och gångar i skarn och karbonatsten. Två malmnivåer finns dessutom, en vid karbonatstenens undre kontakt och en vid karbonatstenens övre kontakt. Kraftig omvandling finns inte bara i liggväggen under karbonatstenen utan också i hängväggen till karbonatstenen. Detta förhållande stämmer ej in på en VMS-malm. Vivallo (1985) antyder dessutom genetiska likheter mellan den omvandlingszon med kvartsgångar innehållande kopparkis och flusspat som förekommer i liggväggen till Garpenbergsgruvan med omvandlingszoner underliggande VMS-malmer. En jämförelse med några VMS-malmer visar att omvandlingstypen och zoneringsmönstret med hög andel Cu och Au i liggväggen stämmer bra med andra VMS-malmer men att omvandlingssystem med kopparkis och flusspat i kvartsgångar inte är karaktäristiskt för VMS-malmer. Istället är det vanligt med breccierande sulfidgångar utan kvarts, i denna del av VMS-systemen (ex Hannington et al. 1999, Hobbs 2003).

Allen et al. (1996) har valt att inte gruppera malmerna i Bergslagen enligt tidigare använda typnamn utan har valt termerna SVALS (stratabound volcanic-associated limestone-skarn ZnPbAgCuAu sulphide) för gruppen som Garpenberg tillhör och SAS (stratiform ash-siltstone hosted ZnPbAg sulphide) för gruppen som har Zinkgruvan som typlokal. Gruppen som benämns SVALS, där Garpenberg ingår, har stora likheter med den malmtyp som i en del litteratur kallas "epithermal polymetallic deposits" även kallad "Cordilleran base metall lodes" (Sawkins 1972, Einaudi 1982). Association till kalkalkalina intrusioner, avsättning under epitermala förhållanden nära den ursprungliga markytan, förekomst av malmer med högt sulfidinnehåll med Cu-Zn-Pb-(Ag-Au-Bi) samt kraftig omvandling (av "advanced argillic"-typen) är karaktäristiskt för denna typ av malmer (Bendezú et al. 2008). Metallzonering från proximal till distal del i följd $Cu \rightarrow Zn-Cu \rightarrow Zn-Pb-Ag \rightarrow Ag-Pb$ är vanlig, med i distala delar även förekomst av höga halter av mangan (Catchpole et al. 2015, Bussell et al. 1990). Sulfidavsättning genom ersättning av karbonatsten är också vanlig i denna malmtyp och har skapat stora sulfidansamlingar med svavelkis-kvarts samt Cu-Zn-Pb-malm vid exempelvis Cerro de Pasco, Peru (Baumgartner et al. 2008). De svavelkis-kvarts-kroppar som beskrivits från Cerro de Pasco förefaller för övrigt ha stora likheter med de av Geijer (1917) kallade "kisstockar" som brutits i Falu koppargruva. Intressant är även att i denna miljö finns ibland riktiga skarnmalmer och eller porfyrokopparmalmer i proximala lägen till intrusionerna. En skillnad mot Garpenberg är dock de ofta högre oxidationsnivåerna på ingående mineral (av "high sulphidation"-typ) i dessa unga malmer, något som kan ha sin förklaring i att syrenivåerna i atmosfären inte var lika hög under tidig Proterozoikum jämfört med idag.

7 Slutsatser

Flera av malmerna i Garpenbergs gruvor utgörs av skarn med sulfidmineral som impregnation, sprickfyllnader och massiva linser. Dessa skarn med associerade sulfider uppträder i kontaktzonen mellan en horisont av karbonatsten och omvandlad vulkanit. Skarn och mineralisering uppträder både längs karbonatstenens undre kontakt (Strandmalmen och E-malmen) och dess övre kontakt (Kanalmalmen och F-malmen).

Skarnzonerna är vanligtvis mellan 1 och 15 m breda och utgörs i Garpenbergsgruvan huvudsakligen av talkskarn och tremolit-aktinolitskarn samt i Garpenberg Norra av tremolit-aktinolitskarn och diopsidskarn. Zonering tvärs skarnzoner har påträffats och i Kanalmalmen, Garpenbergsgruvan är zoneringsmönstret: omvandlingsbergart → magnesiohornblände-epidotskarn → aktinolitskarn med diopsid → tremolitskarn → dolomit. I E- och F-malmen, Garpenberg Norra är zoneringsmönstret: omvandlingsbergart → granatskarn → diopsidskarn → tremolitskarn → dolomit.

Tremolitskarngångar i dolomit förekommer även i vissa områden. En mer storskalig zonering mellan gruvorna förekommer också. Diopsid- och aktinolit-tremolitskarn i Garpenberg Norra innehåller relativt sett mer Mn än motsvarande skarn i Garpenbergsgruvan. Områden med fria Mn-mineral (Mn-skarn) finns även i Garpenberg Norra men har inte påträffats i Garpenbergsgruvan.

Undersökta tremolit-aktinoliter och magnesiohornbländen innehåller 0,44-13 atom % Fe, 0,4-6,2 atom % Mn samt i manganrika delar av Garpenberg Norra även upp till 4,6 atom % Zn.

Skarnamfiboler är klassificerade som tremolit, aktinolit eller magnesiohornblände. Skarnpyroxener har i Garpenbergsgruvan sammansättningen Di_{46-94} , Hd_{5-48} , Jo_{4-8} och i Garpenberg Norra Di_{53-78} , Hd_{11-29} , Jo_{9-28} och är därmed diopsider. Skarngranater har bara i ett fall påträffats i Garpenbergsgruvan och är där grossulargranat med sammansättningen Gr_{32} , Sp_{29} , Al_{21} , Ad_{18} . I Garpenberg Norra är granaterna spessartiner och har sammansättningen Sp_{45-89} , Gr_{5-44} , Al_{2-16} , Ad_{0-9} , Py_{0-3} . I Garpenberg Norra har parageneser med Mn-mineral påträffats. En tidig generation Mn-skarn med huvudsakligen rodonit finns i amfibol- och pyroxenskarn. En tidig generation Mn-mineral i dolomit finns även och innehåller mineralen manganocummingtonit, tefroit, pyroxmangit, alabandit, rodokrosit och Mn-Fe-rikt zinkblände. En sen generation Mn-mineral i tensionssprickor i skarn och förmodligen jämgamla med D2-deformationen har även konstaterats och innehåller grovkristallin rodonit samt Mn-aktinolit, kalcit och gult järnfattigt zinkblände.

Massbalansberäkning indikerar att skarnen kan ha bildats i karbonatsten som haft lägre Mn-innehåll än karbonatstenen har idag. En möjlig tolkning av detta är att skarnen bildades samtidigt med

malmen. Jämförelse mellan skarn i Garpenberg och skarn i unga Zn-skarnmalmer visar dock på stora olikheter.

Gjorda undersökningar indikerar att skarnen bildats genom metasomatisk infiltration, antingen samtidigt med malmbildningen eller i ett tidigt, prograd, skede av den Svekokarelska orogenesen. Metamorfa reaktioner längs skarn/dolomitkontakten kan förväntas ha skett om skarnen bildats tidigt och kan då ha gett upphov till nybildning av tremolitskarn. Skarnen har ställvis en foliation som är relaterad till huvudfasen av deformationen (D2) under den Svekokarelska orogenesen. Tensionssprickor har bildats samtidigt med foliationen och nybildning av skarnmineral har skett i sprickorna. I anslutning till en senare fas av deformation längs rörelsezonerna har talkskarn bildats genom retrograd omvandling av tidigare skarnmineral. Indikationer finns på en metamorf händelse karakteriserad av forsterit i dolomitmarmor som inträffat efter skarnbildningen. Om detta skett i samband med regionalmetamorfosen eller vid senare kontaktmetamorfos är oklart.

8 Tackord

Inledningsvis vill jag tacka Krister Sundblad och Marianne Särkinen (SU) samt Hans Christofferson (Boliden) som gjorde det möjligt att börja detta arbete. På Boliden har även Stina Danielsson, Gerhard Hakkarainen och Erik Lundstam har varit behjälpliga med guidning i gruvorna samt med information. Tack även till mineralsamlaren Björn Karlsson och gruvarbetaren Kurt Lindmark som delat med sig av intressanta prover. Vid prepareringsarbetet har Johan Söderhielm, Claes Mellqvist och Andreas Forsberg varit till stor hjälp och delat med sig av tips och trix i konsten att tillverka tunnslip och polerprov. Vid några fall när endast kemisk data inte räckt till vid mineralbestämningar har hjälp med XRD-körningar vänligen utförts av Dan Holtstam och Jörgen Langhof (Naturhistoriska riksmuseet). Nils Jansson (LTU) har varit vänlig att upplysa om intressant litteratur som finns inom ämnet skarn samt bidragit med korrekturläsning av manuskriptet. Slutligen tack till Alasdair Skelton (SU) och Iain Pitcairn (SU) som gjorde det möjligt att äntligen avsluta detta arbete.

9 Referenser

- Allen, R. L., Lundström, I., Ripa, M., Simeonov, A., Christofferson, H., 1996: Facies analysis of a 1.9 Ga, continental margin, back-arc, felsic caldera province with diverse Zn-Pb-Ag-(Cu-Au) sulphide and Fe oxide deposits, Bergslagen region, Sweden. *Economic Geology* 91, 979-1008.
- Allen, R. L., Bull, S., Ripa, M., Jonsson, R., 2003: Regional stratigraphy, basin evolution, and the setting of stratabound Zn-Pb-Cu-Ag-Au deposits in Bergslagen, Sweden. Final report for SGU-FoU project 03-1203/99, finansierat av SGU och Boliden Mineral AB.
- Baumgartner, R., Fontboté, L., Vennemann, T., 2008: Mineral zoning and geochemistry of epithermal polymetallic Zn-Pb-Ag-Cu-Bi mineralization at Cerro de Pasco, Peru. *Economic Geology* 103, 493-537.
- Bendezú, R., Page, L., Spikings, R., Pecsckay, Z., Fontboté, L., 2008: New ⁴⁰Ar/³⁹Ar alunite ages from the Colquijirca district, Peru: evidence of a long period of magmatic SO₂ degassing during formation of epithermal Au-Ag and Cordilleran polymetallic ores. *Mineralium Deposita* 43, 777-789.
- Bussell, M. A., Alpers, C. N., Petersen, U., Shepherd, T. J., Bermudez, C., Baxter, A. N., 1990: The Ag-Mn-Pb-Zn vein, replacement, and skarn deposits of Uchacchacua, Peru: Studies of structure, mineralogy, metal zoning, Sr isotopes, and fluid inclusions. *Economic Geology* 85, 1348-1383.
- Catchpole, H., Kouzmanov, K., Putlitz, B., Hun Seo, J., Fontboté, L., 2015: Zoned base metal mineralization in a porphyry system: Origin and evolution of mineralizing fluids in the Morococha district, Peru. *Economic Geology* 110, 39-71.
- Einaudi, M. T., Meinert, L. D., Newberry, R. J., 1981: Skarn deposits. *Economic Geology* 75th anniversary volume. 317-391.
- Einaudi, M. T. 1982: Description of skarns associated with porphyry copper plutons, southwestern North America. I Titley, S. R., (ed), *Advances in geology of the porphyry copper deposits, southwestern North America*. University of Arizona Press, Tucson, 139-184.
- Einaudi, M. T., Burt, D. M., 1982: A special issue devoted to skarn deposits, Introduction – terminology, classification, and composition of skarn deposits. *Economic Geology* 77, 745-754.
- Ferry, J. M., Gerdes, M. L., 1998: Chemical reactive fluid flow during metamorphism. *Annual Review of Earth and Planetary Sciences* 26, 255-287.
- Gebeyehu, M., Vivallo, W., 1991: Sulfide ore genesis and related dolomitization of limestone in the Garpenberg district, south central Sweden: Geochemical and C-O isotope evidence. I Pagel, M., Leroy, J., (ed),. *Source, transport and deposition of metals. Proceedings of the 25 years SGA anniversary meeting Nancy / 30 august – 3 september 1991*, 281-283.

- Geijer, P., 1916: Falutraktens berggrund och malmfyndigheter. Sveriges geologiska undersökning C 275, 316 p.
- Goodhew, P. J., Humphreys, F. J., 1988: Electron microscopy and analysis. Taylor & Francis, 232 pp.
- Hannington, M. D., Bleeker, W., Kjarsgaard, I., 1999: Sulfide Mineralogy, Geochemistry, and Ore Genesis of the Kidd Creek Deposit: Part I. North, Central, and South Orebodies, Economic Geology Monograph 10, 163-224.
- Hobbs, J. B. M., 2003: The Cayeli massive sulphide deposit, Europe's Major Base Metal Deposits, Irish Association for Economic Geology, 293-302.
- Holtstam, D., Gatedal, K., Söderberg, K., Norrestam, R., 2001: Rinmanite, $Zn_2Sb_2Mg_2Fe_4O_{14}(OH)_2$, a new mineral species with a nolanite-type structure from the Garpenberg Norra mine, Dalarna, Sweden. The Canadian Mineralogist 39, 1675-1683.
- Holtstam, D., 2002: New occurrences of willemite-franklinite assemblages in Bergslagen, central Sweden. European Journal of Mineralogy 14, 621-626.
- Iain, K. P., Teagle, D. A. H., Craw. D., Olivo. G. R., Kerrich, R., Brewer, T. S., 2006: Sources of Metals and fluids in orogenic gold deposits: Insights from the Otago and Alpine Schists, New Zealand. Economic Geology 101, 1525-1546.
- Jansson, N. F., 2011: The origin of iron ores in Bergslagen, Sweden, and their relationships with polymetallic sulphide ores. (PhD thesis), Luleå tekniska universitet, 73 p.
- Jansson, N. F., Allen, R. L., 2011a: Timing of volcanism, hydrothermal alteration and ore formation at Garpenberg, Bergslagen, Sweden. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 133, 1-16.
- Jansson, N. F., Allen, R. L., 2013: Timing and setting of skarn iron oxide formation at the Smältarmossen calcic iron skarn deposit, Bergslagen, Sweden. Mineralium Deposita 48, 313-339.
- Jansson, N. F., Allen, R. L., 2015: Multistage ore formation at the Ryllshyttan marble and skarn-hosted Zn-Pb-Ag-(Cu) + magnetite deposit, Bergslagen, Sweden. Ore Geology Reviews 69, 217-242.
- Koark, H. J., 1962: Zur alterstellung und entstehung der sulphiderze vom typus Falun. Geologische Rundschau 52, 123-145.
- Korzhinskii, D. S., 1970: Theory of metasomatic zoning. Oxford University Press. 162 p.
- Leake, B. E., Woolley, A. R., Arps, C. E. S., Birch, W. D., Gilbert, J. D., Grice, J. D., 1997: Nomenclature of amphiboles: Report of the subcommittee on amphiboles of the International Mineralogical Association Commission on new minerals and mineral names. Mineralogical Magazine 61, 295-321.
- Lentz, D. R., 2005: Mass-balance analysis of mineralized skarn systems: Implications for replacement processes, carbonate mobility, and permeability evolution. Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge. 421-424.

- Magnusson, N. H., 1925: Persbergs malmtrakt och berggrunden i de centrala delarna av Filipstads bergslag i Värmland. Kungliga Kommerskollegium, 475 p.
- Magnusson, N. H., 1929: Nordmarks malmtrakt. Sveriges geologiska undersökning Ca 13. 98 pp.
- Magnusson, N. H., 1930: Långbans malmtrakt. Sveriges geologiska undersökning Ca 23. 111 pp.
- Magnusson, N. H., 1953: Malmgeologi. Jernkontoret, 439 p.
- Magnusson, N. H., 1973: Malm i Sverige 1, mellersta och södra Sverige. Almqvist & Wiksell, 320 pp.
- Meinert, L. D., 1987: Skarn zonation and fluid evolution in the groundhog mine, central mining district, New Mexico. *Economic Geology* 82. 523-545.
- Meinert, L. D., Dipple, G. M., Nicolescu, S., 2005: World skarn deposits. In: J. W. Hedenquist, J. F. H. Thomson, R. J. Goldfarb och J. P. Richards, Editors, *Economic Geology 100th Anniversary Volume*, Society of Economic Geologists, Littleton, CO 2005: 299-336.
- Morimoto, N., Fabries, J., Ferguson, A. K., Ginzburg, I. V., Ross, M., Seifert, F. A., Zussman, J., Aoki, K., Gottardi, G., 1988: Nomenclature of pyroxenes. *American Mineralogist* 73, 1123-1133.
- Nysten, P., 2003: Yeatmanite and magnussonite from Garpenberg Norra mine, Bergslagen ore province, Sweden. *The Canadian Mineralogist* 41, 201-206.
- Sandecki, J., Amcoff, Ö., 1981: On the occurrence of silver-rich tetrahedrite at Garpenberg Norra, central Sweden. *Neues Jahrbuch für Mineralogie – Abhandlungen* 141, 324-340.
- Sandecki, J., 1982: Metamorphism, deformation textures and silver mineralogy of the ore at Garpenberg Norra, central Sweden. (PhD thesis), Lunds universitet. 59 pp.
- Sandecki, J., 1983: A textural study of pyrite, sphalerite and galena from Garpenberg Norra, south central Sweden. *Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar* 106, 213-222
- Sawkins, F. J., 1972: Sulphide ore deposits in relation to plate tectonics. *Journal of Geology* 80, 377-396.
- Slaughtter, J., Kerrick, D. M., Wall, V. J., 1975: Experimental and thermodynamic study of equilibria in the system CaO-MgO-SiO₂-H₂O-CO₂. *American Journal of science* 275, 143-162.
- Stephens, M. B., Ripa, M., Lundström, I., Persson, L., Bergman, T., Ahl, M., Wahlgren, C. H., Wickström, L., 2009: Synthesis of the bedrock geology in the Bergslagen region, Fennoscandian Shield, south-central Sweden. *Sveriges Geologiska Undersökning Ba* 58, 259 p.
- Tegengren, F. R., 1924: Sveriges ädlare malmer och bergverk. *Sveriges Geologiska Undersökning Ca* 17, 182-190.
- Trommsdorf, V., 1966: Progressive metamorphose kiesliger karbonatgesteine in den zentralalpen zwischen Bernina und Simplon. *Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen* 46, 431-460.

- Trommsdorf, V., 1972: Change in the T-X during metamorphism of siliceous dolomitic rocks of the central Alps. Schweizerische Mineralogische und Petrographische Mitteilungen 52, 567-571.
- Törnebohm, A. E., 1875: Persbergets grufvefält, Sveriges Geologiska Undersökning C 14.
- Vivallo, W., 1984: The origin of the early Proterozoic supracrustal rocks in the Garpenberg district, south central Sweden. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 106, 131-149.
- Vivallo, W., 1984a: The metamorphism of the supracrustal rocks at Garpenberg, south central Sweden. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar 106, 257-267.
- Vivallo, W., 1985: The geology and genesis of the Proterozoic massive sulfide deposit at Garpenberg, central Sweden. Economic Geology 80, 17-32.
- Williams-Jones, A. E., Samson, I. M., Ault, K. M., Gagnon, J. E. och Fryer, B. J., 2010: The genesis of distal zinc skarns: Evidence from the Mochito deposit, Honduras. Economic Geology 105, 1411-1440.
- Wikström, A., 1979: Beskrivning till berggrundskartan Katrineholm SO, Sveriges Geologiska Undersökning Af 123, 101 p
- Zakrzewski, M. A., 1980: Two occurrences of alabandite in Bergslagen, central Sweden – Garpenberg Norra mine and Sättra mine, Doverstorp. Neues Jahrbuch für Mineralogie – Monatshefte 12, 555-560.

10 Bilaga 1. Provmaterialet

Garpenbergsgruvan, Strandmalmen, Liggmalmen nivå 620 m.

Provnr.	Provplats	Beskrivning
S1	ligg	Stuff med vit och finkornig dolomit som innehåller enstaka kärvar av ljust grönaktig tremolit. I dolomiten uppträder tunna sprickfyllnader av blyglans och pyrit. Med SEM-EDS har små mängder av sulfidmineralen dyskrasit, freibergit och gudmundit verifierats i paragenesen.
S2	ligg	Massivt och stråligt amfibolskarn med blekt ljusgrön färg. Amfibolen är tremolit enligt analys. Spår av apatit har även verifierats i provet.
S3	häng	Kraftigt förskiffrat och massivt talkskarn som innehåller enstaka procent pyrit och magnetkis i form av sliror.
S4	häng	Stuff med gröngrå kvarts-biotit-klorit-dominerad omvandlingsbergart som innehåller ca 5 % av ½ cm stora, rödlila granatporfyroblaster. I provet förekommer även mindre mängder magnetit, gahnit, staurolit och sulfidmineral.
S5	gavel	Stuff med massiv sulfidmalm som består av rik magnetkis, kopparkis, blyglans och zinkblände i form av tektoniserade sliror och som innesluter rundade fragment av kvarts-biotitrik omvandlingsbergart.
S6	gavel	Stuff med ljusgrått och kraftigt förskiffrat talkskarn som innehåller sliror av zinkblände, blyglans och magnetkis. I talken finns relikta partier av stråligt tremolitskarn.

Garpenbergsgruvan, Strandmalmen, Liggmalmen nivå 625 m.

Provnr.	Provplats	Beskrivning
GSL625A	gavel	Zinkblände-blyglans-magnetkis-kopparkis-pyrit-rik kulmalm med talrika fragment av biotit, klorit och kvarts.

Garpenbergsgruvan, Strandmalmen, Hängmalmen nivå 625 m.

Provnr.	Provplats	Beskrivning
GSH625A	gavel	Grönt amfibolskarn med blyglans som sprickfyllnader samt magnetkis och pyrit som impregnation.
GSH625B	gavel	Grönt amfibolskarn med mycket god blyglans som sprickfyllnader.
GSH625C	gavel	Mörkgrönt amfibol-(pyroxen)-skarn med magnetkis-kopparkis och blyglans som impregnation samt grova sprickfyllnader av blyglans, zinkblände, pyrit och anhydrit. Pyroxenkristaller i sprickor.
GSH625E	gavel	Mörkgrönt amfibolskarn med kopparkis, zinkblände, pyrit och anhydrit som impregnation och tunna sprickfyllnader.
GSH625F	gavel	Pyrit-zinkblände-blyglans-malm med amfibol och biotit som spridda inneslutna korn.
GSH625I	häng	Vit till ljusgul kalcitmarmor med enstaka små porfyroblaster av amfibol.

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Garpenbergsgruvan, Strandmalmen, Liggmalmen nivå 675 m.

Provnr.	Provplats	Beskrivning
GSL675	gavel	Magnetkis-zinkblände-blyglans-rik kulmalm med talrika veckade biotitfragment.

Garpenbergsgruvan, Kanalmalmen och Lilla Kanalen nivå 515 m.

Provnr.	Provplats	Beskrivning
GK515A1	ligg	Finkornig skarnbergart med gulgrön färg innehållande impregnationer och sprickfyllnader av kalcit och pyrit.
GK515A2	ligg	Finkornig skarnbergart med grön färg och innehållande mm-långa röda sliror bestående av granat? Mindre mängder kalcit ingår även.
GK515B1	ligg	Ljusgrå, medelkornig och svagt bandad kalcitmarmor med spår av skarnmineral.
GK515B2	ligg	Ljusgrå kalcitmarmor med svarta, veckade band av fram för allt hornblände. Spår av pyrit. Kvartskörtel.
GK515C	häng	Vit, finkornig dolomit med sprickfyllnader och oregelbundna sliror till impregnation av zinkblände, blyglans och pyrit. Oregelbunden gång av mörkgrönt amfibolskarn.
GK515D	häng	Grönt amfibolskarn med mycket god zinkblände-, pyrit- och blyglansimpregnation. Skarp kontakt till vit, finkornig dolomit. Gång av sulfider utgående från skarnet in i dolomiten.
GK515E	ligg	Ljust gulgrå sericitskiffer med svag pyritimpregnation.
GKL515FA	ligg	Grågrön kloritskiffer.
GKL515FB	ligg	Vitt till ljusgrönt talkskarn med zinkblände, pyrit- och blyglanssliror.
GKL515G	gavel	Zinkblände-pyrit-malm. Mycket god sulfidimpregnation i kvartsrik bergart.
GKL515H	gavel	Zinkbländ-blyglans-kopparkis-pyritrik kulmalm. Mycket god sulfidimpregnation i kvarts-biotitbergart till sulfidmalm med rundade fragment av kvarts-biotitbergart.
GKL515I	häng	Grå kvarts-biotit-bergart med tydligt orienterad biotit. Svag pyrit och kopparkis som impregnation.

Garpenbergsgruvan, Kanalmalmen nivå 582 m.

Provnr.	Provplats	Beskrivning
GK582A	gavel	Vit dolomit med pyrit, magnetkis och blyglans som oregelbundna gångar.
GK582B	gavel	Vit dolomit med pyrit som mycket god (ca 50 %), oregelbunden impregnation. Enstaka ljusgröna amfibolkärvar i dolomiten.
GK582C	gavel	Zinkblände-magnetkis-malm med stora rundade fragment av amfibolskarn och kvarts.
GK582D	häng	Grönt amfibol-klorit-skarn med tydlig förskiffring. Svag pyrit och zinkblände som impregnation.

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Garpenbergsgruvan, Kanalmalmen nivå 670 m.

Prov	Plats	Beskrivning
K1	gavel	Stuff med tydligt folierad, vit och finkornig dolomit med band av finkornig, fibrig och ljust grågrön tremolit. Stuffen innehåller 5-10 % pyrit, magnetkis och zinkblände som impregnation, företrädesvis i tremolitskarnet. Spår av blyglans förekommer. Kornstorlek: < 1 mm.
K2	gavel	Stuff som består av mörkgrönt och massivt diopsid-aktinolitskarn. Ca 5-10 % zinkblände, pyrit och blyglans förekommer som jämn impregnation i skarnet. Kornstorlek skarnmineral: 1-2 mm.
K3	häng	Stuff med finkornigt och svart till mörkt grönsvart hornblände-kvartsskarn som innehåller mindre mängder grön epidot. Pyrit förekommer med ca 5 % mängd som jämn impregnation. Bergarten är svagt folierad. Kornstorlek: < 1 mm.
K4	häng	Stuff med gulgrönt epidot-diopsidskarn som innehåller flera små partier med mörkt grönsvart aktinolit. Några procent pyrit förekommer som impregnation i skarnet.
K5	gavel	Blekgrönt, folierat tremolitskarn med impregnation av ca 15 % zinkblände, pyrit och blyglans samt spår av kopparkis. En del karbonat finns inblandat i skarnet. Kornstorlek tremolit: < 1 mm.
K6	gavel	Stuff med massivsulfid som innehåller ca 20 %, 1-10 mm fragment av mörkgrön aktinolit och diopsid. Sulfidmineralogin utgörs till ca 50 % av ett mörkbrunt zinkblände med ca 1-2 mm kornstorlek. I zinkbländet förekommer ca 10-20 % blyglans och magnetkis som impregnation samt små kubiska kristaller av pyrit. Ett vitt, ca 1 mm kornstorlek karbonat finns även inblandat i sulfidmassan och utgör lokalt upp till 25 % av volymen.

Garpenberg Norra, E-malmen nivå 538 m.

Provnr.	Provplats	Beskrivning
GNE538A1	ligg	Vit till ljusgrå talk-kvarts-biotit-bergart, kraftigt förskiffrad med enstaka zinkbländesliror.
GNE538A2	ligg	Ljusgrönt, förskiffrat amfibol-talk-skarn.
GNE538B	ligg	Zinkblände-blyglansmalm med fragment av amfibolskarn och bandad fluorit.
GNE538C	ligg	Ljusgrönt pyroxenskarn med kvartskörtlar och svag granat samt zinkblände som impregnation.
GNE538E	häng	Ljusgrönt amfibolskarn med pyrit, zinkblände och blyglans som impregnation. Sulfider även som gångar i vit, finkornig dolomit.
GNE538F	häng	Ljusgrönt amfibolskarn med god zinkblände och blyglans som impregnation eller sprickfyllnad.
GNE538G	gavel	Ljusgrönt, finkornigt pyroxenskarn med god zinkblände och blyglans som impregnation eller oregelbunden sprickfyllnad.
GNE538H	häng	Vit, finkornig dolomit med enstaka vita amfibolkärvar.
GNE538I	ligg	Kraftigt förskiffrad kvarts-biotitbergart med pyrit som impregnation. Sprickfyllnad av prehnit. Kulmalmzon med zinkblände, pyrit och blyglans.
GNE538J	ligg	Granat-diopsidskarn och vit till lila omvandlingsbergart med pyroxen som porfyroblaster.
GNE538K	sula	Amfibol-rodonitskarn med kopparkis, pyrit och zinkblände som impregnation. OBS ej från platsen.

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Garpenberg Norra, E-malmen nivå 605 m nivå.

Provnr.	Provplats	Beskrivning
GNE605A	ligg	Mörkgrönt diopsid-aktinolitskarn med ca 20 % granoblastisk spessartingranat.
GNE605B	gavel	Ljusgrönt tremolitskarn med oregelbundna blyglansgångar.
GNE605C	ligg	Grå och kraftigt förskiffrad kvarts-biotitbergart med svag pyrit som impregnation.
GNE605D	sula	Ljusgrå, finkornig dolomit i kontakt med ljusrosa, medelkornig kalcitmarmor. Oregelbundet zinkblände, pyrit, blyglans och anhydrit som gång. OBS, troligen ej från platsen.

Garpenberg Norra, D-malmen nivå 680 m.

Provnr.	Provplats	Beskrivning
GND680A1	gavel	Kvartsgång med zinkblände, blyglans, anhydrit och scheelit som körtlar och impregnation.
GND680A2	gavel	Grå kvartsbergart med god zinkblände, blyglans och pyrit som impregnation.

Garpenberg Norra, F-malmen nivå 690 m nivå.

Provnr.	Provplats	Beskrivning
GNF700B1	ligg	Brun-orange granatskarn med sprickfyllnader av amfibolskarn.
GNF700B2	ligg	Orange granatskarn med sprickfyllnader av pyroxenskarn.
GNF700C1	ligg	Grönt pyroxenskarn med gångar av amfibolskarn och kalcit.
GNF700C2	ligg	Grönt, grovkornigt pyroxenskarn.
GNF700C3	ligg	Pyroxenkristaller i kvarts som växer ut från grönt pyroxenskarn.
GNF700D1	ligg	Grönt pyroxenskarn med pyrit och magnetkis som sprickfyllnader.
GNF700D2	ligg	Grönt pyroxen-amfibolskarn med spår av zinkblände, pyrit och magnetkis.
GNF700E	ligg	Grönt amfibolskarn med tunna sprickfyllnader av zinkblände och blyglans.
GNF700F	gavel	Mycket grovkornig malm med zinkblände, blyglans, pyrit, magnetkis och kvarts.
GNF700G	ligg	Dolomit med oregelbundna amfibolskarngångar. Svag pyrit och magnetkis som impregnation.

11 Bilaga 2. Mineralanalyser

Alabandit

Stuff	BH 644			Malmupplag
	670 m			Ovan jord
	97,5m	106,4m	113,8m	GNV2
Analys	M72g	M80a	M75d	D
Atom %				
S	52.07	52.08	55.25	50.09
Mn	44.12	43.48	43.87	44.58
Fe	3.81	4.44	0.87	4.29
Zn	-	-	-	1.04

Amfibol

ProvNr	Strandmalmen									
	Hängmalmen 625 m					Liggmalmen 620 m				
	GSH625B	GSH625B	GSH625E	GSH625I	GSH625I	S1	S2	S2	S2	S2
AnalysNr	M57b	M57a	M61a	M54e	M54f	8	1	2	3	4
Bergart	A-skarn	A-skarn	A-skarn	Ca-karb	Ca-karb	Dolomit	A-skarn	A-skarn	A-skarn	A-skarn
Mineral	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit	Tremolit	Tremolit	Tremolit	Tremolit	Tremolit
Na (atom %)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	21.42	21.95	22.10	22.27	22.12	24.32	24.07	25.07	24.67	24.84
Al	1.05	1.01	3.31	0.74	1.96	0.00	1.02	0.00	0.00	0.19
Si	56.68	56.83	55.29	57.28	56.39	58.63	57.18	58.05	58.37	58.68
K	0.13	0.07	0.27	0.13	0.29	0.00	0.16	0.01	0.00	0.10
Ca	15.51	15.14	15.29	16.31	15.64	15.24	15.06	14.88	15.30	14.40
Ti	0.00	0.00	0.09	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.97	1.01	0.61	0.01	0.04	0.64	0.83	0.81	0.85	0.64
Fe	4.24	3.98	3.04	3.26	3.56	1.17	1.67	1.18	0.80	1.15
Summa	100.00	99.99	100.00	100.00	100.00	100.00	99.99	100.00	99.99	100.00
Katjoner normaliserade till (Si+Al+Ti = 8)										
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	2.97	3.04	3.01	3.07	3.03	3.32	3.31	3.45	3.38	3.38
Al	0.15	0.14	0.45	0.10	0.27	0.00	0.14	0.00	0.00	0.03
Si	7.85	7.86	7.54	7.90	7.73	8.00	7.86	8.00	8.00	7.97
K	0.02	0.01	0.04	0.02	0.04	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
Ca	2.15	2.09	2.08	2.25	2.14	2.08	2.07	2.05	2.10	1.96
Ti	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.13	0.14	0.08	0.00	0.01	0.09	0.11	0.11	0.12	0.09
Fe	0.59	0.55	0.41	0.45	0.49	0.16	0.23	0.16	0.11	0.16
Summa	13.86	13.83	13.63	13.79	13.71	13.64	13.74	13.78	13.70	13.59
Mg/(Mg+Fe)	0.83	0.85	0.88	0.87	0.86	0.95	0.94	0.96	0.97	0.96
XMg	0.80	0.81	0.86	0.87	0.86	0.93	0.91	0.93	0.94	0.93
XFe	0.16	0.15	0.12	0.13	0.14	0.04	0.06	0.04	0.03	0.04
XMn	0.04	0.04	0.02	0.00	0.00	0.02	0.03	0.03	0.03	0.02

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Amfibol

ProvNr AnalysNr Mineral	Strandmalmen			Kanalmalmen				
	Liggmalmen 620 m			515 m				
	S2 5 A-skarn Tremolit	S2 6 A-skarn Tremolit	S3 1 T-skarn Aktinolit	GK515A1 M45c Magnesiohornblände	GK515A1 M45e Aktinolit	GK515B A Magnesiohornblände	GK515C D Dolomit Tremolit	GK515D M52a A-skarn Aktinolit
Na (atom %)	0.00	0.00	0.00	0.19	0.00	0.41	-	0.00
Mg	23.74	24.22	23.46	18.67	18.80	14.93	24.59	22.74
Al	0.73	0.00	0.58	4.08	3.01	8.00	0.20	0.37
Si	57.53	58.33	57.30	53.30	54.12	49.01	58.06	57.36
K	0.13	0.00	0.22	0.27	0.20	0.98	0.20	0.02
Ca	15.03	15.28	14.35	13.58	14.50	13.67	14.65	14.81
Ti	-	0.00	-	0.05	0.00	0.09	-	0.00
Mn	0.90	0.59	1.00	1.07	1.11	0.77	0.68	0.71
Fe	1.95	1.57	3.09	8.79	8.25	12.14	1.62	3.99
Summa	100.01	99.99	100.00	100.00	99.99	100.00	100.00	100.00

Katjoner normaliserade till (Si+Al+Ti = 8)

Na	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.06	-	0.00
Mg	3.26	3.32	3.24	2.60	2.63	2.09	3.38	3.15
Al	0.10	0.00	0.08	0.57	0.42	1.12	0.03	0.05
Si	7.90	8.00	7.92	7.42	7.58	6.87	7.97	7.95
K	0.02	0.00	0.03	0.04	0.03	0.14	0.03	0.00
Ca	2.06	2.10	1.98	1.89	2.03	1.92	2.01	2.05
Ti	-	0.00	-	0.01	0.00	0.01	-	0.00
Mn	0.12	0.08	0.14	0.15	0.16	0.11	0.09	0.10
Fe	0.27	0.22	0.43	1.22	1.16	1.70	0.22	0.55
Summa	13.73	13.71	13.82	13.93	14.00	14.01	13.73	13.86
Mg/(Mg+Fe)	0.92	0.94	0.88	0.68	0.70	0.55	0.94	0.85
XMg	0.89	0.92	0.85	0.65	0.67	0.54	0.91	0.83
XFe	0.07	0.06	0.11	0.31	0.29	0.44	0.06	0.15
XMn	0.03	0.02	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Amfibol

	Kanalmalmen										
	515 m			582 m						670 m	
	ProvNr	GK515D	GK582B	GK582B	GK582C	GK582C	GK582D	GK582D	GK582D	GK670-K1	GK670-K1
AnalysNr	M52b	M48a	M48b	M58c	M58d	M53a	M53c	M53d	3b	3c	
Bergart	A-skarn	Dolomit	Dolomit	Malm	Malm	A-skarn	A-skarn	A-skarn	Dolomit	Dolomit	
Mineral	Aktinolit	Tremolit	Tremolit	Aktinolit	Aktinolit	Tremolit	Aktinolit	Aktinolit	Tremolit	Tremolit	
Na (atom %)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.00	
Mg	22.78	23.60	23.50	21.54	21.34	23.31	23.15	23.20	23.82	24.27	
Al	0.24	0.00	0.00	1.03	1.48	-	0.18	0.16	0.00	0.00	
Si	57.40	58.06	58.41	56.30	55.55	58.00	57.77	57.82	58.16	58.28	
K	0.07	0.02	0.03	0.06	0.20	-	0.05	0.11	0.05	0.03	
Ca	14.61	15.08	15.43	14.96	15.14	15.61	15.56	15.44	15.36	15.04	
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.00	
Mn	0.82	0.89	0.85	1.20	1.10	0.60	0.59	0.56	0.57	0.59	
Fe	4.08	2.35	1.77	4.91	5.19	2.48	2.69	2.71	2.04	1.79	
Summa	100.00	100.00	99.99	100.00	100.00	100.00	99.99	100.00	100.00	100.00	
Katjoner normaliserade till (Si+Al+Ti = 8)											
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.00	
Mg	3.16	3.25	3.22	3.01	2.99	3.22	3.20	3.20	3.28	3.33	
Al	0.03	0.00	0.00	0.14	0.21	-	0.02	0.02	0.00	0.00	
Si	7.97	8.00	8.00	7.86	7.79	8.00	7.98	7.98	8.00	8.00	
K	0.01	0.00	0.00	0.01	0.03	-	0.01	0.02	0.01	0.00	
Ca	2.03	2.08	2.11	2.09	2.12	2.15	2.15	2.13	2.11	2.06	
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	0.00	0.00	0.00	0.00	
Mn	0.11	0.12	0.12	0.17	0.15	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	
Fe	0.57	0.32	0.24	0.69	0.73	0.34	0.37	0.37	0.28	0.25	
Summa	13.88	13.78	13.69	13.95	14.03	13.79	13.80	13.80	13.76	13.73	
Mg/(Mg+Fe)	0.85	0.91	0.93	0.81	0.80	0.90	0.90	0.90	0.92	0.93	
XMg	0.82	0.88	0.90	0.78	0.77	0.88	0.88	0.88	0.90	0.91	
XFe	0.15	0.09	0.07	0.18	0.19	0.09	0.10	0.10	0.08	0.07	
XMn	0.03	0.03	0.03	0.04	0.04	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Amfibol

Kanalmalmen							
670 m							
ProvNr	GK670-K1	GK670-K1	GK670-K2	GK670-K3	GK670-K4	GK670-K5	GK670-K5
AnalysNr	3d	6	7	1	2a	2	3
Mineral	Dolomit Tremolit	Dolomit Tremolit	P-skarn Aktinolit	Magnesiohornblände	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit
Na (atom %)	0.00	0.00	0.00	1.59	1.04	0.00	0.00
Mg	24.38	24.02	22.50	14.29	19.78	22.44	22.60
Al	0.00	0.00	1.50	7.38	2.92	0.00	0.00
Si	58.01	58.01	56.32	49.58	53.70	57.54	56.90
K	0.15	0.10	0.25	0.59	0.50	0.04	0.17
Ca	15.04	15.55	14.98	12.17	13.79	14.90	15.20
Ti	0.02	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.05
Mn	0.53	0.52	0.83	1.19	1.24	0.99	0.95
Fe	1.88	1.80	3.62	13.19	7.01	4.10	4.13
Summa	100.01	100.00	100.00	99.99	99.98	100.01	100.00
Katjoner normaliserade till (Si+Al+Ti = 8)							
Na	0.00	0.00	0.00	0.22	0.15	0.00	0.00
Mg	3.36	3.31	3.11	2.01	2.79	3.12	3.17
Al	0.00	0.00	0.21	1.04	0.41	0.00	0.00
Si	8.00	8.00	7.79	6.96	7.59	8.00	7.99
K	0.02	0.01	0.03	0.08	0.07	0.01	0.02
Ca	2.07	2.14	2.07	1.71	1.95	2.07	2.14
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
Mn	0.07	0.07	0.11	0.17	0.18	0.14	0.13
Fe	0.26	0.25	0.50	1.85	0.99	0.57	0.58
Summa	13.79	13.79	13.84	14.04	14.13	13.90	14.05
Mg/(Mg+Fe)	0.93	0.93	0.86	0.52	0.74	0.85	0.85
XMg	0.91	0.91	0.83	0.50	0.71	0.82	0.82
XFe	0.07	0.07	0.13	0.46	0.25	0.15	0.15
XMn	0.02	0.02	0.03	0.04	0.04	0.04	0.03

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Amfibol

ProvNr AnalysNr	E-malmen								
	538 m								
	GENE538C1 M27b	GENE538C1 M27c	GENE538E3 M34c	GENE538E3 M34d	GENE538E3 M34f	GENE538E3 M34g	GENE538F1 M32a	GENE538F1 M32b	GENE538H M38d
Mineral	Aktinolit	Aktinolit	Tremolit	Tremolit	Tremolit	Tremolit	Tremolit	Tremolit	Tremolit
Na (atom %)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	21.83	22.25	23.69	24.29	24.41	24.44	23.52	23.46	24.30
Al	0.54	0.21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Si	57.00	57.41	58.44	58.44	58.80	58.47	58.44	58.67	58.98
K	0.08	0.02	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	15.25	15.07	14.26	14.03	13.57	12.84	14.95	15.48	14.09
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	1.74	1.59	2.27	2.15	2.38	3.04	1.79	1.45	2.09
Fe	3.56	3.45	1.33	1.08	0.84	1.20	1.30	0.94	0.55
Summa	100.00	100.00	99.99	100.00	100.00	99.99	100.00	100.00	100.01
Kationer normaliserade till (Si+Al+Ti = 8)									
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mg	3.04	3.09	3.24	3.33	3.32	3.34	3.22	3.20	3.30
Al	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Si	7.92	7.97	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
K	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ca	2.12	2.09	1.95	1.92	1.85	1.76	2.05	2.11	1.91
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.24	0.22	0.31	0.29	0.32	0.42	0.25	0.20	0.28
Fe	0.49	0.48	0.18	0.15	0.11	0.16	0.18	0.13	0.07
Summa	13.90	13.88	13.69	13.69	13.61	13.68	13.69	13.64	13.57
Mg/(Mg+Fe)	0.86	0.87	0.95	0.96	0.97	0.95	0.95	0.96	0.98
XMg	0.80	0.82	0.87	0.88	0.88	0.85	0.88	0.91	0.90
XFe	0.13	0.13	0.05	0.04	0.03	0.04	0.05	0.04	0.02
XMn	0.06	0.06	0.08	0.08	0.09	0.11	0.07	0.06	0.08

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Amfibol

ProvNr AnalysNr	E-malmen								
	538 m			605 m		811 m			
	GENE538H M38e	GENE538J M26c	GENE538J M26d	GENE605B M28a	GENE605B M28b	E-811m	E-811m	E-811m	E-811m
Mineral	Tremolit	Aktinolit	Aktinolit	Tremolit	Tremolit	Mangano- cumming- tonit	Mangano- cumming- tonit	Mangano- cumming- tonit	Mangano- cumming- tonit
Na (atom %)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
Mg	24.08	21.33	21.24	19.82	19.54	25.83	25.65	25.06	24.67
Al	0.00	0.38	1.68	0.00	0.00	-	-	-	-
Si	58.72	57.07	56.35	58.98	59.77	58.62	58.61	57.72	57.71
K	0.00	0.04	0.10	0.05	0.02	-	-	-	-
Ca	15.16	12.95	14.92	18.09	17.99	1.80	1.69	2.09	2.17
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
Mn	1.60	3.51	1.81	2.05	1.83	12.17	12.67	13.34	13.81
Fe	0.44	4.72	3.91	1.01	0.85	1.58	1.38	1.79	1.65
Summa	100.00	100.00	100.01	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.01
Kattjoner normaliserade till (Si+Al+Ti = 8)									
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
Mg	3.28	2.97	2.93	2.69	2.62	3.53	3.50	3.47	3.42
Al	0.00	0.05	0.23	0.00	0.00	-	-	-	-
Si	8.00	7.95	7.77	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
K	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	-	-	-	-
Ca	2.07	1.80	2.06	2.45	2.41	0.25	0.23	0.29	0.30
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	-	-
Mn	0.22	0.49	0.25	0.28	0.24	1.66	1.73	1.85	1.91
Fe	0.06	0.66	0.54	0.14	0.11	0.22	0.19	0.25	0.23
Summa	13.62	13.93	13.79	13.56	13.38	13.65	13.65	13.86	13.86
Mg/(Mg+Fe)	0.98	0.82	0.84	0.95	0.96	0.94	0.95	0.93	0.94
XMg	0.92	0.72	0.79	0.87	0.88	0.65	0.65	0.62	0.61
XFe	0.02	0.16	0.15	0.04	0.04	0.04	0.03	0.04	0.04
XMn	0.06	0.12	0.07	0.09	0.08	0.31	0.32	0.33	0.34

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Amfibol

ProvNr AnalysNr	F-malmen								
	700 m								
	GNF700B1 M14e	GNF700B1 M14f	GNF700C1 M17a	GNF700C1 M17b	GNF700D2 M66a	GNF700D2 M64b	GNF700E M19a	GNF700E M19b	GNF700G M16a
Mineral	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit	Tremolit
Na (atom %)	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00
Mg	19.82	19.43	18.67	18.55	19.96	19.67	21.98	21.39	23.53
Al	0.67	1.44	0.57	0.39	0.69	0.05	0.14	0.05	0.00
Si	56.27	56.06	55.74	55.93	56.16	56.82	56.69	57.43	58.21
K	0.08	0.13	0.00	0.03	0.09	0.07	0.07	0.06	0.00
Ca	14.52	14.29	13.71	13.88	14.49	14.67	14.96	14.59	14.57
Ti	0.01	0.00	0.00	0.00	-	-	0.00	0.03	0.00
Mn	1.84	1.82	2.88	2.73	2.03	2.05	1.75	1.93	2.11
Fe	6.80	6.84	8.42	8.49	6.59	6.66	4.41	4.52	1.58
Summa	100.01	100.01	99.99	100.00	100.01	99.99	100.00	100.00	100.00
Kattjoner normaliserade till (Si+Al+Ti = 8)									
Na	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00
Mg	2.78	2.70	2.65	2.63	2.81	2.77	3.09	2.98	3.23
Al	0.09	0.20	0.08	0.06	0.10	0.01	0.02	0.01	0.00
Si	7.90	7.80	7.92	7.94	7.90	7.99	7.98	7.99	8.00
K	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Ca	2.04	1.99	1.95	1.97	2.04	2.06	2.11	2.03	2.00
Ti	0.00	0.00	0.00	0.00	-	-	0.00	0.00	0.00
Mn	0.26	0.25	0.41	0.39	0.29	0.29	0.25	0.27	0.29
Fe	0.96	0.95	1.20	1.21	0.93	0.94	0.62	0.63	0.22
Summa	14.05	13.91	14.21	14.20	14.07	14.07	14.08	13.91	13.74
Mg/(Mg+Fe)	0.74	0.74	0.69	0.69	0.75	0.75	0.83	0.83	0.94
XMg	0.70	0.69	0.62	0.62	0.70	0.69	0.78	0.77	0.86
XFe	0.24	0.24	0.28	0.29	0.23	0.23	0.16	0.16	0.06
XMn	0.06	0.06	0.10	0.09	0.07	0.07	0.06	0.07	0.08

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Amfibol

ProvNr AnalysNr	F-malmen	BH 644			Malmupplag				
	700 m	670 m			Ovan jord				
	GNF700G M16b	97,5m M72b	106,4m M80f	113,8m M75c	GNV2 A	M102g	M102h	M102i	GNV14 M115b
Mineral	Tremolit	Mangano- cumming- tonit	Mangano- cumming- tonit	Mangano- cumming- tonit	Tremolit	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit	Aktinolit
Na (atom %)	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	23.67	25.59	25.72	25.13	22.25	11.92	12.02	12.10	18.58
Al	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Si	58.53	60.52	59.76	61.61	57.19	61.25	61.46	62.02	56.22
K	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	14.43	3.58	2.45	1.00	12.33	14.03	13.90	14.05	11.62
Ti	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	1.97	9.65	10.70	10.32	5.82	4.52	4.81	4.45	6.24
Fe	1.40	0.66	1.37	1.94	2.40	3.64	3.61	3.14	7.34
Zn	100.00	100.00	100.00	100.00	-	4.65	4.19	4.22	-
Katjoner normaliserade till (Si+Al+Ti = 8)									
Na	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Mg	3.24	3.38	3.44	3.26	3.11	1.56	1.56	1.56	2.64
Al	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Si	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00	8.00
K	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	1.97	0.47	0.33	0.13	1.72	1.83	1.81	1.81	1.65
Ti	0.00	-	-	-	-	-	-	-	-
Mn	0.27	1.28	1.43	1.34	0.81	0.59	0.63	0.57	0.89
Fe	0.19	0.09	0.18	0.25	0.34	0.48	0.47	0.41	1.04
Zn	-	-	-	-	-	0.61	0.55	0.54	-
Summa	13.67	13.22	13.39	12.98	13.99	13.06	13.02	12.90	14.23
Mg/(Mg+Fe)	0.94	0.97	0.95	0.93	0.90	0.77	0.77	0.79	0.72
XMg	0.88	0.71	0.68	0.67	0.73	0.59	0.59	0.61	0.58
XFe	0.05	0.02	0.04	0.05	0.08	0.18	0.18	0.16	0.23
XMn	0.07	0.27	0.28	0.28	0.19	0.23	0.24	0.23	0.19

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Anhydrit

ProvNr AnalysNr	Strandmalmen	
	Hängmalmen 625 m	
	GSH625C M63c	GSH625C M63d
Atom %		
S	47.55	47.75
Ca	52.45	52.25

Anhydrit

Stuff Analys	D-malmen
	680 m
	GND680A1 M71c
Atom %	
S	46.63
Ca	53.37

Apatit

Stuff Analys	Strandmalmen	
	Liggmalmen 620 m	
	S2	S4
	9	6
P	34.65	34.16
Cl	0.05	0.00
Ca	65.29	65.84

Bementit

ProvNr AnalysNr	Malmupplag	
	Ovan jord	
	GNV11 M117a	GNV11 M117b
Atom %		
Mg	3.92	3.93
Si	49.34	49.27
Mn	43.24	43.31
Fe	3.50	3.50

Boulangerit

Stuff Analys	Strandmalmen			
	Hängmalmen 625 m			
	GSH625A M65a	GSH625A M65a2	GSH625B M57c	GSH625B M57g
S	52.80	53.41	56.13	57.68
Sb	20.72	21.03	20.33	19.96
Pb	26.48	25.55	23.55	22.36

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Dyskrasit

Strandmalmen	
Liggmalmen 620 m	
ProvNr	S1
AnalysNr	5
Ag	76.91
Sb	23.09

Epidot

Kanalmalmen				
ProvNr	515 m		670 m	
	GK515A1	GK515A1	GK670-K3	GK670-K4
AnalysNr	M45b	M45f	2	1
Atom %				
Mg	-	-	0.65	0.00
Al	27.30	26.17	23.97	23.86
Si	40.53	40.31	40.77	40.91
Ca	25.60	25.73	24.27	25.34
Mn	0.67	0.30	0.41	0.24
Fe	5.89	7.48	9.93	9.65
Summa	99.99	99.99	100.00	100.00

Katjoner baserade på O = 12,5

Mg	-	-	0.05	0.00
Al	2.17	2.08	1.90	1.89
Si	3.22	3.21	3.23	3.24
Ca	2.04	2.05	1.92	2.01
Mn	0.05	0.02	0.03	0.02
Fe	0.47	0.59	0.79	0.76
Summa	7.95	7.95	7.92	7.93

Forsterit

Malmupplag		
Ovan jord		
Stuff	GNV1	GNV1
Analys	M41a	M41b
Atom %		
Mg	53.07	53.45
Si	37.65	37.60
Mn	6.49	6.36
Fe	2.79	2.59

Dyskrasit

E-malmen		
538 m		
Stuff	GENE538G	GENE538G
Analys	M22a2	M22b2
Cl	1.40	1.91
Ag	75.56	74.97
Sb	23.04	23.12

Epidot

E-malmen		
538 m		
Stuff	GENE538J	GENE538J
Analys	M21a	M21b
Atom %		
Mg	-	-
Al	26.69	27.45
Si	40.43	40.62
Ca	25.79	25.52
Mn	0.59	0.62
Fe	6.50	5.79
	100.00	100.00

Mg	-	-
Al	2.12	2.18
Si	3.22	3.23
Ca	2.05	2.03
Mn	0.05	0.05
Fe	0.52	0.46
Summa	7.96	7.95

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Gahnit

Stuff	Strandmalmen	
	Liggmalmen 620 m	
	S4	S4
Analys	5	5b

Mg (atom %)	5.03	5.06
Al	66.39	67.68
Fe	8.37	7.63
Zn	20.21	19.63
Summa	100.00	100.00

Katjoner O = 4

Mg	0.151	0.151
Al	1.994	2.023
Fe	0.251	0.228
Zn	0.607	0.587
Summa	3.003	2.989

X _{Gah}	0.601	0.607
X _{Her}	0.249	0.236
X _{Spi}	0.150	0.157

Glimmer

ProvNr	Strandmalmen			Kanalmalmen		
	Liggmalmen 620 m			515 m		
	S4	S4	S4	GK515E	GKL515F	GKL515F
AnalysNr	2	3	3b	M55b	M56d	M56e

Mg	18.89	-	-	-	-	-
Al	15.52	33.11	32.87	32.58	29.25	30.44
Si	42.39	49.97	50.50	51.36	54.19	53.35
K	12.58	15.36	13.00	16.05	15.88	15.63
Mn	-	-	-	-	0.22	0.16
Fe	10.61	1.55	3.62	-	0.47	0.43

Glimmer

Stuff	E-malmen	
	538 m	
	GNE538A2	GNE538A2
Analys	M31a	M31b

Mg	24.74	24.72
Al	10.80	11.00
Si	46.64	46.23
K	12.87	13.23
Ti	0.44	0.45
Mn	0.44	0.42
Fe	4.07	3.94

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Granat

ProvNr AnalysNr	Strandmalmen		Kanalmalmen		E-malmen			
	Liggmalmen 620 m		515 m		538 m			
	S4	S4	GK515A2	GK515A2	GENE538C1	GENE538C1	GENE538J	GENE538J
	1	1b	M43a	M43c	M27a	M27d	M26a	M26b
Mg	4.35	4.64	-	-	0.73	0.25	0.72	0.25
Al	23.92	23.75	19.37	20.17	22.38	22.45	22.64	22.11
Si	41.05	40.94	39.70	39.65	40.41	40.27	40.31	40.14
Ca	2.31	2.85	18.72	17.56	9.43	12.67	14.46	18.45
Ti	0.00	0.02	0.11	0.05	0.16	0.20	0.03	0.06
Mn	5.75	5.65	10.58	10.67	23.56	21.34	17.45	16.02
Fe _{tot}	22.62	22.15	11.52	11.90	3.32	2.82	4.39	2.98

Granat

Stuff Analys	E-malmen	F-malmen				
	811 m	700 m				
	GENE811	GNF700B1	GNF700B2	GNF700B2	GNF700D1	GNF700D1
		M14b	M11b	M11c	M62a	M62b
Mg	0.39	0.00	0.46	0.71	0.99	0.81
Al	23.43	21.93	21.95	22.11	21.77	21.35
Si	40.54	40.40	39.81	39.78	39.91	39.89
Ca	3.16	11.58	15.33	14.09	10.52	11.72
Ti	-	0.05	0.04	0.04	0.08	0.15
Mn	31.63	19.92	14.38	15.53	19.76	19.27
Fetot	0.84	6.12	8.04	7.75	6.99	6.82

Granat

Stuff Analys	BH644			Malmupplag		E-malmen
	670 m			Ovan jord		811 m
	33,1 m	97,5m	97,5m	AZ920514	GNV14	GENE811
	t1-6	M72c	M72d	M79c	M115d	
Mg						0.39
Al	23.50	23.95	23.55	24.14	22.62	23.43
Si	40.91	43.91	43.54	44.47	40.27	40.54
Ca	11.39	2.94	5.49	11.73	3.64	3.16
Ti						-
Mn	20.71	28.65	26.75	18.43	30.55	31.63
Fetot	3.50	0.55	0.67	1.23	2.92	0.84

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Gudmundit

Stuff	Strandmalmen		Kanalmalmen	
	Liggmalmen 620 m		515 m	
	S1	GK515C	GK515C	
Analys	7	A	A2	
S	33.33	34.02	33.51	
Fe	33.05	33.52	33.96	
Sb	33.61	32.46	32.54	

Karbonat

ProvNr	Strandmalmen							Kanalmalmen			
	Hängmalmen 625 m			Liggmalmen 620 m				GK515A	GK515C	GK515C	GK515C
	GSH625E	GSH625I	GSH625I	S1	S1	S1	S1				
AnalysNr	M61e	M54c	M54d	1	3	3b	3c	2B	B	B2	M46d
Mineral	Kalcit	Kalcit	Kalcit	Kalcit	Dolomit	Dolomit	Dolomit	Kalcit	Dolomit	Dolomit	
Mg	0.00	0.00	0.00	0.00	43.86	43.19	42.41	0.00	41.21	41.80	7.25
Ca	98.90	99.64	100.00	97.23	51.07	51.27	52.46	97.73	52.11	52.52	89.09
Mn	0.67	0.08	0.00	2.46	3.69	4.14	3.77	1.64	4.45	3.76	3.66
Fe	0.43	0.28	0.00	0.31	1.38	1.40	1.36	0.64	2.22	1.92	-
XMg					0.90	0.89	0.89		0.86	0.88	
XMn					0.08	0.08	0.08		0.09	0.08	
XFe					0.03	0.03	0.03		0.05	0.04	

Karbonat

ProvNr	Kanalmalmen									
	515 m							582 m	670 m	
	GK515C	GK515C	GK515C	GK515C	GK515D	GK515D	GK582B	GK670-K1	GK670-K1	GK670-K1
AnalysNr	M46e	M46f	M46g	M46h	M52c	M52d	A	1	4c	4b
	Dolomit		Kalcit	Dolomit	Dolomit	Dolomit	Dolomit		Dolomit	Dolomit
Mg	39.53	4.93	1.15	40.74	38.45	41.02	39.77	6.26	41.34	40.75
Ca	54.23	90.88	94.86	53.82	52.73	54.12	52.60	89.45	51.89	52.80
Mn	4.15	3.69	3.62	4.01	4.41	1.47	3.51	3.42	3.99	3.76
Fe	2.09	0.50	0.37	1.43	4.41	3.39	4.13	0.88	2.79	2.69
XMg	0.86	0.54	0.22	0.88	0.81	0.89	0.84	0.59	0.86	0.86
XMn	0.09	0.40	0.70	0.09	0.09	0.03	0.07	0.32	0.08	0.08
XFe	0.05	0.05	0.07	0.03	0.09	0.07	0.09	0.08	0.06	0.06

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Karbonat

ProvNr AnalysNr	Kanalmalmen		
	670 m		
	GK670-K1 5 Dolomit	GK670-K2 2 Kalcit	GK670-K5 1 Kalcit
Mg	41.12	0.44	1.08
Ca	51.89	99.29	95.78
Mn	4.19	0.13	2.72
Fe	2.80	0.14	0.43
XMg	0.85	0.62	0.26
XMn	0.09	0.18	0.64
XFe	0.06	0.20	0.10

Karbonat

ProvNr AnalysNr Mineral	E-malmen				605 m GNE605D Kalcit	F-malmen		BH 644
	538 m			700 m		670 m		
	GNF700C2 M12c Kalcit	GNF700G M16c Kalcit	113,8m M75d1					
Mg	7.00	41.97	41.11	41.38	1.70	0.00	3.03	17.05
Ca	83.66	52.06	52.91	52.85	95.89	96.14	88.66	43.23
Mn	8.80	5.38	5.37	5.21	2.20	3.25	7.80	38.36
Fe	0.54	0.60	0.61	0.56	0.21	0.60	0.50	1.36
XMg	0.43	0.88	0.87	0.88	0.41	0.00	0.27	0.30
XMn	0.54	0.11	0.11	0.11	0.54	0.84	0.69	0.68
XFe	0.03	0.01	0.01	0.01	0.05	0.16	0.04	0.02

Karbonat

ProvNr AnalysNr Mineral	Malmupplag			
	Ovan jord			
	GNV1 B Dolomit	GNV1 C	GNV2 H	? M83a
Mg	39.77	7.81	0.42	-
Ca	51.62	82.82	85.16	92.32
Mn	8.00	9.06	14.04	6.43
Fe	0.61	0.31	0.38	1.25
XMg	0.82	0.45	0.03	
XMn	0.17	0.53	0.95	
XFe	0.01	0.02	0.03	

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Kordierit

ProvNr AnalysNr	Kanalmalmen	
	515 m	
	GK515E M55c	GK515E M55e
Mg	13.65	8.35
Al	27.23	25.81
Si	50.59	64.34
K	5.61	-
Ca	1.10	-
Mn	0.60	0.74
Fe	1.22	0.76

Magnetit

Stuff Analys	BH 644	
	670 m	
	113,8m M75e2	113,8m M75e3
Atom %		
Mn	7.99	8.84
Fe	92.01	91.16

Molybdenglans

Stuff Analys	Kanalmalmen	
	515 m	
	GK515C M46j	
Mo	100	

Plagioklas

Stuff Analys	Kanalmalmen	
	515 m	
	GK515B B	
Na	3.73	
Al	24.64	
Si	59.5	
K	0.97	
Ca	11.16	

Prehnit

Stuff Analys	E-malmen	
	538 m	
	GNE538I M24b	GNE538I M24a
Atom %		
Al	23.30	23.34
Si	45.50	45.11
Ca	31.20	31.55

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Pyroxen

ProvNr AnalysNr	Strandmalmen				Kanalmalmen			
	Hängmalmen 625 m				515 m			
	GSH625C M63a	GSH625C M63b	GSH625E M61c	GSH625E M61d	GK515A2 a	GK515A2 c	GK515A2 M43b	GK515A2 M43d
Atom %								
Mg	16.28	16.13	18.15	18.02	10.92	11.56	10.72	11.37
Al	0.21	0.21	0.00	0.00	0.47	0.26	0.00	0.08
Si	51.80	51.75	52.13	51.66	50.84	51.03	51.41	51.33
K	-	-	0.14	0.07	-	-	-	-
Ca	26.69	26.77	28.37	28.94	24.77	25.37	25.64	25.39
Mn	1.42	1.65	0.15	0.25	1.56	1.60	1.78	1.69
Fe	3.59	3.48	1.07	1.05	11.44	10.17	10.44	10.15
Kattjoner normaliserade till (O=6)								
Mg	0.64	0.64	0.72	0.71	0.43	0.46	0.42	0.45
Al	0.01	0.01	0.00	0.00	0.02	0.01	0.00	0.00
Si	2.05	2.04	2.06	2.04	2.02	2.03	2.04	2.03
K	-	-	0.01	0.00	-	-	-	-
Ca	1.05	1.06	1.12	1.15	0.98	1.01	1.02	1.01
Mn	0.06	0.07	0.01	0.01	0.06	0.06	0.07	0.07
Fe	0.14	0.14	0.04	0.04	0.45	0.40	0.41	0.40
Summa	3.95	3.95	3.95	3.96	3.97	3.97	3.96	3.96
X _{diopsid}	76.5	75.9	93.7	93.3	45.7	49.5	46.7	49.0
X _{johannsenit}	6.7	7.8	0.8	1.3	6.5	6.9	7.8	7.3
X _{hedenbergit}	16.9	16.4	5.5	5.4	47.8	43.6	45.5	43.7
X _{wollastonit}	55.6	55.7	59.4	60.0	50.9	52.1	52.8	52.2
X _{ferrosilit}	10.4	10.7	2.6	2.7	26.7	24.2	25.2	24.4
X _{enstatit}	33.9	33.6	38.0	37.3	22.4	23.7	22.1	23.4

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Pyroxen

ProvNr AnalysNr	Kanalmalmen								
	670 m								
	GK670-K2 4	GK670-K2 5	GK670-K2 9	GK670-K4 3a	GK670-K4 4a	GK670-K4 5a	GK670-K4 6a	GK670-K6 1	GK670-K6 2
Atom %									
Mg	17.42	17.78	17.31	13.92	14.50	14.41	13.91	17.14	16.98
Al	0.24	0.05	0.01	0.88	0.71	0.63	0.44	0.00	0.00
Si	51.49	51.57	51.71	51.51	51.45	51.75	51.17	52.01	52.48
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	26.74	27.14	27.04	25.58	25.53	25.70	25.66	27.03	27.30
Mn	1.34	1.07	1.12	1.50	1.60	1.62	1.78	0.96	0.84
Fe	2.77	2.40	2.82	6.63	6.21	5.89	7.05	2.86	2.41
Kattjoner normaliserade till (O=6)									
Mg	0.69	0.70	0.68	0.55	0.57	0.57	0.55	0.68	0.67
Al	0.01	0.00	0.00	0.03	0.03	0.02	0.02	0.00	0.00
Si	2.04	2.04	2.04	2.03	2.03	2.04	2.03	2.05	2.06
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	1.06	1.07	1.07	1.01	1.01	1.01	1.02	1.07	1.07
Mn	0.05	0.04	0.04	0.06	0.06	0.06	0.07	0.04	0.03
Fe	0.11	0.09	0.11	0.26	0.25	0.23	0.28	0.11	0.09
Summa	3.96	3.96	3.95	3.95	3.95	3.95	3.96	3.95	3.94
X _{diopsid}	80.9	83.7	81.5	63.1	65.0	65.7	61.2	81.8	83.9
X _{johannsenit}	6.2	5.0	5.3	6.8	7.2	7.4	7.8	4.6	4.2
X _{hedenbergit}	12.9	11.3	13.3	30.1	27.8	26.9	31.0	13.6	11.9
X _{wollastonit}	55.4	56.1	56.0	53.7	53.4	54.0	53.0	56.3	57.4
X _{ferrosilit}	8.5	7.2	8.2	17.1	16.3	15.8	18.2	8.0	6.8
X _{enstatit}	36.1	36.7	35.8	29.2	30.3	30.3	28.7	35.7	35.7

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Pyroxen

ProvNr AnalysNr	E-malmen					F-malmen			
	538 m					700 m			
	GENE538C1 M27e	GENE538C1 M27h	GENE538G M22a	GENE538J M23a	GENE538J M23b	GNF700B2 M11e	GNF700B2 M11f	GNF700C2 M12a	GNF700C2 M12b
Atom %									
Mg	16.32	15.81	15.90	16.51	16.12	13.87	12.99	13.80	14.17
Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Si	51.79	51.93	52.05	52.08	51.89	51.32	51.99	51.45	51.56
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	26.68	27.27	26.66	26.87	26.79	25.91	26.12	25.86	26.03
Mn	2.37	2.07	3.05	1.90	2.20	2.70	2.64	2.63	2.62
Fe	2.85	2.92	2.34	2.63	3.01	6.21	6.27	6.26	5.61
Katjoner normaliserade till (O=6)									
Mg	0.65	0.62	0.63	0.65	0.64	0.55	0.51	0.55	0.56
Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Si	2.05	2.05	2.05	2.05	2.05	2.03	2.05	2.04	2.04
K	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Ca	1.05	1.08	1.05	1.06	1.06	1.03	1.03	1.02	1.03
Mn	0.09	0.08	0.12	0.07	0.09	0.11	0.10	0.10	0.10
Fe	0.11	0.12	0.09	0.10	0.12	0.25	0.25	0.25	0.22
Summa	3.95	3.95	3.95	3.95	3.95	3.97	3.95	3.96	3.96
X _{diopsid}	75.8	76.0	74.7	78.5	75.6	60.9	59.3	60.8	63.3
X _{johannsenit}	11.0	10.0	14.3	9.0	10.3	11.9	12.1	11.6	11.7
X _{hedenbergit}	13.2	14.0	11.0	12.5	14.1	27.3	28.6	27.6	25.0
X _{wollastonit}	55.3	56.7	55.6	56.1	55.7	53.2	54.4	53.3	53.7
X _{ferrosilit}	10.8	10.4	11.2	9.5	10.8	18.3	18.6	18.3	17.0
X _{enstatit}	33.8	32.9	33.2	34.5	33.5	28.5	27.1	28.4	29.3

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Pyroxen

ProvNr AnalysNr	F-malmen				Malmupplag		
	700 m				Ovan jord		
	GNF700D1 M13a	GNF700D1 M13b	GNF700D2 M18a	GNF700D2 M18b	GNV9 M116c	GNV14 M115c	GNV14 M115e
Atom %							
Mg	13.90	13.97	13.90	13.76	13.26	12.75	12.92
Al	0.00	0.00	0.00	0.06			
Si	51.25	51.58	51.55	51.72	51.68	51.50	51.23
K	-	-	-	-	-	-	-
Ca	25.70	25.64	26.05	25.68	23.99	24.68	24.52
Mn	3.60	2.66	3.32	3.00	5.80	6.60	6.92
Fe	5.56	6.14	5.18	5.78	2.78	4.48	4.41
Zn	-	-	-	-	2.49	-	0.01
Kattjoner normaliserade till (O=6)							
Mg	0.55	0.55	0.55	0.54	0.53	0.50	0.51
Al	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Si	2.03	2.04	2.04	2.04	2.08	2.04	2.03
K	-	-	-	-	-	-	-
Ca	1.02	1.01	1.03	1.02	0.96	0.98	0.97
Mn	0.14	0.11	0.13	0.12	0.23	0.26	0.27
Fe	0.22	0.24	0.21	0.23	0.11	0.18	0.17
Summa	3.97	3.96	3.96	3.95	3.92	3.96	3.97
X _{diopsid}	60.3	61.4	62.1	61.0	60.7	53.5	53.3
X _{johannsenit}	15.6	11.7	14.8	13.3	26.6	27.7	28.5
X _{hedenbergit}	24.1	27.0	23.1	25.6	12.7	18.8	18.2
X _{wollastonit}	52.7	53.0	53.8	53.3	52.3	50.9	50.3
X _{ferrosilit}	18.8	18.2	17.5	18.2	18.7	22.8	23.2
X _{enstatit}	28.5	28.9	28.7	28.5	28.9	26.3	26.5

Pyroxmangit

ProvNr AnalysNr	BH 644	
	670 m	
	BH-644 113,8m	BH-644 113,8m
Atom %		
Mg	16.55	13.44
Si	41.86	42.45
Ca	0.01	0.00
Mn	34.84	37.38
Fe	6.74	6.73

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Rodonit

ProvNr AnalysNr	E-malmen		Malmupplag						
	811 m		Ovan jord						
	E-811m	E-811m	GNV2 b	GNV2 f	GNV2 g	GNV2 i	GNV9 M116b	GNV9 116b2	GNV12 M102e
Atom %									
Mg	5.90	5.38	3.76	4.09	3.77	4.67	2.34	2.89	0.00
Si	52.37	52.35	51.49	51.92	51.79	51.52	52.87	52.38	55.02
Ca	5.82	4.93	6.96	6.86	6.77	6.88	8.12	8.44	8.91
Mn	34.43	36.64	35.96	34.51	35.27	34.59	29.23	28.98	28.48
Fe	1.49	0.70	1.83	2.61	2.40	2.34	3.06	2.91	3.45
Zn			-	-	-	-	4.39	4.40	4.14

Rodonit

ProvNr AnalysNr	Malmupplag			
	Ovan jord			
	GNV12 M102f	GNV12 M102j	GNV14 M115a	AZ920514 M79a
Atom %				
Mg	0.00	0.00	2.92	4.63
Si	55.53	55.63	51.77	57.68
Ca	8.45	9.25	8.27	6.90
Mn	28.36	28.28	33.04	28.99
Fe	3.28	2.88	4.00	1.80
Zn	4.39	3.97	-	-

Scheelit

ProvNr AnalysNr	D-malmen		Malmupplag	
	680 m		Ovan jord	
	GND680A1 M111a	GND680A1 M111c	GNV9 M116a	GNV10 M118a
Atom %				
Ca	52.06	52.04	52.31	51.87
Mo	2.28	2.26	2.63	3.21
W	45.66	45.70	45.07	44.92

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Serpentin

Stuff	Malmupplag		
	Ovan jord		
	GNV1	GNV1	GNV1
Analys	M41c	M41d	M41e
Atom %			
Mg	35.41	38.78	37.62
Si	55.00	54.28	54.08
Ca	0.76	0.31	0.65
Mn	5.32	4.01	4.56
Fe	3.52	2.62	3.09

Staurolit

ProvNr	Strandmalmen	
	Liggmalmen 620 m	
	S4	S4
AnalysNr	4	4b

Al	54.20	54.23
Si	33.90	34.34
Fe	9.14	8.37
Zn	2.76	3.06

Talk

ProvNr	Strandmalmen		
	Liggmalmen 620 m		
	S3	S3	S3
AnalysNr	2	3	4

Mg	29.61	29.46	29.62
Si	68.04	68.31	68.11
Mn	0.00	0.00	0.02
Fe	2.35	2.23	2.25

Tefroit

ProvNr	E-malmen						
	811 m						
	E-811m	E-811m	E-811m	E-811m	E-811m	E-811m	E-811m
AnalysNr							
Atom %							
Mg	17.54	16.68	18.43	15.81	12.18	13.43	11.58
Si	36.51	36.19	37.45	37.29	35.59	36.37	36.32
Ca	0.00	0.00			0.00	0.08	0.07
Mn	43.04	42.86	41.17	43.60	45.19	43.82	44.61
Fe	2.92	4.27	2.95	3.30	7.04	6.30	7.42

Tetrahedrit

ProvNr	Strandmalmen				
	Hängmalmen 625 m			Liggmalmen 620 m	
	GSH625B	GSH625C	GSH625C	S1	S1
AnalysNr	M57d	M63e	M63e2	4	5b
Mineral	Freibergit	Tetrahedrit	Tetrahedrit	Freibergit	Freibergit
Atom %					
S	43.85	44.01	44.19	42.65	43.55
Fe	5.52	6.46	6.25	6.29	5.84
Cu	15.60	22.85	21.86	16.20	15.03
Ag	20.06	12.11	12.96	19.79	21.74
Sb	14.97	14.57	14.74	15.07	13.84

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Titanit

ProvNr	Kanalmalmen	
	515 m	
	GK515A1	GK515B
AnalysNr	M45d	c
Atom %		
Al	4.31	3.49
Si	33.67	33.87
K	-	0.92
Ca	32.33	32.56
Ti	29.01	29.16
Mn	0.10	-
Fe	0.57	-

Titanit

Stuff	E-malmen
	538 m
	GNE538J
Analys	M21e
Al	5.23
Si	33.73
Ca	33.20
Ti	27.84

Zinkblände

ProvNr	Strandmalmen							
	Hängmalmen 625 m			Liggmalmen 620 m				Liggmalmen 675 m
	GSH625B	GSH625F	GSH625F	S1	S2	S6	S6	GSL675B
AnalysNr	M57f	M51e	M51f	2	7	M77a	M77b	M81a
S	50.63	51.17	51.12	51.58	51.16	55.70	55.62	54.47
Mn	0.87	0.41	0.34	0.12	0.10	0.49	0.47	0.12
Fe	8.33	6.51	6.10	2.36	2.94	6.38	6.24	5.35
Zn	40.08	41.83	42.44	45.94	45.80	37.43	37.66	40.06
Cd	0.10	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Zinkblände

ProvNr	Kanalmalmen								
	515 m								
	GK515C	GK515C	GK515C	GK515C	GK515D	GK515D	GKL515G	GKL515G	GKL515H
AnalysNr	M46a	M49a	M49b	M46i	M52e	M52f	M78a	M78b	M82b
S	51.83	51.71	51.06	51.89	51.43	51.10	54.48	54.01	53.12
Mn	0.26	0.86	0.79	0.36	1.15	1.03	0.19	0.22	0.24
Fe	4.95	8.58	8.42	5.88	5.97	6.11	7.12	7.14	5.3
Zn	42.96	38.82	39.73	41.87	41.34	41.65	38.19	38.59	41.32
Cd	0.00	0.02	0.00	0.00	0.11	0.12	0.02	0.04	0.02

Skarn och skarnmineral i Zn-Pb-Ag-(Cu-Au)-gruvorna Garpenberg och Garpenberg Norra

Zinkblände

ProvNr AnalysNr	Kanalmalmen									
	582 m							670 m		
	GK582B B	GK582B M48c	GK582B M48d	GK582C M58a	GK582C M58b	GK582D M53e	GK582D M53f	GK670-K1 2	GK670-K2 6	GK670-K2 8
S	50.97	51.35	51.40	50.80	51.42	50.81	51.28	50.96	51.11	51.37
Mn	0.81	1.57	1.46	0.96	0.94	0.27	0.33	0.22	0.18	0.01
Fe	8.31	7.04	6.59	6.35	6.41	6.24	6.17	5.67	4.07	4.25
Zn	39.88	39.96	40.54	41.77	41.19	42.55	42.20	43.10	44.56	44.38
Cd	0.03	0.08	0.02	0.12	0.04	0.13	0.01	0.06	0.09	0.00

Zinkblände

ProvNr AnalysNr	Kanalmalmen	
	670 m	
	GK670-K5 4	GK670-K5 6
S	51.38	51.03
Mn	0.57	0.48
Fe	1.44	1.61
Zn	46.60	46.89
Cd	0.00	0.00

Willemit

Stuff Analys	Malmupplag		
	Ovan jord		
	GNV12 M102a	GNV12 N102b	GNV12 M102k
Atom %			
Si	42.98	44.77	47.15
Mn	0.58	0.82	0.77
Fe	-	-	0.30
Zn	56.44	54.41	51.77
Cd	-	-	0.00