

En kort geologisk oversikt over Kongsberg ertsdistrikt

Fred Steinar Nordrum & Peter Bancroft

Et stort antall artikler er skrevet om Kongsberg ertsdistrikt, siden den aller første, i 1631. De mest markante arbeidene i geologi har vært doktorgradsavhandlingene til C. Bugge (1917) (generell geologi) og Neumann (1944) (mineralogi). Johnsen (1986) forfattet en meget god oversikt over tidligere geologisk litteratur om Kongsberg, men mye ny informasjon har kommet til de siste 20 år.

Vertsbergarter

Geologisk tilhører Kongsberg ertsdistrikt Kongsberg sektor av det prekambrisk område i Sør-Norge, som er en del av Det baltiske skjold.

På Kongsberg finnes det omlag 300 sølvgruver og -skjerp innen et område omtrent 30 km langt (i N-S retning) og 10 km bredt. Hele ertsdistriktet opptrer innenfor et område med sterkt metamorfoserte og tektoniserte prekambriske bergarter, særlig kvarts-plagioklas-biotitt gneiser, glimmer og klorittskifere, granittiske gneiser og amfibolitter (metagabbroer og metadioritter). En rekke mylonittsoner og regionale breksje/forkastningssoner forekommer i området. Aldersbestemmelse av gneisene indikerer deformasjon og høy grad metamorfose for omlag 1,6 milliarder år siden, og en annen metamorf episode omlag 1,2-1,1 milliarder år siden (det svekonorvegiske orogen) (Jacoben & Heier 1978). Noen metagabbroer/metadioritter intruderte under den første metamorfe episode, mens andre (opprinnelig gabbroer og diabasganger) har blitt aldersbestemt til omlag 1,2 milliarder år (Vinordiabasene). Gneisene og skifrene har opprinnelig vært en serie med vulkanske og sedimentære bergarter som kan representere deler av en proterosoisk øybuedannelse. Vest for Kongsberg ertsdistrikt opptrer det granittiske intrusjoner (ca. 1,2 og 1,05 milliarder år gamle), mens kambro-

siluriske sedimenter og permiske intrusiver opptrer i sør.

Fahlbåndene

Omtrent parallelt med det nord-sør løpende strøket i bergartene opptrer det sulfidimpregnerte soner. Svovelkis og magnetkis dominerer blant sulfidene. Disse sonene har ofte rustflekker på overflaten både ute og inne i gruvegangene. Sonene kalles "fahlbånd" etter gammel tysk språkbruk. De to største fahlbåndene forekommer i det sentrale gruvefeltet, og de kalles Overberget og Underberget. De er over 10 km lange og maksimalt opptil 800 brede. De fleste av de større gruvene ligger i disse to sonene.

Bergmennene ble tidlig klar over en generell regel ved letingen etter nye sølvforekomster: "Uten fahl(bånd) og (kalkspat)gang intet sølv". Sølv ble alltid funnet i krysninger mellom fahlbånd og kalkspatårer, ikke ved alle krysninger, men aldri andre steder enn i krysninger. Dette førte til at de fleste av sølvforekomstene ble funnet alt på 1600-tallet.

Enkelte steder er fahlbåndene så rike på sulfider at de har forårsaket gruvedrift på kobber og kobolt. Enkelte steder opptrer det massive kislinsler. Flere hypoteser for opprinnelsen til fahlbåndene har vært lansert. Kjerulf & Dahll (1861) og Bugge (1917) støttet hypotesen om at sulfidavsetningen hadde tilknytning til Vinordiabasene og senere var påvirket av regional metamorfose. Mange har den oppfatning at sulfidene opprinnelig er vulkanske eksalativer avsatt på havbunn (Gammon 1966, Starmer 1977), mens andre tror at de impregnerte sulfidene er avsatt langs sprekkesoner (Sverdrup et al. 1967). Det kan synes som om flere geologiske prosesser i området har ført til dannelse av sulfider.

Årer og ganger

I det prekambriske området rundt Kongsberg har diabasganger, kvartsårer og kalkspatårer av permisk alder blitt avsatt langs sprekker og forkastninger oppstått under utviklingen av Oslo-riften. (Før ble både årer og ganger kalt ganger). Kalkspatårene er de yngste, mens kvartsårene som oftest er yngre enn diabasgangene. Diabasganger har gitt K/Ar-aldere i området 276-270 millioner år (Ihlen et al. 1984).

Gruvedrift fant sted på *kvartsårer* med blyglans, kobberkis og sinkblende i perioder mellom 1538 og 1908. Noen kvartsårer og kvartsbreksjer inneholder store mengder flusspat, og tre forekomster i Kongsberg ble drevet i perioder mellom 1870 og 1945. Andre primære mineraler rapportert fra kvartsårer er svovelkis, magnetkis, kalkspat, stelleritt, prehnitt, kullblende, sølv og gull. Siden 1975 er store mengder kvartskrystaller funnet av samlere i gamle gruver og skjerp og i vegskjæringer. Druser opp til 2-3 m er funnet. Kvartsperimorfoser av kvarts er ikke uvanlig. Omrisset av opprinnelige skiferspat- og flusspatkrystaller er fortsatt tydelig.

Ifølge Frøyland & Segalstad (1992) og Frøyland (1995) ble kvarts i Fiskum-området (østre del av Kongsberg ertsdistrikt) avsatt fra hydrotermale løsninger med et saltinnhold på omkring 4 vektprosent NaCl-ekvivalenter og temperaturer på rundt 200°C ved et antatt trykk på omkring 300 bar (hydrostatisk trykk ved et dyp på 3 km). Løsningene var i oksygenisotoplikevekt med sidebergartene (ifølge $\delta^{18}\text{O}$ -isotop analyser). Kvartsårene inneholder fragmenter av grafittførende alunskifer, som må ha falt ned i sprekke fra overliggende kambriske sediment. De konkluderte med at kvarts, svovelkis, sinkblende, blyglans og kalkspat utkrystalliserte som et resultat av synkende temperaturer, kobberkis ved temperaturøkning, magnetkis ved synkende svovelgaset og kalkspat ved økende pH, mens til slutt minkende pH førte til oppløsning av kalkspat. Basert på oksygen- og karbonisotopanalyser antar forfatterne at krystalliseringen av tidlig

kvarts fant sted i et åpent system, som ble lukket da kalkspat begynte å krystallisere. Ingen markant gradient for temperatur eller saltinnhold ble funnet i kvartsårene gjennom Fiskum-området.

Kalkspatårene er fra en brøkdel av en mm opp til omkring 0,5 m i tykkelse. Deres utstrekning horisonalt og vertikalt er fra noen få meter opp til 200-300 meter. Årene har vanligvis steilt fall. De fleste årene har strøk Ø-V og forekommer ofte i et system av årer, men noen årer har N-S retning. I området omkring Kongens gruve er de vanlige årene tolket som avsetninger langs tensjonssprekker, dannet mellom normal-forkastninger (Øyvik 1997). De større årene som opptrer langs Ø-V-forkastninger, er blitt kalt "råtaganger" (Bugge 1917), mens større N-S-årer, som også opptrer langs normalforkastninger, ble kalt "strykningsganger". Disse større dislokasjonsprekkene kan ha vært viktige transportkanaler for hydrotermale løsninger og sølv. Disse større årene er imidlertid vanligvis nesten uten sølv, men anrikning av sølv er rapportert i deres nærhet.

Kalkspatårene har oftest regelmessige grenser, skjønt noe breksjering er vanlig. Noen ganger har det forgått betydelig breksjering. Druser er ganske vanlig, fra bittesmå opp til over en meter i lengde. Større druser er vanligvis smale og parallelle med årene. Sidesteinsomvandling kan sees ved opptreden av kloritt og lys glimmer, og noen ganger ved leirmineraler.

Vanligvis synes årene å være enkle sprekkefyllinger med hvit kalkspat. En nærmere undersøkelse viser imidlertid en lang og komplisert dannelseshistorie. Skjønt kalkspat dominerer, er mer enn 60 primære mineraler rapportert fra årene. Noen årer er sonert, med kvartskrystaller som viser combstruktur. Disse krystallene vokste ut på sprekkeveggene før avsetningen av kalkspat og sølv. Noen årer har store mengder baritt, mens andre nesten helt består av baritt. Regionalt er vanligvis gedigent sølv, acanthitt, svovelkis, sinkblende, kobberkis, flusspat, og kullblende tilstede. Lokalt kan mengdeforholdene mellom de forskjellige

mineralene variere betraktelig. I deler av en kalkspatåre kan sølv ikke sees, mens andre steder kan store mengder sølv være tilstede.

Mange mineraler er blitt utfelt mer enn en gang. Münster (1883) inndelte kalkspatutfellingen i fire stadier etter krystallenes habitus, mens Johansen (1985) inndelte den hydrotermale avsetningen i 12 hovedstadier. Han fant indikasjoner på minst 16 kalkspatgenerasjoner, fordelt i 10 av hovedstadiene. Gedigent sølv, acanthitt, svovelkis, sinkblende, flusspat og kvarts er også utfelt mer enn en gang.

Væskeinneslutningsdata (Segalstad et al. 1986) bekrefter minst tre forskjellige oppvarmings- og avkjølingssyklusser assosiert med variasjoner i saltinnholdet. Væskeinneslutningstemperaturen under dannelsen ligger i området mellom 200° C og 300° C (trykkkorreksjoner er utført utfra et antatt hydrostatisk trykk på 350 bar og et stratigrafisk dyp på 3,5 km). Saltinnholdet varierer fra 0 til 35 vektprosent NaCl-ekvivalenter. Gedigent sølv er generelt blitt utfelt under periodene med opphetning, i området fra 250° C til 300° C, assosiert med et fall i saltinnholdet fra omlag 27-22 til omlag 20-15 vektprosent NaCl-ekvivalenter.

Isotopiske $\delta^{34}\text{S}$ verdier i baritt sammenfaller med sulfat i det samtidige, permiske havvann (12 per mil, CDT), mens fahlbåndsvovel er en sannsynlig kilde for sulfidene i kalkspatårene, siden de viser korresponderende likevektsisotop verdier (Segalstad et al. 1986). $\delta^{13}\text{C}$ for kullblende i årene (-30 til -28 per mil, PDB) peker mot Oslofeltets skifere (-29 til -22) som en mulige kilder for redusert karbon. Karbonisotoper i kalkspat viser stor variasjon (-26 til -1) som ekskluderer Oslofeltets kalksteiner (-10 til +3) som mulige kilder for det reduserte karbon. Segalstad et al. (1986) konkluderte med at kjemiske reaksjoner mellom saltrike løsninger, fattige på svovel og rike på karbon, og magnetkis (pyrrhotitt) i fahlbåndene ved temperaturer ved minimum kalkspatløslighet (litt over 250°C) førte til utfelling av gedigent sølv og kullblende.

Segalstad (1885, 1996) antok at sølv og karbon stammet fra de opprinnelig overliggende karbonrike, sulfid- og metallanrikede alunskifrene av kambrisk alder. Han pekte på at det subkambriske konglomeratet muligens hadde opptrådd som en transportkanal for de hydrotermale væskene. De mineraldannende væskene har vært "crustal water", det vil si vann i oksygenisotopisk likevekt med omgivelsene (Segalstad et al. 1986), og klorid ioner har vært hovedtransportagent for sølvet (Segalstad pers. medd. 1996).

Sammenfatning

Ut fra denne oppsummeringen ble sølvforekomstene dannet ved en kombinasjon av strukturell og kjemisk kontroll. Kalkspatårene ble avsatt langs permiske sprekker i prekambriske bergarter, og sølvet utkrystalliserte ved krysningstedene mellom fahlbånd og sprekker, da magnetkis i båndene reagerte med sirkulerende, sølvførende, hydrotermale løsninger ved temperaturer litt over 250°C. Lukking og reåpning av sprekker kan ha vært viktig i forbindelse med den sykliske temperatur og salinitets-variasjonen og for utfellingen av mineraler i stadier. Vannet i løsningene var opprinnelig meteorisk vann eller magmatisk vann som hadde oppnådd likevekt med de nye omgivelsene. Varme fra Osloriftens magmaer på dypet kan ha forårsaket sirkulasjonen av løsningene (Segalstad pers. komm. 1996). Sølv ble muligens utlutet fra de overliggende alunskifre og transportert av kloridioner i de hydrotermale løsningene.

Takk

Tom Viktor Segalstad og Alf Olav Larsen har bidratt med verdifulle kommentarer til et tidligere utkast.

Litteratur

- BUGGE, C. (1917): Kongsbergfeltets geologi. *Norges Geologiske Undersøkelse* **82**, 272 s.
- FRØYLAND, M. (1992): Geokjemi av bly-/sink-forekomster på Fiskum, Øvre Eiker, Sør-Norge. *Cand. scient. oppgave, Universitetet i Oslo*, 142 s.
- FRØYLAND, M. (1995): Geokjemisk analyse av bly-sink forekomstene i

- Fiskum, Buskerud. *Norsk Bergverksmuseum*, Skrift **9**, 70-83.
- FRØYLAND, M. & SEGALSTAD, T.V. (1992): Geochemistry of lead-zinc sulfide ore deposits in the Fiskum area, Southern Norway. *20th Geological Winter Meeting, Reykjavik 1992*, 44 (Abs.).
- IHLEN, P.M. (1986): The metallogeny of the Kongsberg district. *Sveriges Geologiska Undersökning*. Ser. Ca, **59**, 30-32.
- IHLEN, P.M., INESON, P.R., MITCHELL, J.G. & VOKES, F.M. (1984): K-Ar dating of dolerite dykes in the Kongsberg - Fiskum district, Norway, and their relationship with the silver and base metal veins. *Norsk Geologisk Tidsskrift* **64**, 87-96.
- JACOBSEN, S. & HEIER, K. (1978) Rb-Sr isotope systematics in metamorphic rocks, Kongsberg sector, south Norway. *Lithos* **11**, 257-276.
- JOHANSEN, H. (1985): Geokjemi av hydrotermale prosesser i de sølvførende kalkspatganger på Kongsberg. *Cand. scient. oppgave, Universitetet i Oslo*. 239 s.
- JOHANSEN, H. & SEGALSTAD, T.V. (1985): Gangmineraldannelsen i Kongsberg sølvforekomst. Malmgeologisk symposium: "Nye malmtypen i Norge". Bergverkenes Landssammenslutnings Industrigruppe, *Bergforskningen*, 99 (Abs.).
- JOHNSON, O. (1986): Kongsberg. Famous mineral localities: the Kongsberg Silver Mines, Norway. *Mineralogical Record* **17**, 19-36.
- JOHNSON, O. (1987): Silber aus Norwegen. Zur Bergbaugeschichte und über die Mineralienschatze. *Emser Hefte* **8**, 1-48.
- KJERULF, T. & DAHLL, T. (1861): Om Kongsbergs Ertsdistrikt. *Nyt Magazin for Naturvidenskabene* **11**, 173-207.
- MÜNSTER, T. (1883): Bemærkninger om Kongsbergminerale. *Nyt Magazin for Naturvidenskabene* **27**, 309-322.
- NEUMANN, H. (1944): Silver deposits at Kongsberg. *Norges Geologiske Undersøkelse* **162**, 133 s.
- SEGALSTAD, T.V. (1982): Geokjemi av stabile isotoper i Oslo-riften. *Geonytt* **17**, 44-45 (Abs.).
- SEGALSTAD, T.V. (1985): Sølvdannelsen i Kongsberg sølvforekomst. Malmgeologisk symposium "Nye malmtypen i Norge". Bergverkenes Landssammenslutnings industrigruppe, *Bergforskningen*, 100 (Abs.).
- SEGALSTAD, T.V. (1996): The ore mineralization at the Kongsberg Silver Mines, Norway. *10th Kongsberg Seminar 1996: "Fractures, fluid flow and transport in fractures"*, Dep. of Geology, University of Oslo, 6-7 (Abs.).
- SEGALSTAD, T.V. & OHMOTO, H. (1986): Magmatic and crustal waters in hydrothermal solutions associated with ore deposition in the Permian Oslo Rift. *Terra Cognita* **6**, 555 (Abs.).
- SEGALSTAD, T.V. & OHMOTO, H. (1990): Geochemistry of hydrothermal ore forming processes in the Oslo Rift, Norway. *8th IAGOD Symposium 1990*, Ottawa, Canada. Abstracts with Program, Addendum, 1.
- SEGALSTAD, T.V., JOHANSEN, H. & OHMOTO, H. (1986): Geochemistry of hydrothermal processes at the Kongsberg silver deposit, Southern Norway. *Terra Cognita* **6**, 511 (Abs.).
- STARMER, I.C. (1977): The geology and the evolution of the southwestern part of the Kongsberg Series. *Norsk Geologisk Tidsskrift* **57**, 1-22.
- STARMER, I.C. (1985): The evolution of the South Norwegian Proterozoic as revealed by the major and megatectonics of the Kongsberg and Bamble Sectors. In A.C. Tobi & J.L.S. Touret (eds.): *The deep Proterozoic crust in the North Atlantic provinces*. D. Reidel Publ. Co., Dordrecht, 259-290.
- SVERDRUP, T.L., THORKILDSEN, C.D. & BJØRLYKKE, H. (1967): Uran og thorium i Norge. *Norges Geologiske Undersøkelse* **250A**, 1-31.
- ØYVIK, M. (1997): Strukturell kontroll av sølvmineraliseringen i Kongsberg. *Geonytt* **24**, 99- 100 (Abs.).
- ØYVIK, M. (1998): Strukturell utvikling ved sølvgruvene i Kongsberg. *Cand. scient. oppgave, Universitetet i Oslo*. 81 s.