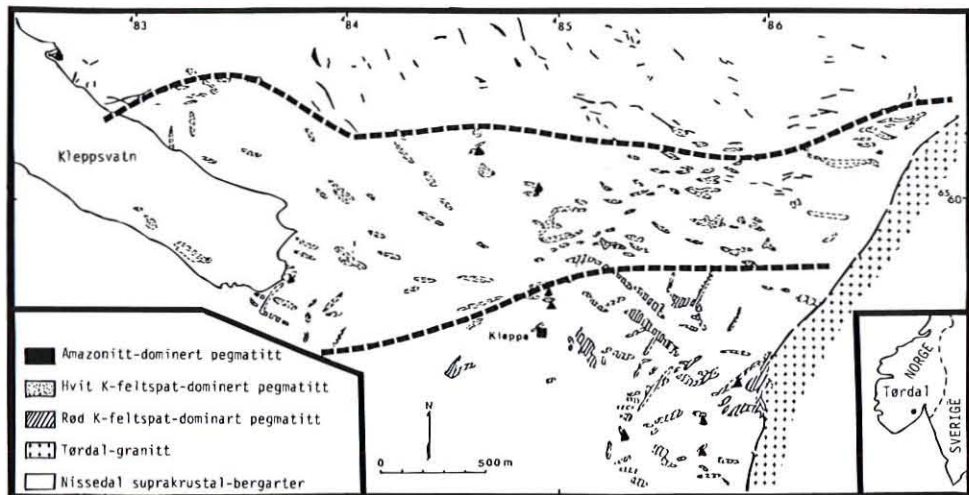


# PEGMATITTENE I TØRDAL, TELEMARK.

Av Tom V. Segalstad & Ted L. Eggleston, Mineralogisk-Geologisk Museum



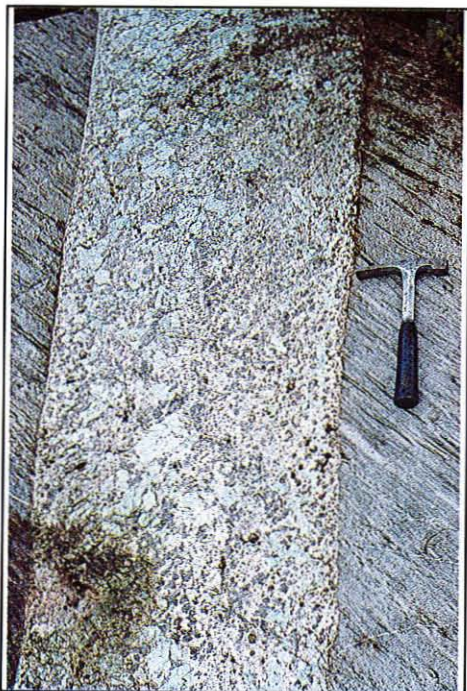
Kart over forskjellige typer pegmatitter i Tørdal-området.

Pegmatitter er bergarter som består av store mineraler, med mineralstørrelser fra flere cm til flere meter. De store krystallene er attraktive i industri-sammenheng. Feltpat, kvarts og glimmer er vanlig å utvinne fra pegmatitter. Imidlertid kan pegmatitter også være rike på sjeldne grunnstoffer som har deltatt i dannelsen av sjeldne mineraler. Derfor er pegmatitter viktige råstoffkilder for sjeldne grunnstoffer, og naturligvis viktige mål for mineralsamlere.

Sammensetningsmessig er pegmatitter oftest av to typer: Granitt-pegmatitter og nefelin-syenitt-pegmatitter. De kan opptre som sprekkefyllinger (ganger), som lenser eller som uregelmessige kropper. Pegmatittene kan videre deles opp i to typer etter hvordan de er oppbygd: Enkle og komplekse. De enkle granitt-pegmatitter kan bestå av vekslende krystaller av feltpat, kvarts og glimmer. De komplekse pegma-

titter kan være oppbygd i forskjellige soner med hvert sitt mineralinnhold, og ofte med nesten ren kvarts i kjernen.

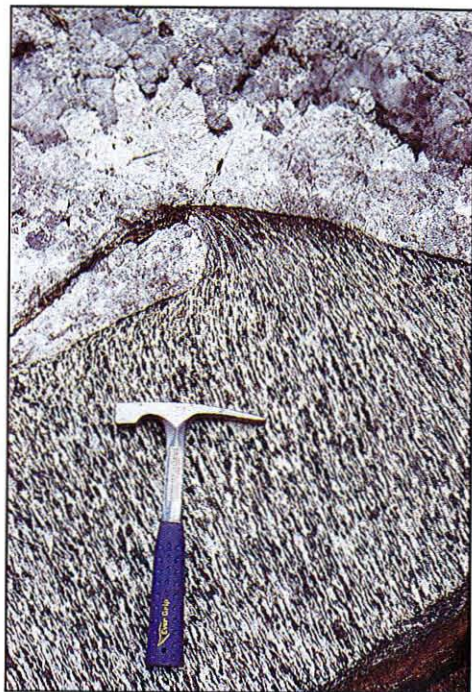
For å få dannet de store mineralene i pegmatitter, foregår dannelsen ved langsom krystallisasjon ved temperaturer nær mineralenes smeltepunkter. Pegmatitter kan dannes magmatisk av den siste smelten fra et størknende magma. Eller de kan dannes metamorft fra en smelte dannet ved at



*Foto 1: Vanlig type enkel granitt-pegmatitt fra den sydlige del av Tørdal pegmatitt-område. Den grønne amazonitt-feltspaten har delvis gått over til en lyserød feltspat. Forøvrig har pegmatitten grå kvarts og sort biotitt. (Foto: T. V. Segalstad).*

økende trykk og temperatur fikk skorpebergarter til å smelte. Dessuten vil væsker og gasser være viktige agenser ved dannelsen av pegmatitter.

Noen pegmatitter, oftest de av komplekse type, viser at enkelte av de tidlige dannede mineralene har blitt ustabile og gått i oppløsning, mens nye mineraler har blitt dannet i stedet. Man har lenge undret seg over hvordan dette kunne skje. Allerede for mer enn hundre år siden ble det tidlige stadium kalt "det magmatiske stadium" og det senere stadium for "det hydrotermale-pneumatolytiske stadium". Grunnen til den sistnevnte betegnelse var at mineralvekstens utseende indikerte at varmt vann (hydro = vann; termal = varme) og gasser (pneumato = luft, gass) måtte ha deltatt i



*Foto 2: Grensen mellom pegmatitt i Høydalen, Tørdal, og sidestenen viser at pegmatitten har hatt kraft til å deformere sidestenen plastisk. (Foto: T. V. Segalstad).*

dannelsen. Et viktig spørsmål er så om disse sene væsker og gasser var kommet inn etter det opprinnelige magmaet, eller om det var væsker og gasser som skilte seg ut fra magmaet og reagerte med de først utkrystalliserte pegmatittmineraler.

Pegmatittene i Tørdal har gitt oss anledning til å komme nærmere svarene på disse sentrale spørsmål om hvordan komplekse granitt-pegmatitter dannes.

### **Pegmatitter i Tørdal**

For noe over 50 år siden ble det kjent at det i Tørdal i Telemark finnes komplekse granitt-pegmatitter med lepidolitt (litiumglimmer) og cassiteritt (tinnsten). Det var første gang at disse mineraler ble rapportert funnet i Norge. Pegmatittene opptrer innenfor et område på ca. 5 km<sup>2</sup>, og hydrotermale årer av kvarts med molybdenitt



Foto 3: Skriftgranitt-sonen med grønn amazonitt-feltspat og grå kvarts fra Høydalen, Telemark. (Foto: T. V. Segalstad).



Foto 4: Skriftgranitt med bleket amazonitt-feltspat og grå kvarts fra Høydalen, Telemark. (Foto: T. V. Segalstad).

(molybdenglans) og cassiteritt finnes i området.

Under 2. verdenskrig ble pegmatittene i Høydalen satt i prøvedrift på glimmer (Christiania Minekompani A/S); pegmatittene på Skarsfjell ble drevet på amazonitt-feltspat (H. Bjørum); kvarts-gangene ved Kleppe ble drevet på molybdenitt. I tiden etter 2. verdenskrig er området kjent for pene og sjeldne mineraler, og eierne av mineralforekomstene har latt mineralsamlere (enkeltvis og i foreninger) besøke stedene mot betaling for uttatt materiale. Gautefall Turisthotell har organisert "opplevelses-turer" til forekomstene for sine gjester. Tørdal-pegmatittene opptrer oftest som elongerte sprekkefyllinger (ganger og sills) i gneisbergarter. Gneisene og amfibolittene fra Nissedal til Tørdal er hovedsakelig omvandlete andesittiske og basaltiske lavaer og vulkanske produkter, som er eldre enn og danner taket over en yngre stor granitt-kropp, uformelt kalt Tørdal-granitten. De tilgjengelige data utpeker Tørdal-granitten som kilden til Tørdal-pegmatittene, og at disse smeltene trengte frem for ca. 900 millioner år siden. Det er flere hundre av disse pegmatittene i området.

Pegmatittenes grenser til sidestenen er skarpe, og mange steder er sidestenen blitt plastisk deformert av press fra pegmatitten. Mineralene i pegmatittene er mest kalifeltspat (grønn, hvit, rød, beige), kvarts (grå, hvit) og albitt-feltspat (hvit, inkludert

cleavelanditt). Glimmermineralene biotitt og muskovitt, samt beryll (blå, grønn, fargeløs, gul, rosa) og topas, er vanlige tilleggs-mineraler. Et stort antall uvanlige og sjeldne mineraler har blitt identifisert i disse pegmatittene: Cassiteritt (tinnsten), molybdenitt (molybdenglans), gadolinit, fluoritt (flussspat), fluoceritt (tysonitt), axinit, lepidolitt, zinnwalditt, yttrotantalitt, monazitt, turmalin, spessartin, orthitt (allanitt). Tveititt ble førstegangsbeskrevet fra disse pegmatittene. Se forøvrig Werners artikkel om bazzitt og ixiolitt m.m. i denne utgaven av Stein.

Både enkle og komplekse pegmatitter finnes i Tørdal-området. Generelt sett er de små pegmatittene av den enkle type, mens de større er av den komplekse type. De komplekse pegmatitter har, generelt sett, en tynn granittisk kant fulgt av en sone med skriftgranitt: Vekslende krystaller av feltspat (ofte den grønne amazonitten) og vinklede "skjeletter" av grålig kvarts. Innenfor skriftgranitten finner vi den mest interessante sonen, sett fra en mineralsamlers side, nemlig kjernegrensen. Her finner vi de fleste av mineralene som ble nevnt i forrige avsnitt. Innerst i pegmatitten finner vi kjernekvartsen, hvor det praktisk talt bare er kvarts. Fra kjernekvartsen finner vi flere steder at det "skyter ut" sprekkefyllinger av kvarts med noe molybdenitt (molybdenglans) og av og til beryll og cassiteritt (tinnsten). Disse sprekkefyllingene

skjærer igjennom pegmatittene, og flere steder går sprekkefyllingene radially ut i side-steinen.

Vi må formode at pegmatittene ble avkjølt og krystalliserte fra ytterkanten og innover, og at de forskjellige sonene krystalliserte i den rekkefølge som er beskrevet ovenfor. Imidlertid finner vi at cleavelanditt og kvarts har erstattet tidligere utkrystalliserte mineraler, og dannet sammen med disse finner vi også molybdenitt (molybdeng-lans), cassiteritt (tinnsten), sjeldne jordarts-mineraler (monazitt, gadolinit, yttrantantalitt og sjeldne jordarts-fluorider), flusspat, beryll, topas og biotitt. Et spodumen-lignende mineral ga en røntgendiffraksjons-film av muskovitt-2M. Det er derfor en mulighet for at spodumen kan ha vært et stabilt mineral i Tørdal-pegmatittene, men at det har blitt erstattet av muskovitt-2M. Amazonitt har blitt erstattet av henholdsvis hvit og lyserød alkalifeltspat fra nord mot syd i området.

### Temperatur og trykk

Ved mikroskopisk undersøkelse av mineralene fra Tørdal-pegmatittene, finner vi uhyre få primære væskeinneslutninger, dvs. av de væskene som var til stede da mineralene krystalliserte. I stedet er mineralene uhyre oppsprukket, og fulle av såkalte sekundære væskeinneslutninger (inneslutninger dannet etter at mineralene krystalliserte). Primære væskeinneslutninger i kvarts i skriftgranitten inneholder en vandig væskefase samt både flytende og gassformig CO<sub>2</sub>. I sen topas fra cleavelanditt-partiene finnes primære væskeinneslutninger som også er dominert av en væskefase. Væsken må være svært saltholdig, fordi vi finner i den krystaller av halitt (natriumklorid, "salt"), sylvin (kaliumklorid) og flere uidentifiserte typer saltkrystaller. Høyeste smeltepunkt for disse saltkrystallene ble funnet å være 580°C, som må tas som en minimumstemperatur for innfangning av disse væskene. Væske og damp homogeniseres ved 250°C, og frysepunktdepresjonen tilsvarer en saltholdighet på 4 vekt-% NaCl-ekvivalenter.

Dette gir et trykk på 4000-5000 bar (1 atmosfære = 105 Pascal = 1,013 bar), avhengig av hvilke data man bruker for å regne seg frem til trykk-estimatet.

De data vi har indikerer at Tørdal-granitten og dens tilhørende pegmatitter ble dannet i 8-10 km dyp ved et trykk på ca. 2400 bar (usikkerhet +/- 400 bar). Granitten ville være fullstendig smeltet ved en temperatur på ca. 780°C. Hvis smelten hadde vært mettet på vann, ville granitten ha størket ved ca. 680°C. Eksperimentelle arbeider, sammen med våre væskeinneslutningsdata, viser at pegmatittenes kjernegrense ble dannet ved ca. 600°C. Rikheten på fluorholdige mineraler viser at smelten må ha vært fluor-rik. 1,5% fluor i en allerede vannmettet smelte vil nedsette granittens smeltepunkt til vår estimerte temperatur.

Våre data indikerer at trykket deretter har steget enormt, fra ca. 2400 kilobar til 4000-5000 kilobar. Dette kan skje etter at vannmetning har funnet sted i smelten, ved at vann skilles ut som en separat fase. At trykket har steget mot slutten av pegmatittdannelsen, kan støttes av våre observasjoner av radielle sprekker utgående fra kjerne, plastisk deformasjon av sidesten, og bøyning av glimmer rundt pegmatitt-kjerne. Væskeinneslutninger med høyt indre trykk ville ikke bli bevart ved jordoverflaten i de fleste tilfeller, og de kraftig oppsprukket mineralene fra Tørdal-pegmatittenes kjerne og kjernegrense vitner om dette. Vi anfører dette som grunnen til at Tørdal-pegmatittene dessverre ikke fører f.eks. beryll-mineraler av smykketeng-kvalitet.

### Silikatsmelter og vandige løsninger

Det granittiske stadium er karakterisert av en silikatsmelte. Det pegmatittiske magmatiske stadium er karakterisert av en vandig silikatsmelte. Fra dette stadium vil de neste mineraler i vår pegmatitt dannes fra en silikatrik vandig løsning, kalt det pegmatittiske magmatiske-hydrotermale stadium. Når vann og gasser (f.eks. fluor) blir utskilt som separat fase fra silikatsmelten, er vi inne i det hydrotermal-pneumatolytiske

stadium i pegmatitt-dannelsen.

Varmt vann og gasser vil ofte ha ganske annerledes forhold til silikatmineraler enn de forhold silikatsmelter vil ha til silikatmineraler. Derfor ser det ut til at den sene vandige fase i Tørdal-pegmatittene var en restløsning av pegmatittenes opprinnelige silikatsmelter, og som bidro til en rekke mineralomvandlinger.

Utskillelse av vann og gasser fra silikatsmelten vil være assosiert med en økning i trykket. Pegmatitter er karakterisert ved dannelse av få og store krystaller. Dette skjer bl.a. når mineraldannelsen foregår langsomt ved temperatur og trykk nær smeltepunktet. For Tørdal-pegmatitt-dannelsen ser det ut til at langsom avkjøling har funnet sted samtidig med økning i trykket, på en slik måte at pegmatitten har fulgt en utvikling langs trykk/temperatur-smeltepunktkurven for en fluorholdig vannmettet granitt. På denne måte har krystallene langsomt blitt dannet, de "vanlige" mineraler først, og restløsningen har vært anriket på sjeldne grunnstoffer med størrelser og ladninger som ikke passet inn i de "vanlige" mineraler. Resultatet er at de sjeldne grunnstoffer må danne sine egne sjeldne mineraler.

### LITTERATUR (UTVALG)

Bailey, S.W. & Christie, O.H.J. (1978): Three-layer monocline lepidolite from Tørdal, Norway. *American Mineralogist* 63, 203-204.

Bergstøl, S., Jensen, B.B. & Neumann, H. (1977): Tveitite, a new calcium yttrium fluoride. *Lithos* 10, 81-87.

Bergstøl, S. & Juve, G. (1988): Scandian ixiolite, pyrochlore and bazzite in granite pegmatite in Tørdal, Telemark, Norway. A contribution to the mineralogy and geochemistry of scandium and tin. *Mineralogy and Petrology* 38, 229-243.

Bergstøl, S. & Juve, G. (1990): Caesian bazzite in granite pegmatite in Tørdal, Telemark, Norway. *Mineralogy and Petrology* 43, 131-136.

Bergstøl, S., Juve, G. & Wilberg, R.

(1984): Fordeling av tinn og andre metaller i Nissedal-Tørdalområdet. I Vokes, F.M. (red.): Nye malmtyper i Norge. Malmgeologisk symposium, BVL1, 101-109.

Mitchell, R.H. (1967): The Precambrian rocks of the Telemark Area in South-Central Norway, V. The Nissedal Supracrustal Series. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 47, 295-332.

Oftedal, I. (1942): Lepidolit- og tinnsteinførende pegmatitt i Tørdal, Telemark. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 22, 1-14.

Rule, A.C., Bailey, S.W., Livi, K.J.T. & Veblen, D.R. (1987): Complex stacking sequences in a lepidolite from Tørdal, Norway. *American Mineralogist* 72, 1163-1169.

Segalstad, T.V. & Eggleston, T.L. (1990): Petrogenesis of tin-bearing complex pegmatites in Southern Norway. Abstracts with Program, 8th IAGOD (International Association on the Genesis of Ore Deposits) Symposium, Ottawa, Canada, A170-A171.

Sverdrup, T.L., Sæbø, P.C. & Bryn, K.Ø. (1965): Contributions to the mineralogy of Norway, 31. Tysonite (fluocerite), a new mineral for Norway. *Norsk Geologisk Tidsskrift* 45, 177-188.



Foto 5: Intens grønn amazonitt-feltspat, som stedvis er bleket, sammen med fiolett lepidolitt-glimmer fra Skarsfjell, Tørdal. (Foto: T. V. Segalstad).

### Summary in English

The pegmatites in Tørdal, Telemark, are characterized by carrying lepidolite and

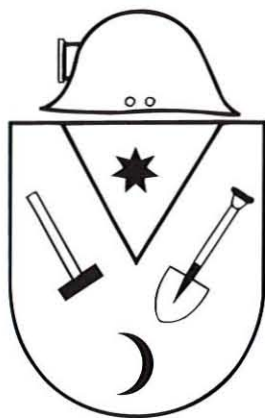
cassiterite, occurring within an area of approximately 5 km<sup>2</sup>. Hydrothermal veins carrying molybdenite and cassiterite also occur in the area. The occurrences were mined for mica, amazonite feldspar, and molybdenite during the 2nd World War. After this time mineral collecting organized by the owners and the Gautefall Tourist Hotel has been taking place.

Several hundred of these pegmatite bodies, age approximately 900 Ma, occur throughout a large area of a Precambrian metamorphosed supracrustal sequence. Many of the pegmatites contain amazonite as a major mineral as well as numerous rare minerals such as beryl, topaz, lepidolite, zinnwaldite, ytrotantalite, gadolinite, monazite, and numerous rare earth element fluorides; plus metal-bearing phases like molybdenite and cassiterite. Cleavelandite and quartz have replaced earlier minerals. The amazonite feldspar is found to have been replaced by white and pink alkali feldspar.

Both simple and complex pegmatites are found in the Tørdal area. The complex type

has a granitic border followed by a graphic granite zone. The core wall zone contains most of the rare minerals. The core zone quartz may extend as veins through the pegmatite bodies and further into the wall-rocks.

Fluid inclusion microthermometry and available mineral stability data indicate that the Tørdal granite and its early pegmatites were formed at 8-10 km depth at a pressure of 2,4 +/- 0,4 kbar and a temperature of approx. 600°C. Later parts of the pegmatites formed after water exsolved from the pegmatitic melt, exerting an increased pressure up to 4-5 kbar. The pegmatite evolved in such a way that the pegmatitic melt cooled slowly along the solidus pressure/temperature curve for a fluorine-containing water-saturated granitic melt. "Ordinary" minerals crystallized first from the aqueous silicic melt, and the remaining hot silicic aqueous solution was enriched in rare elements from which rare minerals formed.



Quærite, et inbentietis

# Canopus

**Svein O. Haugen**

Box 95, 3484 Holmsbu

Tlf.: 32 79 35 80

Fax: 32 79 35 01

Postgiro: 0804 4379830

Bank: Sparebanken NOR

(Union Bank of Norway)

Konto nr.: 2240.30.05030

**Norske samlermineraler  
Estetikk, ikke systematikk**