

# Metoder og resultater af 5 års prospektering i den sydvestnorske molybdænprovins

HENRIK STENDAL OG HANS URBAN



Stendal, H. & Urban H.: Metoder og resultater af 5 års prospektering i den sydvestnorske molybdænprovins. *Dansk geol. Foren., Årsskrift for 1976*, side 85-90. København, 3. januar 1977.

Afdelingen for Malm- og Prospekteringsgeologi ved Institut for Almen Geologi, Københavns universitet startede i 1969 et forskningsprojekt i Sydvestnorge baseret på tungmineral vaskning. Resultaterne af dette blev fulgt op af detaljerede geologiske og geofysiske feltundersøgelser. De hidtidige undersøgelser tyder på, at en wolfram-molybdæn forekomst måske er brydeværdig. Det videnskabelige resultat af undersøgelserne førte frem til en nyvurdering af de sydvestnorske molybdænforkomsters genese.

Henrik Stendal og Hans Urban, Institut for Almen Geologi, Østervoldgade 10, DK-1350 København K.

Det sydnorske grundfjeldsområde bliver i vest og øst begrænset af de Kambro-Silure kaledoniske geosynklinale sedimenter og mod øst endvidere af den Permiske magmaprovin i Oslofeltet. Mod sydøst deles de Prækambriske enheder af den store grundfjeldsbreccie med Kongsberg-Bamble-Formationen. I sydvest afgrænses grundfjeldsområdet af det store

Egersund-Flekkefjord anorthositkompleks. Den vestlige del af grundfjeldsområdet består af charnockitiske bjergarter og det resterende udgøres af Telemarkens Prækambriske grundfjeld. Mod vest foreligger bjergarterne i granulitfacies, mens de i det store Telemarkområde kun når amfibolitfacies. Efter Verstevee (1970) har de nordlige charnockitiske bjerg-

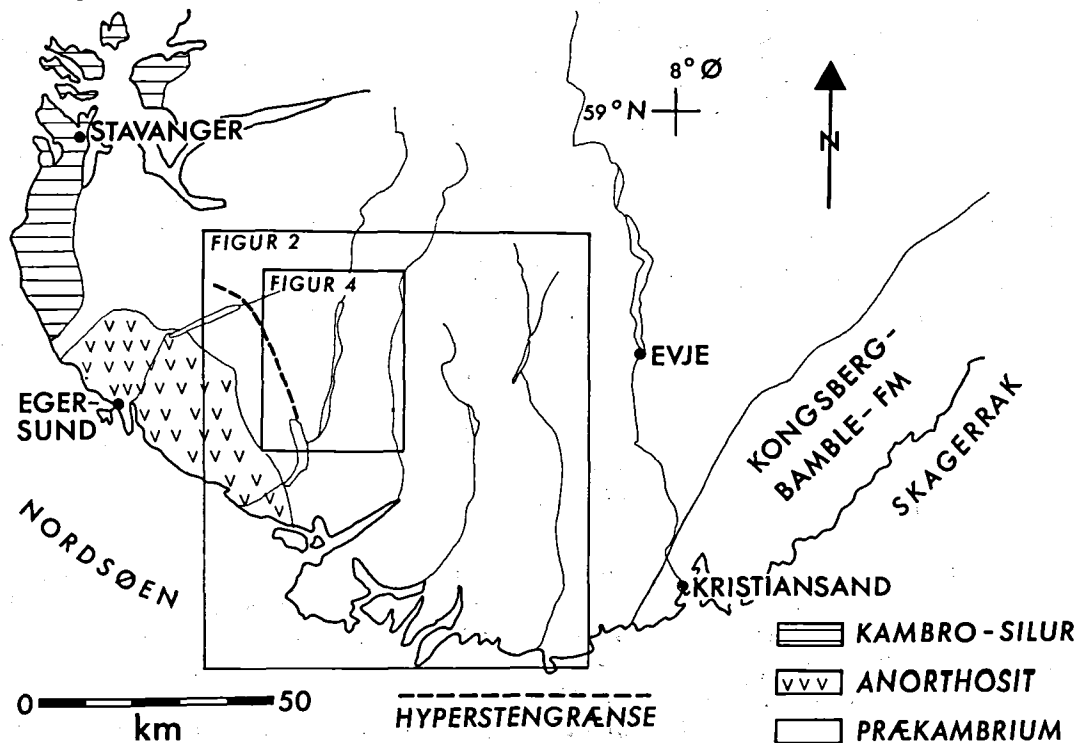


Fig. 1. Indekskort til det sydvestnorske grundfjeldsområde.

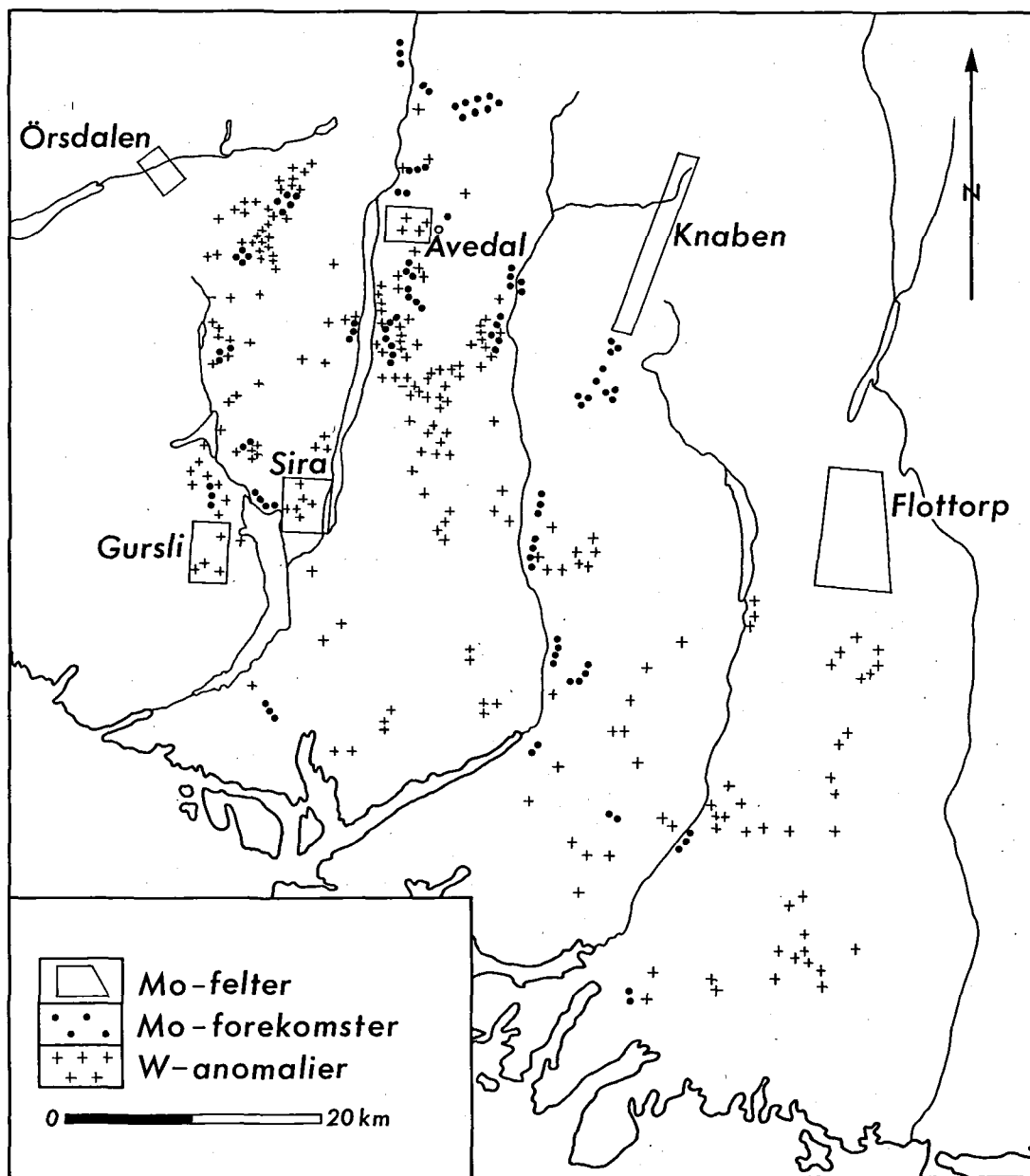


Fig. 2. Regional fordeling af geokemiske anomalier for wolfram og molybdæn samt de vigtigste tidligere produktive molybdængrubefelter.

arter en alder af  $1.340 \pm 100$  mio år og de sydlige dateres til  $1.530 \pm 100$  mio år.

I de ovenfor nævnte Prækambriske bjergarter findes ca. 800 forskellige gamle skjærp og gruber med molybdænglans, hvoraf nogle få (Gursli, Sira, Avedal, Flottorp, Knaben) har været i drift i visse perioder. Som sidste molyb-

dængrube i Europa lukkede Knaben i maj 1973. Foruden disse gruber fandtes en wolfram-molybdæn grube i Örsdalen (fig. 2).

De talrige mineraliseringer har i flere perioder givet anledning til intensive prospekterings- og eksplorationsaktiviteter. Sidst (1969–1973) har afdelingen for Malm- og Prospekterings-

geologi, Institut for Almen Geologi arbejdet på et projekt, som blev støttet af Folldal Verk A/S, Oslo.

Udover forfatterne deltog i projektet følgende geologistuderende fra Københavns Universitet: St. Witt Andersen, P. Rubæk Andersen, O. Christensen, N. Frandsen, L. Holm, M. Lind, K. Lundgreen, P. Nyegaard, J. Lyderik Pedersen, S. Schack Pedersen, C. Sønderkov, H. Vårby og N. West. Der blev udarbejdet speciale-afhandlinger af P. Nyegaard, J. Lyderik Pedersen og H. Stendal og fra H. Fischer og F. Hopfengärtner Universitet i München.

#### Felt- og laboratorieundersøgelser

Den feltmæssige del af den geokemiske prospektering er udført ved den gamle guldgravemetode nemlig vaskning af sand og grus fra elve og bække. Der er indsamlet i alt 1800 vaskeprøver i undersøgelsesområdet.

Prøvetætheden er ca. 1 prøve/km<sup>2</sup>. På alle lokaliteter er indsamlet 10 l sediment. Prøvematerialet blev sigtet med en maskevidde på 1 mm. Fraktionen over 1 mm blev kastet bort, mens fraktionen under 1 mm i kornstørrelse opkoncentreredes med vaskepanden. Til vaskeprocessen er anvendt en flad kegleformet pande, batéapanden, dog blev den fremstillet i aluminium, fordi stålpanterne, som ellers er på markedet, rustede for hurtigt. Tungandskoncentraterne danner basis for både øjeblikkelige og for videregående undersøgelser.

I felten undersøgtes de færdige tungandskoncentrater makroskopisk med lup, magnet, geigertæller og UV-lampe.

I laboratoriet fulgte undersøgelserne den i fig. 3 skematiserede analyseproces. Magnetseparationen foregår ved hjælp af en håndmagnet. Magnetfeltets styrke kan varieres idet afstanden fra magneten til prøven forandres trinløst. Således er det muligt at separere magnetit (Fe<sub>3</sub>O<sub>4</sub>) fra ilmenit (FeTiO<sub>3</sub>) og også fra deres indbyrdes sammenvoksninger. Den magnetiske andel i prøverne viste sig at ligge mellem 70–85 % af koncentraterne. Den umagnetiske fraktion undersøgtes under ultraviolet lys. Her fluorescerer f. eks. det vigtige wolfram-mineral scheelit (CaWO<sub>4</sub>) kraftig blå, mens powellit (CaMoO<sub>4</sub>) fluorescerer gul. Da disse to mineraler danner blandingskrystaller kan flu-

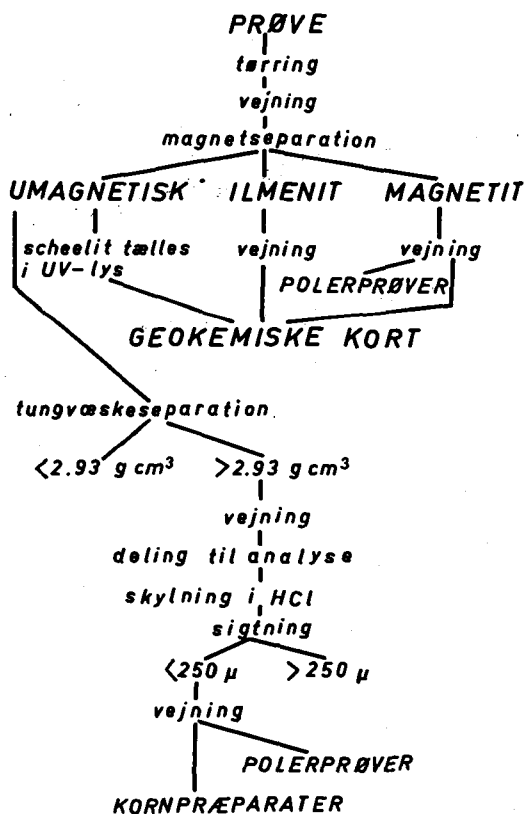


Fig. 3. Skematisk arbejdsproces for tungandsprøver.

orescensfarven bruges til bestemmelsen af henholdsvis wolfram- og molybdæninholdet i de foreliggende mineraler. Efter scheelitkornene er talt, separeres prøverne med en tungvæske. Det er nødvendigt, da man ikke kan vaske helt rene koncentrater med vaskepanden. Efter vore erfaringer vaskes der i gennemsnit i forholdet 80 : 20. Tungandskoncentrater rummer altså 80 % tunge og 20 % lette mineraler. Således er tungvæskeseparationen i laboratoriet en god kontrol af den i felten gennemførte vaskeproces.

På grundlag af de geokemiske undersøgelser og af arkivmaterialet liggende hos de norske bergmyndigheder blev en række geologiske detailkarteringer gennemført. Disse omfattede grubefelterne Ørdsalen, Avedal, Gursli, Sira og Flottorp (se hertil Urban 1974) samt områderne mod NV fra Ørdsalen (Austrumsdalen) og mod SØ fra Ørdsalen (Gyadalen) samt omkring kobberforekomsten ved Kvitingen. Prø-

veboringer blev gennemført på næsten alle grubefelter.

Det blev forsøgt at støtte det geologiske arbejde med geofysiske undersøgelser. IP-målinger over kobberforekomsten Kvitingen, wolfram – molybdæn – forekomsten Ørsdalen samt over en række af molybdæn-forekomsterne førte dog ikke til resultater, der gav anledning til videregående undersøgelser.

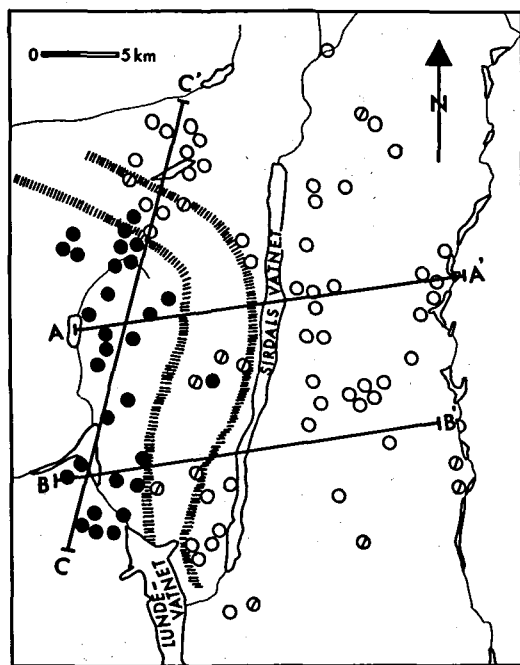
## Resultater

### Tungsandsprøver

Tungmineralkoncentraterne fra vaskningen indeholder både silikatminerale og malmmineraler. Vigtige silikatminerale er hornblende, hypersthen, diopsid, granat, epidot, titanit og zirkon. De vigtigste malmmineraler fra området er magnetit, ilmenit, titanomagnetit, scheelit, rutil, pyrit, pyrrhotin samt ganske få korn af chalcopyrit, kobber, sølv og molybdænglans. Fordelingen af mineralerne og deres mængder blev plottet på kort 1:50.000. Et af disse anomalikort vises i fig. 2, hvor tungsandsprøver med et indhold af mere end 20 talte scheelitkorn gengives. Ligeledes fremgår af fig. 2 fordelingen af molybdænglans. Der kan konstateres, at hvor der findes molybdænglans, er der også scheelit. Det omvendte er ikke tilfældet, da scheelitanomalierne breder sig over større områder end molybdænglansmineraliseringerne.

Den magnetiske andel i vaskeprøverne udgør over 70 % af prøvematerialet. Forholdet mellem magnetit og ilmenit i alle prøver blev kalkuleret på basis af vægtprocentfordelingen efter magnetseparationen. Resultaterne blev fremstillet på et magnetit-ilmenitkort. Plotningen af disse gav et meget inhomogent billede dog med følgende tendenser: magnetit er mere dominerende i sure bjergarter (graniter, kvarts-feldspat gnejser og øjgnejer), medens ilmenit er altdominerende sammen med titanomagnetit i basiske bjergarter (amfiboliter). Tydeligst er dette i anorthositkomplekset (anorthositer og noriter) som indeholder store mængder ilmenit og derfor har et meget lavt magnetit/ilmenit forhold.

Silikatminerale i vaskekoncentraterne kunne bruges til en grov geologisk udredning af



- HYPERSTENDOMINERENDE
- BLENDET HYPERSTEN OG HORNBLLENDE
- HORNBLLENDEDOMINERENDE
- FACIES GRÆNSER
- PROFILINIER

Fig. 4. Regional fordeling af hornblende og hypersthen i tungsandsprøver fra et delområde. Tværprofilerne er fremstillet i fig. 5.

de metamorfe facies, som dominerer i de forskellige dele af undersøgelsesområdet. På fig. 4 er til eksempel skematisk illustreret fordelingen af hornblende og hypersthen. De kvantitative andele af disse to mineraler i vaskeprøverne benyttedes til inddeling af prøverne i tre grupper: en hypersthen-gruppe, en hornblendegruppe og en blandingsgruppe. I hypersthen-gruppen findes således alle de vaskeprøver hvor hypersthen dominerer og hvor desuden hornblendeeandelen er mindre end 20 %. I hornblendegruppen indordnes alle prøver med en hornblendedominans og en hypersthenandel på mindre end 20 %. Alle fra disse to grupper afvigende vaskeprøver tildeles den tredje, »blandings«-gruppen. I fig. 5 gengives fordelingen af hypersthen og hornblende i 3 tværprofiler. Profilerne viser meget karakteristisk hornblende/hypersthen forholdet, som gør det muligt at skelne klart en hypersthenfacies fra en hornblendefacies. De to facies er lænket sammen igennem en overgangs-

# % af umagnetiske tungmineraller

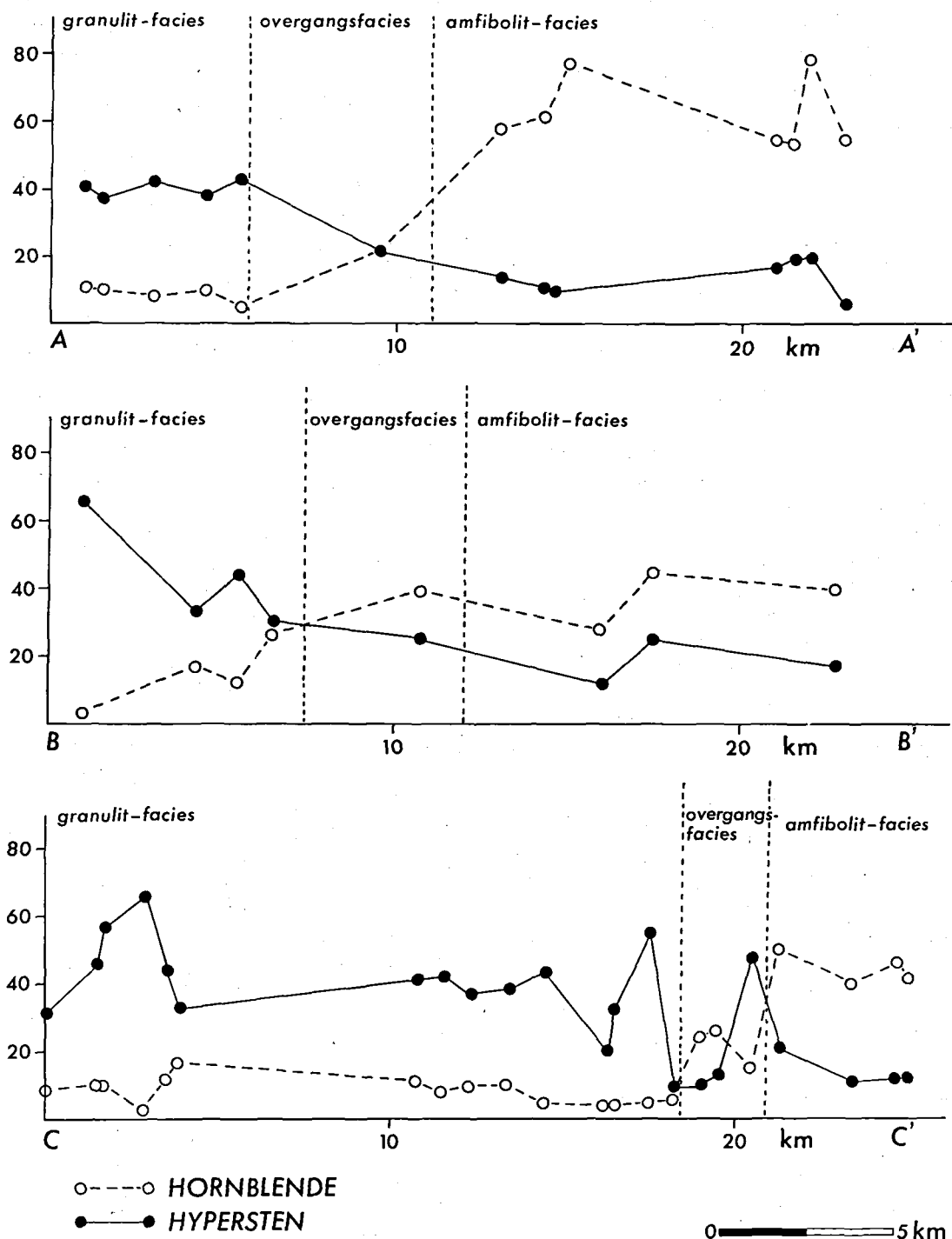


Fig. 5. Tværprofiler til fig. 4 som viser de procentmæssige andele af hornblende og hypersten af de umagnetiske tungmineralfraktioner.

facies. Hypersthenfacies repræsenterer de charnockitiske bjergarter (granulitfacies), medens hornblendefacies repræsenterer amfibolitfacies bjergarter.

Ud fra hypersthens fordeling i vaskeprøverne er tegnet en hypersthengrænse (fig. 1, 4 og 5), som i store træk falder sammen med linier af lignende art lavet af Tobi (1965) og Barth (1969), men grænserne afviger dog lidt fra hinanden i den nordlige del af området. Hypersthengrænsen følger i øvrigt anorthositkomplekset i nogenlunde konstant afstand.

### Mineraliseringer

Alle mineraliseringer i undersøgelsesområdet findes i en og samme grå gnejsserie, men her i amfiboliter og i grå gnejser. Uafhængig af bjergartssammensætningen gælder for alle forekomster, at de fører de samme mineralparageneser, men dog med stærkt varierende mængdeforhold. De diagnosticerede malmmineraler er: arsenkis, bravoit, chalcopirit, chalcopyrrotin, guld, ilmenit, magnetit, millerit, molybdænglans, pentlandit, powellit, pyrit, pyrrhotin, rutil, scheelit, sphalerit, tungstenit, sølv, wismutglans, wolframit og en del ikke nærmere bestemte sulfosalte. Mineraliseringerne ledsages af vekslende mængder af grafit og apatit og hyppigt af sillimanit og cordierit. Isotopanalyser af grafit peger i retning af en biogen oprindelse. Dette er også sandsynligt for apatit, som kan optræde i op til 10 % i bjergarterne. Væskeindslutningsanalyser fra Flottorp-området (mundtlig meddelelse fra stud. scient. J. K. Madsen, Århus Universitet) viser, at mineraliseringerne ikke kan knyttes sammen med en af de konstaterede hydrotermale faser, men at de er dannet ved meget lave temperaturer. Molybdænglans findes i hele området og optræder i de fleste tilfælde sammen med grafit og apatit. Molybdænglansen har indbygget et højt rheniumindhold i gitteret. Lignende høje rheniumindhold kendes fra molybdænglans fra Zechsteins Kupferschiefer.

Udover de hidtil kendte scheelitmineraliseringer i Ørdsalen blev 8 nye scheelitforekomster fundet. De optræder i amfiboliter og ledsages af karakteristiske mængder af grafit, apatit og molybdænglans.

### Konklusioner

For det undersøgte område kan konstateres at vaskependen en gang til har vist sig at være et udmærket redskab både til prospektering og geologisk kartering. De igennem den geokemiske prospektering fundne nye scheelitforekomster har ingen økonomisk men til gengæld en stor malmgenetisk betydning. Hypersthen og hornblende i tungmineralkoncentrater er anvendelig til en grov udredning af de metamorfe enheder.

De sydvestnorske molybdænmineraliseringer kan ikke længere tolkes som højt-hydrotermale metasomatiske malmdannelser. De Prækambriske bjergarter fremtræder med komplekse *lagbundne* metalkoncentrationer. Disse findes udelukkende i en grå gnejsserie, medens de røde gnejser og graniter er metalfrie. Mineraliseringerne er bundet til amfibolrige, kvarts-feldspat-rige eller i sjældne tilfælde kvartsitiske bjergarter. I det undersøgte område findes ingen intrusive graniter, hvis hypotetiske restsmelter eller hydrotermere kunne have givet anledning til molybdæn- og wolframforekomsternes genese. Metalkoncentrationerne med biogent grafit, med højt apatitindhold, med den udprægede lagbundethed og med den over store distancer identiske mineralparagenese viser med mangfoldig entydighed om en primær berigelse og udfældning i et marint-sedimentært miljø. Dog foregik der i løbet af den geologiske udvikling flerfoldige og vidtgående mineralombygninger, rekrySTALLISATIONER og nydannelser men kun ringe stofvandring i stor målestok. Disse fænomener for sig selv tillader dog ikke en tolkning af forekomsterne som metasomatisk-hydrotermale.

(Foredrag i Dansk Geologisk Forening 13. oktober 1975)

### Litteratur

- Barth, T. F. W. 1969: Granulite Facies Rocks of the Precambrian of South Norway, Particularly around Arendal. *Sciences de la Terre* XIV, 359-389.
- Tobi, A. C. 1965: Fieldwork in the Charnockitic Precambrian of Rogaland (SW Norway). *Geologie en Mijnbouw* 44, 208-217.
- Urban, H. 1974: Zur Kenntnis der präkambrischen, schichtgebundenen Molybdänitvorkommen in Südnorwegen. *Geol. Rundschau* 63, 180-190.
- Verstevee, A. J. 1970: Whole-Rocks Rb-Sr Isochron Study of the Charnockitic-Granitic Migmatites in Rogaland, South-West Norway. *Z.W.O. Laboratorium voor Isotopen-Geologie, Annual Progress Report*, 49-56.

# Glacialgeologiske noter fra Østgrønland

SVEND FUNDER OG KAJ STRAND PETERSEN

Dislocerede serier af Kvartære sedimenter er iagttaget på tre lokaliteter i den østgrønlandske fjordzone:

Vestersletten (mundingen af Kejser Franz Joseph Fjord)

Inden for et område på 5 km i øst-vestlig udstrækning er påvist dislocerede, rytmisk aflejrede silt/ler sedimenter. Man finder overkipede folder og reversforkastninger visende ispres fra syd. Sammenholdt med skuringsmærker på det stigende terræn mod Bennett Bjerg giver det en overskridende is på mere end 300 m tykkelse, som bevægede sig fra Kejser Franz Joseph Fjord. Kulstof-14 dateringer fra området giver en alder på ca. 10.000 år for isfremstødet.

## Geologfjord

I den inderste del af fjorden findes dislocerede marine aflejringer med skaller in situ. Lagene er oppresset og danner koncentriske volde omkring fronten af en lille stengletscher, der bevæger sig fra højlandet ned mod fjorden. Aldersbestemmelse af skallerne giver  $4240 \pm 100$  år BP (prøve K-2417).

## Kap Herschell, Wollaston Forland

Langs en kyststrækning på 5 km forekommer Kvartære silt/sand aflejringer af stor mægtighed. I de få blotninger ses ofte stejlt stillede og foldede lag. Foldeakserne er i almindelighed parallelle med højdekurverne, og forstyrrelserne antages at skyldes udglidninger i aflejringerne, muligvis på en hård permafrostoverflade. En datering af skalfragmenter fra aflejringerne har givet en alder over 38.000 år BP (prøve I-9134).

(Foredrag i Kvartærgeologisk Klub 27. januar)

S. Funder, Geologisk Museum, Østervoldgade 5-7,  
1350 København K.

K. S. Petersen, Danmarks Geologiske Undersøgelse,  
Thoravej 31, 2400 København NV.