



# Bergvesenet

Postboks 3021, 7002 Trondheim

## Rapportarkivet

|                                                                                                            |                             |                                                 |                                                       |                     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------|
| Bergvesenet rapport nr<br><b>BV 1804</b>                                                                   | Intern Journal nr           | Internt arkiv nr                                | Rapport lokalisering<br>Trondheim                     | Gradering           |
| Kommer fra ..arkiv                                                                                         | Ekstern rapport nr          | Oversendt fra                                   | Fortrolig pga                                         | Fortrolig fra dato: |
| Tittel<br>En malmgeologisk og strukturell undersøgelse af Grimsdalen,<br>Det sydlige Trondheimsfelt, Norge |                             |                                                 |                                                       |                     |
| Forfatter<br>Schack Pedersen, Stig Asbjørn                                                                 |                             | Dato<br>Mars 1977                               | Bedrift<br>Københavns Universitet<br>Folldal Verk A/S |                     |
| Kommune<br>Dovre<br>Folldal                                                                                | Fylke<br>Hedmark<br>Oppland | Bergdistrikt<br>Østlandske                      | 1: 50 000 kartblad                                    | 1: 250 000 kartblad |
| Fagområde<br>Geologi                                                                                       | Dokument type               | Forekomster<br>Grimsdalen<br>Tverrfjellet Grube |                                                       |                     |
| Råstofftype<br>Malm/metall                                                                                 | Emneord                     |                                                 |                                                       |                     |
| Sammendrag                                                                                                 |                             |                                                 |                                                       |                     |

# Folldal Verk AS

TILSLUTTET BORREGAARD A.S

POSTADR.: POSTBOKS 1517 VIKA, OSLO 1 - KONTORADR.: RUSELØKKV. 26, OSLO 2 - TLF.: 33 48 00 - TELEX 19392

fm 771/1980 ØB

Bergmesteren i det Østlandske Distrikt  
Postboks 7581 - Skillebekk  
OSLO 2

ADMINISTRASJONEN

OSLO, 11. april 1980.

DERES BREV

DERES REF.

VAR REF.

Vi henviser til vår søknad av 22.01.80. om driftshvile for Folldalsgruvene til Industridepartementet vedr. Bergverks-konsesjon 05.01.1940 - Driftshvile. Her er det redegjort for undersøkelsesopplegget i Folldalsfjellet. (bilag 1).

Vi vil gjerne gjenta at Folldal Verk A/S ikke har kunnet utføre større malmletingsoperasjoner i Folldalsfeltet i tidsperioden 76 - 79 p.g.a. malmletingsavdelingens samlede innsats innen Komagfjordvinduet. Midlene som var stilt til disposisjon fra Kommunaldepartementet for malmleting der var gitt under den forutsetning at Folldal Verk A/S benytter hele sin prospekteringskapasitet innen Komagfjordvinduet. Dessuten var forholdene i årene 75 - 79 for gruveindustrien generelt og for Repparfjordgruven (Komagfjordvinduet) spesielt preget av markert nedgang så at spørsmålet om formelt oppfølging av våre forpliktelser i sammenheng med driftshvile i Folldalsfeltet var klart lavere prioritert enn spørsmålet om at Repparfjord overlever som bedrift..

Allikevel har det foregått noe aktivitet i Folldalsfeltet:

1. Det er blitt slutført et omfattende geologisk-tektonisk arbeid over mineraliseringene i Grimsdalen, og en oversikt over forholdene i det resterende Folldalsfelt. (bilag 2).
2. Det er blitt utarbeidet et generelt geologisk kart av und. på grunnlag av et diplomarbeide i begynnelsen av 60 årene. (bilag 3).
3. Det er blitt boret ytterligere 3 diamantborhull i Grimsdalen BM 231, 232, 233. (bilag 4).
4. Det er blitt utført potensialmålinger i det sentrale feltet i Grimsdalen. (bilag 5).

Med vennlig hilsen  
FOLLDAL VERK A/S

Johann G. Heim  
Sjefsgeolog



# Folldal Verk AS

TILSLUTTET BORREGAARD A.S

POSTADR.: POSTBOKS 1517 VIKÅ, OSLO 1 - KONTORADR.: RUSELØKKV. 26, OSLO 2 - TLF.: 33 48 00 - TELEX 19392

Det Kgl. Industridepartement  
Bergverksavdelingen  
Postboks 8014 - Dep.

ADMINISTRASJONEN

OSLO, 22. januar 1980

OSLO 1

DERES BREV

DERES REF.

VAR REF.

Vedr.: Bergverkskonsesjon 5.1.1940 - Driftshvile

Vi viser til Deres brev av 18. d.m. og søker herved om forlenget driftshvile:

Innen driftshvilekomplekset ligger Grimsdalsgruven med ca. 3 mill. tonn råmalm som reserve, Grimsdalen med ca. 10 mill. tonn, og diverse forekomster i Folldalsfeltet med ukjente, men etter alt å dømme ikke ubetydelige reserver.

De her nevnte forekomster må betraktes som reserver for den pågående drift i Tverrfjellet på Hjerkin. Spesielt etter at svovelkis igjen er blitt aktuell som råstoffkilde til svovelsyreproduksjon, og edelmetall-prisene har gjort malmen betydelig mer konkurransedyktig.

I de siste tre år har det vært utført relativt mindre arbeider for å følge opp våre forpliktelser som bergrettighetene innen Folldalsfeltet forlanger. Årsaken til dette har vært at vår malmletingsgruppe har vært fullt engasjert i malmleting i og omkring Repparfjord gruve, og vår finansielle situasjon har dessuten vært vanskelig, som for de øvrige kobbergruver i Norge.

Situasjonen for 1980 har forandret seg betydelig. Undersøkelsene innen Komagfjordvinduet går mot slutten, og den ledige undersøkelseskapasitet kan disponeres i Folldal.

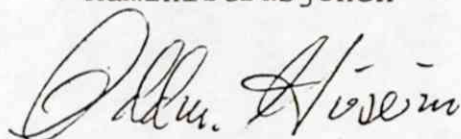
Våre produkter er nå mer etterspurt enn på lenge, og meget tyder på at oppgangen for svovelkis, og eventuelt også edelmetaller, kan vedvare en tid. Forekomstene innen Folldalsfeltet er igjen blitt oppgradert til reelle malmreserver.

For endel år tilbake avsatte Folldal Verk A/S penger til et fond for åpning av nye gruver. Dette betinget skattefradrag for det samme beløp. Folldal kommune har nå godkjent dette fond (1,2 mill. kroner) brukt til malmleting i det samme område. Folldal Verk A/S har forpliktet seg til å utføre disse malmletingsarbeider i løpet av de kommende tre år, og første begynnelse er forutsatt i 1980.

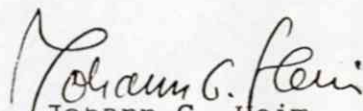
Som det fremgår av ovennevnte er det av stor betydning for Folldal Verk A/S å opprettholde konsesjon for de kjente malmreserver. Ved en utnyttelse av Grimsdalsmalmen eller andre forekomster i feltet, vil det være naturlig å transportere disse til oppredningsanlegget ved Tverrfjellet, og disse malmforekomster burde egentlig være sammenfattet til én konsesjon.

Vi håper med ovennevnte grunnlag at driftshvilen kan forlenges.

Vennlig hilsen  
FOLLDAL VERK A/S  
Administrasjonen



Oddm. Husum  
Adm. direktør



Johann G. Heim  
Sjefsgeolog





*En malmgeologisk og  
strukturel undersøgelse  
af  
Grimsdalen  
Det sydlige Trondheimsfelt  
Norge.*

Udfærdiget marts 1977 af

*Stig Asbjørn Schack Pedersen*

Afleveret som specialeopgave til cand. scient  
eksamen ved Institut for Almen Geologi, G.C.I.

Københavns Universitet.



## INDHOLDSFORTEGNELSE.

## Side

|    |                                                       |
|----|-------------------------------------------------------|
| 2  | Indholdsfortegnelse.                                  |
| 4  | Liste over figurer, tabeller og bilag.                |
| 8  | Forord.                                               |
| 10 | Indledning.                                           |
| 10 | Området.                                              |
| 12 | Regionalgeologi.                                      |
| 13 | Tidligere geologiske arbejder.                        |
| 21 | Sulfidmineraliseringerne i Trondheimsfeltet.          |
| 24 | Sulfidmineraliseringerne i Grimsdalen.                |
| 24 | Forfatterens undersøgelser.                           |
| 26 | Grimsdalens geologi.                                  |
| 26 | Geologisk oversigt.                                   |
| 29 | Områdets bjergarter.                                  |
| 29 | Gula Gruppen.                                         |
| 29 | Granat-biotit glimmerskifer.                          |
| 31 | Metakonglomerat.                                      |
| 34 | Mesøter marmor.                                       |
| 35 | Fyllitisk glimmerskifer, kvarts-klorit glimmerskifer. |
| 36 | Folla Gruppen.                                        |
| 37 | Den basiske grønskifer serie.                         |
| 40 | Pyritit horisonten.                                   |
| 49 | Metakvartskeratophyr.                                 |
| 53 | Sericitisk grønskifer, metaspilit serien.             |
| 54 | Grafit-glimmerskifer serien.                          |
| 55 | Malmmineralogi.                                       |
| 55 | Sulfider.                                             |
| 62 | Tellurider.                                           |
| 68 | Oxider.                                               |

## Side

|     |                                                     |
|-----|-----------------------------------------------------|
| 71  | Tektonik.                                           |
| 71  | Generelle strukturer.                               |
| 71  | $F_1$ foldefasen.                                   |
| 73  | Deformationer mellem $F_1$ og $F_2$ .               |
| 76  | $F_2$ foldefasen.                                   |
| 79  | Interferensfolder.                                  |
| 83  | Overskydninger og forkastninger.                    |
| 83  | Overskydningszonen mod sparagmiterne.               |
| 84  | Overskydningszonen mellem Folla og Gula Grupper.    |
| 87  | Forkastninger.                                      |
| 99  | Geofysik.                                           |
| 99  | Turam målinger.                                     |
| 101 | CP målinger.                                        |
| 103 | Diskussion.                                         |
| 103 | Metamorfe facies og foldefaser.                     |
| 105 | Tektonik.                                           |
| 112 | Pyritit horisontens primære dannelse.               |
| 114 | Pyritit horisontens opførsel under deformationerne. |
| 123 | Malmkoncentration i relation til foldning.          |
| 134 | Konklusion.                                         |
| 134 | Geologi.                                            |
| 134 | Stratigrafi.                                        |
| 135 | Tektonik.                                           |
| 135 | Sulfidmalmen.                                       |
| 137 | Strukturgeologi som malmlednings værktøj.           |
| 138 | Referencer.                                         |

## LISTE OVER FIGURER, TABELLER OG BILAG.

- Fig. 1: Geologisk oversigtskort over Norge.
- " 2: Geologisk oversigtskort over det sydlige Trondheimsfelt.
- " 3: Kort over Trondheimsfeltets sulfidforekomster.
- " 4: Model af  $F_1$  og  $F_2$  folderne med tilhørende planare strukturer.
- " 5: Stratigrafisk inddeling af bjergarterne i den vestlige del af det sydlige Trondheimsfelt.
- " 6: Staurolit idioblaster i granat-biotit glimmerskifer, foto af håndstykke.
- " 7: Staurolit-kyanit-granat-biotit glimmerskifer fra Mesøterhøj, foto af tyndslib.
- " 8: Basisk grønskifer, foto af tyndslib.
- " 9: Hornblende lineation, foto af håndstykke.
- " 10: Grimsdals Gruva stoll G 7, skitse.
- " 11: Opmålingsplan vedr. Bh. 222.
- " 12: Malmzonen fra Bh. 222, plan.
- " 13: Pyrrhotit-pyrit malm fra Kisbekken, foto af polerprøve.
- " 14: Magnetit-pyrrhotit-pyrit malm, foto af polerprøve.
- " 15: Magnetit-pyrit malm, foto af polerprøve.
- " 16: Magnetit-pyrit malm, foto af polerprøve.
- " 17: Sphalerit-pyrit malm, foto af polerprøve.
- " 18: Kataklastisk sphalerit-pyrit malm, foto af polerprøve.
- " 19: Plagioklaskorn i metakvartskeratophyr, foto af tyndslib.
- " 20: Elongerede albitporfyroblaster i metakvartskeratophyr, foto af tyndslib.
- " 21: "Garbenschiefer", foto af håndstykke.
- " 22: Isoklinalt foldet og udvalset metakvartskeratophyr i grønskifer, feltfoto.



Fig. 23: Knæk-folder i sericitisk grønskifer, foto af håndstykke.

- " 24: Pyrrhotit-pyrit malm fra Grimsdals Gruva, foto af polerprøve.
- " 25: Markasit og  $py_4$  mellem  $py_3$ , foto af polerprøve.
- " 26: Chalcopyrit indeslutninger i pyrit, tegning.
- " 27: Altait og tellurobismut i galena, foto af polerprøve.
- " 28: Altait, hessit og tellurobismut i sphalerit-pyrit malm, foto af polerprøve.
- " 29: Hessit og altait i sphalerit-pyrit malm, foto af polerprøve.
- " 30: Hessit i galena, foto af polerprøve.
- " 31: Reflektivitetsskurve for altait og galena.
- " 32: Reflektivitetsskurve for hessit og tellurobismut.
- " 33: Vue fra Pighetta, foto.
- " 34: Profil af dobbeltfoldet metakeratophyr.
- " 35: Pilespids struktur, optegning.
- " 36: Sericitisk grønskifer, foto af håndstykke.
- " 37: Foto og profilskitse af boudineret kvartsåre.
- " 38:  $F_2$  folder i basisk grønskifer, feltfoto.
- " 39: Illustration af kompensationsfold.
- " 40: Teoretisk Wulff net konstruktion af kompensationsfold.
- " 41: Wulff net plotning af foldeakse målinger NV for Tverrlisæter.
- " 42: Foldet, forskifret og opbrudt grønskifer, Buåi, feltfoto.
- " 43: Udtværede foldeakser fra mylonitzonen ved Katuglehøj, feltfoto.
- " 44: Tektoniske målinger fra området omkring Mesæter forkastningen.
- " 45: Illustration af forholdet mellem brutto og netto forsetning.
- " 46: Blokdiagram af slæb ved Mesæter forkastningen.

Fig. 47: Konstruktion vedrørende Mesøter forkastningen.

- " 48: Foto og skitse af kompleks foldning langs Grimsdals-  
hytta forkastningen.
- " 49: Wulff net konstruktion vedr. Grimsdalshytta forkastningen.
- " 50: Illustration af Grimsdalshytta "tear fault".
- " 51: Konstruktion af forsætningsbeløb for Grimsdalshytta  
forkastningen.
- " 52: Principskitse af turam måling.
- " 53: Wulff net konstruktion af interferens mellem  $F_1$   
foldeflankerne og overskydningszonen.
- " 54: Tektonisk model af  $D_2$  deformationens strukturer.
- " 55: To tektoniske modeller for bjergartsenhedernes placering  
i det sydlige Trondheimsfelt.
- " 56: Mineral stabilitetsfelter i svovltryk-temperatur  
diagram.
- " 57: Mineral ligevægts diagrammer i relation til fugaciteten  
af  $S_2$ ,  $O_2$  og  $CO_2$  ved  $250^\circ C$  og  $400^\circ C$ .
- " 58: Skematiske fase relationer i den centrale del af  
Cu-Fe-S systemet ved  $400^\circ C$ .
- " 59: Illustration af malmplan.
- " 60: Diagram over hældning/strygnings målinger i området  
ved Tverrlisøter.
- " 61: Konstruktion af malmakse.
- " 62: Geofysiske anomalier ved Tverrlisøter.
- " 63: Konstruktion af malmlegemets forløb ved Tverrlisøter.
- " 64: Opmålingsplan vedr. Bh. 231.
- " 65: Foto og optegning af kernestykke fra Bh. 231 og  
Wulff net rotation af strukturerne i forhold til  
kernen.

Tabeller.

Tabel 1: Skema over Trondheimsfeltets stratigrafi.

" 2: Malmtypernes mineralsammensætning.

" 3: Beregning af iss. ud fra chalcopyrit indeslutninger.

Bilag.

Bilag 1: Kort 1, geologisk kort over strøget Grimsdalen -  
Folldal, 1:50.000.

" 2: Kort 2, kort over tektoniske målinger i Grimsdalen,  
1:10.000.

" 3: Kort 3, Geologisk kort over Grimsdalen, 1:10.000.

" 4: Kort 4, kort over borehuller og geofysiske anomalier,  
1:10.000, transparent.

" 5: Kort 5, kort over delområder med tilhørende konture-  
rede foldeaksemaalinger, 1:50.000.



Forord.

Dette arbejde er udført som specialeopgave til cand. scient. eksamen i geologi ved Københavns Universitet. Arbejdet er tillige udført for Folldal Verk A/S, der økonomisk har understøttet feltarbejdet og været behjælpelige med at klare de praktiske problemer forbundet hermed. Folldal Verk A/S har stillet borekerner og borekerne beskrivelser til rådighed. Topografiske kort og geofysiske målinger er ligeledes stillet til rådighed af Folldal Verk A/S, der har givet forfatteren fri mulighed for at kopiere på Tverrfjellet grube, Hjerkin. Derfor vil forfatteren rette en tak til direktør Ø. Husum, Folldal Verk A/S. En speciel tak vil forfatteren bringe til prospektionschef J. G. Heim, Folldal Verk A/S, som gav den første introduktion i området, og som siden beredvilligt stillede sin store viden om det sydlige Trondheimsfelt til rådighed under mange positive diskussioner. Dr. J. G. Heims aldrig svigtende humør og udholdende energi under feltinspektionerne har altid virket som et ekstra incitament for forfatteren til at fortsætte undersøgelserne med fornyet mod og energi.

Ingenør I. Killi, Folldal Verk A/S, Tverrfjellet, takkes for at have udvirket, at forfatteren kunne bo på Tverrli-sæter i feltsæsonen 1974 og 1975. Desuden har ingenør I. Killi stået for de geofysiske målinger og boreprogrammet i årene 1974-1976. Forfatteren ønsker tillige at takke minegeolog M. Motys, Folldal Verk A/S, Tverrfjellet, for hjælp og frugtbare diskussioner. Specielt skal det nævnes, at minegeolog M. Motys står for alle borekerne karteringer fra før 1974.

En særlig tak ønsker forfatteren at rette til kemiingenør M. Berle for det hyggelige samvær i Folldal. Under forfatterens to rekognoscerende fjeldbestigninger henholdsvis til

9

Rondane og Snøhetta blev forfatteren ledsaget af M. Berle, hvis erfaring som bjergbestiger gjorde turerne til et par uforglemmelige oplevelser. Desuden vil forfatteren takke de NTH studenter, der arbejdede for Folldal Verk A/S i de tre feltsæsoner. Deres hjælpsomhed og kammeratskab var af stor værdi såvel personligt som fagligt. Ligeledes vil forfatteren rette en tak til folk i Folldal tilknyttet Folldal Verk A/S for deres store hjælpsomhed.

Den faglige vejleder for projektet har været dr. H. Urban, Københavns Universitet, som forfatteren ønsker at takke for den inspirerende og udviklende tilrettevisning under arbejdets forskellige faser. Især ønsker forfatteren at takke dr. H. Urban for opmuntringen og vejledningen i felten i midten af den første feltsæson, hvor studenten ofte føler, at han står i den mest håbløse situation.

Stud. scient. Gunver Pedersen assisterede forfatteren i feltsæsonen 1975 og har ydet hjælp ved udarbejdelsen af dette manuskript. For denne hjælp og mange opmuntringer under arbejdet ønsker forfatteren at udtrykke sin største tak.



## INDLEDNING.

Området.

Grimsdalens malmforekomster ligger på randen af den Caledonske geosynklinal på grænsen mod det centrale sydnorske sparagmitomtåde, se fig. 1. Malmforekomsterne ligger i en SV forlængelse af de kendte malmfelter omkring Folldal.

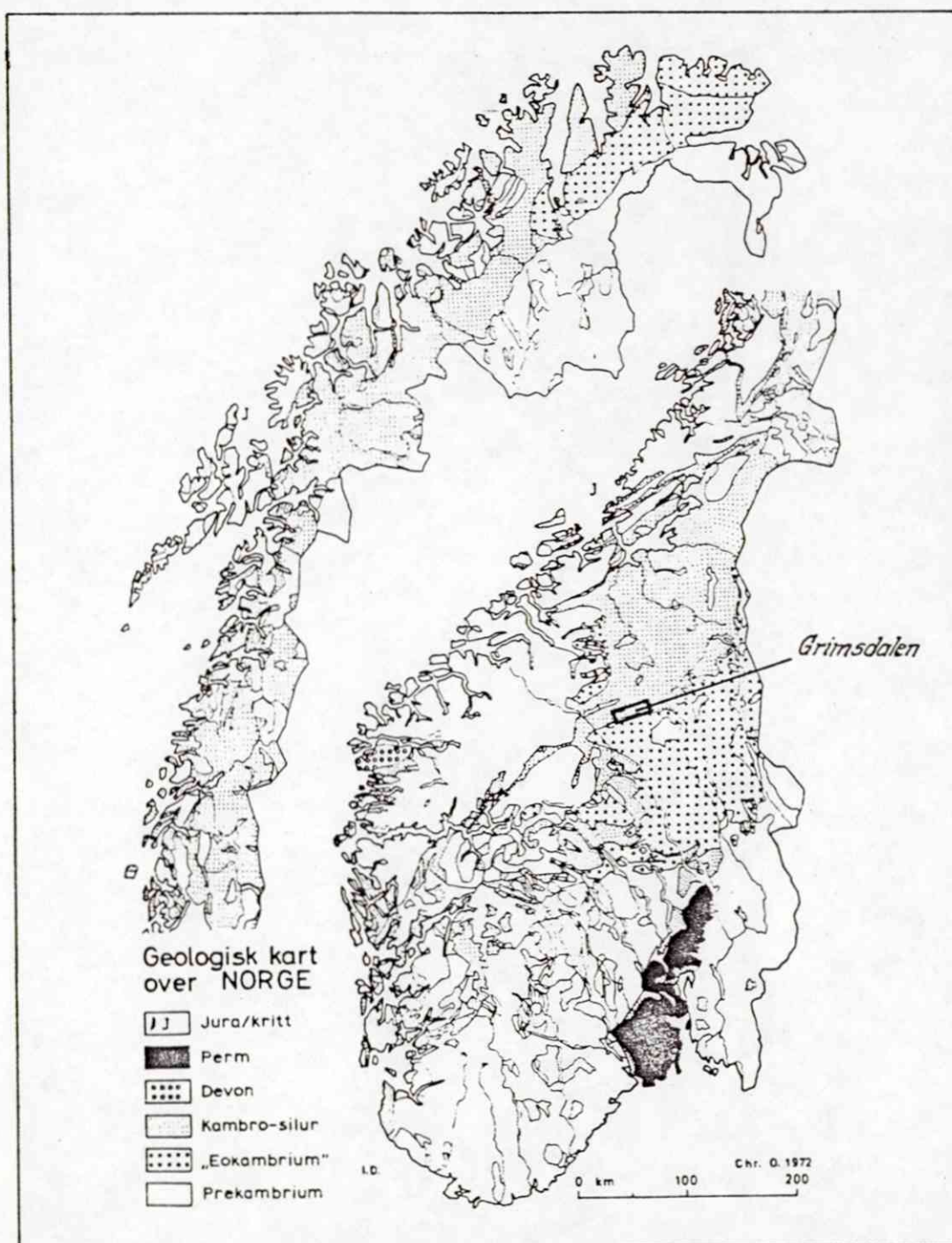


Fig. 1. Geologisk oversigtskort over Norge ( efter Oftedahl, 1974).



Grimsdalen er en øst - vest gående dal ca. 10 km syd for Folldal i den sydlige del af Trondheimsfeltet, på grænsen mellem Oppland og Hedemark Fylker ( se kort 1, bilag 1 ). Man kommer til Grimsdalen fra vestenden ved at køre op fra Dovre i Gudbrandsdalen eller ved at køre ind fra østenden ved Fallet, der ligger 7 km syd for Folldal ad Atna vejen ( se kort 1, bilag 1 ).

I bunden af Grimsdalen løber elven Grimsi, der har sit udspring ved vandskellet mellem Grimsdalen og Gudbrandsdalen, og hvis sammenløb med Folldalens elv Folla er beliggende 9 km øst for Folldal by. I den centrale del af Grimsdalen ( ved Grimsdalshytta og Tverrlisæter ) er dalens bund beliggende i kote 900 m o.h., og de omkringliggende fjelde rejser sig til 1400 m o.h.

Bevoksningsmæssigt er Grimsdalen beliggende på trægrænsen, således at bunden er bevokset af birkeskovskrat, der gradvis går over i enekrat og fjeldhedebevoksning med lyng og dværgbirk.

Geomorfologisk er Grimsdals området et istids erosions landskab med moræne- og smeltevandsaflejringer. Desuden findes langs dalens sider flere erosions terrasser efter bræsøer, der i dalens bund kan korreleres med bræsø sedimentation. Et særligt godt eksempel er erosionsniveauet oven for Tverrlisæter i 1050 m svarende til den terrasse i 940 m, hvorpå Tverrlisæter ligger ( se kort 2, bilag 2 ).

De prækvartære geologiske blotninger findes fortrinsvis på dalsiderne og fjeldtoppene. Blotningsgraden er meget varierende, hvilket fremgår af kort 2 (bilag 2), hvor hver måling svarer til en observeret blotning.

### Regional Geologi.

Grimsdalen danner grænseområde mellem Trondheimsfeltet mod nord og det centrale sydnorske sparagmit område mod syd. Adskillelsen mellem de to områder er markeret ved en overskydningszone, der kan følges fra Gudbrandsdalen langs SØranden af trondheimsfeltet til Meråker ( Wolff, 1967 ). Trondheimsfeltet består af deformerede og mere eller mindre metamorfoserede eugeosynklinal sedimenter tilhørende den Caledonske geosynklinal. Mod S og SØ ligger Trondheimsfeltets bjergarter oven på sparagmiterne, der danner den nordlige og nordvestlige del af Kvitvola Nappen ( Strand & Kulling, 1972 ).

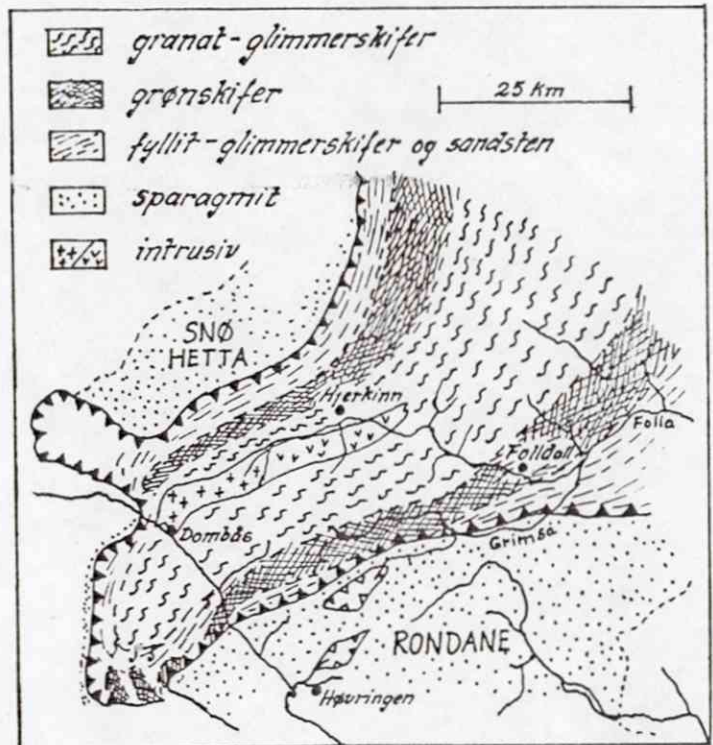
I den sydlige del af Trondheimsfeltet er bjergarterne kraftigt deformerede og metamorfoserede. Området kan inddeles i en centralzone med en mellemzone og yderzone på hver side. Centralzonen består overvejende af granatførende glimmerskifer, mellemzonen består af grønskifer, der kan korreleres med Støren Gruppen i den centrale del af Trondheimsfeltet ( Vogt, 1945 ). Yderst mod sparagmiterne findes en serie fyllit-glimmerskifre med indslag af sandsten eller kvartsit ( se fig. 2 ). Disse zoner strækker sig mod nord langs den Caledonske geosynklinals "central-akse".

Mod SV indsnævres Trondheimsfeltet og går i et med Nappe Regionen ( Strand & Kulling, 1972 ). Det sydlige Trondheimsfelts bjergarter kommer her til at svare til Otta Nappens sedimenter ( Strand, 1964 ).



Fig. 2. Geologisk oversigtskort over det sydlige Trondheimsfelt.

Granat-glimmerskifer svarer til centralzonen. Grønskifer er mellemzonen, og fyllit-glimmerskifer og sandsten udgør yderzonen.



#### Tidligere geologiske arbejder.

I slutningen af forrige århundrede fremkom Törnebohm (1896) med den opfattelse, at Trondheimsfeltets bjergarter var store overskudte dækker med forskydninger på flere hundrede kilometre. Opfattelsen var baseret på Törnebohms regionalgeologiske kortlægning af den caledonske fjeldkæde i det centrale Skandinavien.

Bjørlykke (1905) var den første, der foretog geologisk kortlægning i Grimsdals området. Bjørlykke skelnede mellem tre geologisk enheder: glimmerskifer ( mod nord ), grønnskifer og sparagmit ( mod syd ). Desuden udkarteredes granulit bjergarter (metakvartskratophyr, forf.) i Folldal og ved Bjørnskards sæter (Grimsdalshytta), og konglomeratet og marmorhorisonten ved Verkensæter blev optegnet i en



profilskitse (Bjørlykke, 1905, side 348). Marmorhorisonten og konglomeratet ved Tollevshaug, Mesæterhøj og Husumbekken (ved Folldal) samt forekomsten af serpentinit ved Tollevshaug og Streitkampen blev indtegnet på Bjørlykkes specialkort (1:200.000), hvor generelle hældning/strøgningssmålinger og foldeakser tillige er indmålt.

Bjørlykke (1905) skelner stærkt mellem forskydninger og overskydninger. De første kan han acceptere, mens han stiller sig tvivlende over for de sidste. Heri går han imod den af Törnebohm (1896) fremsatte opfattelse af Trondheimsfeltet som værende store overskydninger.

Området omkring Folldal og Grimsdalen beskriver Bjørlykke (1905) som metamorfoaseret, hvor det er vanskeligt at finde gode ledehorisonter. Marmorhorisonten og Husumbekken konglomeratet anføres som de eneste horisonter, der med rimelighed kan følges fra Gudbrandsdalen og nordpå til Røros området.

Goldschmidt (1915) understøtter Bjørlykkes (1905) accept af mindre overskydninger ( størrelsesorden ti km ). Desuden foretager Goldschmidt (1915) en inddeling af Trondheimsfeltet i metamorfe zoner. Den højeste metamorfe facies følger i store træk centralzonens glimmerskifer og bliver gradvis lavere ud mod randen.

En væsentlig belysning af de geologiske forhold i det sydlige Trondheimsfelt gives af Strand (1951) i afhandlingen om Sel og Vågå kortbladet. Her foretages en hovedopdeling af de sydnorske Caledonider i tre facies: 1) miogeosynklinal i Oslo Regionen med fossilrige marine sedimenter, 2) miogeosynklinal nord og vest herfor med eokambriske sparagmiter og terrigene kambro-ordoviciske sedimenter og 3) eugeosynklinal bjergarter i Tronsheim Regionen med vulkanske eruptive og intrusive bjergarter. Mens Oslo Regionen i store

træk anses for at være autochton, er det tydeligt, at de to øvrige facies bjergarter ligger allochton, og at de relativt til Oslo Regionen er bevæget mod sydøst.

Eugeosynklinal sekvensen i Sel-Vågå området inddeles i følgende enheder (Strand, 1951):

|         |                       |
|---------|-----------------------|
| øverst  | Sel glimmerskifer     |
|         | Serpentin konglomerat |
|         | Grønstens konglomerat |
|         | Grønsten              |
| nederst | Heidal Serien.        |

Heidal Serien består nederst af et konglomerat overlejret af vekslende lag af glimmerskifer og kvartsiter. Herpå følger en serie grønsten, der består af amfiboliter og grøn-skifer samt en såkaldt "amfibol granulit", der af Strand tolkes som en effusiv bjergart af trondheimitisk eller lignende sammensætning. Øverst afsluttes serien af et grønstens konglomerat. Det herpå følgende serpentinkonglomerat indeholder en velbevaret og stratigrafisk vigtig fossilfauna (trilobiter, brachiopoder, cephalopoder og gastropoder), der placerer enheden i øverste del af Nedre Ordovicium. Den øverste enhed, Sel glimmerskifer, indeholder stedvis en op til 5 m mægtig marmorbank.

Peridotit legemerne i Sel-Vågå området findes kun i Heidal Serien, og Strand (1951) mener derfor, at man kan bruge disse som indikator for denne serie i andre dele af Trondheim Regionen. Grønstens serien korreleres med Støren Gruppens grønsten (Vogt, 1945) i den centrale del af Trondheimsfeltet. Serpentinkonglomeratet kan ved hjælp af fossilfaunaen korreleres med Høllonda kalkstenen, og Sel glimmerskifer serien svarer til Nedre Hovin Serien (se tabel 1). Endelig skelner Strand (1951) mellem tre forskellige orogene faser, nemlig



en taconisk fase med overskydningen af Otta Nappen, en ardennisk fase med overskydning af Sogn-Jotun Nappen og en svalbardisk fase, der påvirker alle strukturelle enheder til sidst.

Wolff (1967) har i afhandlingen om Meråker området sammensat et kort i 1:500.000 over Trondheim Regionen. Wolff gør her opmærksom på den store overskydning, der går fra området ved Hegsjøfjell i nord, langs østgrænsen af Meråker området til syd for Folldal, ned over Gudbrandsdalen og op over Dovrefjell til Opdal. For den metasedimentære lagpakke over denne overskydningszone foreslås navnet Trondheim Nappen. Specielt koncentrerer han sig om kontinuiteten i øst og sydøst randen af Trondheim Nappen fra Meråker til Sel.

Den nederste stratigrafiske enhed er Gula Gruppen, som kan følges fra Meråker området over Folldal til Sel, hvor den skulle være identisk med Strands (1951) Sel glimmer-skiifer. Gudå konglomeratet, der ligger som øverste enhed i Gula Gruppen på grænsen til Støren Gruppen, og som altid følges af en krystallinsk kalksten, korrelerer Wolff (1967) med Husumkonglomeratet på Folldal kortbladet, Buåi konglomeratet i Grimsdalen (Verkensæter konglomeratet og marmoren hos Bjørlykke (1905)) og med Skardshø konglomeratet i den nordlige del af Sel kortbladet.

I Meråker området skelnes mellem en nedre og en øvre grønstens enhed. Den nedre korreleres med Støren Gruppen, og den kan som Gula Gruppen følges fra den nordligste del af Meråker over Folldal til Gudbrandsdalen.

Oven på Støren Gruppen følger Sulåmo Gruppen, som korreleres med Nedre Hovin Gruppen. Denne gruppe følges ned til



Heidal Serien på Sel-Vågå kortbladet (Strand, 1951). Herved opstår en aldersmæssig uoverensstemmelse, som Wolff (1967) forklarer med, at Strand (1951) tog fejl af Heidal Seriens alder, idet Strand gik ud fra en synklinal opfattelse af Trondheimsfeltet mod nord. Wolff (1967) støtter derimod den af Bugge (1954) (se næste afsnit) fremsatte idé om Trondheimsfeltet som et antiklinorium. Ligeledes går Wolff (1967) imod Strands (1951) opfattelse af serpentinit legemerne som værende tilknyttet bestemte stratigrafiske niveauer. Wolff (1967) regner dem derimod for at være peridotiter, der er intruderet i forskellige stratigrafiske niveauer under den store overskydning af Trondheim Nappen.

Gennem Heim (1971) får man et mere nuanceret billede af det sydlige Trondheimsfelt end den forenkling, Wolff fremstiller i 1967.

Gula Gruppen, som dækker den store centrale del af området, inddeles af Heim (1971) i følgende tre formationer: Einun-formationen, Fundin-formationen og Storhø-formationen. Den sidste formation er opsat efter typelokaliteten Storhø nord for Folldal by og inddeles i tre enheder:

- 1) Gneis-kvartsitskifer med grønskifer indslag.
- 2) Grå-blå båndede skifre med Husumkonglomerat, der er blottet oven for Husumbekken NV for Folldal by, og som regnes for at være samme konglomerat som Mesæter-Verkensæter konglomeratet.
- 3) Sandsten og glimmerskifer med Mesæter marmor.

Stratigrafisk over men i liggende position under Gula Gruppen ligger en serie grønskifre, betegnet Folla Gruppen. Den inverterede position af denne gruppe skyldes, at Gula Gruppen

Tabel 1.

|                 |                  | Eng<br>land | Oslo | HORG-HØLONDA DISTRIKTET<br>etter Oftedahl (1974) |       | STJØRDAL-MERÅKER OMRÅDET<br>etter Wolff (1967). |                                 | SYDLIGE TRONDHEIMSFELT<br>etter Heim (1971).   |                                                                         |
|-----------------|------------------|-------------|------|--------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| KAMBRUM         | NEDRE ORDOVICIUM | Tremadocian | 7    | Horg                                             | Horg  | Slågan                                          | Stjørdal / Meråker              | Randan Gruppe                                  | Dovrefjell / Østerdal-Grimsdal                                          |
|                 |                  |             | 6    |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 5b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 5a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Carakocian       | Ashgillian  | 4d   | Øvre Hovin                                       | Hovin | Kjølhaug                                        | Konglomerat med indslag af tuf. | Ski fer med konglomerat og gråvakker.          | Kvartsit og glimmerski fer.<br>Konglomerat.<br>(Tverrfjell) (Brekkebæk) |
|                 |                  |             | 4c   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 4b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 4a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Sandsten.                       | Sandsten med ski fer.<br>Konglomerat (Brenna). | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
|                 |                  |             | 3a   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |
| ØVRE ORDOVICIUM | Llanvirnian      | Llanvirnian | 3c   | Nedre Hovin Gruppe                               | Hovin | Sulåmo Gruppe                                   | Ski fer med tuf.                | Metabasit.                                     | Glimmerski fer.                                                         |
|                 |                  |             | 3b   |                                                  |       |                                                 |                                 |                                                |                                                                         |



i det centrale område danner et antiklinorium, der mod syd danner overkippede, sydvergente antiklinaler. Folla Gruppen korreleres med Støren Gruppen, og over denne følger Hausta Gruppen og Randan Gruppen, hvis mest karakteristiske bjergart er et konglomerat, der dels forekommer som et "serpentin konglomerat" ved Alvda, Brekkebæk serpentin konglomerat, og dels ved Tollevshaug søer, hvor Heim (1971) beskriver det under betegnelsen Grimsa konglomeratet.

I sydenden af Trondheimsfeltet har Heim (1971) opstillet to stratigrafiske enheder for en serie kataklastisk metamorfoserede bjergarter, Ørnø og Grimsa Gruppen. Disse enheder repræsenterer de overskudte enheders underlag mod sparagmit området. Selve grænsen til sparagmiterne er mere indgående behandlet af Heim (1969) i området omkring Grimsas nedre løb. På tabel 1 ses Heims stratigrafiske inddeling af det sydlige Trondheimsfelt sammenstillet med Wolffs (1967) og Oftedahls (1974).

Et stort trondheimitisk legeme omkring Folldal med en længdeudstrækning på ca. 12 km mod NØ og 6 km mod SV betegner Heim (1971, side 128) som Folldals-gneis og tolker det som værende en lakkolit, der er intruderet i en ukonsolideret sedimentpakke.

Tektonisk inddeles de kambro-ordoviciske bjergarter i et nedre og øvre dække-kompleks (Heim, 1971). Det nedre dække-kompleks udfylder den centrale del af det sydlige Trondheimsfelt og består af bjergarterne fra Gula Gruppen og Folla Gruppen. Det øvre dække-kompleks ligger på hver side af det centrale område og betegnes som Elgsjø-dækket mod NV og Savalen-dækket mod SØ. Elgsjø-dækket indeholder bjergarter fra Folla Gruppen til Randan Gruppen, mens



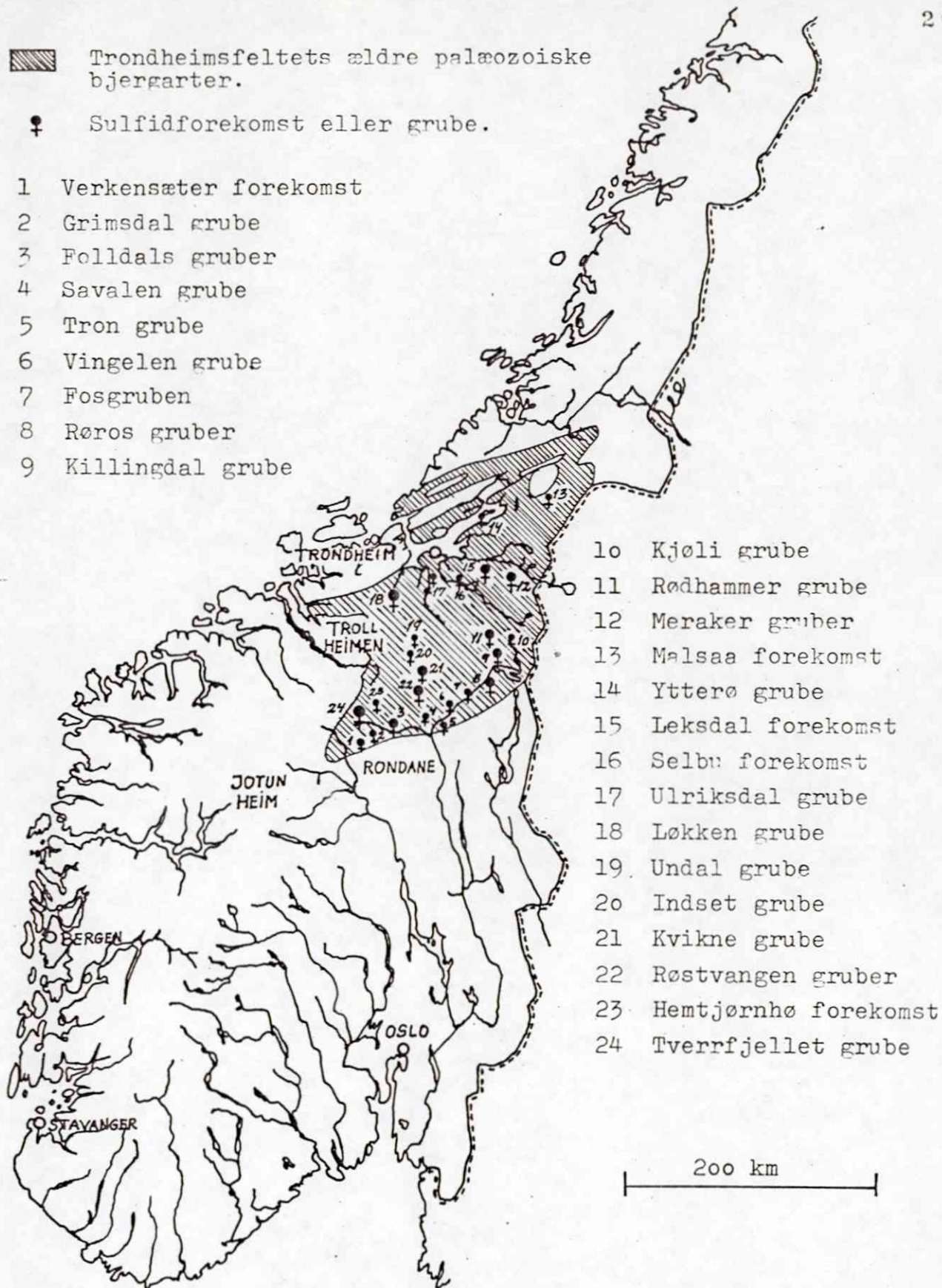


Trondheimsfeltets ældre palæozoiske bjergarter.



Sulfidforekomst eller grube.

- 1 Verkensæter forekomst
- 2 Grimsdal grube
- 3 Folldals gruber
- 4 Savalen grube
- 5 Tron grube
- 6 Vingelen grube
- 7 Fosgruben
- 8 Røros gruber
- 9 Killingdal grube



- 10 Kjøligrube
- 11 Rødhammer grube
- 12 Meraker gruber
- 13 Malsaa forekomst
- 14 Ytterø grube
- 15 Leksdal forekomst
- 16 Selbu forekomst
- 17 Ulriksdal grube
- 18 Løkken grube
- 19 Undal grube
- 20 Indset grube
- 21 Kvikne grube
- 22 Røstvangen gruber
- 23 Hemtjørnhø forekomst
- 24 Tverrfjellet grube

200 km

Fig. 3. Kort over Trondheimsfeltets sulfidforekomster.

Grimsdalen ligger N for fjeldpartiet Rondane mellem forekomst 1, Verkensæter, og 3, Folldal.

Savalen-dækket tillige indeholder dele af Gula Gruppen. Syd for Grimsdalen overskrider det nedre dække-kompleks og Savalen-dækket en serie myloniter, betegnet Kolla-dækket og Driva-dækket, der ligger på grænsen til spargmit området, som med et spørgsmålstegn henføres til Kvitvola-dækket (Strand & Kulling, 1972).

#### Sulfidmineraliseringerne i Trondheimsfeltet.

Trondheimsfeltet har siden det 18. årh. været kendt for sine kisforekomster. Blandt de kendteste kan man nævne Røros, Løkken og Folldal, der alle har været i drift før 1800 (1644, ca. 1650 og 1747). På kortet fig. 3 over Trondheimsfeltets sulfidforekomster får man et overblik over forekomsternes placering. Man bemærker her det karakteristiske strøg af forekomster, der følger Trondheimsfeltets øst og sydøst grænse.

Den tidligste opfattelse af sulfidmineraliseringernes genese var, at de var af sedimentær oprindelse (Foslie, 1926). Men omkring år 1900 blev forekomsterne tolket som hydrothermale-pneumatolytiske og magmatisk intrusive (W.C. Brøgger, J.H.L. Vogt m. fl.), indtil Carstens (1922) viste, at Leksdal og Skjødskift kisforekomsterne var submarine, synsedimentære dannelser af vulkansk-biogen oprindelse af lignende type som f. eks. Rammelsberg og Meggen an der Lenne.

Herefter blev Leksdal forekomsten opsat som en speciel type af de caledonske kisforekomster, Leksdaltypen. Men de øvrige kisforekomster blev stadig betragtet som intrusive.



Således anfører Bugge (1954), at Leksdalstypen er sedimentær, men at forekomster som Røros, Killingdal, Folldal og Rødhammer hører til en intrusiv type (hydrothermal eller magmatisk).

Bugge (1954) var den første der forsøgte at placere Trondheimsfeltets pyritforekomster i en strukturgeologisk sammenhæng. Først forklares fjeldkædens udvikling fra en eokambrisk geosynklinal periode via et geantiklinal stadium i Kambrium - Ordovicium med flysch sedimentation og et archipelagisk stadium efterfulgt af en vulkansk periode, til de store antiklinale overskydninger endelig afslutter fjeldkædedannelsen i Silur - Devon. I den netop udviklede antiklinale overfoldnings model placeres Trondheimsfeltets kisforekomster, som inddeles i tre grupper: 1) den paraautochtone på den nedre synklinal flanke, hvortil hører Leksdal, Løkken og Grong, 2) inversions gruppen i synklinalens ombøjningszone, hvor lagene står oprejst, hertil hører Folldal, Rødhammer og Harsjø, 3) Mellem-flanke-forekomsterne på den inverterede, overkippede, liggende flanke med Røros og Killingdal som hovedeksempler.

Siden Oftedahl (1958) fremsatte teorien om exhalativ-sedimentær dannelse af de caledonske sulfidforekomster i Skandinavien, har opfattelsen af sulfidmineraliseringerne som værende lagbundne, synsedimentære dannelser vundet større og større udbredelse. Oftedahl (1958) lægger især vægt på mineraliseringernes optræden sammen med sure, vulkanske bjergarter, som han betragter som submarine tuffiter, og mener, at den samme eksplosive fase, som har frembragt de extrusive bjergarter, også er ansvarlig for udløsningen af jernbærende gasser, der ved precipitation er i stand til at danne pyrit. Folldal nævnes bl.a. som eksempel herpå, men Oftedahl (1958) tilføjer, at metamorfose og orogenetiske



bevægelser dog kan have forandret denne aflejrings. Oftedahl (1958) sammenligner bl.a. med forekomsterne Lahn-Dill og Rammelsberg og mener som Ramdohr (1953), at tektonisk metasomatose kan have en vis betydning for malmkoncentreringen.

Page (1964) konkluderer om dannelsen af Nordre Geitryg sulfid forekomst, den nordøstligste af minerne i Folldals feltet, at man kun kan sige om pyritmineraliseringen, at den er metamorf.

Spørgsmålet om metamorfose bliver taget op af Vokes (1969), som gennemgår et stort litteraturmateriale om metamorfose af sulfidforekomster. Her nævnes som eksempel på krystalvækst gennem stigende metamorfose udviklingen fra den lavest metamorfoserede forekomst, Leksdal, med finkornet pyrit, via Løkken med stigende grad af rekrySTALLISATION til Folldal - Røros med mest grovkornet pyrit i højeste metamorf facies. Desuden bemærkes de forskellige former af kataklastisk metamorfose, de enkelte forekomster udviser.

Generelt om sulfidforekomsterne kan sammenfattes:

- 1) Forekomsterne er oftest tilknyttet grønskeer og sure vulkaniter (keratophyr o.l.) tilhørende Støren Gruppen. Enkelte undtagelser fra denne regel er beskrevet fra Røros området af Rui & Bakke (1975).
- 2) Den primære genese er diskutabel, men anses dog for en stor del at være exhalativ-synsedimentær.
- 3) Forekomsterne fremtræder i alle grader af regional metamorfose.
- 4) En eller flere foldefaser har betinget placeringen og koncentrationen af malmen.

### Sulfidmineraliseringerne i Grimsdalen.

Grimsdals området ligger i forlængelse af Folldals feltet. De kendte forekomster er nævnt fra nordøst mod sydvest: Nordre og Søndre Geitryg Gruva, Folldals (eller Hoved) Gruva, Knutshovda Gruva, Nygruva, Grimsdals Gruva samt længst mod sydvest Verkensøter Gruva ( se fig. 3 og kort 1, bilag 1). Ingen af disse forekomster ligger i direkte forlængelse af hinanden, men de ligger alle inden for en med Støren Gruppen korrelabel grønstens serie ( Folla Gruppen). Grimsdals Gruva, der skulle danne forbindelsen mellem Folldals forekomsterne mod NØ og Grimsdalen mod VSV, ligger således på en forkastningsbetinget blok for sig selv ( se kort 1, bilag 1).

I Grimsdalen er sulfidmineraliseringer kendt fra en blotning i bækken vest for Tverrlisøter, herefter betegnet Kisbækken, samt et antal boringer, der blev foretaget i årene 1970 - 1974 ( se kort 4, bilag 4), i forbindelse med et elektromagnetisk undersøgelsesprogram udført af NGU for Folldal Verk A/S.

### Forfatterens undersøgelser.

I somrene 1974 og 1975 har forfatteren foretaget geologisk kortlægning i Grimsdalen. På baggrund af dette arbejde er der udfærdiget et geologisk kort i 1:10.000 over området fra Mesøter til Grimsdalshytta ( se kort 3, bilag 3) med et dertil hørende kort over tektoniske målinger ( kort 2, bilag 2) og et geologisk kort over strøget Grimsdalen - Folldal i 1:50.000 ( kort 1, bilag 1). Desuden har forfatteren besøgt området i sommeren 1976 for at supplere de tidligere

års undersøgelser. Ved samme lejlighed fik forfatteren mulighed for at kontrollere den tektoniske model for området, idet tre nye diamantboringer blev nedsat ved Tverrlisøter.

Undersøgelsen omfatter desuden en petrografisk beskrivelse af bjergarterne fra området mellem Grimsdals Gruva og Storberget samt en tektonisk analyse af de målte strukturer.



## GRIMSDALENS GEOLOGI.

Geologisk oversigt.

Bjergarterne i Grimsdalen består af glimmerskifre og grøn- skifre, der har været påvirket af grønskifer - amfibolit fa- cies metamorfose. Generelt har bjergarterne strygning ØNØ - VSV og hældning  $50^{\circ}$  -  $70^{\circ}$  N. Bjergarterne er kraftigt defor- meret af to foldefaser,  $F_1$  og  $F_2$ . Strukturelementer tilknyt- tet  $F_1$  er lagparallel  $s_1$  schistositet, der er ombøjet om  $F_1$  akse og skåret af aksialplans schistositeten  $s_2$  (se fig. 4).

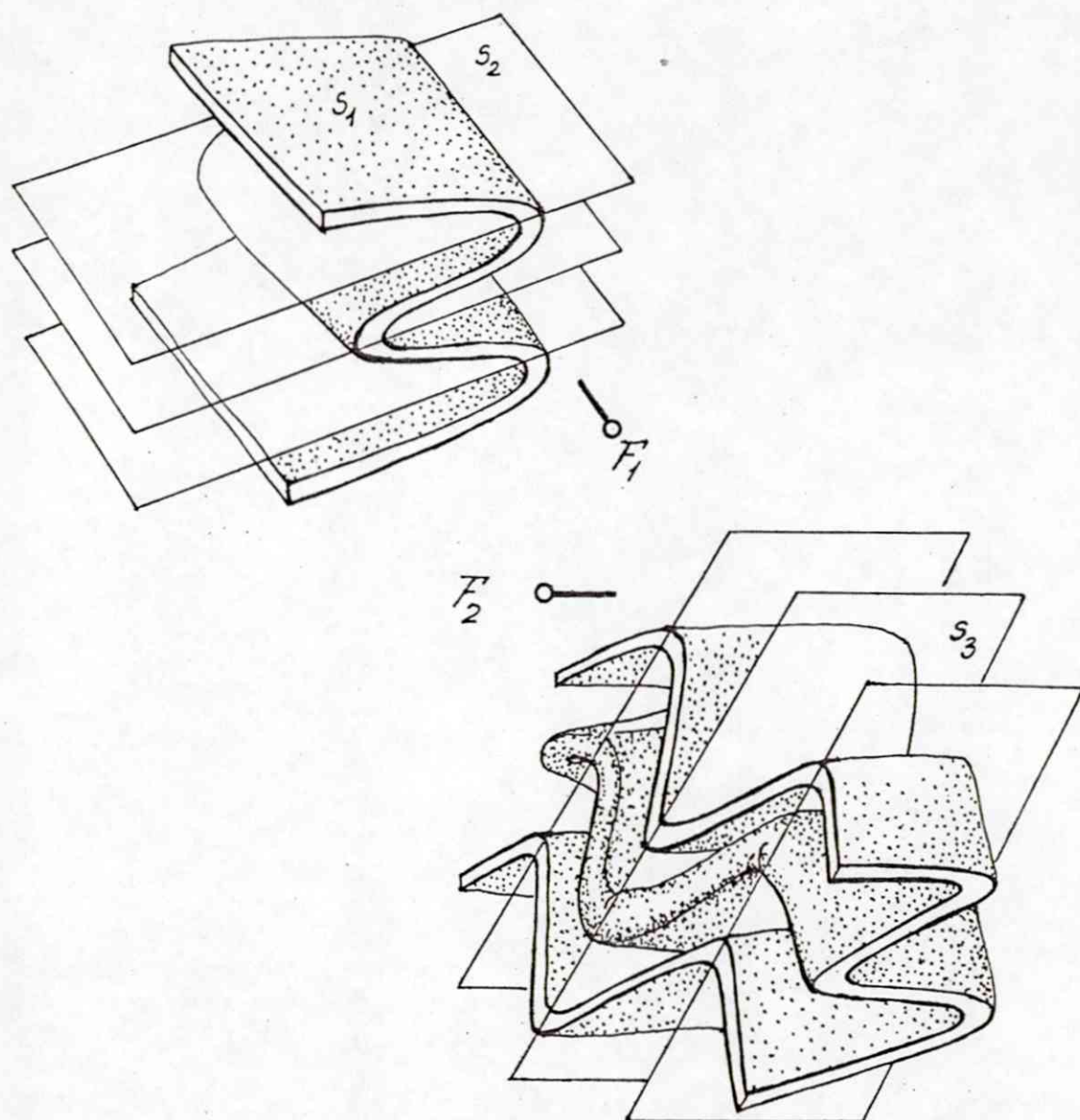


Fig. 4. Model af  $F_1$  og  $F_2$  folderne med tilhørende planare strukturer.

$F_2$  fasen betinger lagplanernes stejle hældning mod N og ombøjningen af  $s_1$  og  $s_2$  om  $F_2$  akse. Desuden er der udviklet en  $F_2$  aksialplans cleavage  $s_3$ , der skærer  $s_1$  og  $s_2$  ( se fig. 4).

Ved karteringen og opdelingen af bjergarterne har forfatteren benyttet den af Heim (1971) opstillede stratigrafi for det sydlige Trondheimsfelt ( se fig. 5). Herefter kan bjergarterne i Grimsdalen inddeles i tre store enheder: Gula Gruppen, Folla Gruppen og sparagmitterne.

Gula Gruppen er den nordligste enhed inden for forfatterens karteringsområde. Gula Gruppen består overvejende af granat-biotit glimmerskifer, der mod syd går over i de to stratigrafisk vigtige horisonter Mesæter marmor og Mesæterhøj-Verkensæter konglomerat. ( Den stratigrafiske korrelation til det øvrige Trondheimsfelt fremgår af tabel 1 ).

Folla Gruppen udgør områdets centrale del og består af grønskifer med indslag af metakvartsskeratophyr. Grønskiferen går konkordant over i grafit-glimmerskifer med båndede indslag af kvartsit. Forfatteren har valgt at beskrive grafit-glimmerskiferen som tilhørende Folla Gruppen på grund af den konkordante overgang, selvom den lithologisk kunne korreleres med Randan Gruppen (Heim, 1971).

Sparagmitterne danner den sydlige begrænsning for forfatterens karteringsområde. Op mod sparagmitterne ligger en serie kataklastiske bjergarter, der såvel kan repræsentere undertrykte enheder af Hausta Gruppen, Randan Gruppen, Ørnhø Gruppen og Grimsa Gruppen (Heim, 1971) som være kataklastisk deformerede dele af Folla Gruppen og sparagmitterne.



Dovrefjell

(Heim, 1971)

Folldal

Grimsdalen

(Dette arbejde)

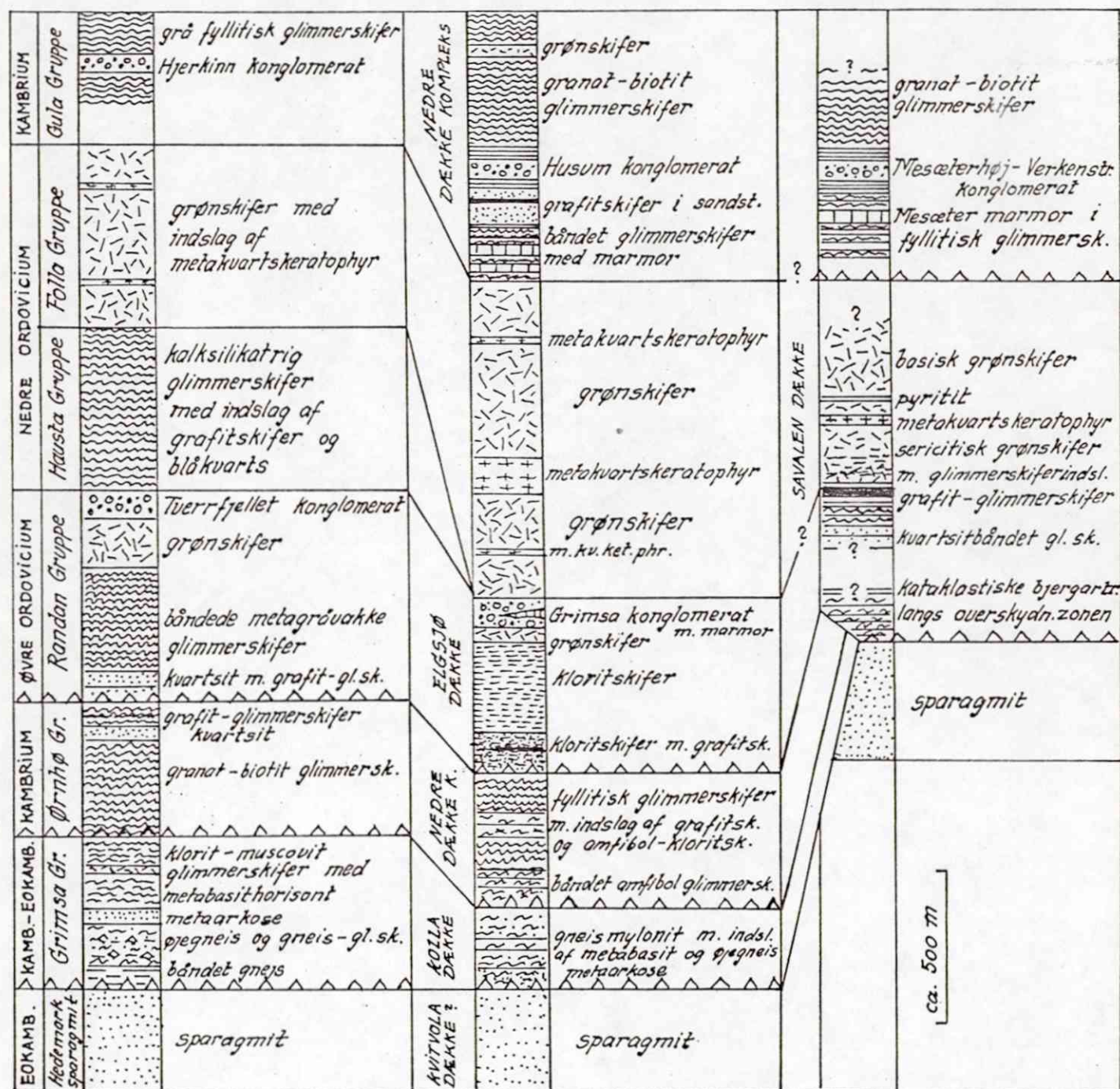


Fig. 5. Stratigrafisk inddeling af bjergarterne i den vestlige del af det sydlige Trondheimsfelt.



Adskillelsen mellem Folla Gruppen og Gula Gruppen er markeret ved en overskydningszone. Den egentlige stratigrafiske position af disse to grupper er derfor diskutabel. Forfatteren ønsker derfor at fastslå, at betegnelsen Gula Gruppe her er anvendt som inddelingsbetegnelse, der ikke bør tilskrives den kronostratigrafiske betydning, som Heim (1971) anfører (saml. fig. 5).

#### OMRÅDETS BJERGARTER.

##### Gula Gruppen.

Gula Gruppen er den strukturelt øverst beliggende bjergartsenhed i Grimsdalen og inddeles i følgende enheder:

Granat-biotit glimmerskifer.

Mesæterhøj - Verkensæter metakonglomerat.

Mesæter marmor

Fyllitisk glimmerskifer.

##### Granat-biotit glimmerskifer.

På oversigtskortet (bilag 1) ses udbredelsen af granat-biotit glimmerskiferen, som svarer til den sydlige begrænsning af centralzonens granat glimmerskifer ( se fig. 2). Den dominerende bjergart er en gråbrunlig til rustfarvet glimmerskifer. Granat findes hyppigt som op til 0,5 cm store porfyroblaster, og på Katuglehøjs sydlige top er staurolit idioblaster (1-2 cm x 0,5 cm) rigt repræsenteret ( se fig. 6). På NØ siden af Mesæterhøj og på højdedraget oven for Verken-

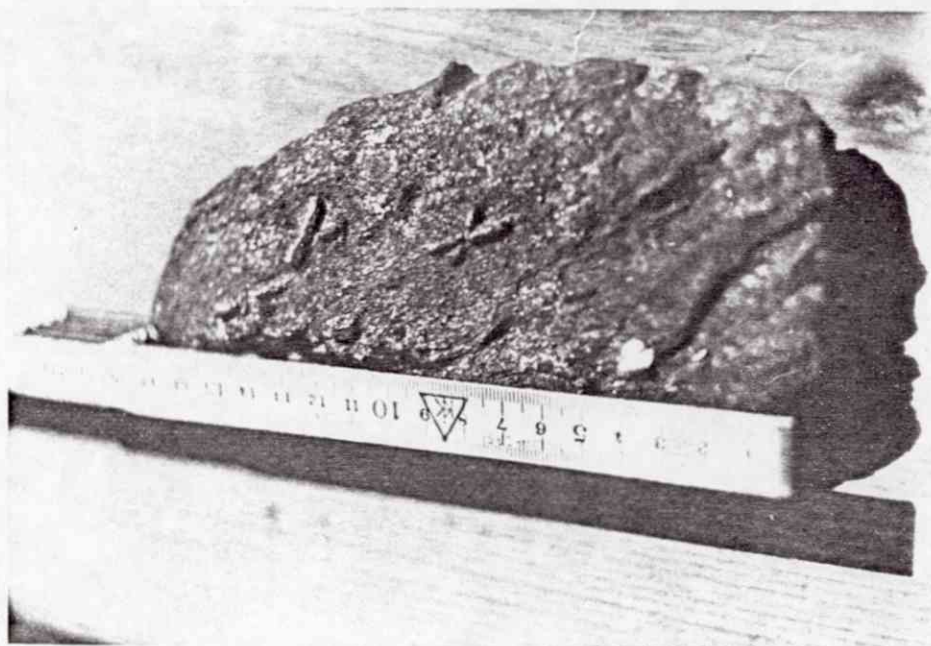


Fig. 6. Staurolit idioblaster i granat-biotit glimmerskifer fra Katuglehøjs syd top.

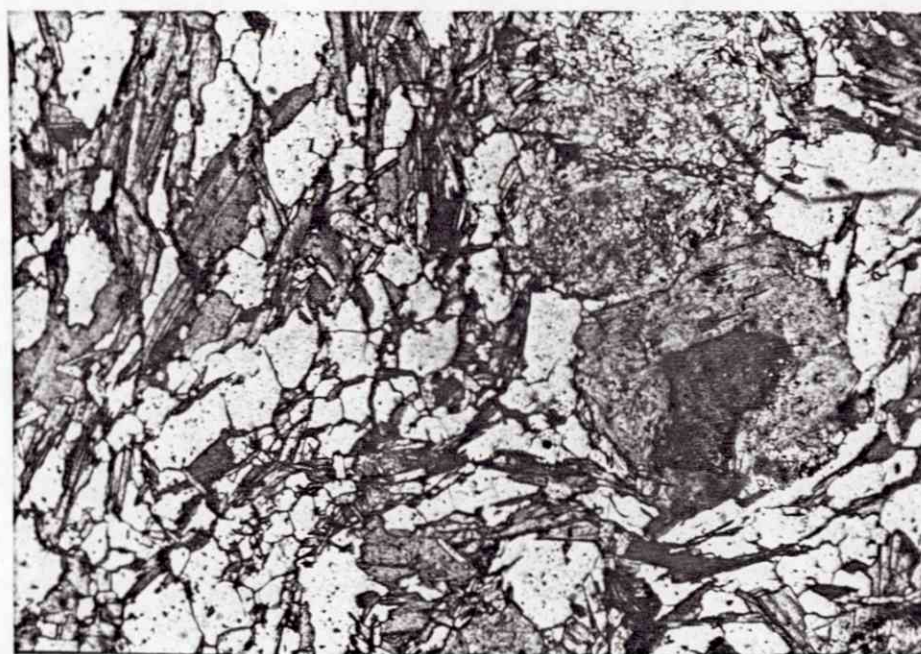


Fig. 7. Staurolit-kyanit-granat-muscovit-biotit glimmerskifer fra Mesæterhøj. I højre side af billedet ses to porfyroblaster, øverst en staurolit porfyroblast, der er fuldstændig omdannet til sericit, nederst en granat porfyroblast, der er omdannet til klorit, men som har bevaret en kerne af reliket granat.



sæter indeholder glimmerskiferen kyanit porfyroblaster, der er udviklet som negformede aggregater op til 5 cm i længdesnit.

Bjergarten består af hovedminerallerne kvarts, plagioklas, biotit, muscovit, granat, staurolit, kyanit og hornblende. Klinozoisit-epidot, antigorit, zirkon og opake mineraler forekommer accessorisk. Biotit danner en veldefineret  $s_1$  schistositet, der skæres af en muscovit schistositet,  $s_2$ , svarende til den tidligste foldefases aksialflade schistositet.  $s_1$  og  $s_2$  er derefter crenulationsfoldet, hvorved  $s_3$  crenulations cleavage er dannet. Under denne deformation ses ingen tegn på rekrySTALLISATION, men kun en reorientering af glimmerkornene samt en svagt udviklet fracture cleavage i  $s_3$  retningen. Granat idioblaster er under deformationerne roteret, sammentrukket og mere eller mindre omdannet til klorit. Hornblende kan forekomme som roterede porfyroblaster, der stedvis er omdannet til klorit. Staurolit og kyanit er under retrograd metamorfose omdannet til sericit ( se fig. 7).

Enkelte 1 m brede bånd af lys kvartsit-metaarkose findes indlejret i glimmerskiferen. Kontakten mellem metaarkosen og glimmerskiferen er uskarp med en gradvis overgang fra en biotitrig skifer til en bjergart bestående af kvarts, plagioklas og få spredte korn af granat og muscovit.

#### Metakonglomerat (Husumbekken - Verkensæter konglomeratet).

Metakonglomeratet forekommer i den nederste del af granat-biotit glimmerskiferen. Det danner ikke en sammenhængende horisont, men optræder stedvis i en række blotninger i samme niveau. Konglomeratets lithologiske karakter varierer både



med hensyn til rullestenenes art og grundmassens sammensætning. Men generelt består grundmassen af amfibol og klorit, og konglomeratet kunne derfor betegnes som et grønstens konglomerat. Desuden forekommer konglomeratet i alle overgange fra et velbevaret, næsten udeformeret konglomerat til et næsten ukendeligt tektoniseret metakonglomerat.

Den mindst deformede udgave af metakonglomeratet findes SØ for top 1395 på den østlige side af Mesæterhøj, herefter betegnet "Mesæterhøj konglomeratet" ( se kort 1, bilag 1). Det består af en grønlig-sort grundmasse af amfibol med en stærkt varierende mængde rullesten, der i størrelse varierer fra 1,5 cm til 10 cm. Sammentrykning og udvalsning af rullestenene har resulteret i en ellipseform, hvor akseforholdet mellem mindste og største akse er 1:5. Rullestenene består overvejende af kvarts-feldspatiske bjergarter, hvoraf flere indeholder hornblende nåle, og en mindre mængde amfibolit-grønsten, der forekommer i to lithologiske varieteter, en finkornet grøn-sort og en mere grovkornet. Den finkornede varietet ses flere steder at gå jævnt over i grundmassen, men oftest indeholder rullestenene lidt mere feldspat end grundmassen, eller de kan skelnes ved at være omgivet af en tynd rand af rekrystalliseret kvarts-feldspat. Den grovkornede varietet er mere rig på plagioklas og kunne betegnes som metagabbro.

Metakonglomeratet karakteriseres endvidere af nogle stærkt forvitrede rullesten, der næsten er omdannet til rustforvitrede hulrum kun omgivet af en kvarts-feldspatisk rand. Den stærke forvitring indikerer et oprindeligt højt sulfidindhold i disse rullesten.

Metakonglomeratet ved Tollevshaug er væsentlig stærkere tektonisk deformeret end Mesæterhøj konglomeratet. Det kan i denne bjergart ofte være svært at konstatere de enkelte rullesten, idet de kan være udtrukket til en leucokrat bånding. Grundmassen er grønlig-sort bestående af amfibol og klorit, og enkelte rullesten kan have en størrelse på op til 2 x 25 cm. Ellipse-elongations forholdet er på et mindre antal rullesten målt til 1:15.

Heim (1971) har beskrevet konglomeratet som Grimsa konglomeratet og henført det til Randan Gruppen. Forfatteren har valgt at beskrive det som tilhørende samme stratigrafiske enhed som de øvrige konglomerater, da det strukturelt ligger i en position svarende til den søndre flanke af en antiformal struktur med Mesæterhøj konglomeratet på nordflanken ( se oversigtskortet, bilag 1).

Metakonglomeratet på top 1321 ca. 3 km NNØ for Tverrlisæter ( se kort 3, bilag 3), har undergået en væsentlig større deformation end konglomeraterne på de foregående lokaliteter. En stærkere kataklastisk deformation har medført, at kvarts-feldspat rullestenene er blevet udtrukket i linser og bånd, så bjergartens oprindelige konglomerat karakter kun lader sig genkende pletvis. I de kvarts-feldspat rige partier forekommer muscovit som poikialitiske korn eller nedbrudte rester af større korn sammen med orthoklas og få spredte korn af andalusit. Bjergarten har tillige været påvirket af fuchsit førende kvartsgangs intrusioner og mindre pegmatitdannelse. Intrusionen af gange og linser samt pegmatisering må være sket efter den første deformationsfase, idet de skærer isoklinale  $F_1$  folder. Men intrusionen må tillige være sket inden foldefasen, der har medført en større kvartslinses foldning om akse  $30^\circ$  o-  $10^\circ$



( se geologisk kort 1:10.000, bilag 3).

Mod øst går metakonglomeratet over i en mylonitisk glimmerskifer, der overvejende består af kvarts, plagioklas og biotit med et varierende indhold af klinozoisit-epidot.

Mod vest kan metakonglomeratet med besvær genkendes i blotningerne på Tverråens østskrænt. Her er bjergarten fuldstændig omdannet til en metakonglomerat-mylonit. Grundmassen er grågrønlig-sort med kraftigt udviklet mylonit schistositet. Kvarts og feldspat fra rullestenene er rekrystalliseret og findes som ca. 1 cm brede linser og bånd.

Længere mod vest og sydvest findes konglomeratet på plateauet N for nrå. Tverråi, og syd herfor genfindes det på den sydlige top af Katuglehøj. Endelig findes konglomeratet ved den nedre gaffel af Buåi, hvor det tidligere er beskrevet som Verkensæter konglomeratet ( Bjørlykke, 1905).

#### Mesæter marmoren.

Nord for Mesæter findes en  $\frac{1}{2}$  - 2 m mægtig marmorhorisont indfoldet i en serie sølvgrå-sortgrå fyllitiske glimmerskifre. Heim (1971) beskriver denne marmorhorisont under betegnelsen "der Mesæter Marmor" og knytter iøvrigt ingen stratigrafisk overvejelse til horisonten, men nævner, at dens lithostratigrafiske betydning ligger deri, at den altid optræder sammen med Husumkonglomeratet i den øverste del af Gula Gruppen overalt i den sydlige del af Trondheimsfeltet, lige fra Mesæter til Tellpiggen ( lok. NØ for Kakelldalen, se kort 1, bilag 1).

Marmoren genfindes tillige V og SV for Mesæter. I Tverråens øvre gaffel fremstår marmoren i den vestre skråning med en mægtighed på op til 12 m, der skyldes addition ved dobbeltfoldning. Endvidere kan marmorhorisonten følges Ø og SØ om



Katuglehøjs fjeldside og ned til Buåi et par km N for Verkensøter, hvorfra Bjørlykke (1905) beskrev marmorhorisonten og den grå fyllitiske glimmerskifer i forbindelse med Verkensøter konglomeratet.

Marmorhorisonten består af en grålig-hvid til gullig marmor, der de fleste steder, hvor den er blottet, viser et intensivt fordningsmønster. Marmoren er gennemsat af bånd varierende fra få mm til et par cm. Båndene består hovedsagligt af kvarts, der giver marmoren en vis gråtoning, og muscovit, der giver bjergarten nogle iøjnefaldende grønne mønstre (fuchsit), især hvor marmoren er blevet uderoderet i bække og vandløb. På grund af den intensive deformation kan marmoren på isoklinale foldeflanker blive fuldstændig udvalset, så marmoren kun forekommer som tynde bånd og udtrukne linser i den grå fyllitiske glimmerskifer.

Calcit er bjergartens dominerende mineral, og ved farvning med alizarin rødt påvistes ingen andre karbonater. Under mikroskop ses, at calcitkornene er gennemsat af tvillingslameller svarende til en kraftig trykpåvirkning af bjergarten. Accessoriske mineraler som granat, zirkon og titanit optræder med velafrundede kornomrids, hvilket indicerer en sedimentær oprindelse. Apatit og pyrit er fundet som enkelte idiomorfe korn.

#### Fyllitisk glimmerskifer, kvarts-klorit glimmerskifer.

Denne bjergart er en grå-sort til sølvgrå klorit-kvarts skifer med linser og slirer af kvarts og calcit. Enkelte steder forekommer den som en lys brunlig, fyllitisk glimmerskifer. Bjergarten findes lige N for Mesøter, hvor den

er udviklet til en kvarts-klorit mylonit skifer, pletvis indeholdende op til 5 cm store hornblende porfyroblaster samlet i en udfladet negstruktur. Denne "garben struktur" er opsprækket og sammentrykket, hvilket viser, at "garben struktur" er dannet før den sidste mylonitisering.

### Folla Gruppen.

Bjergarterne i denne gruppe består af metavulkaniter med enkelte indslag af metasedimentære bjergarter. Øverst i gruppen findes en serie grafit-glimmerskifer med bandede indslag af kvartsit. Metavulkaniterne kan følges i et bælte fra Kakkeldalen til vandskellet mellem Grimsdalen og Gudbrandsdalen. I Grimsdalen er gruppen begrænset af forskydninger mod Gula Gruppen i nord og af en meget kraftig mylonitzone mod sparagmiterne i syd.

Bjergarterne inden for gruppen er intensivt deformeret og udviser et stort spektrum af foldningskontakt relationer, udvalsning og kataklastisk deformation, og hele gruppen ligger i en inverteret stratigrafisk position (Heim, 1971).

I Grimsdalen kan Folla Gruppen inddeles i følgende litho-stratigrafiske enheder:

Stratigrafisk øverst,  
strukturelt nederst

grafit-glimmerskifer med  
kvartsitbånd

sericitisk grønskifer -  
metaspilit serien

metakvartskeratophyr

basisk grønskifer serie  
med pyritit.



### Basisk grønskifer serie.

Denne enhed består af en vekslende serie amfiboliter, finkornede hornblende skifre og hornblende-klorit grønskifre.

Hovedminerallerne i de basiske grønskifre er hornblende, plagioklas og klorit. Desuden forekommer i varierende mængde granat, klinozoisit-epidot, biotit, kvarts, muscovit, calcit og titanit. Endvidere er følgende malmmineraller almindelige accessoriske mineraler: ilmenit, rutil, pyrit, pyrrhotit, chalcopirit og sphalerit.

Amfiboliten kan være helt sort og næsten udelukkende bestå af hornblende, eller den kan bestå af op til 2 cm lange hornblende lister i en hvid-grå plagioklas grundmasse. Ofte er amfiboliten båndet med en vekslen mellem plagioklasrige og hornblenderige bånd. Specielt hvor hornblenden er udviklet til store porfyroblaster, er disse hyppigt ledsaget af granat. Grønskiferen varierer fra en grøn, finfolieret plagioklas-hornblende grønskifer til en mørkegrøn, finkornet hornblende-klorit grønskifer (phyllonitisk grønskifer).

Hornblenden danner i alle bjergarterne en distinkt foliation eller schistositet.  $S_2$  schistositeten er karakteriseret ved færre, men lidt større hornblende korn end  $s_1$  schistositeten. På grund af  $F_2$  deformationen er  $s_1$  og  $s_2$  som regel sammenklappet til subparallelitet under en crenulationsfoldning, der har resulteret i  $s_3$  crenulations cleavage ( se fig. 8). Hornblende listerne danner ofte en veldefineret lineation ( $L_1$ ), der er parallel med  $F_1$  foldeaksen og bøjet omkring  $F_2$  akse ( se fig. 9).

Plagioklasen er oftest en albit-oligoklas, men andesin er tilstede i enkelte prøver af amfibolit og er desuden fundet som porfyrokorn i en metabasit bjergart fra en  $F_1$  ombøjningszone. Samme bjergart var på flankerne af folden



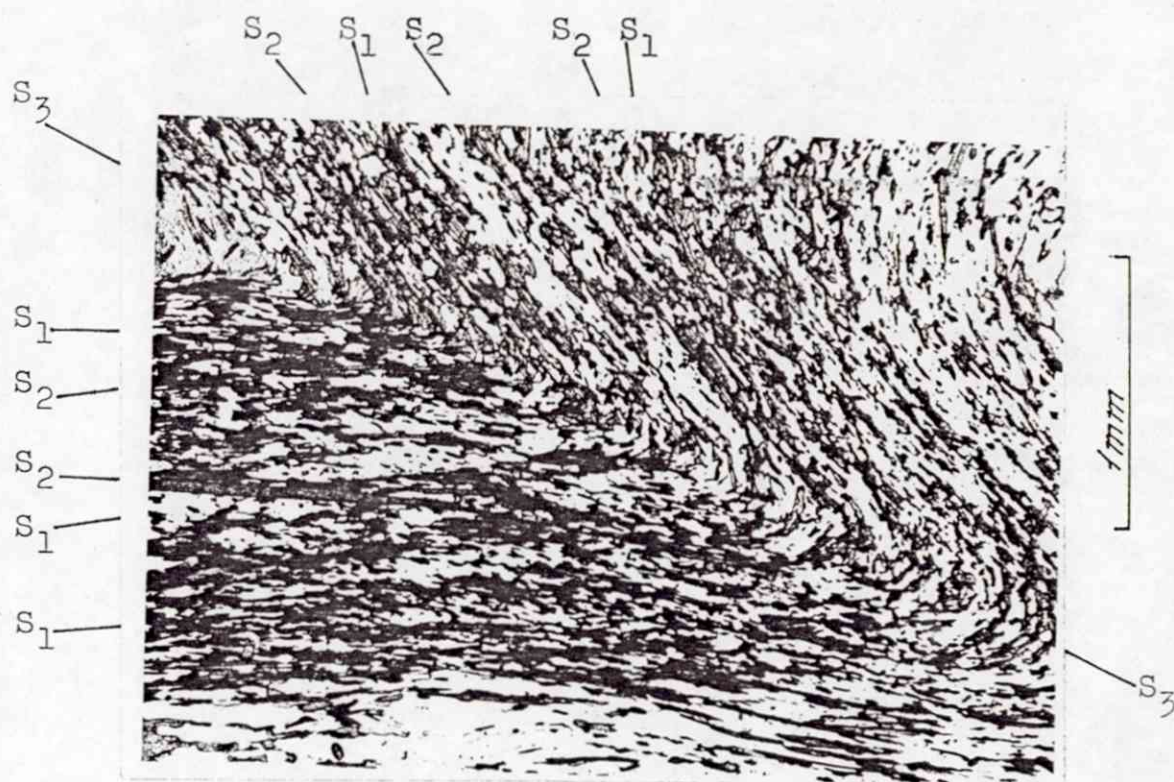
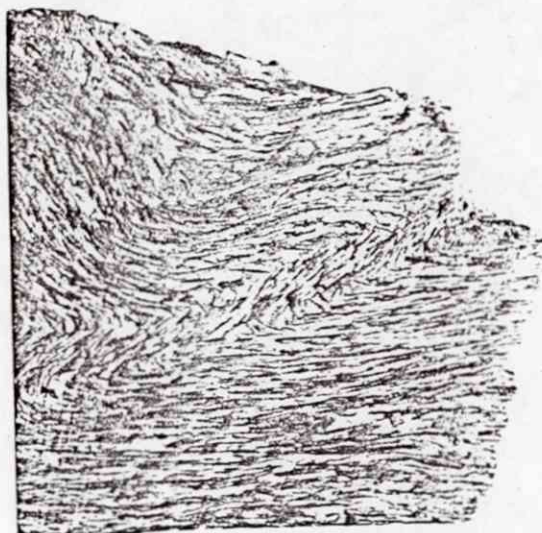


Fig. 8. Basisk grønskifer.

På billedet ses forholdet mellem schistositeterne  $s_1$ ,  $s_2$  og  $s_3$ . Schistositeterne  $s_1$  og  $s_2$  dannes af hornblende.  $s_3$  schistositeten er en crenulations cleavage, der svarer til  $F_2$  foldningens aksialflade. Desuden ses det, at klorit er nydannet i  $s_3$ .

Bemærk at hornblendens pleokroitiske farve skifter fra mørk på nederste  $F_2$  foldeflanke og lys på øverste. Dette skift skyldes hornblende lineationens parallelle orientering, der er  $F_2$  foldet med en spids vinkel mellem lineationen og  $F_2$  akse.

a)



b)

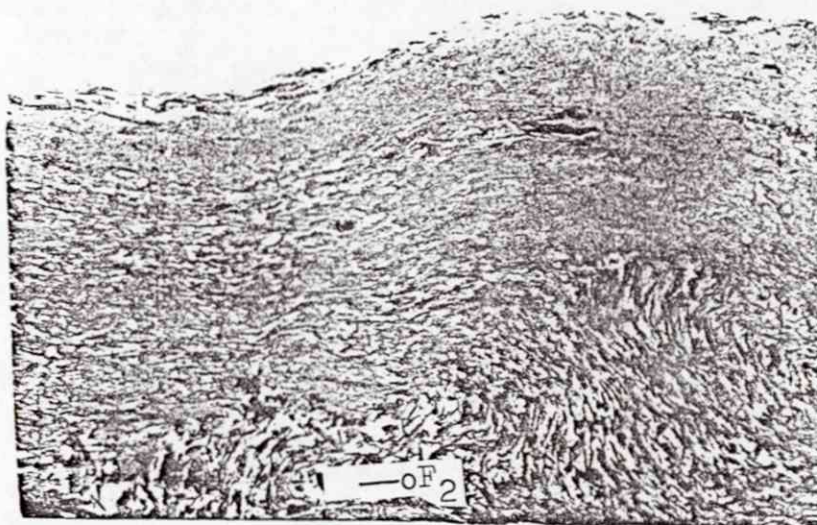


Fig. 9. Hornblende lineation,  $L_1$ , bøjet om  $F_2$  foldeaksen.

a)  $F_2$  fold, billedplan vinkelret på  $F_2$  akse.

b)  $L_1$  bøjet om  $F_2$ , billedplan parallelt med  $F_2$  akse.

Fladen svarer til den lodrette venstre kant på billed a).

14 x forstørrelse.



omdannet til en albit-klorit grønskiifer med kloritpseudomorfose efter hornblende og zoisitisering af plagioklaskornene.

Granat og biotit kan være mere eller mindre omdannet til klorit. Biotit danner en  $s_1$  schistositet, hvoromkring der er sket en granat blastese. Denne sammenvoksning er under  $F_1$  foldningen roteret og senere omdannet til klorit, hvorved kun få fragmenter af granat og biotit er bevaret. Klorit forekommer både i en Mg-rig og en Fe-rig varietet. Den Fe-rige klorit danner pseudomorfose efter granat, hvilket viser, at granaten er en almandin. Desuden optræder klorit i  $s_3$  planerne som nydannet mineral. Titanit forekommer som idiomorfe korn, der stedvis danner  $s_1$  schistositet.

En enkelt zone af metagabbro følger de amfibolitiske bjergarter. Stedvis er denne metagabbro omdannet til aktinolit krystal aggregater i meterstore linser. På Sjøberget forekommer et større legeme af metagabbro ( se kort 1, bilag 1), der mod SV er kraftigt mylonitiseret langs overskydningen mod sparagmiterne. Et enkelt sted i serien er der i en finkornet hornblende-klorit grønskiifer fundet grafitskiifer indslag. Denne horisont kan på kort 4 ( bilag 4) følges ved den geofysiske anomali fra en blotning i Tverrbekken til boring Bh. 183. Grafitten findes som en finkornet udfyldning mellem hornblende, klorit, kvarts og feldspat. Desuden er pyrrhotit almindeligt forekommende ofte sammen med lidt chalcopyrit og enkelte molybdænit lister. Grafitskiiferen er lagbunden og dette sandsynliggør, at amfiboliten og grønskiiferen repræsenterer en serie submarine metavulkaniter.

#### Pyritit horisonten.

Inden for de øverste 10 m af den basiske grønskiifer serie findes en bjergart bestående af mere end 50 % pyrit, derfor kaldet pyritit. Mægtigheden af denne pyritit varierer fra



10 cm til 2 m, og i isoklinale  $F_1$  ombøjninger danner den malmzoner med en gennemsnitsmægtighed på 4 m.

Ved Grimsdalsgruva er horisonten blottet i et mindre antal minegange (stoller) og en undersøgelses skråskakt ca. 100 m dyb. Malmzonen (eller zonerne) har her en samlet længde på ca. 1000 m.

I Kisbekken fremstår to bånd på 10 og 30 cm tykkelse i en hornblendeporfyroblast-klorit grønskifer, som genfindes i et par undersøgelsesgrøfter (røsk) 50 og 200 m længere mod øst. Malmzonen svarende til disse pyrititbånd er gennemboret 200 m mod vest i borehul Bh. 189. Blandt øvrige borehuller med påtruffet malm kan nævnes: Bh. 164, Bh. 165, Bh. 166, Bh. 169, Bh. 193, Bh. 195, Bh. 196, Bh. 220, Bh. 222, Bh. 223 og Bh. 226 ( se kort over borehuller 1:10.000, bilag 4).

Mikroskopisk undersøgelse er foretaget af malmprøver fra følgende lokaliteter: Grimsdals Gruva ( se fig. 10), Bh. 222 ( N for Mesæter, se fig. 11 og 12) og Kisbekken ( V for Tverrlisæter).

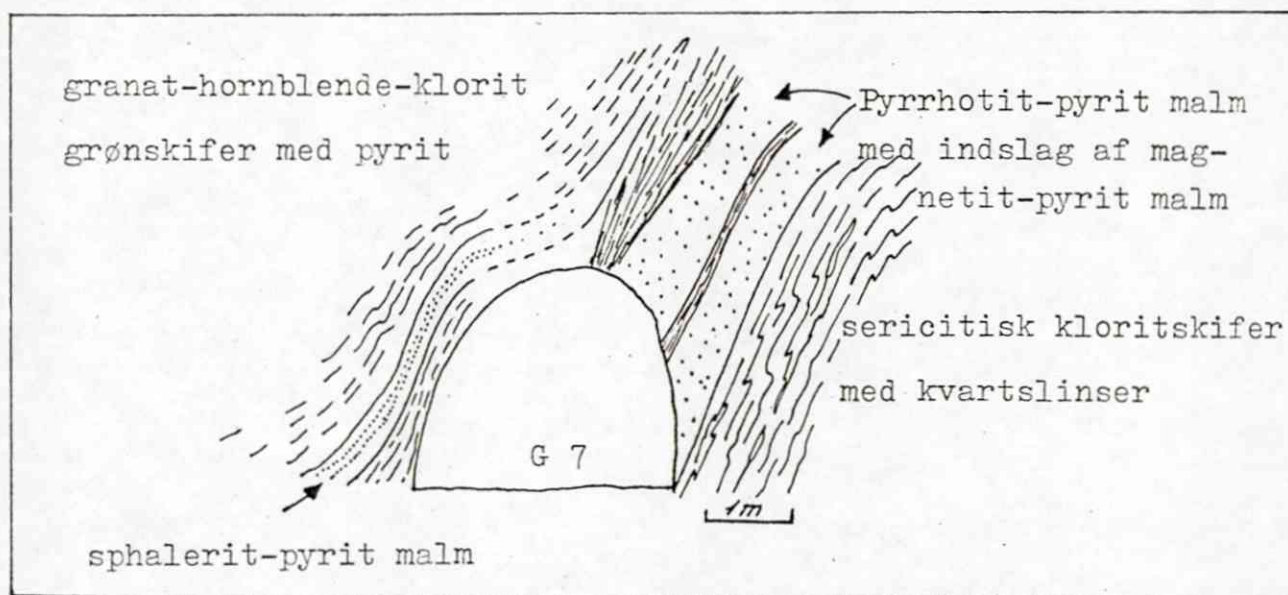


Fig. 10. Grimsdals Gruva stoll G 7 med sphalerit-pyrit malm i isoklinal fold ved siden af hovedmalmen med pyrrhotit-pyrit malm og magnetit-pyrit malm.

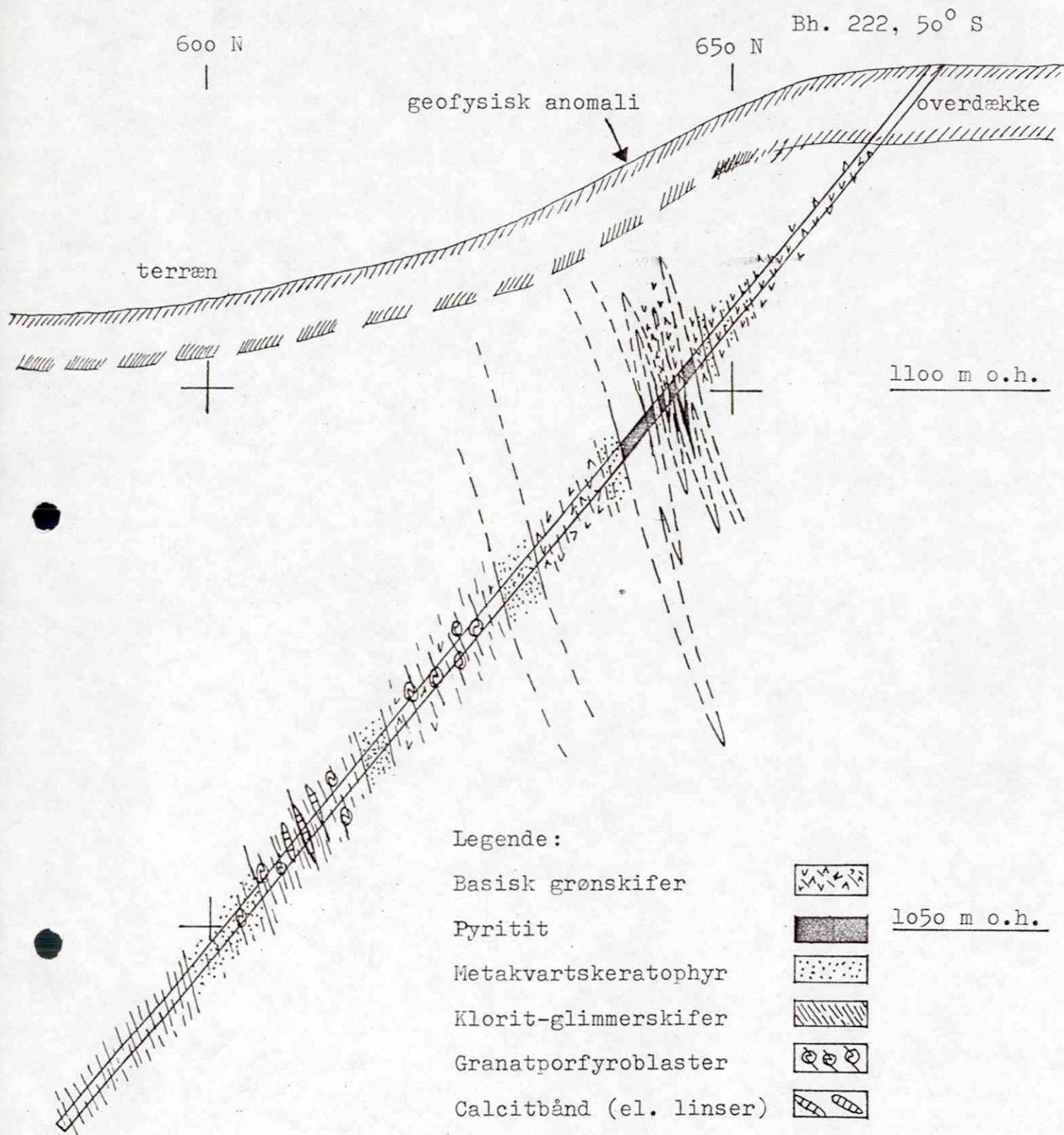


Fig. 11. Opmålingsplan vedrørende borehul Bh. 222, Grimsdalen.



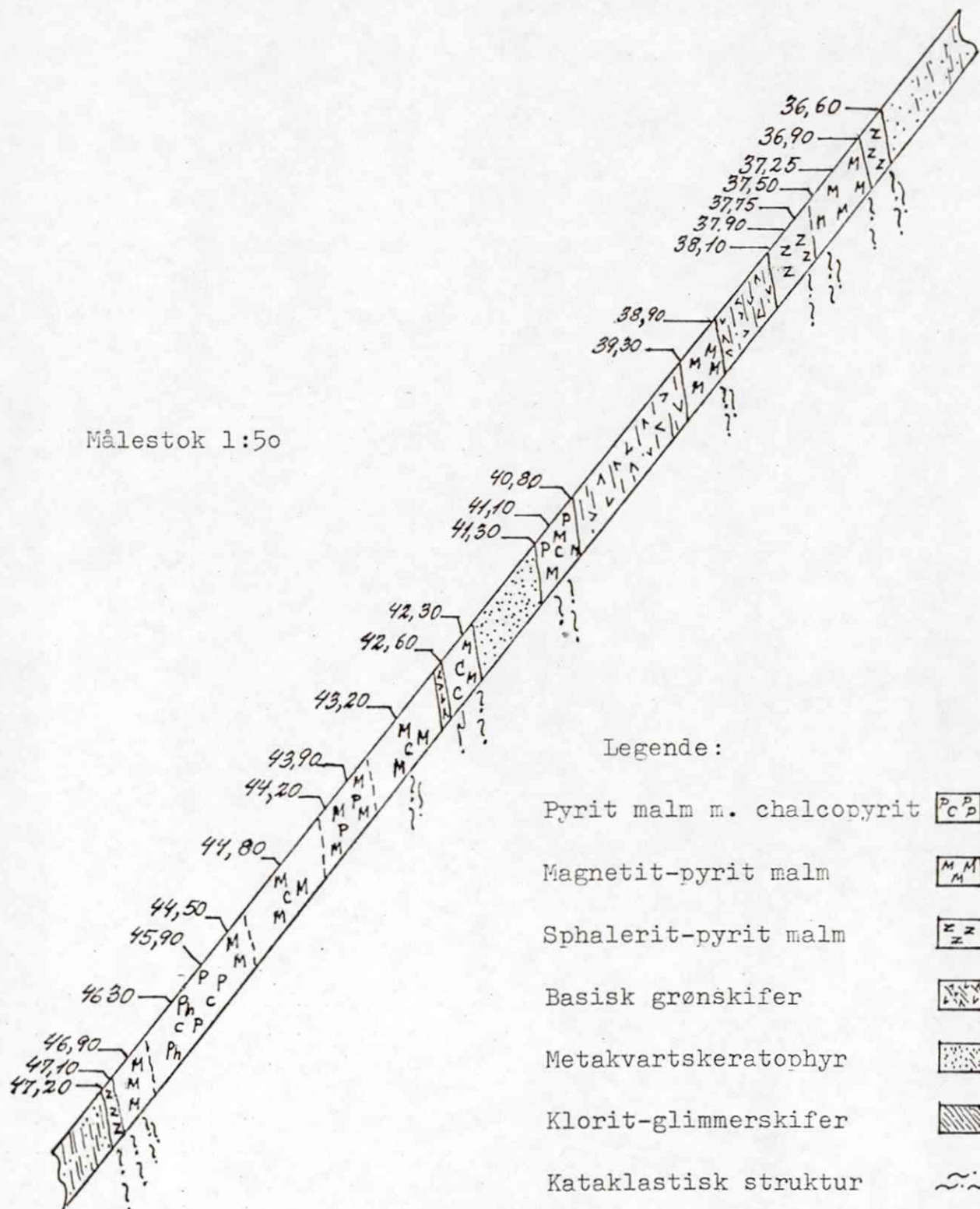


Fig. 12. Malmzonen fra Bh. 222, Mesæter, Grimsdalen.  
De undersøgte prøver er angivet ved boreddybden fra  
terrænoverfladen.

|                            | 1.<br>Pyrrhotit-pyrit<br>malm | 2.<br>Magnetit-pyrrhotit<br>-pyrit malm. | 3.<br>Magnetit-pyrit<br>malm | 4.<br>Sphalerit-pyrit<br>malm. |
|----------------------------|-------------------------------|------------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|
| pyrit                      | 67,5 %                        | 47,9 % 61,1 %                            | 59,0 % 66,5 %                | 62,96 %                        |
| pyrrhotit                  | 22,0 %                        | 20,1 % 9,1 %                             | - 0,4 %                      | acc.                           |
| chalcopyrit                | 2,5 %                         | 4,6 % 5,3 %                              | 0,8 % 1,2 %                  | 0,90 %                         |
| sphalerit                  | 0,4 %                         | 1,0 % 0,4 %                              | - 0,2 %                      | 9,30 %                         |
| galena                     | acc.                          | acc. acc.                                | - -                          | 1,86 %                         |
| hessit                     | -                             | - -                                      | - -                          | 0,04 %                         |
| altait                     | -                             | - -                                      | - -                          | 0,05 %                         |
| molybdænit                 | acc.                          | acc. acc.                                | - -                          | 0,02 %                         |
| cubanit                    | -                             | - acc.                                   | - -                          | acc.                           |
| Bi-Te                      | -                             | - -                                      | - -                          | acc.                           |
| magnetit                   | 1,3 %                         | 24,7 % 14,3 %                            | 30,5 % 19,8 %                | -                              |
| ilmenit                    | acc.                          | acc. acc.                                | - -                          | -                              |
| rutil                      | acc.                          | acc. acc.                                | - -                          | -                              |
| silikater og<br>carbonater | 6,3 %                         | 1,7 % 9,8 %                              | 9,7 % 11,9 %                 | 24,86 %                        |
| total                      | 100,0 %                       | 100,0 % 100,0 %                          | 100,0 % 100,0 %              | 100,00 %                       |

Tabel 2. Malmtypernes mineralsammensætning.

Malmtyperne 1, 2 og 4 er fra Grimsdals Gruva, malmtypen 3 er fra Bh. 222. Procenterne er beregnet ud fra punkttælling af polerprøver, 5000 punkter med 25 punkts net under 16 x objektiv.



Pyrititen er en massiv, krystallinsk pyrit bjergart, hvor pyriten forekommer som idiomorfe korn ca.  $\frac{1}{2}$  mm store. Enkelte steder forekommer pyriten som op til 1 cm store porfyroblaster, bl.a. hvor bjergarten udviser kataklastisk struktur i pyrrhotitrig pyritit. På baggrund af mineralogien kan pyrititen inddeles i fire malmtyper: 1) pyrrhotit-pyrit malm, 2) pyrrhotit-magnetit-pyrit malm, 3) magnetit-pyrit malm og 4) sphalerit-pyrit malm, se tabel 2.

Den første malmtype, pyrrhotit-pyrit malm, fører ofte cm store pyritporfyroblaster. Disse ligger som afrundede korn i en pyrrhotit matrix, der er sammenvokset med uregelmæssige partier af sphalerit, chalcopyrit og galena (se fig. 13).

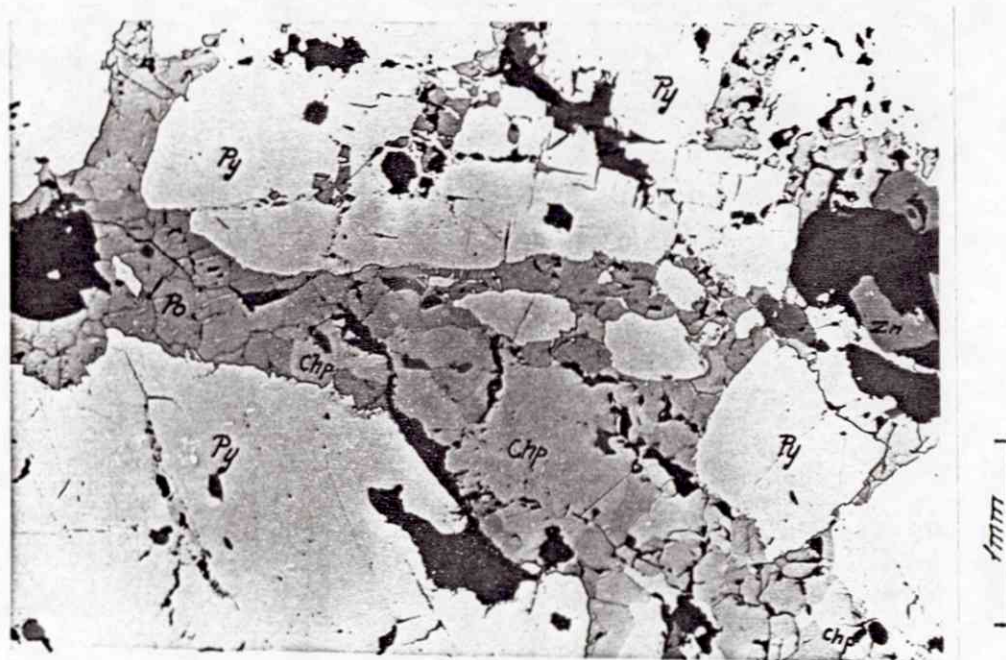


Fig. 13. Pyrrhotit-pyrit malm fra Kisbekken.

Py=pyrit, Po=pyrrhotit, Chp=chaocopyrit, Zn=sphalerit.

Malmtype 2, magnetit-pyrrhotit-pyrit malm, ligner malmtype 1, men indeholder 0,1 mm store magnetitidioblaster, der er vokset på bekostning af pyrrhotit ( se fig. 14). Generelt er magnetit blastesen sket zonart i den interstielle pyrrhotit, men den kan dog også danne foliation tværs igennem pyrit og pyrrhotit. Denne foliation kan være udviklet til en bånding, hvor pyrrhotiten efterhånden forsvinder fuldstændig. Pyrititen betegnes magnetit-pyrit malm, når magnetiten forekommer i bånd og linser uden pyrrhotit.

Malmtype 3, magnetit-pyrit malm, optræder altid med kataklastisk struktur. Magnetiten er koncentreret i op til 1 cm brede bånd eller linser i pyrit grundmassen ( se fig. 15).

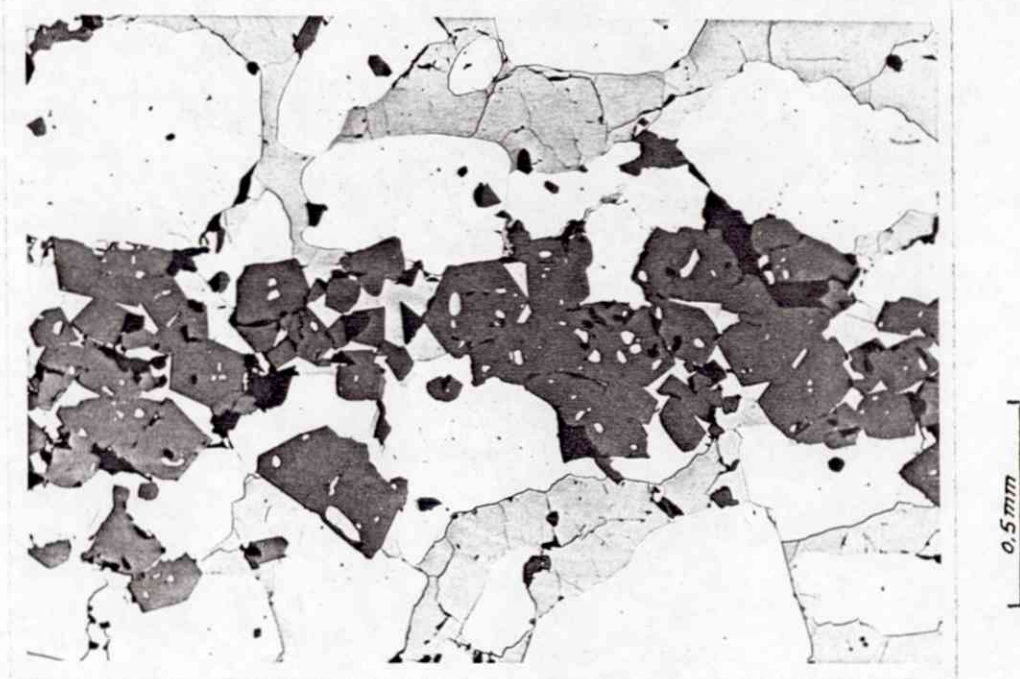


Fig. 14. Magnetit-pyrrhotit-pyrit malm.

Hvid = pyrit, lys grå = pyrrhotit, mørk grå = magnetit. Billedet viser magnetitidioblaster, der danner en foliation tværs gennem pyrrhotit og pyrit. Magnetiten vokser på bekostning af pyrrhotit, der findes som indeslutninger i magnetitidioblasterne.



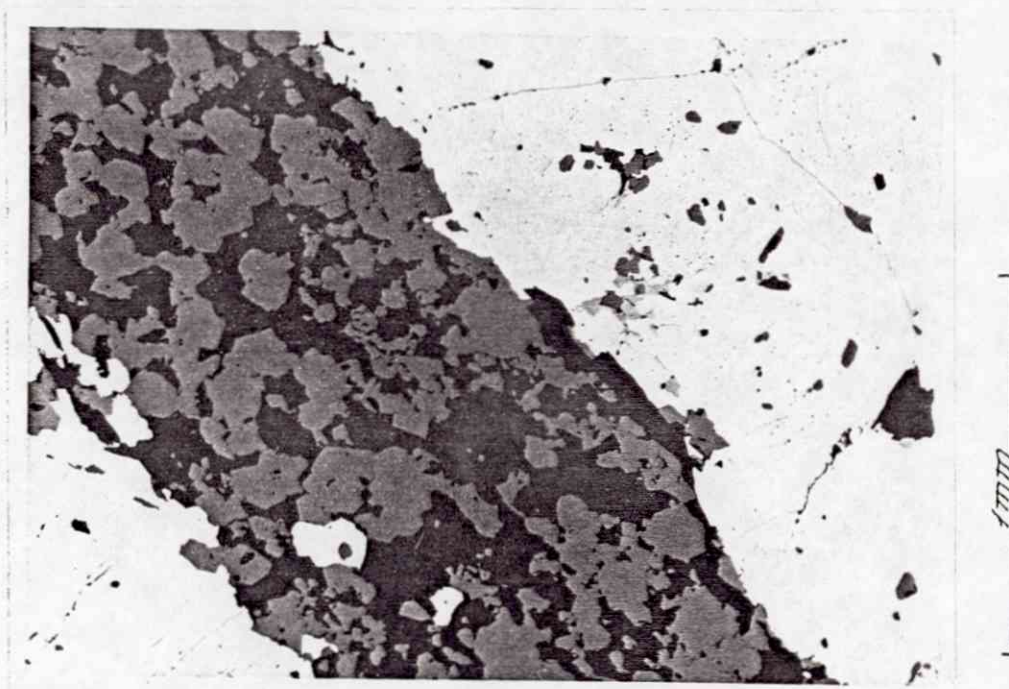


Fig. 15. Magnetit-pyrit malm.

Hvid = pyrit, lys grå = chalcopyrit, mørk grå = magnetit. Magnetit danner et tyndt bånd eller foliation i pyrititen. I pyriten ligger chalcopyrit interstitielt.

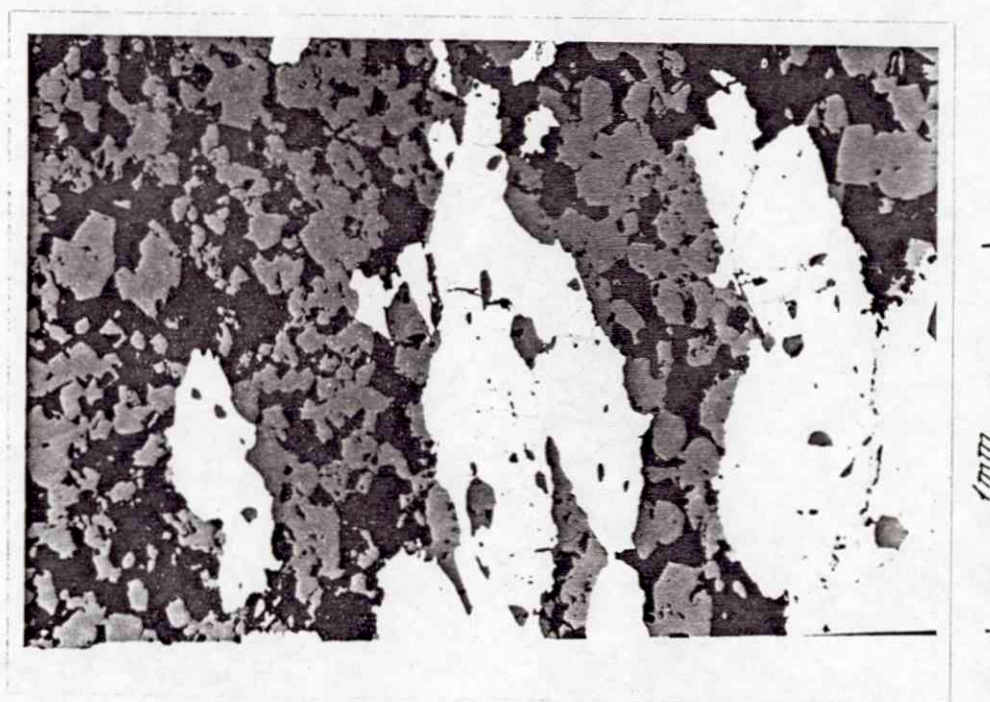


Fig. 16. Magnetit-pyrit malm.

Mineralbenævnelser som fig. 15. Pyrit danner afrundede, elongerede korn i den kataklastiske malm.



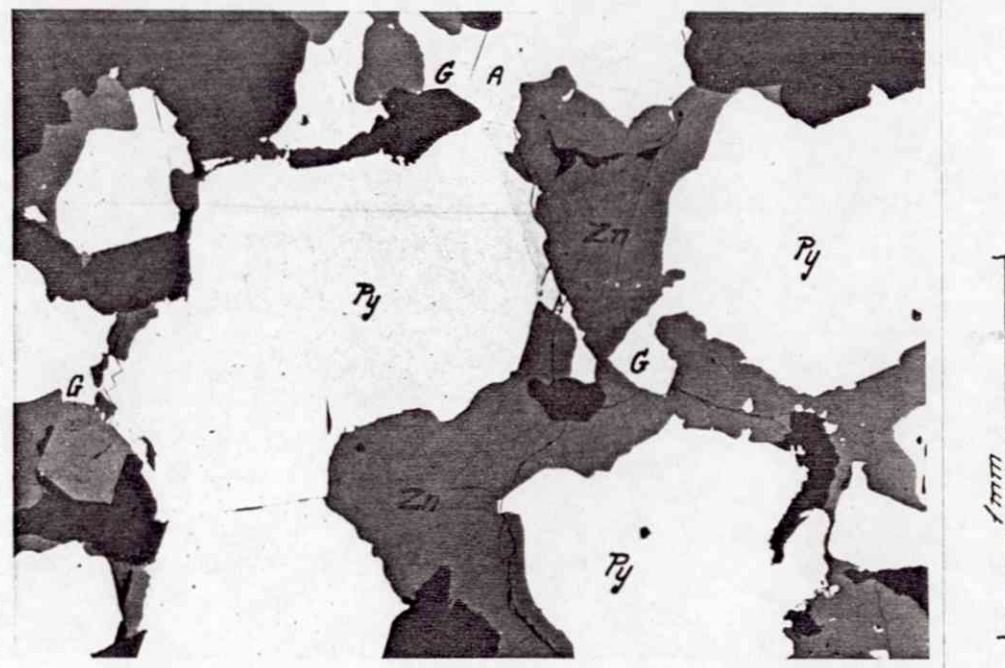


Fig. 17. Sphalerit-pyrit malm fra Grimsdals Gruva.

Py = pyrit, Zn = sphalerit, G = galena, A = altait.

På billedet ses en rekrystalliseret pyrit ( $py_3$ ) i en interstitiell grundmasse af sphalerit og galena.

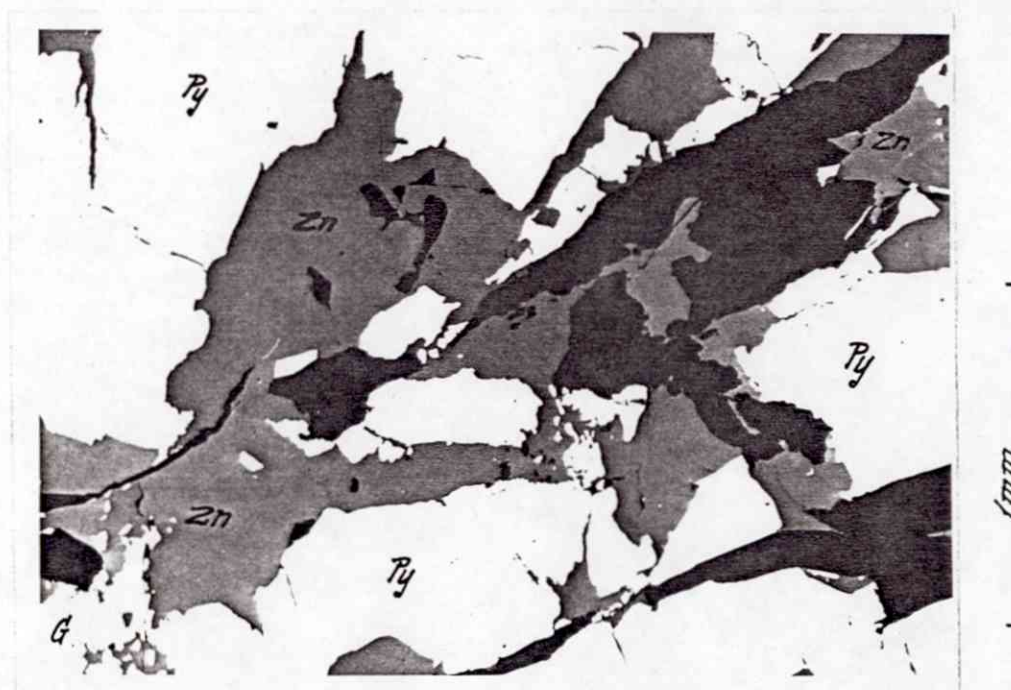


Fig. 18. Kataklastisk sphalerit-pyrit malm, Bh. 222.

Mineralbenævnelser som fig. 17.

Pyrit danner 0,5 mm store korn, der enten er sammenknyttet i mindre kornaggregater med interstitiel chalcopirit, eller ligger som afrundede, ofte elongerede, enkelte korn imellem calcit og silikat ( se fig. 16). Magnetit forekommer som afrundede 0,1 mm store korn, der ligger orienteret i bånd, således at de danner foliation i bjergarten. De enkelte korn kan være vokset sammen i større, kompakte aggregater, men hyppigst ligger de som singulære korn imellem calcit og silikat.

Malmtypen 4, sphalerit-pyrit malm består af ca. 0,5 mm store pyritkorn med sphalerit som intergranulær masse ( se fig. 17). Galena, chalcopirit samt i mindre grad pyrrhotit forekommer sammen med sphalerit. Endvidere findes tellurider som små korn sammen med galena. Blandt telluriderne kan hessit ( $\text{Ag}_2\text{Te}$ ) muligvis have en vis økonomisk interesse.

Malmtypen 4 optræder i parasitfolder på flankerne af de isoklinale  $F_1$  folder. I Bh. 222 har malmen en kataklastisk struktur ( se fig. 18), som ikke iagttages i malmen fra Grimsdals Gruva. I den kataklastiske sphalerit-pyrit malm forekommer hyppigt markasit, som danner interstitiel masse mellem pyrit og sphalerit.

#### Metakvartskeratophyr.

Metakvartskeratophyren står altid frem som en lys, resistent bjergart, Ofte danner den rygge eller terrasser i terrænet, således f.eks. ved Grimsdalshytta. Bjergarten er lys hvid, men kan få et gulligt skær som følge af forvitring af små ( ca.  $\frac{1}{2}$  mm store) pyritidioblaster.



Hovedminerallerne er kvarts og albit. Hornblende, granat og muscovit forekommer hyppigt, og klorit, epidot, pyrit samt calcit optræder stedvis. Kvarts og albit udgør bjergartens finkornede grundmasse, og albit kan desuden forekomme som porfyroblaster eller porfyrkorn (se fig. 19 og 20). Granat optræder sammen med hornblende som idioblaster. Hornblende danner ofte stjerneformede aggregater, der giver bjergarten et karakteristisk udseende.

På kontakten mod de basiske grønskifre kan hornblende-porfyroblaster være udviklet til "garbenschiefer", (se fig. 21). Kontakten mod metaspilit serien er derimod ofte udviklet til en sneboldgranat skifer, hvor de roterede granater kan opnå en størrelse af 5 cm i diameter. Det har kun været muligt at konstatere en rotation af granaterne med en rotationsakse parallel med  $F_2$  foldeaksen.

Bjergartens submarine-sedimentære oprindelse skulle klart være dokumenteret igennem eksistensen af 1 - 10 cm brede grafit-glimmerskifer bånd, der kan være mellemlejret kvarts-keratophyren inden overgangen til metaspilit serien.

Tektonisk opfører kvartskeratophyren sig som et smalt kompetent lag mellem den basiske og den spilitiske grønskifer. Således danner den karakteristiske "buckel-type" folder i  $F_2$  ombøjningszoner, mens den boudineres på flankerne. Boudinage kombineret med sammentrykning, udvalsning og metamorf omdannelse kan stedvis omdanne kvartskeratophyren til en hornblende-feldspat skifer.

Omkring metakvartskeratophyrens isoklinale  $F_1$  folder optræder nogle helt specielle forhold. Hvor keratophyr foldelukninger lukker perifert ind i den basiske grønskifer, kan keratophyren blive udtrukket, udvalset i linser og fisk i grønskiferen og danne feldspat-kvartsrige båndin-

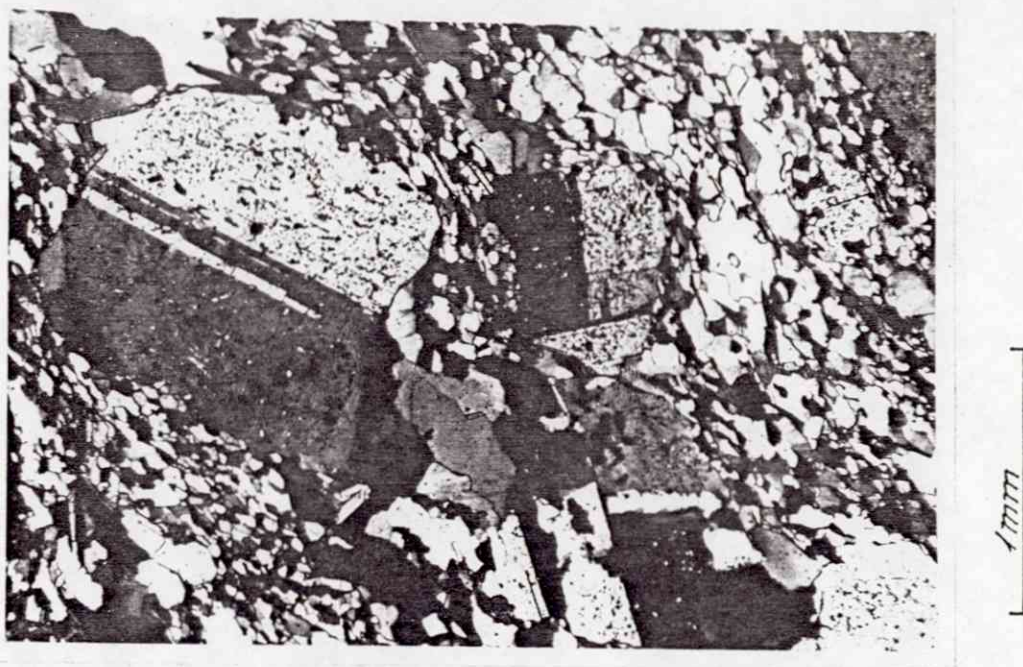


Fig. 19. Plagioklaskorn i metakvartsskeratophyr. På billedet ses et par store korn af oligoklas-albit i en finkornet grundmasse af albit og kvarts. Det store plagioklaskorn er fuld af små inklusioner, der viser, at porfyrkornet kunne være en oprindelig fenokryst. (+N).

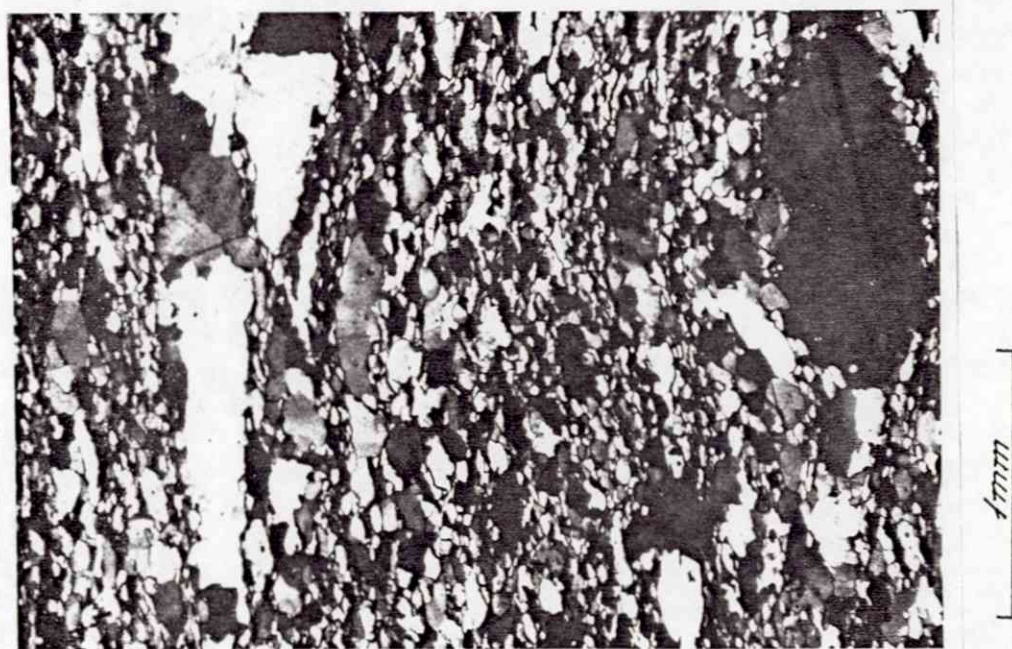


Fig. 20. Elongerede albitporfyroblaster i metakvartsskeratophyr. To hvide albitporfyroblaster til venstre og en mørk øverst til højre ses at være helt fri for inklusioner, hvilket viser deres metamorfe oprindelse (små. fig. 19). Midt i billedet ses en enkelt terning af pyrit. (+N).



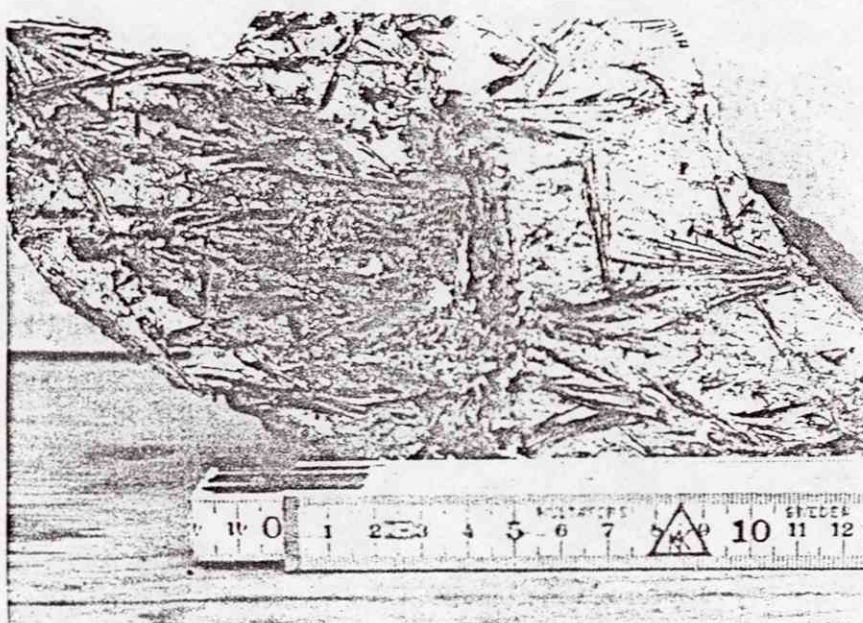


Fig. 21. "Garbenschiefer" fra kontakten mellem basisk grønskifer og metakvartsskeratophyr.

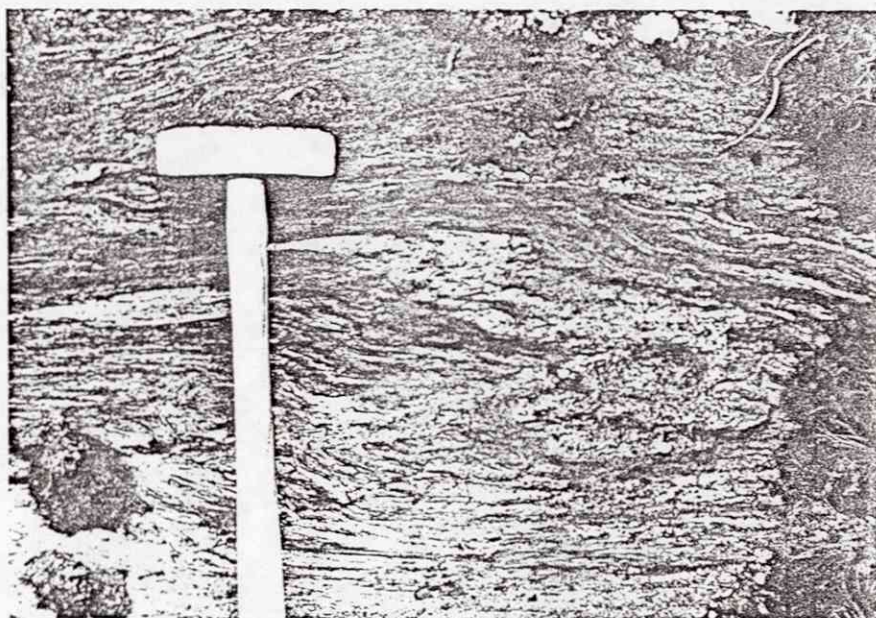


Fig. 22. Isoklinalt foldet og udvalset meta-kvartsskeratophyr i grønskifer.

ger i denne, se fig. 22. Hvor den basiske grønskiifer lukker perifert ind i keratophyren, får keratophyren tilført basisk materiale, der kan give ophav til store hornblende aggregater og granatporfyroblaster. Når en sammenfoldet keratophyr indeholder basisk grønskiifer i kernen, kan sulfider fra pyritit horisonten være vandret langs skifricheder ud i keratophyren, som det eksempelvis er sket ved Storbjerget ( se senere).

#### Sericitisk grønskiifer - metaspilit serien.

Denne enhed består af en serie lysegrønne, grågrønne, finkornede grønskiifre, der ofte er kraftigt tektoniserede, opskifrede og forskudte, med en udpræget angulær foldestil, knæk-folder, hvor det er muligt af udskille to folderetninger ( se fig. 23).

Øverst i serien på grænsen mod metakvartskeratophyren optræder stedvis en karbonatbåndet grå glimmerskiifer. Herpå følger den typiske metaspilit, der er en finkornet ( til phyllonitisk), lys grønskiifer bestående af aktinolit, klorit, muscovit og albit, og som især er karakteristisk ved at føre fuchsit. Terningformede 0,5 cm store pyritidioblaster kan forekomme, dels udeformerede og dels elongerede og torterede. Muscovit kan optræde i større flager synlige i håndstykke, men optræder oftest som sericit. Indlejret i metaspiliten kan optræde en lysende gullighvid til lysende brun glimmerskiifer, der kunne svare til et klastisk sedimenært indslag i metavulkanit serien.



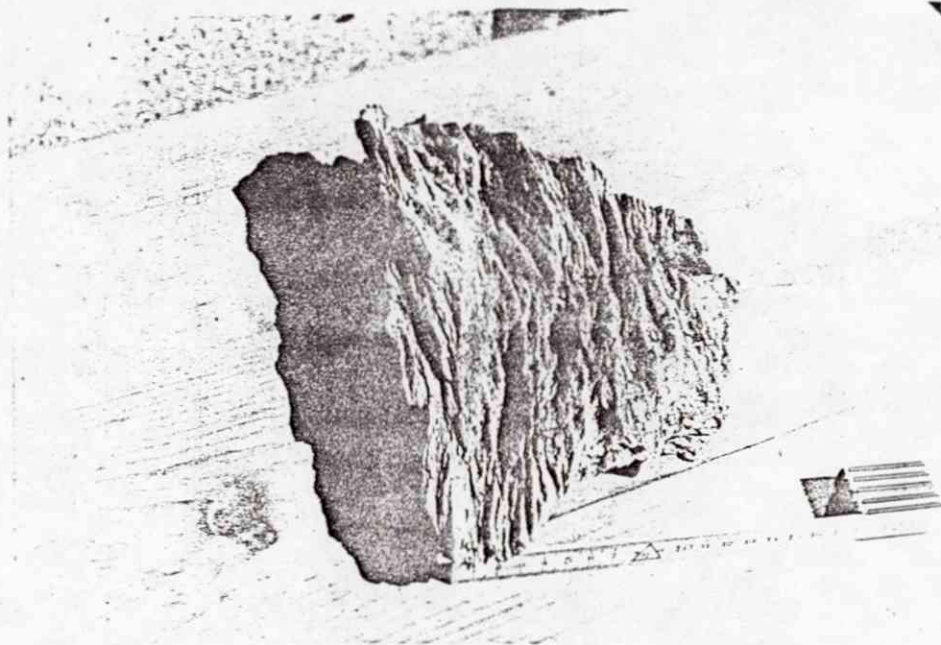


Fig. 23. Knæk-folder i sericitisk grønskifer.

Grafit-glimmerskifer serien.

Konkordant oven på metaspilten følger en grafitiskifer, der gradvis går over i en glimmerskifer og ender i en kvartsitbåndet glimmerskifer. Den kvartsitbandede glimmerskifer er kun fundet blottet ved Tverrbekkens udløb i Grimsa, mens grafitiskiferen ofte findes indfoldet i metaspilit serien.

Grafitiskiferen består af finfordelt grafit, pyrrhotit, klorit, hornblende, kvarts og plagioklas. Desuden fører bjergarten lidt chalcopyrit og molybdænit.

Glimmerskiferen fra den øvrige del af serien er grålig og har "garbenschiefer" struktur. Bjergarten består af kvarts, feldspat, klorit, biotit, muscovit, granat og hornblende. I den kvartsitbandede del er bjergarten mere biotitrig.

## MALMINERALOGI.

Sulfider.Pyrit,  $\text{FeS}_2$ .

Det hyppigst optrædende malmmineral er pyrit, der almindeligvis udgør 60-70 % af pyrititen. Pyrit forekommer generelt som ca. 0,5 mm store korn, der enten kan være sammenvokset i aggregater med andre sulfider eller ligge som isolerede korn mellem uregelmæssigt krystalliseret sphalerit, calcit og silikat. Desuden optræder pyrit som kataklaster, der er afrundede, opsprækkede og ofte elongerede korn med en svag optisk anisotropi. Hvor pyriten optræder sammenvokset i aggregater har den ofte et mere eller mindre velbevaret idiomorft omrids. Pyrit idioblasterne viser således forskellige grader af ondannelse i form af opsprækning eller opløsning langs korngrænser. Pyritaggregaterne findes sammenvokset med interstitiel pyrrhotit, chalcopyrit og sphalerit. Af disse mineraler er det især chalcopyrit, der viser tendens til at udfylde sprækker i pyriten.

I pyrrhotit-pyrit malmen (vedr. malmtypernes inddeling se afsnittet om pyritit horisonten) kan pyriten forekomme som op til 1 cm store kataklastiske korn i pyrrhotit grundmassen (se fig. 13). Denne pyrit indeholder en mængde ca. 0,001 mm store inklusioner af et uidentificeret mineral (eller mineraler), der dog forekommer sammen med enkelte større afrundede inklusioner af pyrrhotit, mindre hyppigt chalcopyrit og sjældent af sphalerit. De mindre indeslutninger er arrangeret i bandede zoner, der tyder på en sammenvoksning af flere mindre pyritkorn af en tidligere generation



til en større pyritporfyroblast. Disse tidligere "subkorn" vil herefter blive benævnt pyritfase 1 ( $py_1$ ), idet det er den tidligste erkendelige pyritfase. En følge heraf må være, at pyritfasen, der danner porfyroblaster i pyrrhotit-pyrit malmen, må betegnes som pyritfase 2 ( $py_2$ ). Denne fase er således karakteristisk ved at være en højere metamorf pyrit med inklusionsrester efter gamle korngrænser ( se fig. 24).

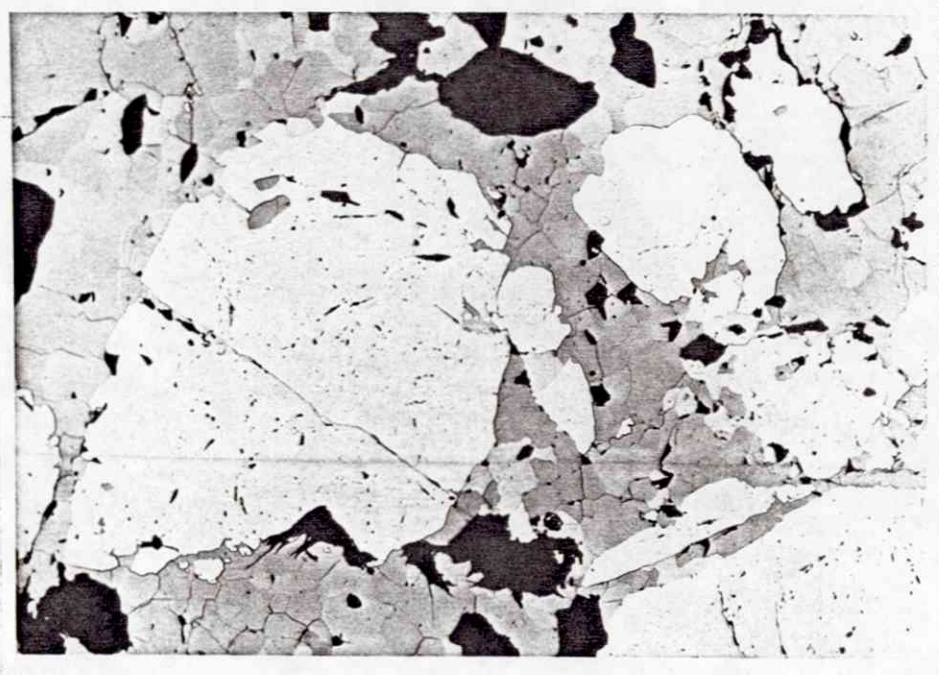


Fig. 24. Pyrrhotit-pyrit malm fra Grimsdals Gruva. Hvid = pyrit, lys grå = chalcopyrit, grå = pyrrhotit, sort = silikat. Pyrrhotit danner sammen med chalcopyrit grundmasse imellem pyritporfyroblasterne. I pyriten findes inklusioner og små prikker efter tidligere "subkorns" grænser. På disse korngrænser optræder pyrrhotit,  $po_1$ , der anses for at være tidligere end pyrrhotiten i grundmassen,  $po_2$ . Hele pyritporfyroblasten betegnes som  $py_2$ , og "subkornene" inden for porfyroblasten er  $py_1$ . Bemærk at  $po_2$  er vokset konvekst ind i  $py_2$ , hvilket viser, at  $po_2$  er senere end  $py_2$ .

Pyriten i magnetit-pyrrhotit-pyrit malmen er gennemskåret af magnetitidioblaster ( se fig. 14), men  $py_2$  karakteren er stadig bevaret. Derimod er pyriten i sphalerit-pyrit malmen ganske ren og stort set fri for inklusioner, og kornene viser en ganske ensartet kornstørrelse ( se fig. 17). Denne pyrit er rekrystalliseret og findes altid sammen med en større koncentration af sphalerit og galena i  $F_1$  parasitfolder. Den betegnes herefter  $py_3$ .

Endelig findes pyrit (?) i en fjerde fase,  $py_4$ , som en interstitiel udfyldning mellem  $py_3$  korn, hvor sphalerit-pyrit malmen er blevet kataklastisk deformeret. Denne "pyritfase",  $py_4$ , er lavere reflekterende end den tidligere pyrit ( $py_3$ ) og indeholder ofte zonart udkrystalliseret idiomorfe markasitkrystaller ( se fig. 25).  $Py_4$  kan forekomme i den kataklastiske magnetit-pyrit malm. Her danner  $py_4$  som i sphaleritmalm interstitiel udfyldning mellem tidligere pyritkorn (  $py_3$  eller  $py_2$  ).

På østsiden af Storbjerget findes en rustzone, som er let synlig fra vejen langs Grimsa. Zonen består af en kraftigt mylonitiseret keratophyrisk bjergart, der er omdannet til en epidot-klorit-feldspat skifer med dissemineret pyrit. En undersøgelse af bjergarten i tyndslib og polerprøve viste, at der forekommer to pyrit generationer. Pyrit kataklaster, ca. 0,5 mm store, forekommer som afrundede og opsprækkede korn, der i enkelte tilfælde kan være ledsaget af chalcopyrit og pyrrhotit. Denne pyrit indeholder små inklusioner, der kan sidestille den med  $py_2$ . Desuden forekommer et stort antal små ( mindre end 0,1 mm ) terningformede idioblaster langs myloniteseringsplanerne (  $s_3$  planerne ). Enkelte pyritidioblaster ( myloblaster ) kan være krystalliseret kasseformet med en længdeudstrækning i  $s_3$  planet.



Denne pyrit er tydeligvis dannet under den  $s_3$  dannende deformation (  $D_2$ , se senere).

Pyrrhotit,  $Fe_xS_y$ .

Pyrrhotiten er så godt som altid til stede i pyrititen, men indholdet kan variere betydeligt. Mest pyrrhotit indeholder pyrrhotit-pyrit malmen, hvor pyrrhotit kan udgøre op til 40 % af malmen. Pyrrhotit danner her matrix for pyritidioblasterne,  $py_2$ . I  $py_2$  forekommer små inklusioner af pyrrhotit (se fig. 24), som er tilknyttet  $py_1$  "korngrænserne". Denne pyrrhotit betegnes  $po_1$ , og den matrixdannende pyrrhotit imellem  $py_2$  kornene betegnes  $po_2$ , da den er senere end  $py_2$ .  $po_2$  er hyppigt sammenvokset med chalcopyrit og sphalerit (se fig. 13).

I magnetit-pyrrhotit-pyrit malmen forekommer pyrrhotit som inklusioner i magnetitidioblasterne. Inklusionerne er ofte listeformede og kan være orienteret efter magnetitens (111) retning, men optræder også dråbeformede eller uregelmæssigt afrundede.

Endelig kan pyrrhotit være til stede i få spredte ansamlinger eller indeslutninger imellem pyrit og chalcopyrit i magnetit-pyrit malmen.

Markasit,  $FeS_2$ .

Markasit forekommer som op til 0,01 mm store idioblaster i  $py_4$ . Der er en klar tendens til, at markasitkrystallerne vokser zonart i den interstitielle  $py_4$ . Kornstørrelsen varierer fra den centrale del, hvor den er mindst, og ud efter, hvor den gradvis går over til at blive en krans af større korn omkring markasitaggragatet ( se fig. 25).

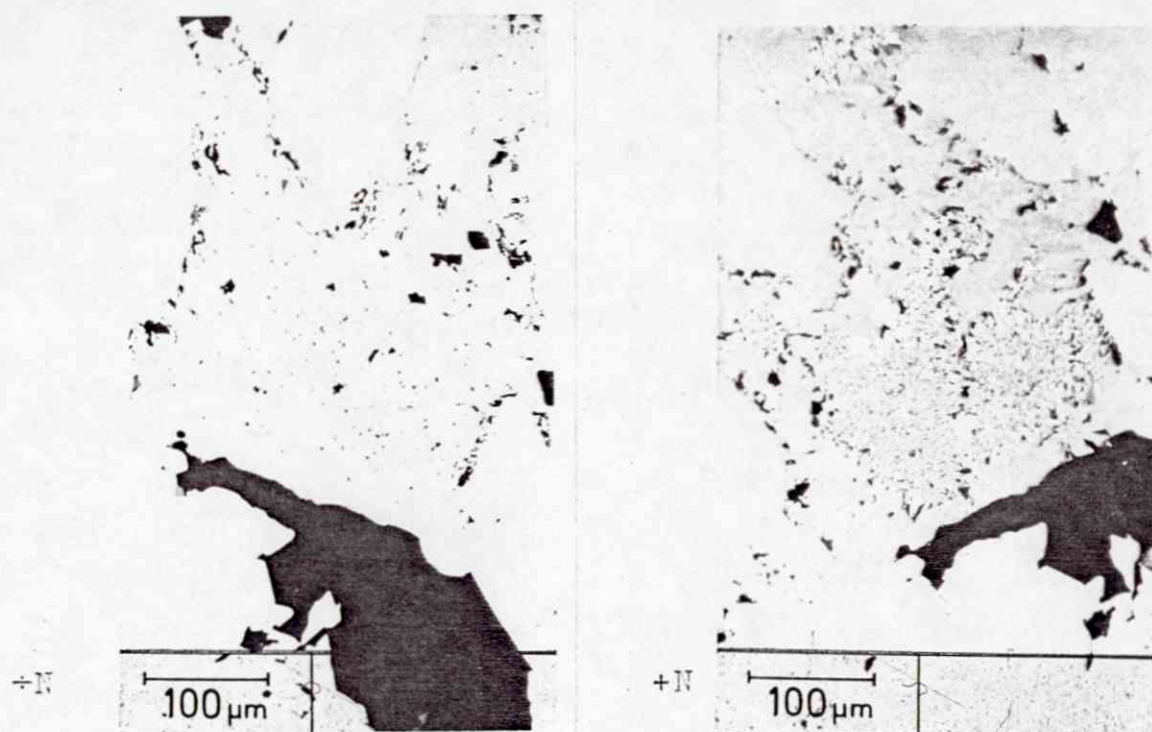


Fig. 25. Markasit og "pyrit" 4 mellem pyrit 3 korn.

Pyrit 3 og "pyrit" 4 skelnes fra hinanden ved, at "pyrit" 4 har lavere reflektivitet end pyrit 3. Markasit ses tydeligt på højre billede med +N, hvor det lyser kraftigt op på grund af den stærke anisotropi. I den interstitielle "pyrit" 4 ligger markasit zonart med de største krystaller i en rand uden om en finkornet central markasit zone. Malmtypen 4 fra Bh. 222.

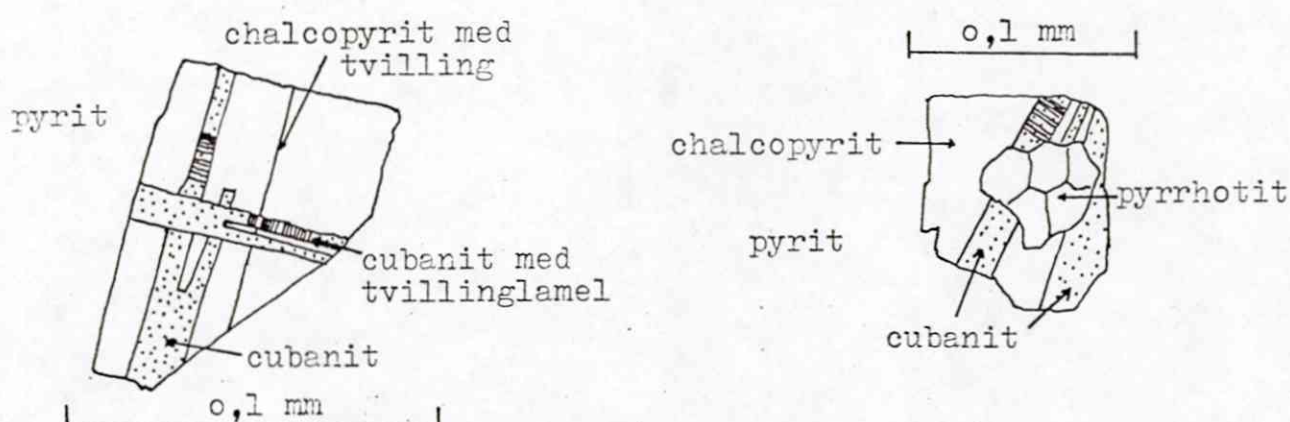


Fig. 26. Chalcopyrit indeslutninger i pyrit.

Indeslutningerne indeholder tillige cubanit og pyrrhotit. Disse indeslutninger anses for at repræsentere "intermediate solid solution", der ved faldende temperatur afblandes i de lavtemperatur stabile mineraler chalcopyrit, cubanit og pyrrhotit.



### Sphaleirit, $\text{ZnS}$ .

Sphalerit optræder altid uden selvstændige korngrænser som udfyldningsmineral mellem pyritkornene. I sphalerit-pyrit malmen udgør sphalerit den helt overvejende del af den interstitielle masse mellem pyritkornene ( $\text{py}_3$ ). Sphalerit kan udgøre op til 10 % af pyrititen i denne malmtype.

Pyrrhotit-pyrit malmen indeholder sammenvoksninger af såvel sphalerit med pyrrhotit og sphalerit med chalcopyrit. Stedvis forekommer chalcopyriten som indeslutninger i sphaleriten med en orientering efter (001).

Sphalerit kan forekomme som indeslutninger mellem sammenvoksede magnetitkorn i magnetitbåndene, men magnetit-pyrit malmen er oftest sphaleritfri.

### Galena, $\text{PbS}$ .

Den største koncentration af galena findes i sphalerit-pyrit malmen, hvor galena kan udgøre omkring 1 %. I denne malm er galena ofte ledsaget af tellurider, der enten sidder som inklusioner eller på korngrænserne af galena.

Få spredte korn af galena forekommer sammenvokset med sphalerit, chalcopyrit og pyrrhotit i pyrrhotit-pyrit malmen, men findes næsten ikke i magnetit-pyrit malmen.

### Chalcopyrit, $\text{FeCuS}_2$ .

Chalcopyrit forekommer sammen med pyrrhotit og sphalerit i den interstitielle masse mellem pyritkornene. Sphalerit-pyrit malmen er forholdsvis fattig på chalcopyrit, hvorefter chalcopyrit ofte er det eneste mineral, der danner den interstitielle masse mellem pyritkornene

i magnetit-pyrit malmen. Chalcopyrit har desuden en udpræget evne til at migrere langs sprækker i deformerede pyritkorn.

Som inklusioner forekommer chalcopyrit sammen med pyrrhotit og cubanit i pyrit ( $py_3$ ) (se fig. 26). Desuden optræder chalcopyrit i sphalerit hyppigere end omvendt.

Mackinawit/vallerit er observeret som få listeformede lameller i chalcopyrit indesluttet i pyrit.

Cubanit,  $CuFe_2S_3$ .

Cubanit er fundet som afblandingslameller i chalcopyrit, der har dannet indeslutninger i pyrit (se fig. 26). Sammen med cubanit og chalcopyrit kan pyrrhotit tillige forekomme. Disse indeslutninger er fortrinsvis fundet i sphalerit-pyrit malmen, og må betragtes som resultat af en udkrystalliseret "intermediate solid solution" (iss, Kullerud, 1969).

Enargit,  $Cu_3AsS_4$ .

Enkelte uregelmæssige afblandingslameller af enargit findes i chalcopyrit, hvor chalcopyriten er indesluttet mellem pyritkorn. Desuden er enargit fundet som idiomorfe korn i  $py_4$  fasen sammen med markasit.

Covellit,  $CuS$ .

Covellit optræder som sekundært omdannelsesprodukt langs korngrænser i malmprøverne fra Kisbekken.

Molybdænit,  $MoS_2$ .

Dette mineral optræder som enkelte lister spredt fordelt



i de fleste malme. Således forekommer det i magnetit-pyrit malmen som op til 0,1 mm lange lister sammen med magnetiten. I sphalerit-pyrit malmen er en enkelt 0,2 mm lang molybdænit-liste observeret omvokset af pyrit ( $py_3$ ) og sphalerit, hvilket viser, at molybdænit er et tidligt dannet mineral, der ikke er blevet omdannet under senere metamorfoser. Dette forhold understøttes endvidere af, at molybdæniten findes i  $py_2$  som få ca. 0,01 mm store lister.

#### Guld, Au.

Gedigent guld forekommer i få mindre end 0,005 mm store dråber i  $py_2$ . Bestemmelsen af guld er kun foretaget mikroskopisk, og der kan være en mindre usikkerhed ved bestemmelsen, idet guld kan forveksles med altait (se herunder), men da altait igragt kun forekommer i sphalerit-pyrit malmen, må det være rimeligt at antage, at der er et vist beskedent indhold af guld i  $py_2$ .

#### Tellurider.

##### Altait, $PbTe$ .

Altait ligger altid i perifere dele af galena, hvor den danner dråbeformede eller hjørneudfyldene korn ca. 0,01 mm store (se fig. 27 og 28). Der er ikke observeret nogen tendens til, at altait danner film omkring galena, men snarere, at den danner afblandede dele af galena. Altait optræder hyppigt sammen med de øvrige tellurider og altid i sphalerit-pyrit malmen.

Identifikationen af altait er baseret på mikroskopiske

undersøgelser og reflektivitetmålinger ( se fig. 31), der er understøttet af semikvantitativ grundstofbestemmelse på elektronmikrosonde.

#### Hessit, $\text{Ag}_2\text{Te}$ .

Hessit forekommer altovervejende sammen med galena, men er tillige fundet sammen med chalcopirit. I galena optræder hessit som dråber ca. 0,01 mm store ( se fig. 30), eller det optræder i hjørner ligesom altait og ofte sammen med denne ( se fig. 28 og 29).

Hessiten er stærkt anisotrop fra gråblå til orangerød-violet, reflektivitetskurven er givet på fig. 32.

#### Tellurobismut ( $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ?).

Imellem telluriderne findes et uidentificeret mineral, der forekommer sammen med altait og hessit. Ofte forekommer mineralet som en kileformet lamel i altait ( se fig. 27), eller det kan danne listeformede korn ved siden af altait eller hessit ( se fig. 28). Mineralet er cremefarvet med et let skær af rosa mod altait. Ud fra en semikvantitativ grundstofsbestemmelse på elektronmikrosonde vides det, at mineralet er et bismuthtellurid. Ved hjælp af reflektivitetskurven fig. 32 er mineralet bestemt til at være tellurobismuth. Men det skal nævnes, at med den rige variation af bismuthtellurider, der er mineraldannende i naturen, og som ofte ligner hinanden på grund af deres laggitstruktur, må denne mineralbestemmelse tages med et vist forbehold.



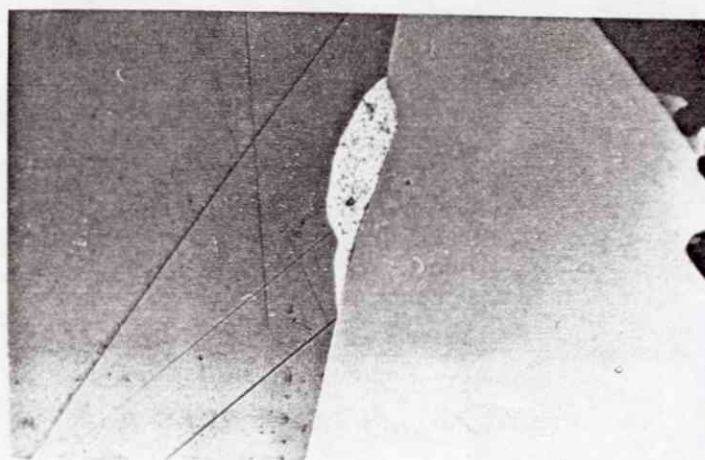


Fig. 27. Dråbeformet altaitkorn mellem galena til venstre og pyrit til højre. I den nederste del af altaiten sidder en kile af tellurobismut. Sphalerit-pyrit malm fra Grimsdals Gruva.

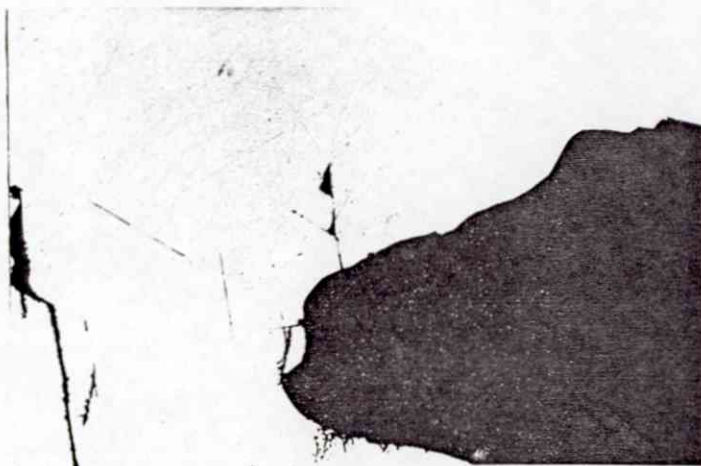


Fig. 28. Midt i billedet ses en dråbe af altait, hvid, og hessit, grå, mellem galena til venstre og sphalerit til højre. Øverst i højre side ses en liste af tellurobismut mellem pyrit, øverst, galena og sphalerit. Sphalerit-pyrit malm, Grimsdals Gruva.

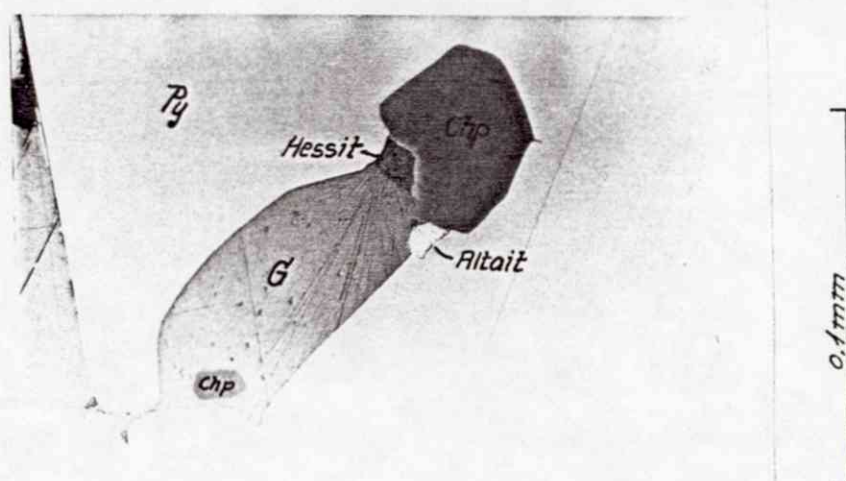


Fig. 29. Hessit og altait i hjørner mellem galena, G, chalcopyrit, Chp, og pyrit, Py. Bemærk de kraftige sliberidser, der radierer ud fra hessit. Kun ved meget omhyggelig slibning undgår man at slibe hessit bort. Sphalerit-pyrit malm Grimsdals Gruva.

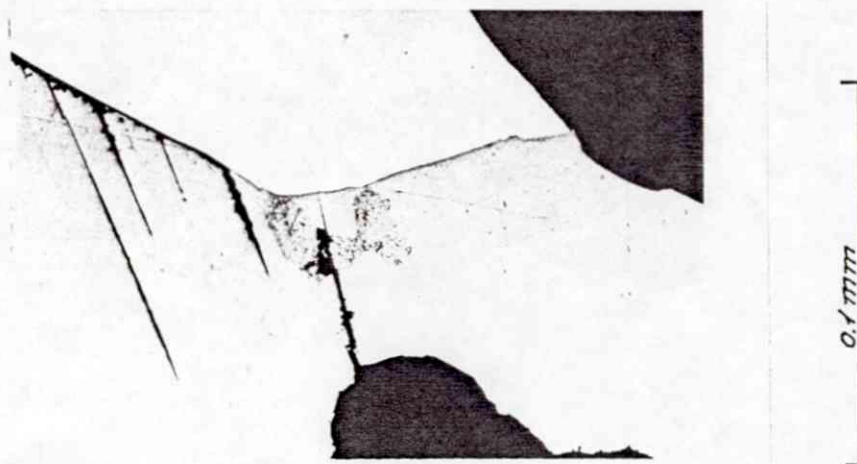


Fig. 30. Hessit som dråbeformet indeslutning i galena midt i billedet. Galena nederst (lys grå) og pyrit øverst (hvid); delvis +N, hvorved hessit fremtræder mørkere end galena, der ellers har samme reflektivitet som hessit (sml. fig. 28).

Sphalerit-pyrit malm fra Grimsdals Gruva.



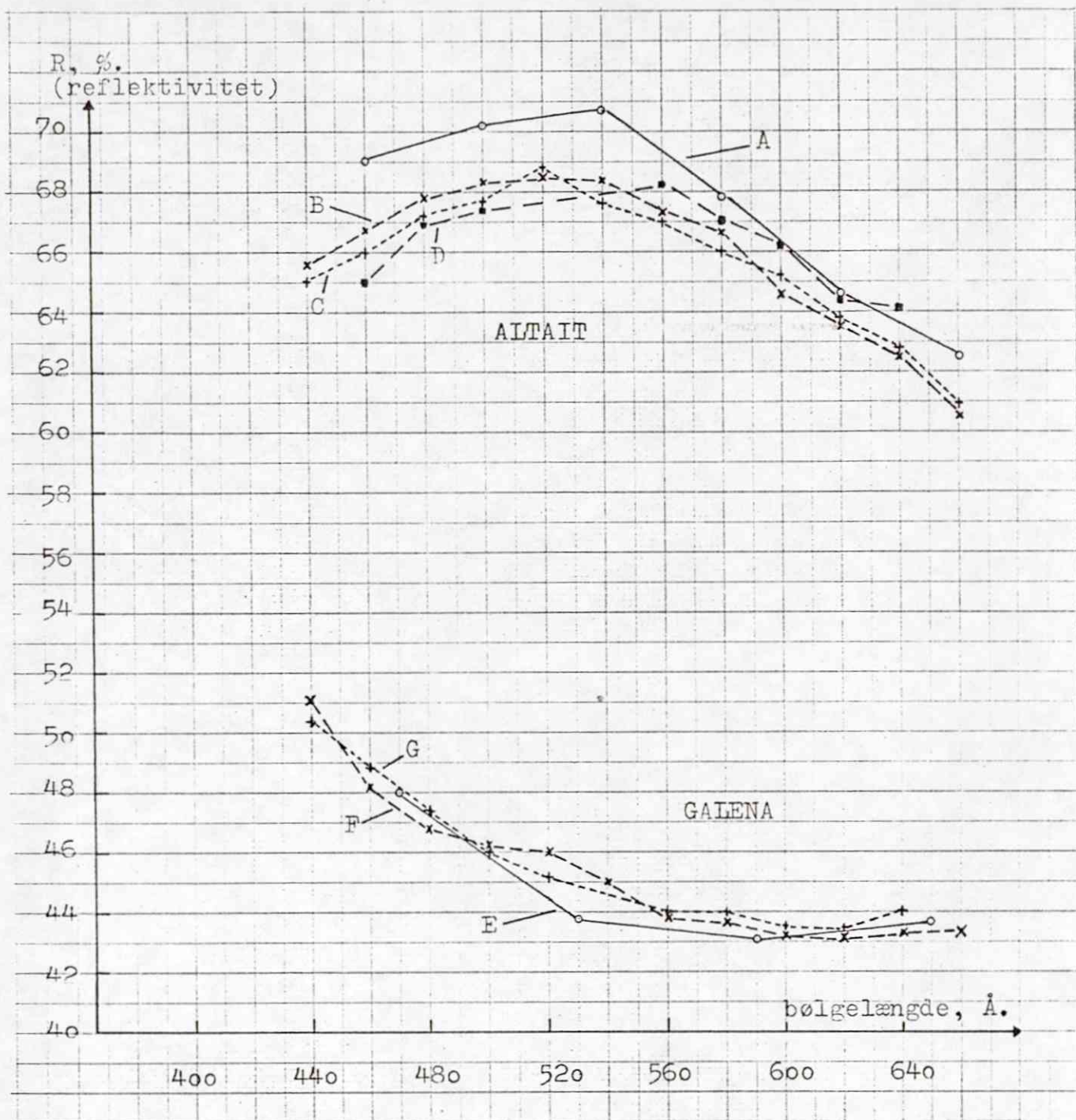


Fig. 31. Reflektivitetskurver for altait og galena.

A: reflektivitetskurve for altait efter Ramdohr (1975).

B, C og D: reflektivitetskurver for tre forskellige altaitkorn fra sphalerit-pyrit malm, Grimsdals Gruva.

E: reflektivitetskurve for galena efter Uytendogaardt & Burke (1971).

F og G: reflektivitetskurver for galena fra sphalerit-pyrit malm, Grimsdals Gruva.

Galena er her medtaget som reference mineral, idet kurverne G og F repræsenterer galena ved siden af henholdsvis altait og hessit.

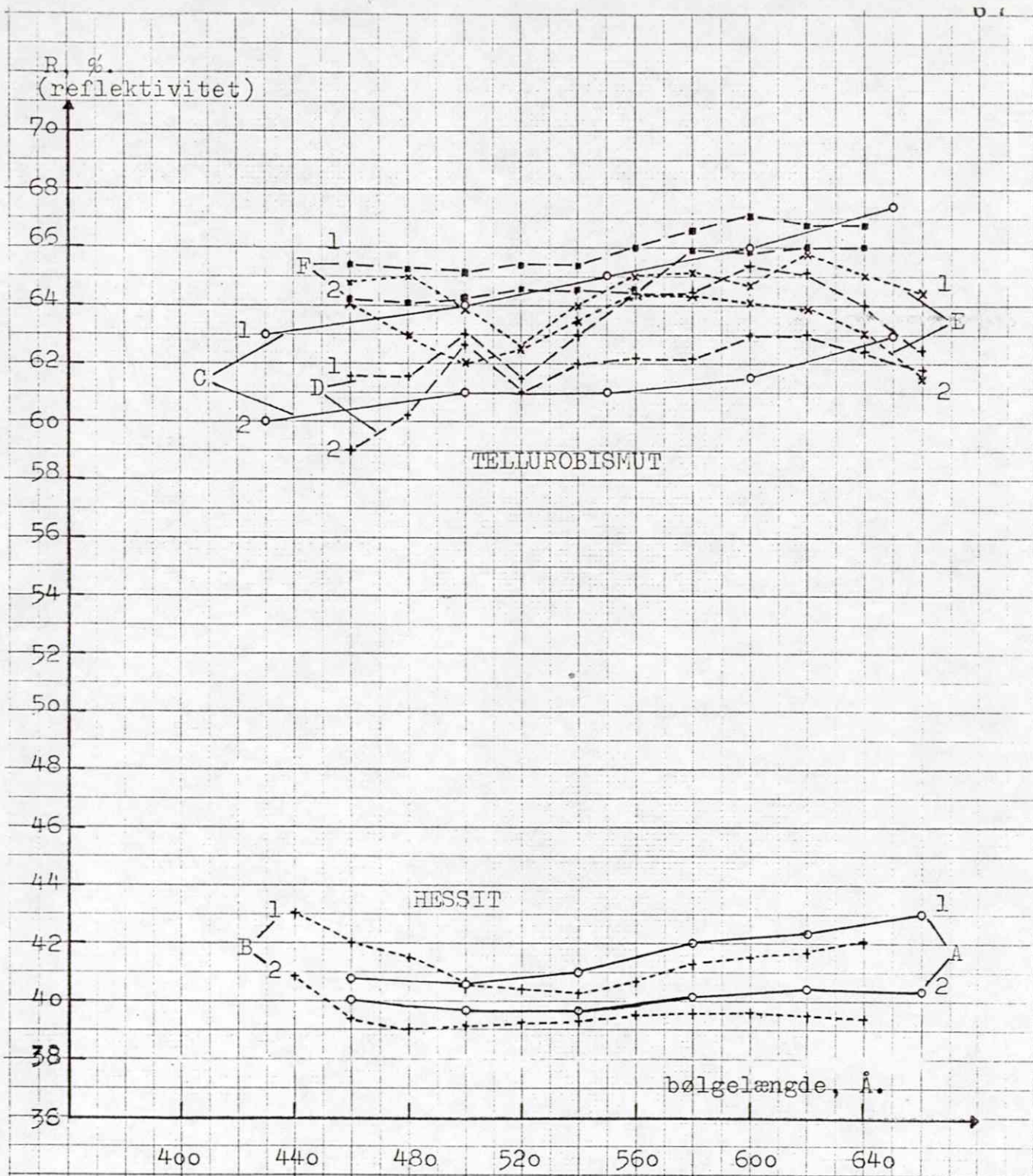


Fig. 32. Reflektivitetskurver for hessit og tellurobismut.

De her angivne mineraler er optisk anisotrope, og til hvert mineral svarer derfor et sæt reflektivitetskurver, som benævnes 1 og 2 for komponenten af henholdsvis ekstraordinære og ordinære reflektivitetsstråling.

A: reflektivitetskurver for hessit efter Ramdohr (1975).

B: reflektivitetskurver for hessit fra sphalerit-pyrit malm fra Grimsdals Gruva.

C: reflektivitetskurver for tellurobismut efter Ramdohr (1975).

D, E og F: reflektivitetskurver for tre forskelligt orienterede korn af tellurobismut (?) fra sphalerit-pyrit malm fra Grimsdals Gruva.



## Oxider.

### Magnetit, $\text{Fe}_3\text{O}_4$ .

Magnetit udgør næst efter pyrit det mest udbredte mineral i magnetit-pyrit malmen, hvor det volumenmæssigt kan udgøre op til 30 % af malmen. Magnetit-pyrrhotit-pyrit malmen indeholder omkring 15 % magnetit, og i de øvrige malme forekommer magnetit sjældent.

I magnetit-pyrit malmen forekommer magnetit som bånd eller linser af 0,1 mm store magnetitkorn, der kan være mere eller mindre afrundede på grund af kataklastisk deformation. Magnetiten er i denne malmtpe altid ren og inklusionsfri, i modsætning til magnetit-pyrrhotit-pyrit malmen, hvor magnetit danner 0,1 mm store idiohlaster med talrig pyrrhotit indslutninger.

### Ilmenit, $\text{FeTiO}_3$ .

Ilmenit er almindeligt forekommende (op til 5 %) i den basiske grønskifer, men findes kun i pyrititen, hvor grønskiferen er indfoldet i pyrititen. Ilmenitkornene er 0,1 - 0,3 mm store og er ofte listeformede. Normalt findes ilmenit helt ren, men i enkelte tilfælde er små inklusioner af rutil observeret. Tvillingslameller optræder stedvis og kan være udviklet med flere skærende retninger.

I et specielt tilfælde langs en udvalset isoklinal  $F_1$  fold, hvor fisk af metakvartskeratophyr fortsatte ud i grønskifer ledsaget af en malmmineral koncentration, forekom sammenvoksninger af ilmenit og rutil på grænsen af sulfidaggregater. Der var her tegn på, at ilmenit var under om-

dannelse til rutil under en metamorfose, der må henføres til  $F_1$  deformationen.

Rutil,  $TiO_2$ .

Som nævnt ovenfor forekommer rutil dels som inklusioner i ilmenit og dels som sammenvoksninger med ilmenit. Desuden er rutil til stede som få spredte korn imellem magnetitkornene i de mindst kataklastisk deformerede partier af magnetitpyrit malmen.

I den tidligere beskrevne pyritmineralisering på østsiden af Storberget forekommer rutil som inklusioner i idiomorfe titanitkorn.

Hematit,  $Fe_2O_3$ , og limonit,  $FeOOH$ .

Disse mineraler forekommer som sekundært omdannelsesprodukt langs sulfidernes korngrænser i prøver fra Kisbekken.



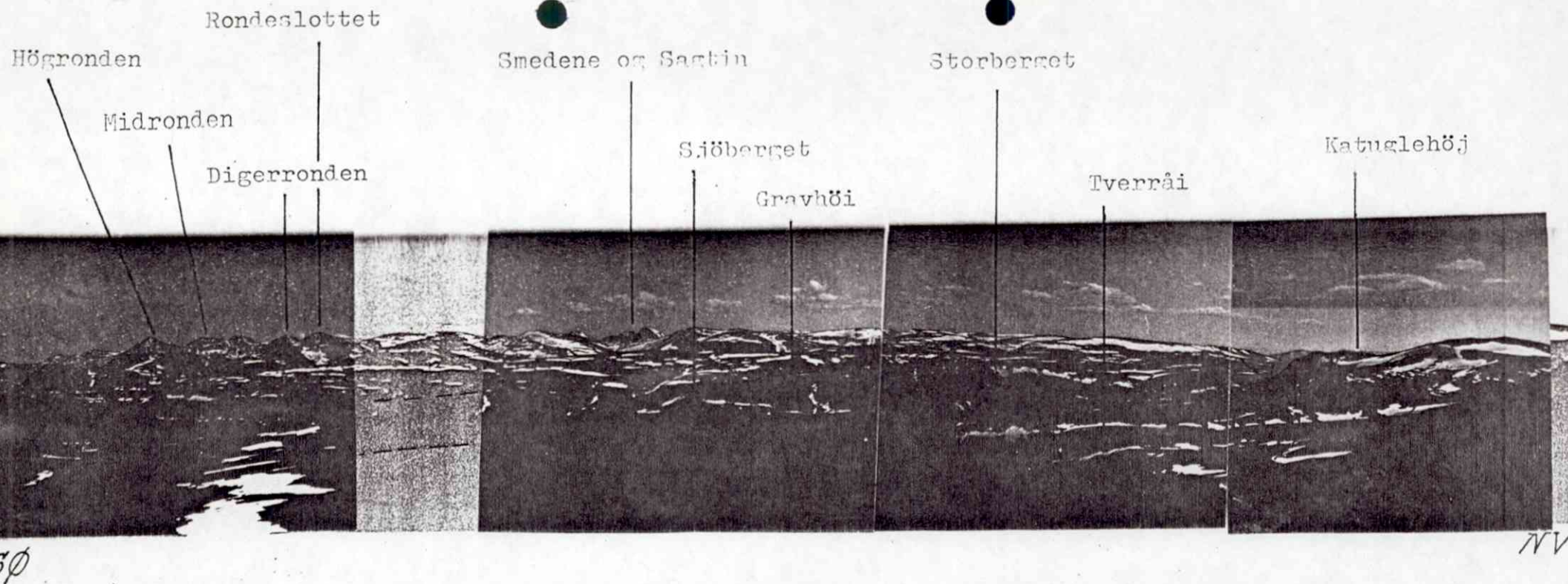


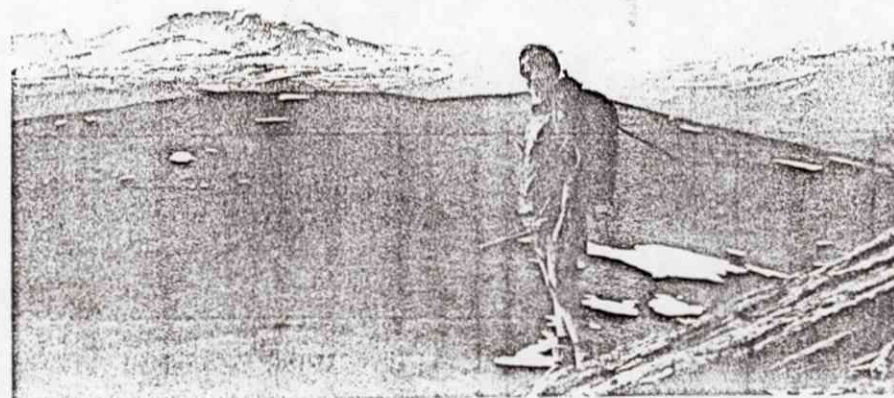
Fig. 33. Vue fra Pighetta.

Øverste panorama ses mod SV. Overskydningszonen mod sparagmiterne og overskydningszonen mellem Folla og Gula Grupper er indtegnet med stiplede linier.

Til højre udsynet mod N med Snöhetta i horisonten.

V

Ø



## TEKTONIK.

### Generelle strukturer.

De tektoniske strukturer i Grimsdalen er betinget af en overskydningsbevægelse fra NNØ/NØ mod SSV/SV, der har medført en generel hældning af lagflader mod NV/NNV.

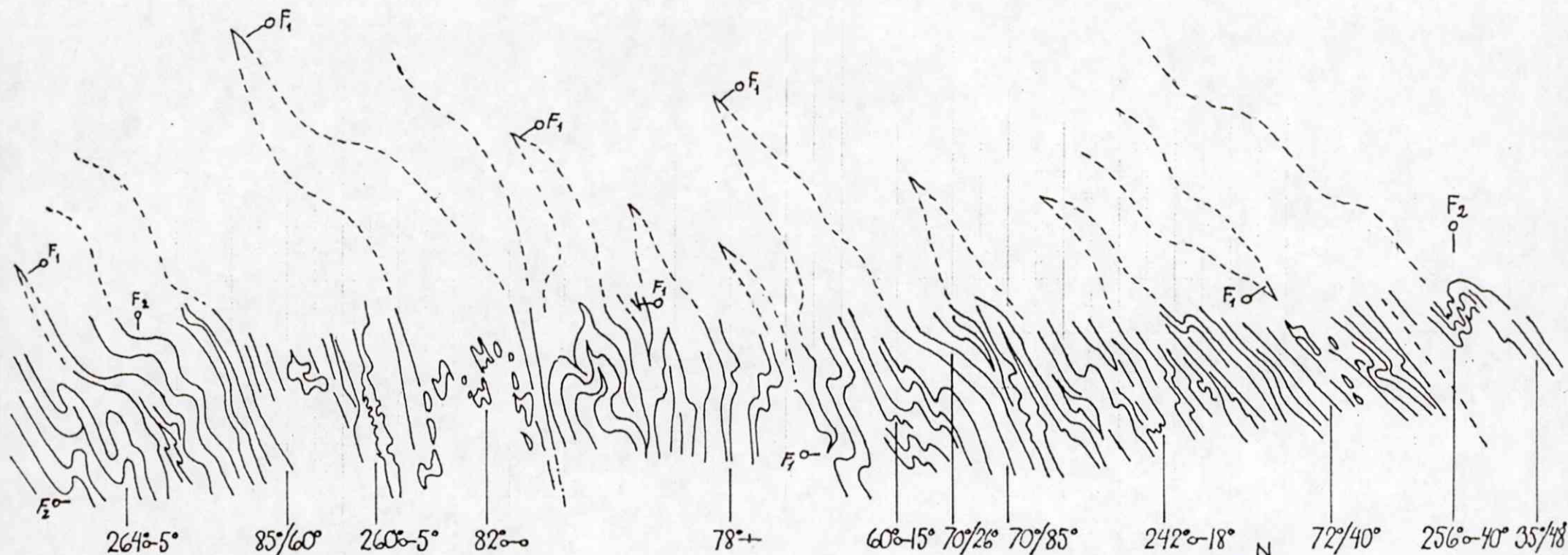
Topografisk kan de tektoniske grænser (overskydninger) følges efter ret markante landskabselementer. Overskydningsgrænsen mod späragmiterne sydpå er således markeret ved nordskrånten af Gravhøj, og overskydnings-forskydningsgrænsen mellem Folla Gruppen og Gula Gruppen følger et markant plateau neden for Katuglehøj og Mesäterhøj, se fig. 33.

De tektoniske retninger inden for de enkelte enheder er bedst repræsenteret ved foldeaksernes orientering. I Gula Gruppen er foldeaksernes dominerende retning NØ-SV, og i Folla Gruppen er akseretningen altovervejende mod VSV dykkende  $10^{\circ}$ - $20^{\circ}$  (se kort 5, bilag 5). Desuden følges de dominerende foldeakser i begge grupper af et mere diffust foldeaksemønster, der skyldes dobbeltfoldning. Der er en generel tendens til, at de tidligere akser ligger med samme orientering i begge grupper (se diagram 1, 7, 8 og 9 kort 5, bilag 5).

### F<sub>1</sub>-foldefasen.

Den tidligste foldefase, det har været muligt at etablere som en selvstændig større deformationsbegivenhed, er F<sub>1</sub> foldefasen. F<sub>1</sub> folderne observeres bedst langs kontakten mellem metakvartskratophyren og grønskifer. I den sericitiske grønskifer serie, hvor der optræder indslag af metasedimentært





S ← → N Målestok ca. 1:300

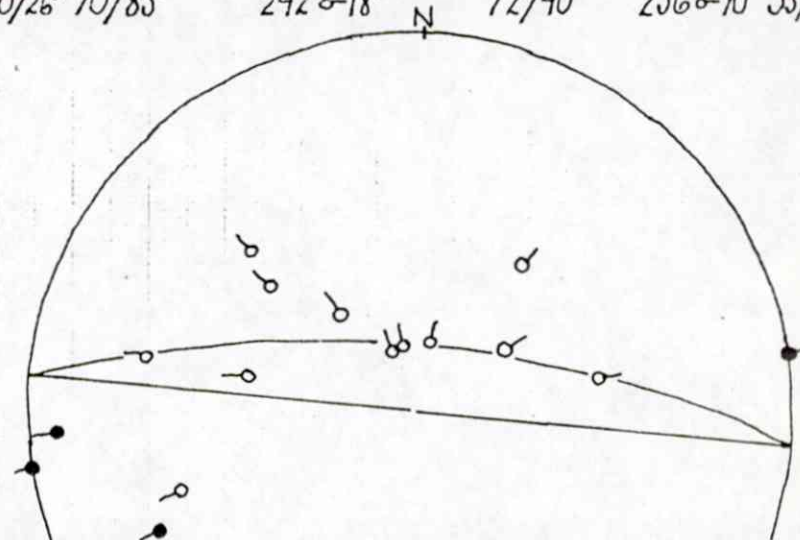
Profil af dobbeltfoldet metakeratophyr.

400 m NV for Grimsdalshytta.

Grimsdalen

Udfærdiget juli 1975.

På udsnittet af Wulffnettet  
er  $F_1$ -akserne angivet: ○  
og  $F_2$ : ●, mens planet  
 $92^\circ \pm 70^\circ N$  er indlagt.



materiale, betinger de lithologiske kontraster, at  $F_1$  strukturer observeres hyppigere end i den basiske grøn-skifer serie, der er mere ensartet.

$F_1$  folderne er isoklinale, liggende folder, med en akse-retning mod NNV/N.  $F_1$  aksens initiale dyk var mere eller mindre horisontalt før  $F_2$  foldningen. Under  $F_2$  foldningen er  $F_1$  akserne bragt i en dykkende position svarende til  $F_2$  foldeflankernes hældninger mod NV/N.

Det har ikke været muligt inden for Grimsdals området at danne et billede af  $F_1$  foldningens makrostruktur, idet den overprægede  $F_2$  deformation præger den altovervejende del af deformationsmønstret. Men kartering i tilstødende områder mod NØ og SV tyder på, at  $F_1$  folderne er store liggende folder med en amplitude på adskillige km.

Mesostrukturene kan udredes i de fleste større blotninger ( se fig. 34). Deformationen af bjergarterne er ofte så intens, at  $F_1$  folderne ikke kan henregnes til nogen bestemt stil. Interferensmønstre som pilespids strukturer og lunare strukturer optræder, hvor  $F_1$  foldningen optræder i favorable  $F_2$  ombøjningszoner ( se fig. 35), specielt tydelig hvor metakvartskeratophyr er indfoldet i basisk grøn-skifer. Den sericitiske grøn-skifer har ofte bevaret  $F_1$  crenulationsfolder på flankerne af  $F_2$  crenulationsfolder, hvorimod  $F_1$  folderne udviskes ( eller overpræges fuldstændig) i  $F_2$  crenulationsfoldernes ombøjningszone ( se fig. 36).

#### Deformationer mellem $F_1$ og $F_2$ foldefaserne.

$F_1$  foldningen er ledsaget af mindre overskydninger langs de isoklinale foldeflanker. Disse overskydninger er især tydelige inden for metakvartskeratophyrens  $F_1$  foldningszone, hvor de har haft mulighed for at blive bevaret under  $F_2$



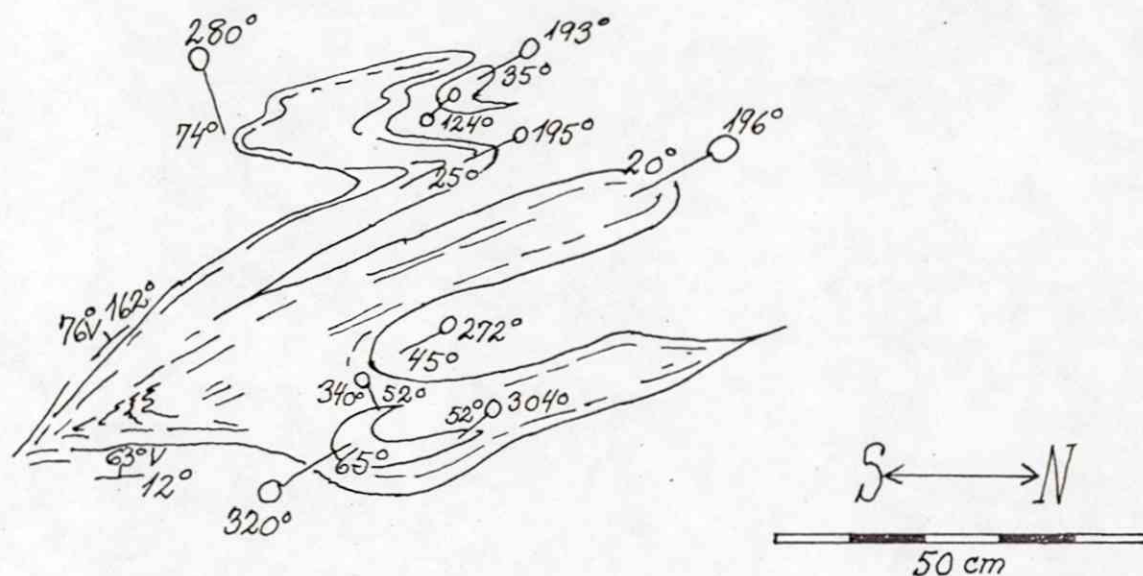


Fig. 35. Pilespids struktur.

Dobbeltfoldet metakvartsskeratophyr, pilespiden, i grønskiifer fra området N for Mesæter.

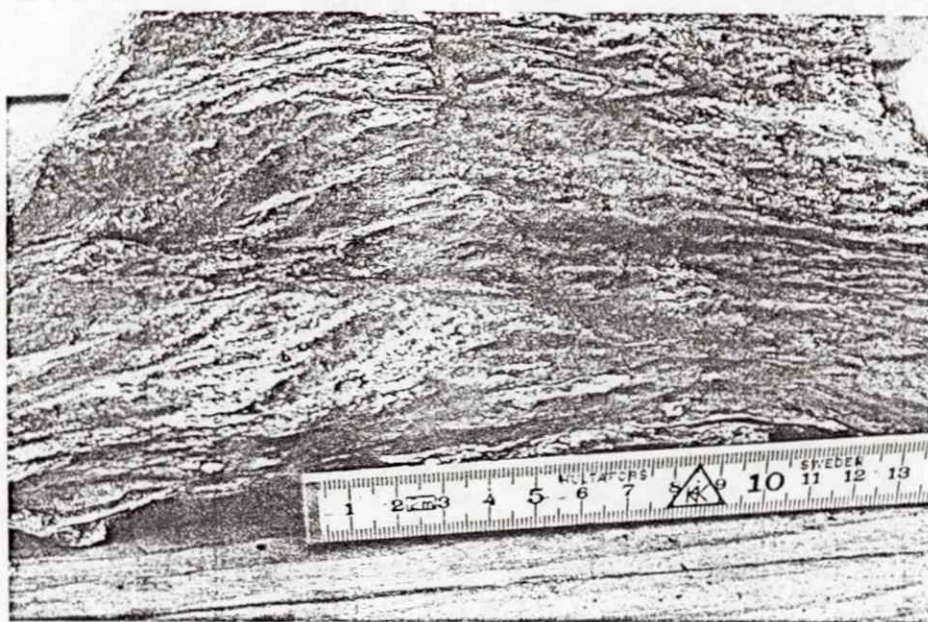


Fig. 36. Sericitisk grønskiifer, metaspilit.

Crenulationsfolderne, der løber skråt fra højre ned mod venstre, er  $F_1$  folder, der foldes omkring angulære  $F_2$  folder, der løber fra venstre skråt ned mod højre. Lige over målestokken ses, hvordan  $F_1$  folderne udviskes på  $F_2$  ombøjningen.

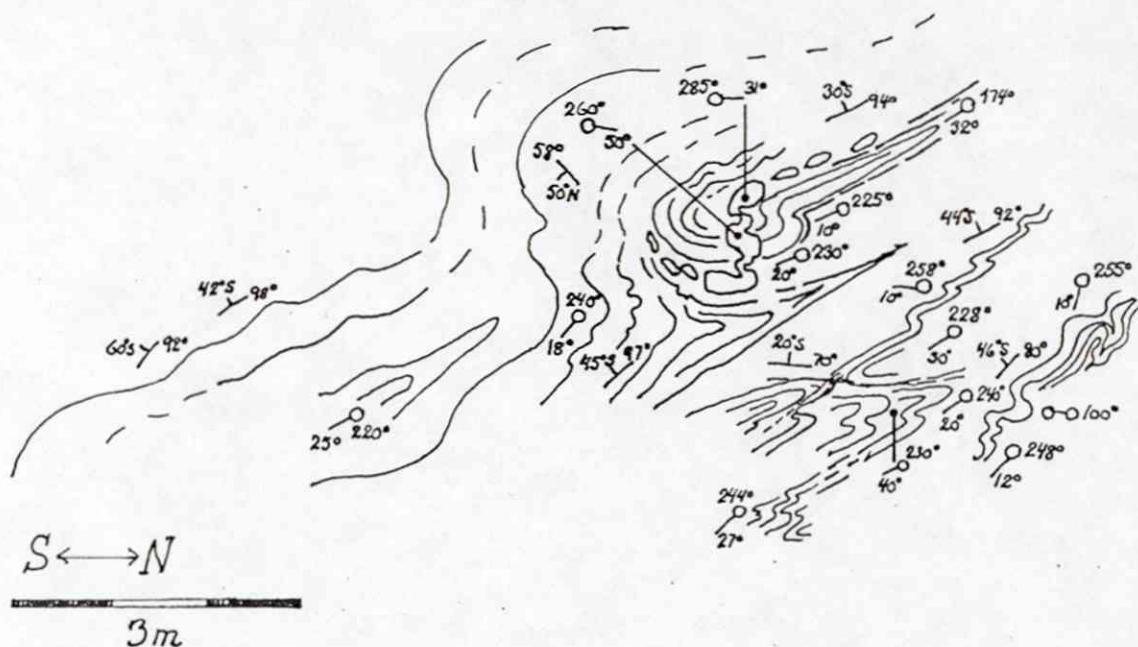
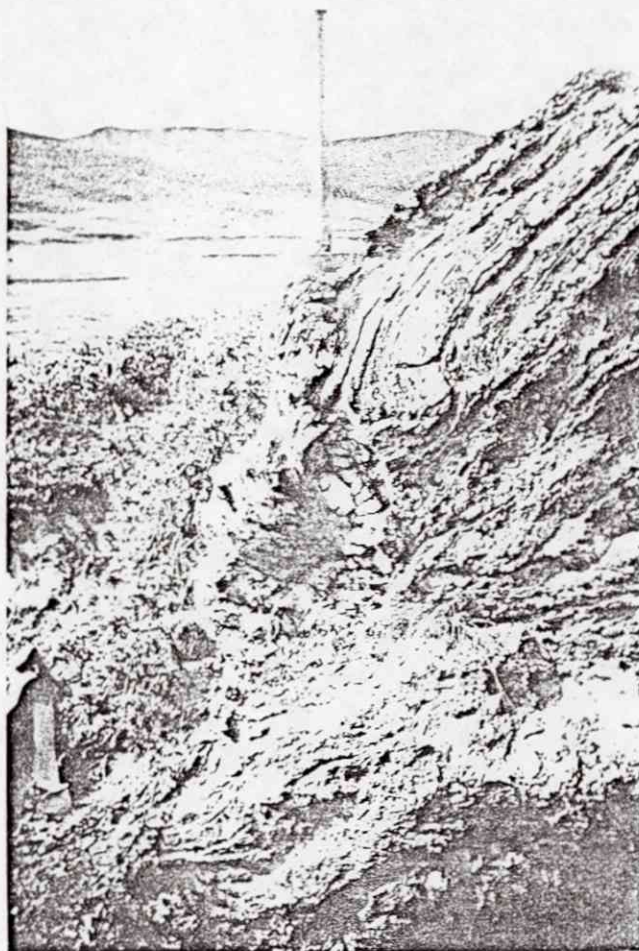


Fig. 37. Foto og profilskitse af boudineret kvartsåre, der følger  $F_1$  folds aksialflade.

Den boudinerede kvartsåre ses på fotografiet lige under hammeren. På skitsen ses samme boudin ved boudinakserne  $260^{\circ}$  o-  $50^{\circ}$  og  $285^{\circ}$  o-  $31^{\circ}$ .



foldningen. Den præcise størrelse af  $F_1$  overskydningerne er vanskelig at udrede, men forsetninger på en halv snes meter er konstateret.  $F_1$  overskydningerne er det første post  $F_1$  foldningsfænomen, der optræder under en progressiv  $F_1$  deformationsfase.

Langs  $F_1$  folderne aksialflader kan der optræde kvarts udfyldte sprækker. Bredden af disse kvarts "årer" er generelt 20 - 40 cm, og de kan sjældent følges længere end 5 - 10 m; men enkelte steder optræder årerne som 2 m brede gange, der kan følges mere end 200 m (således oven for Mesæter).

Den sidste deformation tilknyttet denne fase er en sammentrykning (flatning), der har medført boudinage. Specielt metakvartskeratophyren har været udsat for denne deformation, og de enkelte boudiner kan opnå en tværsnitsstørrelse på 3 x 12 m. Kvartsårerne tilknyttet  $F_1$  aksialfladens sprækker er ligeledes boudineret (se fig. 37), og både disse og metakvartskeratophyr boudinerne er blevet  $F_2$  foldet, hvilket viser, at boudinagen er præ  $F_2$ .

### $F_2$ -foldefasen.

$F_2$  foldefasen er den altdominerende struktur i Grimsdalen.  $F_2$  folderne er tætte til satte folder (flankevinkel  $30^\circ - 60^\circ$ ), der er overkippede og sydvergente med aksialflader hældende mod N (se fig. 38). Foldeaksernes retning er generelt VSV dykkende  $10^\circ - 20^\circ$  (se diagram 4, 5, 7, 8, 9 og 11 kort 5, bilag 5).

Den mest markante  $F_2$  makrostruktur er en synform med basisk grønskifer, der kan følges fra Grimsdals Gruva over Mesæter (hvor den er forkastet ved Mesæter forkastningen, se senere). Fra top 1232 fortsætter strukturen til området lige nord for Tverrlisæter, videre neden for Grimsdalshytta til

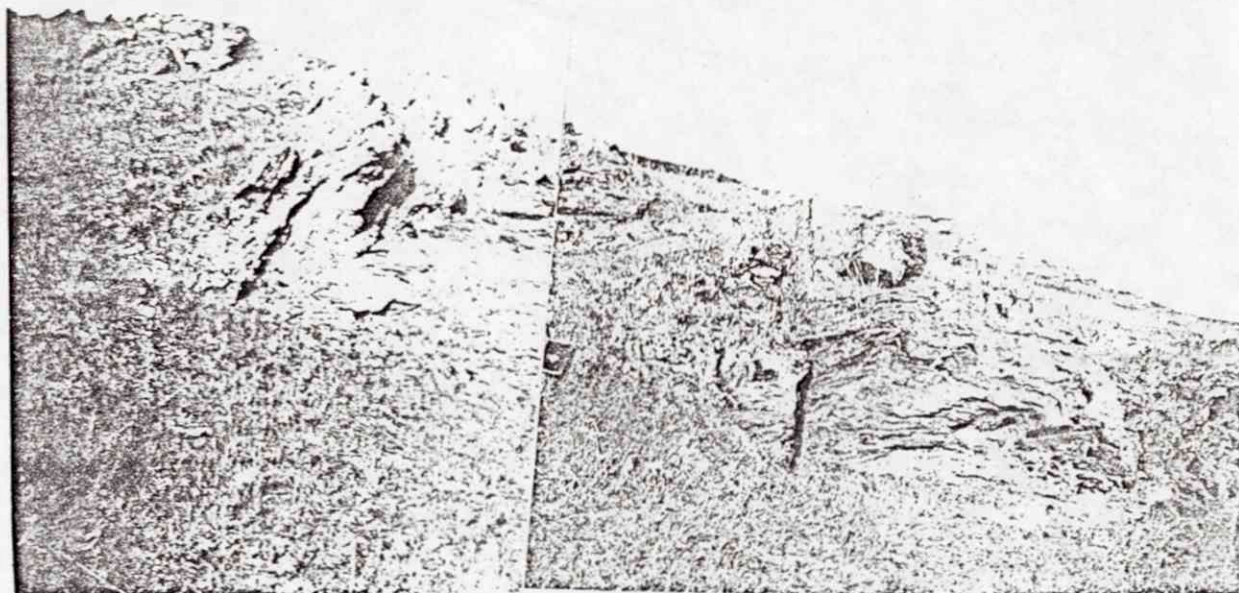


Fig. 38.  $F_2$  folder i basisk grønskifer.

På nederste billede ses tydeligt  $F_2$  foldernes aksialflader, der er uderoderet i bjergarten lige over notesbogen.

forkastningen vest herfor ( se kort 3, bilag 3). På den anden side af forkastningen kan den følges mod vest til Verkensøter.

Syd for denne synform findes en antiform, der folder ned over Tverrlisøter, og som på vestsiden af Grimsdalshytta forkastningen kan følges i Storbergerget, hvor den tilsyne-



ladende store mægtighed af metakvartskeratophyr, som dækker Storberget, svarer til den nordre antiform flank, der danner et "skjold" over Storberget. Nord for den førstnævnte synform findes en antiform, som specielt træder frem i metakvartskeratophyren oven for Grimsdalshytta. Denne antiform kan følges mod NØ til bækken Ø for Tverråi, men forløbet af strukturen ind over plateauet mod top 1213 er iøvrigt usikkert på grund af manglende blotninger.

Vest for Grimsdalshytta forkastningen kan en antiform svarende til Grimsdalshytta antiformen følges mod SV neden for Katuglehøjs sydtop. Her bliver antiformen kraftigt overpræget af forskydningstektonik tilknyttet overskydningen af Gula Gruppen over Folla Gruppen.

Mesostrukturerne tilknyttet  $F_2$  deformationen ses på de fleste blotninger. Som det gjaldt for  $F_1$  strukturerne er også  $F_2$  strukturerne afhængige af lithologien.

I den basiske grønskiifer er  $F_2$  folderne angulære, men med buet ombøjningszone (se fig. 38). Flankevinklen er som oftest under  $40^\circ$ , men varierer. Talrige blotninger viser folder med amplituder på 1 - 5 m, hyppigt ledsaget af parasitfolder i cm og dm størrelse.

Inden for den sericitiske grønskiifer serie er  $F_2$  folderne angulære med skarp ombøjningszone (knækfoldet). Ofte er folderne udviklet til assymmetriske "cheveronfolder". Flankevinklen varierer mellem  $30^\circ$  og  $40^\circ$  på folderne i cm og dm størrelse (se fig. 36). Hvor der optræder karbonatbandede indslag i grønskiiferen, er disse ofte udviklet som parallelfolder med flankevinkler op til  $60^\circ$ .

Metakvartskeratophyren er typisk bøjefoldet (buckle type folding), hvilket viser, at den har været en kompetent bjergart under deformationen. Det kan i den forbindelse være værd

at bemærke, at under  $F_1$  deformationen var metakvartskeratophyren også en kompetent bjergart, idet den blev boudineret. (Begrebet kompetence er her brugt i den betydning, Ramsay (1967) definerer begrebet (f. eks. side 119)).

I almindelighed bliver metakvartskeratophyren medfoldet under  $F_2$  deformationen, men enkelte steder, hvor mægtigheden er forøget ved  $F_1$  foldnings addition, kan bjergarten opføre sig som en homogen masse, hvor der kan ske rekrystallisation af specielt kvarts samt muscovit, mens hornblende listerne har bevaret deres  $F_1$  orientering. På kontakten af disse metakvartskeratophyr legemer (f. eks. øverst i Tverrbekken og på Tverråens østskråning) optræder  $F_2$  akserne med unormale stejle dyk. En ombøjet hornblende lineation viser, at disse akser ikke er  $F_1$  akser, men må være  $F_2$  akser, idet hornblendelineationen generelt er parallel med  $F_1$  foldeakserne. Sammensteds er veludviklede liggende, isoklinale  $F_1$  folder, og det ses tydeligt, at  $F_2$  folderne er "foldet" omkring  $F_1$  akserne. Orienteringen af  $F_2$  foldeakserne er altså afhængig af de deformerede lags initiale hældning. Dette fænomen er velkendt og beskrevet i talrige lærebøger (se f. eks. Ramsay (1967) side 425, Berthelsen (1973) side 104 og Hobbs et al. (1976) side 389).

I udfærdigelsen af de tektoniske diagrammer er der ikke specielt taget hensyn til, hvilken foldefase akserne tilhører, og foldeaksediagrammerne viser således kun den almindelige sandsynlige fordeling af akseorienteringerne (se kort 5, bilag 5).

#### Interferensfolder.

En speciel type folder er tilknyttet interferensfoldning mellem  $F_1$  og  $F_2$  og betegnes i det følgende kompensationsfolder.



Denne type folder er her, så vidt forfatteren bekendt, beskrevet for første gang. Kompensationsfolder er interferensfolder, der opstår under den sidste foldefase på grund af foldning af  $F_1$  foldernes ombøjning, og interferensfolderne er således en anden form for "anormale"  $F_2$  folder. Interferensfolder må ikke forveksles med interferensmønstre (lunare strukturer og pilespids strukturer), som hyppigt forekommer i dobbeltfoldede områder. Denne type folder kan bedst sammenlignes med de småfolder, der kan opstå i en sammenfoldet søndagsavis (se fig. 39). Man kunne kalde dem kompensationsfolder, fordi folderne prøver at kompensere for sammenpresningen ved deres optræden i den interne del af folderne, eller man kunne kalde dem reaktionsfolder, idet de kunne betragtes som en reaktion mod sammenpresningen.

En kompensationsfold består af tre akse elementer. 1) en ombøjet  $F_2$  akse med samme retning som den generelle  $F_2$  akse men med modsat dyk, idet man betragter en svagt dykkende akse (se fig. 39), ellers med en vinkel på  $20^\circ - 40^\circ$  imellem de to akser målt i aksialfladen. 2) to  $F_1$  akser med en roteret position i forhold til den under 1) nævnte akse. 3) to akser der opstår på hver side af den egentlige kompensationsfold i skæringen mellem kompensationsfoldens og den egentlige  $F_2$  folds flanker. På fig. 40 ses det teoretiske mønster for en kompensationsfold plottet på Wulff net.

Omkring 1 km NV for Tverrlisøter er der på en  $10 \times 5$  m stor blotning målt et antal foldeakser, se fig. 41. Her er god overensstemmelse mellem den teoretiske model og de faktiske forhold, idet man må tage i betragtning, at den teoretiske model er udtegnet for en opret fold med lodret aksialplan og symmetriske flanker, hvorimod  $F_2$  folderne på blotningen er assymetriske med hældende aksialplan. Der er i

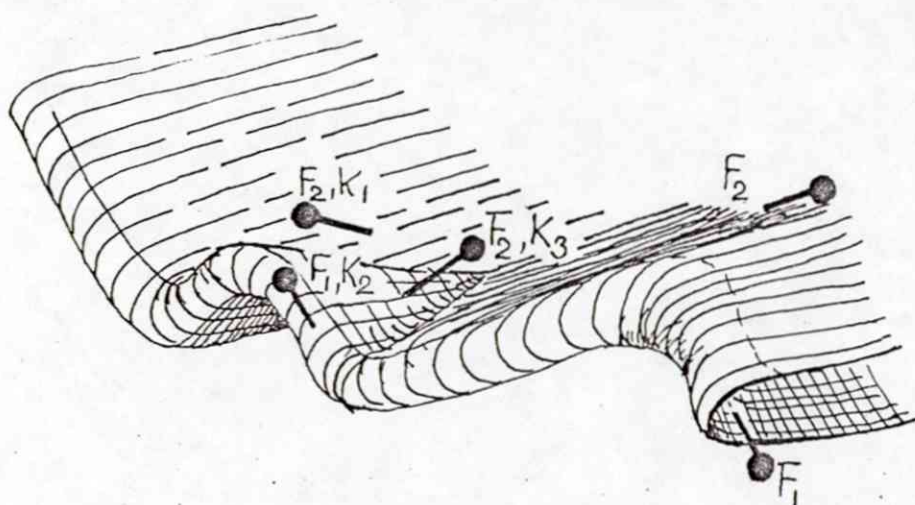
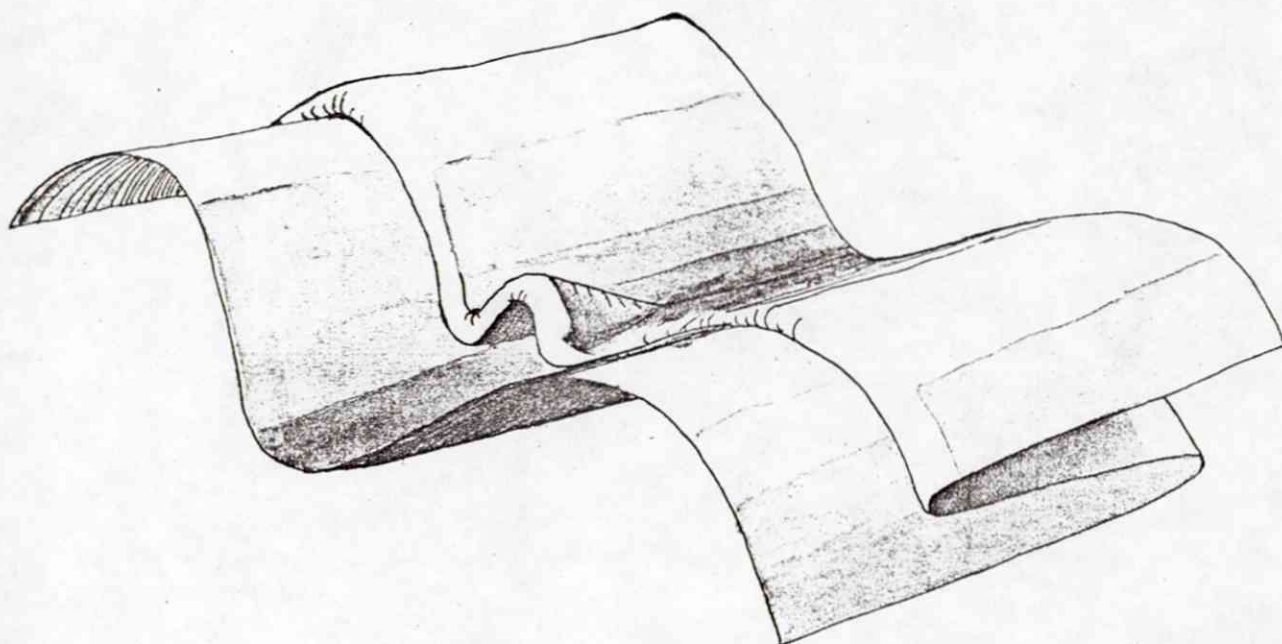


Fig. 39. Illustration af kompensationsfold.

$F_1 = F_1$  fold,  $F_2 = F_2$  fold,  $F_2K_1 =$  reorienteret  $F_2$  fold,  
 $F_1K_2 = F_1$  fold roteret om  $F_2K_1$ ,  $F_2K_3 = F_2$  fold i skæring  
 mellem kompensationsfoldens flanke og den egentlige  $F_2$   
 foldeflanke.



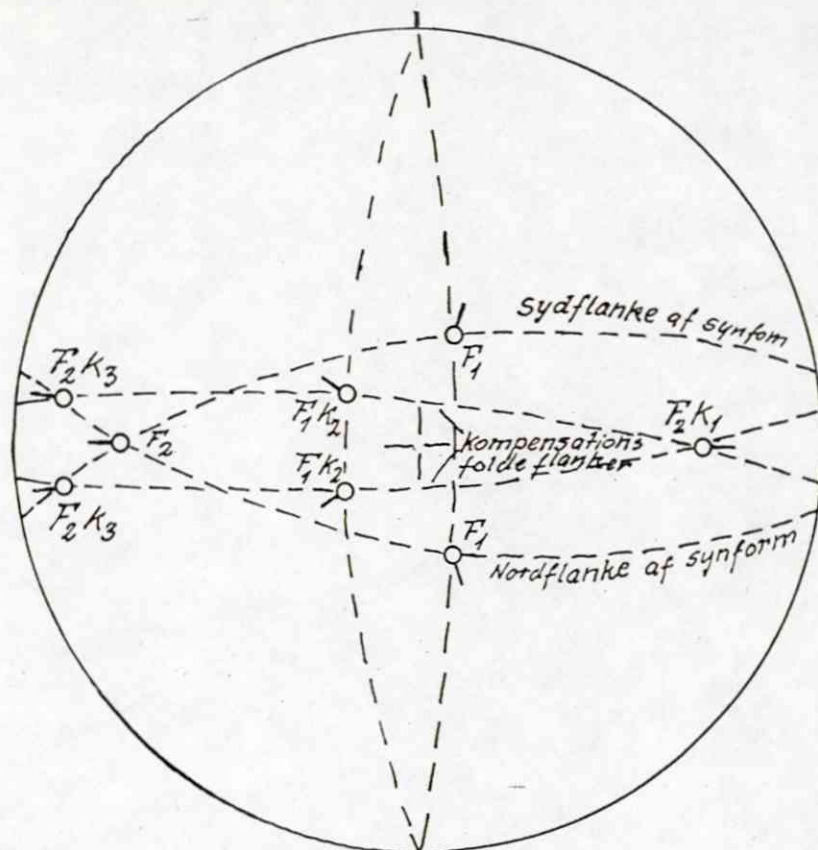


Fig. 40. Teoretisk Wulff net konstruktion af kompensationsfold. Benævnelserne for foldeakserne er de samme som på fig. 39

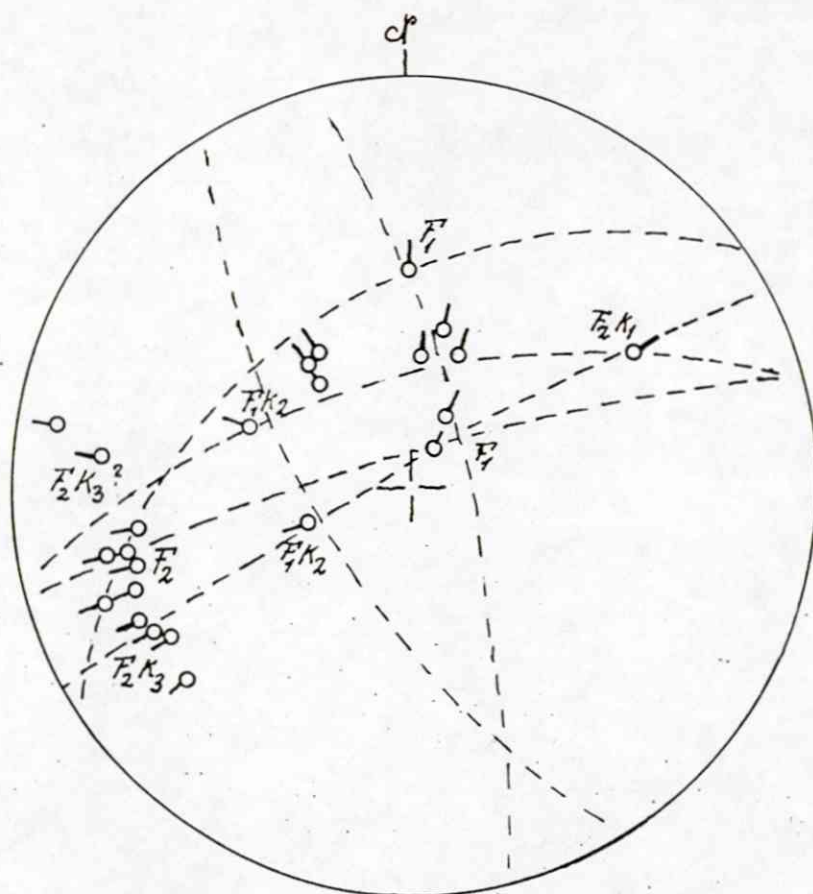


Fig. 41. Wulff net plotning af foldeaksemålinger fra blotning 1 km NV for Tverrlisæter. Ved sammenligning mellem fig. 40 og fig. 41 må man tage højde for, at modellen (fig. 40) er en opret fold med lodret aksialplan og symmetriske flanke, hvorimod fig. 41 er målinger på overkippede, asymmetriske folder i naturen.

dette tilfælde god mulighed for at iagttage fænomenet, men på mindre blotninger, eller på flade glatskurede blotninger vil det være væsentlig vanskeligere at vide præcis, hvilken akse, man måler, hvis der kun er den samme på blotningen. Det kan derfor være af vigtighed at vide, hvilken deformationsafvigelse, man må tage højde for på de tektoniske diagrammer over større delområder.

## OVERSKYDNINGER OG FORKASTNINGER.

### Overskydningszonen mod sparagmiterne.

Grænsen mellem sparagmiterne mod syd og Folla Gruppens bjergarter mod nord er markeret ved en kraftig overskydningszone, hvor en række forskellige mylonitiske bjergarter optræder. Blandt disse kan nævnes metagabbromylonit (sydlige og vestlige del af Sjøberget gabbro), magnetitporfyroblast mylonit med bandede indslag af en phyllonitisk, sort skifer med ilmenitporfyroblaster (profil øverst i Skriubekken, Ø for Sjøberget), mylonit-schist, mylosparagmit og breccie mylonit. Disse bjergarter er kun nævnt her for at anføre, at selve mylonitzonen er en lithologisk varieret zone.

En enkelt af disse bjergarter, breccie myloniten (Ø for sø (tjern) ved top 1263), er ledsaget af en svag sulfidmineralisering. En kemisk analyse af bjergarten for en række udvalgte grundstoffer gav følgende resultat:

0,15% Pb, 0,10% Cu, 0,02% Zn, 0,05% Ti, 0,02% Ni.

(Analyse fra Tverfjellet røntgenfluorescens lab.).

En videregående undersøgelse af mylonitzonen er endnu ikke foretaget.



Overskydningszonens generelle hældning er mod NNV øst for Sjøberget, vest herfor drejer hældningen mod NV. Op mod mylonitzonen er Folla Gruppens overkippede  $F_2$  antiformer opskudt eller overskudt langs stejle (ca.  $50^\circ$  NV) overskydningsplaner. Specielt i området mellem Grimsdalshytta og Verkensæter er denne deformationspåvirkning tydelig. Således består stejlvæggen på den anden side af Grimsa over for Storberget af en meget kraftig forskifningszone, der tilmed er påvirket af flere forkastningszoner i forbindelse med Grimsdalshytta forkastningen ( se kort 1, bilag 1).

#### Overskydningszonen mellem Folla og Gula Grupper.

Det kan ikke med sikkerhed fastslås, om denne tektoniske zone er en egentlig overskydningszone eller en forskydningszone af mindre format. Men der er indicier for, at man her står over for en kraftig overskydningszone, der er resultatet af allochton transport af størrelsesorden på adskillige kilometer. Således genfindes flere af de mylonitiske bjergarter, som optræder ved overskydningen mod sparagmiterne. Disse bjergarter kan fortrinsvis henføres til Folla Gruppens bjergarter, der har fungeret som underlag for overskydningen.

Den basiske grønski fer omdannes i overskydningszone til en kataklastisk grønski fer, der kan være udviklet til en mylonitisk skifer bestående af hornblende kataklaster omgivet af klorit, der er dannet i mylonit-schistositetsplanerne.

Hvor overskydningszonen er i kontakt med metakvartskeratophyr, kan der forekomme leucokrate brecciemyloniter ( som

Ø side af Tverråen). Stedvis optræder en lys, grøn, phyl-lonitisk grønskifer, der indeholder albit porfyrokorn. Denne grønskifer svarer til en kataklastisk udgave af den serici-tiske grønskifer, og albit porfyrokornene må betragtes som myloblaster.

Metagabbro-mylonit er observeret oven for Mesøter ved top 1232, samt i område 4 ( se kort 5, bilag 5) under over-skydningsgrænsen. Denne bjergart består af op til 1 cm store rhomber af hornblende i en albit grundmasse. Under mikroskop ses det, at disse rhomber er ombøjede hornblende lister, der har antaget rhombeform under forskydning (shearing) af bjerg-arten.



Fig. 42. Foldet, forskifret og opbrudt grønskifer med metakvartskaratophyr, Buåi.

Metakvartskaratophyren ses ret over personen nederst i billedet.



SV for Katuglehøj foregår overskydningen fortrinsvis i Folla Gruppens bjergarter, hvor grønskifrene er udviklet til grønne, glinsende, phyllonitiske grønskifre med indfoldninger af opbrudte og forskifrede, forskudte metakvartskeratophyr flager, som det f. eks. ses ved Buåi ( se fig. 42).

Bjergarterne oven for overskydningen er fortrinsvis grå, finkornede glimmerskifre (phylloniter) eller rødgrå, kraftigt udvalsedede biotit-klorit glimmerskifre, der generelt kan henføres til Gula Gruppens bjergarter. N for Mesäter forekommer en sølvgrå til gråsort mylonitisk glimmerskifer med indslag af Mesäter marmor. Det ses her, at overskydningsaktiviteten fortrinsvis er foregået i Gula Gruppens bjergarter.

Overskydningen kan ikke beskrives som en enkelt planar struktur, men består af en zone med en serie forskellige forskydningsplaner. Men ud fra diagram 2 på kort 5 ( bilag 5 ), der viser foldeaksernes fordeling i denne zone, kan man dog få et generelt billede af forkastnings/overskydnings"planets" orientering. Det viser, at overskydningsplanet stryger NØ - SV og holder ca.  $45^{\circ}$  NV. Foldeakserne ligger nogenlunde velorienteret i overskydningsplanet og er sandsynligvis  $F_1$ , der er blevet udtværet over denne flade. Det er således ikke ombøjninger af akser, der har resulteret i dette storcirkelmønster, men udtværing af akser under overskydningen. Et eksempel på sådanne udtværede akser findes meget tydeligt blottet neden for Katuglehøj ( se fig. 43 ).

Tæt på overskydningszonen ses sjældent egentlige  $F_2$  folder. Tektoniken er her domineret af forskydninger. Område 3 på kort 5 (bilag 5) er et eksempel herpå, men samtidig er der her bevaret en større koncentration af  $F_1$  akser. Specielt er der i den NØ lige del af dette område blottet en større  $F_1$  fold, og det må anses for sandsynligt, at det er denne fold, der har betinget indbugtningen af overskydningsforløbet.

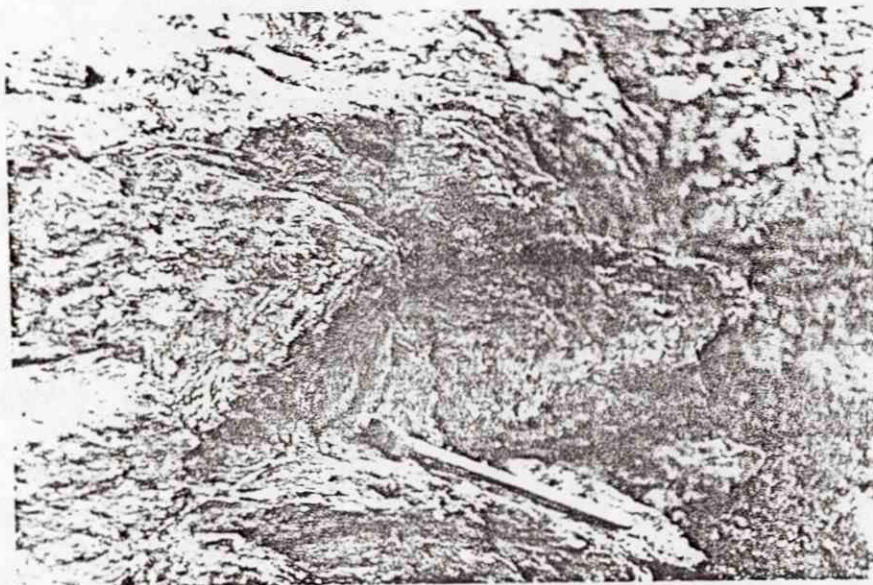


Fig. 43. Udtværede foldeakser fra mylonitzonen neden for Katuglehøj. Den højre akse er omtrent parallel med billedplanet, den venstre peger næsten lige ud mod beskueren.

#### Forkastninger.

Inden for Grimsdals området findes tre større forkastninger. Længst mod øst skiller Gåsetjørn forkastningen Grimsdals området fra Folldals området ved en dextral forkastning. Ved Mesäter adskiller Mesäter forkastningen området omkring Grimsdals Gruva fra områderne Tverrbekken, Tverrlisäter og Grimsdalshytta. Og endelig deler forkastningen ved Grimsdalshytta - Tverråi områderne mod øst fra Storbergs området mod vest ( se kort 5, bilag 5).

Gåsetjørn forkastningens egentlige forsetning har det på grund af menglende blotninger ikke været muligt at fastlægge fuldstændig. Ud fra den geologiske kartering og den geofysiske



kortlægning ( elektromagnetiske målinger, fortrinsvis ved turam metoden) er forkastningssporet på terrænoverfladen indtegnet på det geologiske kort ( se bilag 1). Forkastningens strygning er herefter målt til at ligge mellem  $130^{\circ}$  og  $135^{\circ}$ . Den horisontale forsætning er målt til ca. 3,5 km, idet følgende geologiske elementer er korreleret: a) overskydningsgrænsen NØ for Mesøterhøj anses for at være fortsættelsen af overskydningen ved Vardhøj og Lurven, b) metakvartskeratophyren neden for Mesøterhøjs NØ skråning henregnes til at være fortsættelsen af det store metakvartskeratophyrlegeme ( af Heim (1971) betegnet Folldals gneis), der på Ø siden af forkastningen fortsætter mod NØ til Folldal og videre til Kakkeldalen.

Det skal dog tilføjes, at andre løsningsmuligheder for forsætningens størrelse kan tænkes; f. eks. at Folldal metakvartskeratophyrlegemet skal korreleres med det sydlige liggende metakvartskeratophyrlegeme på vestsiden af forkastningen. Denne forsætning er ca. 2 km og vil samtidig medføre, at Grimsdals Gruva "malmstrøg" er fortsat, så det på østsiden af forkastningen svarer til Nygruva malmforekomsten ( se kort 1, bilag 1). Dette vil implicere, at der må være sket en forholdsvis stor vertikal forsætning, hvorved den overskudte Gula Gruppe er blevet nedforkastet til Folla Gruppe niveau.

Mesøter forkastningen er tydeligt markeret i terrænet ved en ca. 4 m bred forkastningszone. Forkastningsplanets strygning er  $105^{\circ}$ , hældning  $60^{\circ}$  NØ. Et slæb langs forkastningen er tydeligt markeret ved  $F_2$  foldeaksernes roterede orientering ( se fig. 44 og diagram 10 kort 5). Forsætningen kan opdeles i en horisontal og en vertikal komponent. Den horisontale komponent er udmålt til ca. 1000 m, idet den er be-

hældning/strygningsmålinger: 53 (x)

foldeaksemaalinger: 44 (o-)

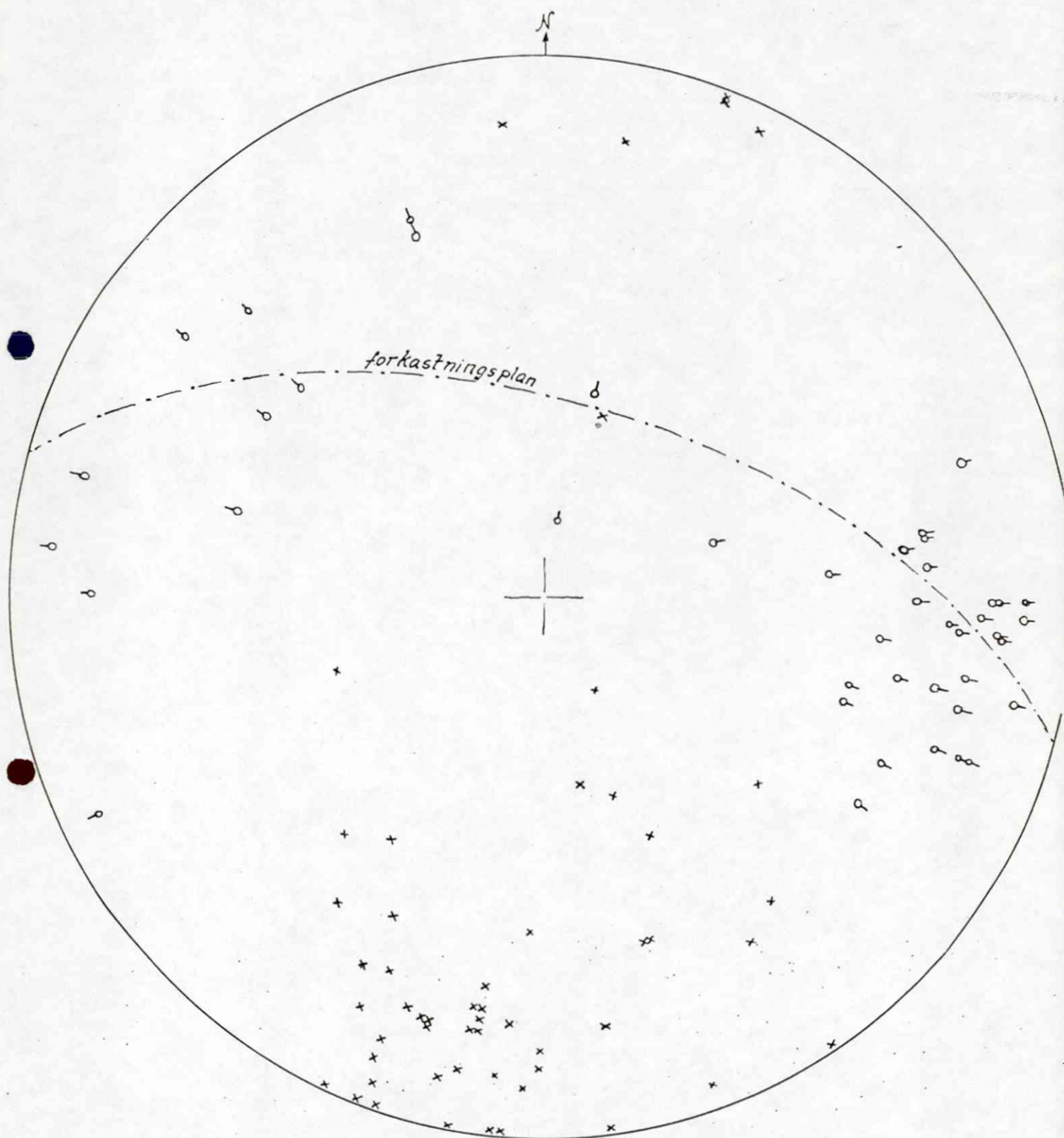


Fig. 44. Tektoniske målinger fra området omkring Mesøter  
forkastningen.

Foldeakser og hældning/strygnings poler er plottet på Lambert  
net. Forkastningsplanet  $105^{\circ}/60^{\circ}$  NØ er indtegnet.





360 m og for netto forsætningen ca. 200 m.

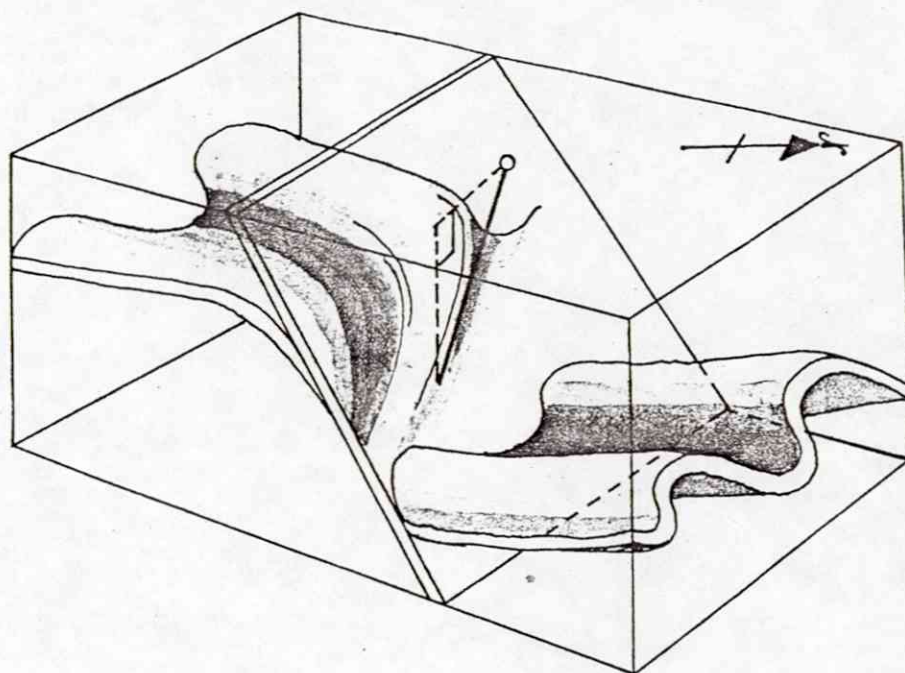


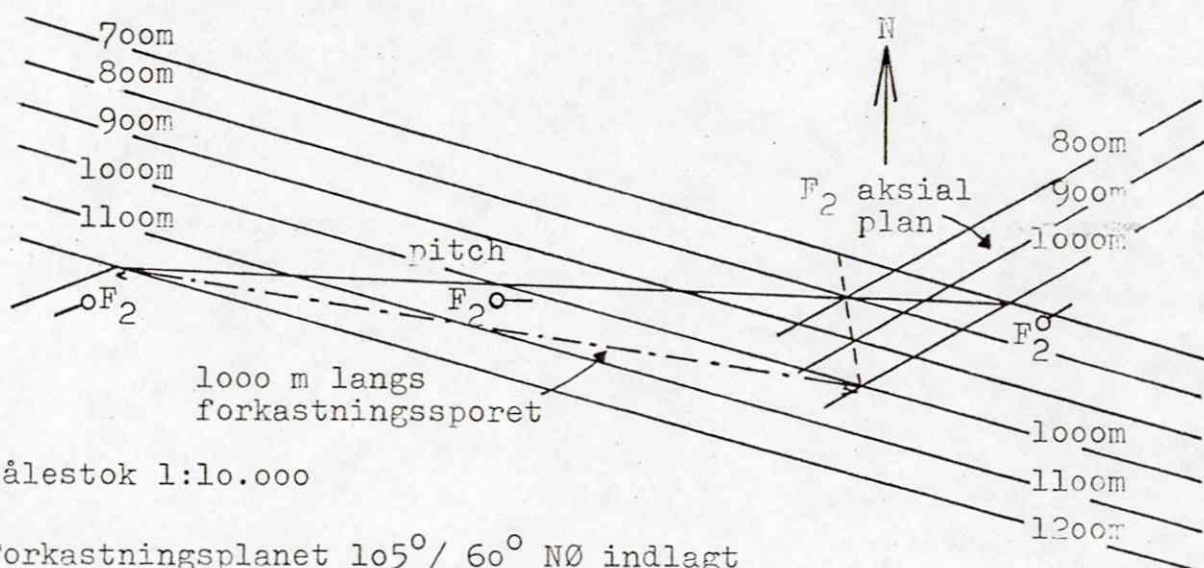
Fig. 46. Blokdiagram der viser slæbet langs Mesæter forkastningen. Den indtegnede  $F_2$  foldeakse repræsenterer forskydningsvektoren (pitch).

Ved isohypse konstruktion af forsætningsbeløbet ( se fig. 47) er der anvendt den approksimation, at lade den centrale  $F_2$  akse for grønskifer synformen blive parallelforskudt langs aksialplanet til skæring med forskydningsvektoren. Heraf fremgår det, at den sande horisontale forsætning svarer nogenlunde overens med den på kortet målte sideværts forsætning. Aksialplanet er kun fastsat ud fra et mindre antal målinger, men variationer inden for  $10^0$  vil ikke have væsentlig betydning for størrelsen af forsætningen.

Usikkerhedsmomenterne ved fastlæggelsen af forkastningens forsætning er først og fremmest usikkerheden ved fastsættelsen af synformaksen, idet området Ø og SØ for Mesæter er



## Isohypse konstruktion af forsætningsbeløbet.



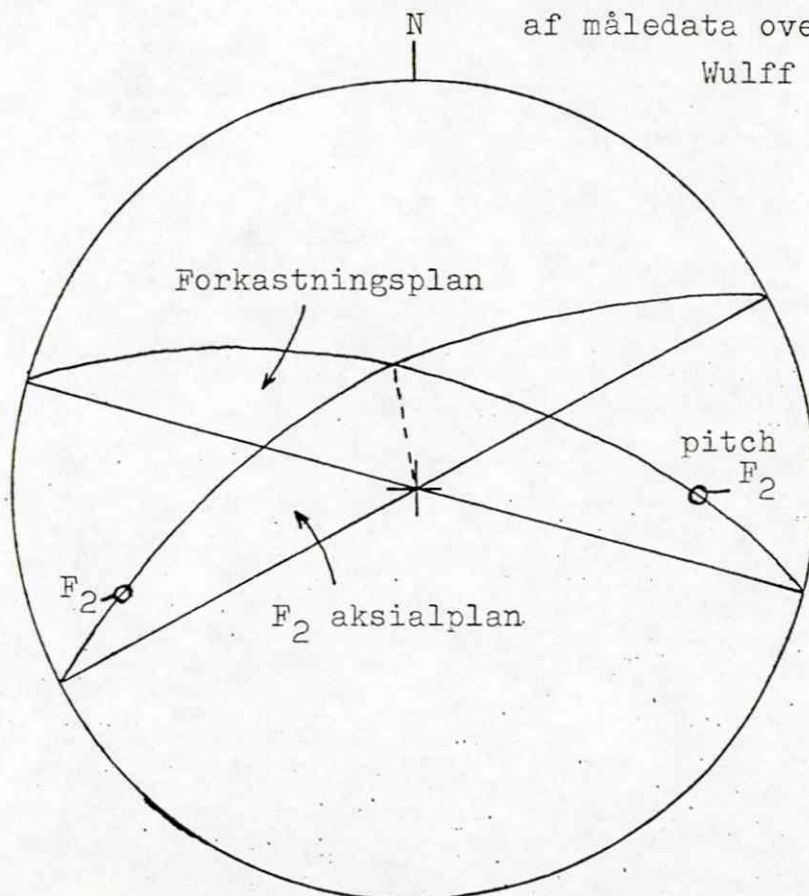
Målestok 1:10.000

Forkastningsplanet  $105^{\circ}/60^{\circ}$  NØ indlagt  
med isohypseafstand 100 m.

$F_2$  aksens retning før forkastningsdeformationen  $248^{\circ}0-15^{\circ}$ .  
Aksialplanet er indlagt med orienteringen  $60^{\circ}/60^{\circ}$  NV  
og isohypseafstand 100 m.

Den deformerede  $F_2$  retning (pitch) =  $92^{\circ}0-20^{\circ}$

Stereogram præsentation  
af måledata oven for.  
Wulff net.



meget ringe blottet ( se kort 2, bilag 2). Dernæst er forkastningen betragtet som et plan, hvor den i virkeligheden burde opfattes som en flade med et let buet forløb ned over Mesæter, hvilket kan ses på de geofysiske målinger ( se senere). Men de steder oven for Mesæter, hvor det har været muligt at måle direkte på forkastningen, kan den med rimelighed betragtes som et plan, der dog oven for top 1232 bøjer af op mod grænsen til Gula Gruppe og går i et med overskydningszonen.

På trods af usikkerheden i fastlæggelsen af forsætningen langs Mesæter forkastningen, er det dog sikkert, at man må regne med mindst 500 m horisontal sideværts netto forsætning og omkring 180 m vertikal netto forsætning. De maksimale forsætningsbeløb er henholdsvis 1000 m horisontal brutto forsætning og 400 m vertikal brutto forsætning.

Grimsdalshytta forkastningen er en mere kompliceret sammensat forkastning. Forkastningen er blottet ca. 700 m vest for Grimsdalshytta ( område 6 kort 5, bilag 5), hvor den kan betegnes som en revers forkastning med forkastningsplanet orienteret  $35^{\circ}/30^{\circ}-45^{\circ}$  NV. Mod nord må det formodes, at forkastningen følger Tverråens skarpt nedskårne ådal, som dog er dækket af alluvialaflejringer, op til Tverråens vandfald, der er beliggende på grænsen mellem Gula og Folla Grupper ( se kort 1, bilag 1). Her deler forkastningen sig op i flere retninger, som følger bækkenene nordpå. Men selve området omkring vandfaldet er så tektonisk forstyrret og kataklastisk deformeret, at det her ikke er muligt at udrede forkastningens hovedforløb.

Syd for den reverse forkastning går forkastningen over i en mere eller mindre lodretstående sideværtsforkastning, der kan følges over til Storbergets stejle østskrænt, hvorfra den fortsætter mod syd og går i et med overskydningszonen



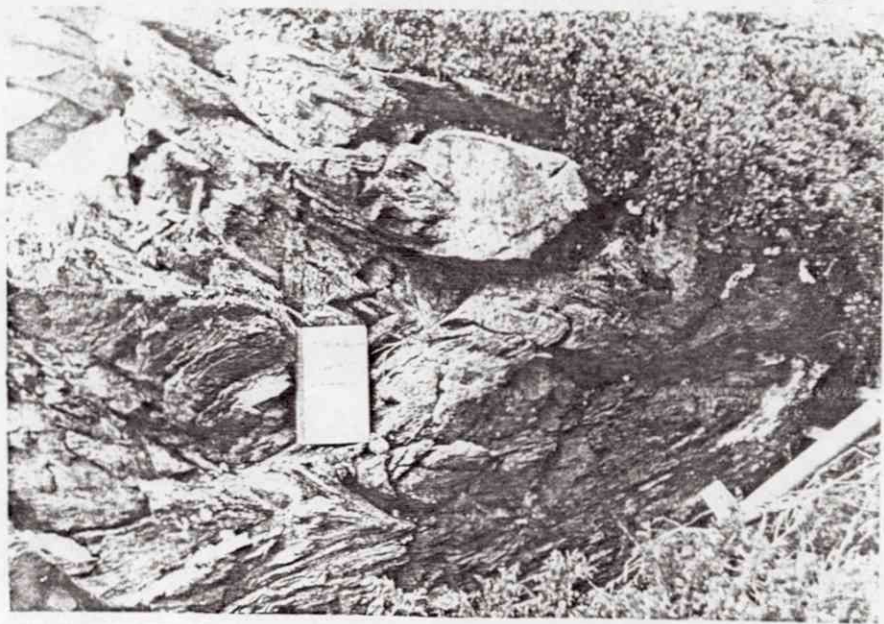
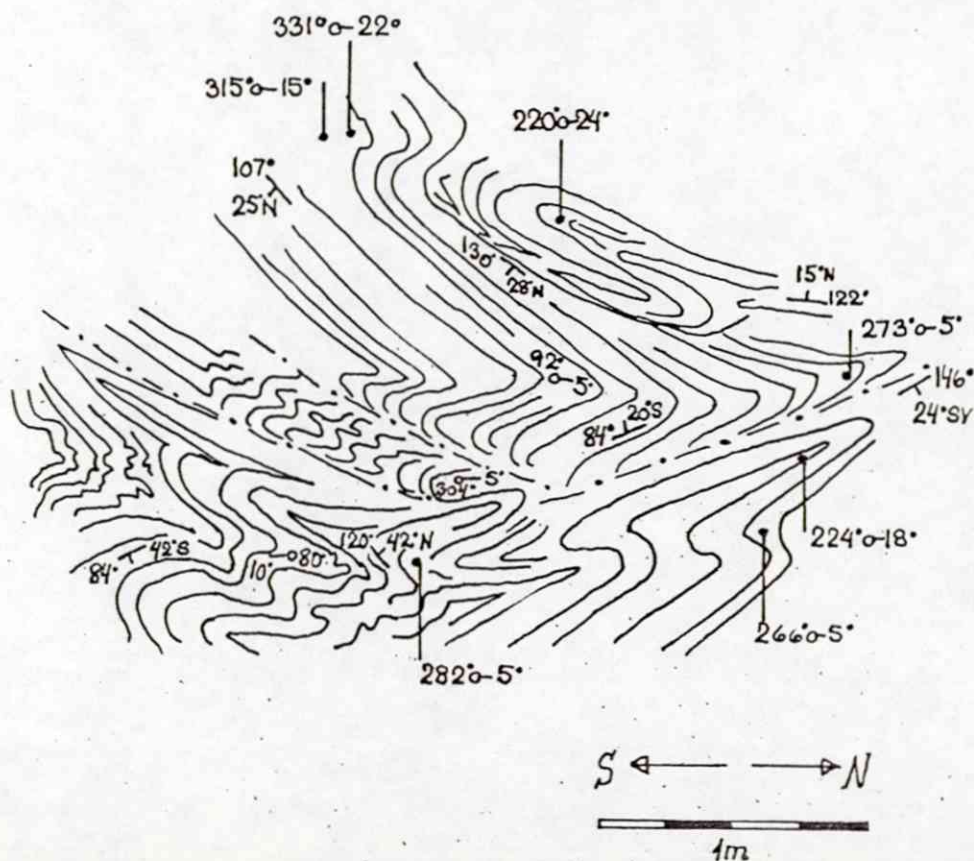
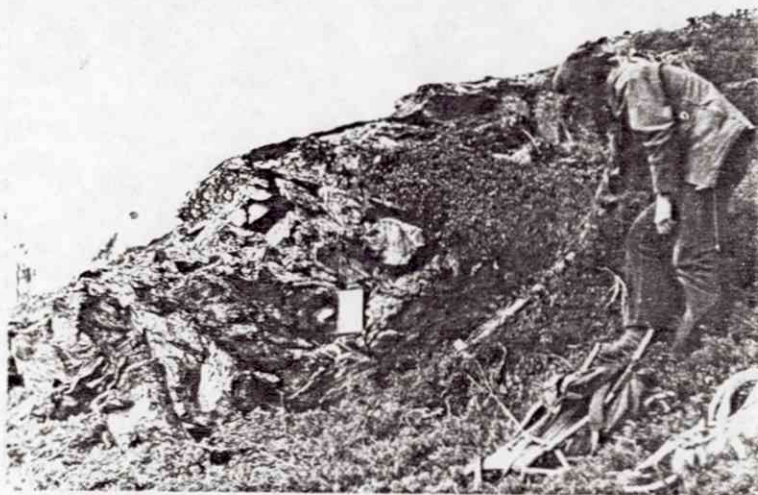


Fig. 48. Komplexst foldningsmønster langs reverse del af Grimsdalshytta forkastningen. På skitsen nederst er de forskellige tektoniske retninger indmålt.



ind mod sparagmiterne i stejlvæggen på østsiden af Grimsa.

Langs det reverse forkastningsforløb er forkastningen ledsaget af en 10 til 20 m mægtig mylonitzone bestående af mylonitisk glimmerskifer gennemsat af 1-5 mm brede flintagtige, næsten pseudotachylitiske, mylonitskifer-planer, der går over i breccie mylonitiske bjergarter, hvor forkastningen drejer mod syd ( se kort 3, bilag 3). Inden for mylonitzonen er foldemønstret komplekst ( se fig. 48) med en ret spredt aksefordeling ( se diagram 6, kort 5, bilag 5). Der er dog en generel tendens til, at akserne er orienteret ind mod forkastningszonen, idet man ved sammenligning med de øvrige diagrammer kan se, der er sket en udtværing af den aksekoncentration, der generelt repræsenterer  $F_2$  akseorienteringen.

Den reverse forkastning har tydeligvis ikke som Mesäter forkastningen et slæb, men derimod slæbefolder langs forskydningsfladen. Da forskydningsbevægelsen antages at være normal til slæbefoldernes akser, kan det herefter ses ( se fig. 49), at overskydningen må være sket fra N, hvilket stemmer godt overens med forkastningens gennemgående nord - syd retning.

Slæbefoldernes akser er dannet med samme generelle orientering som  $F_2$  akserne ( sml. diagrammerne på kort 5, bilag 5). Dette i forbindelse med strukturernes forløb omkring forkastningen peger på, at forkastningen er samtidig med foldningen, og forkastningen kan herefter betegnes som en "iturivnings forkastning" ( tearfault (Hills, 1963 side 208)), se fig. 50. For forkastninger af denne art vil spørgsmålet om forskydningsbeløb være et temmeligt svævende begreb. Betragter man blokken øst og vest for forkastningen, er det værd at bemærke, at den østre blok, Grimsdalshytta, er nedforkastet



i forhold til den vestlige, Storberget. Det er et gennemgående træk for forkastningerne i Grimsdals området, at der er sket en nedsynkning af forkastningsblokkene mod øst.

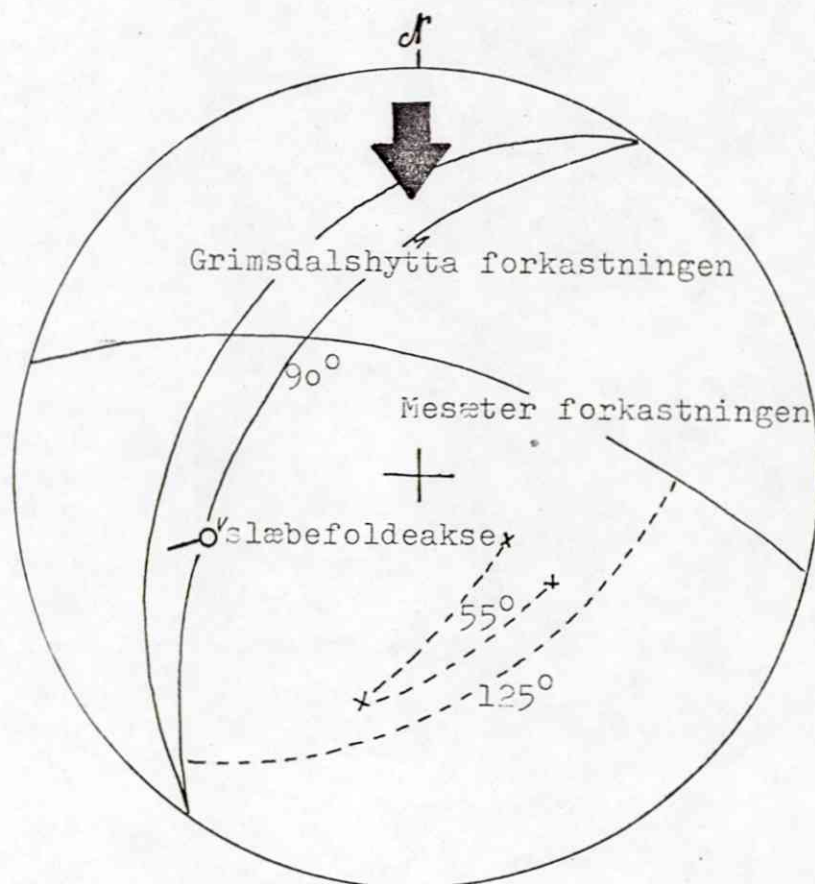


Fig. 49. Wulff net konstruktion vedrørende Grimsdals-hytta forkastningen.

Sort pil angiver overskydningens kinematiske retning, vinkelret på slæbefoldernes største koncentration.

Vinklen mellem Grimsdalshytta forkastningen og Mesøter forkastningen er målt,  $55^\circ$  er korteste afstand mellem planernes poler. Dette viser, at de to forkastninger ikke umiddelbart kan betragtes som hørende til samme konjugerede forkastningssystem.

En ganske speciel interesse knytter sig til Grimsdalshytta forkastningen, da den anses for at være sammenhængende med en N - S gående forkastningszone, der fra Grimsdalen (Tverråen) fortsætter mod Hjerkin, og her ved Tverrfjell grube (Folldal Verk A/S) (se kort 1, bilag 1) forsætter Tverrfjelllets malmlegeme (Motys (1974) personlig meddelelse). Ifølge Nyegaard (1974) (upubliceret rapport til Folldal Verk A/S vedr. feltundersøgelser omkring Tverrfjellet) findes nøglen til løsningen af forkastningsforløbet i Grimsdals området. Her skal redegøres for de mest vidtrækkende slutninger, der kan drages om forsætningen.

Såfremt forsætningens størrelse er repræsenteret ved springet mellem Grimsdalshytta metakvartsskeratophyr antiformens nordflanke og Storberget antiformens nordflanke, og forsætningsbevægelsens retning er angivet ved overskydningsbevægelsens retning ved den reverse forkastning (vinkelret på slæbefoldernes retning i forkastningsplanet, se fig. 49), vil netto springet (net slip) være lig med den parallelforskudte afstand mellem flankerne langs overskydningsretningen. Ud fra konstruktionen på fig. 51 er horisontalforsætningen beregnet til ca. 950 m og vertikalforsætningen 430 m, idet horisontal springet mellem de to metakvartsskeratophyrer er udmålt til 600 m på det geologiske kort (bilag 3), og forskydningsvektoren er ud fra fig. 49 aflæst til ca.  $0^{\circ}$  -  $25^{\circ}$ .

Disse tal skal naturligvis tages som vejledende størrelser for forsætningsbeløbet, da forsætnings størrelser for forkastninger af denne type er et svævende begreb. Det er tilmed usikkert, hvorvidt forsætningsbevægelsen har samme retning langs med hele forkastningszonen.



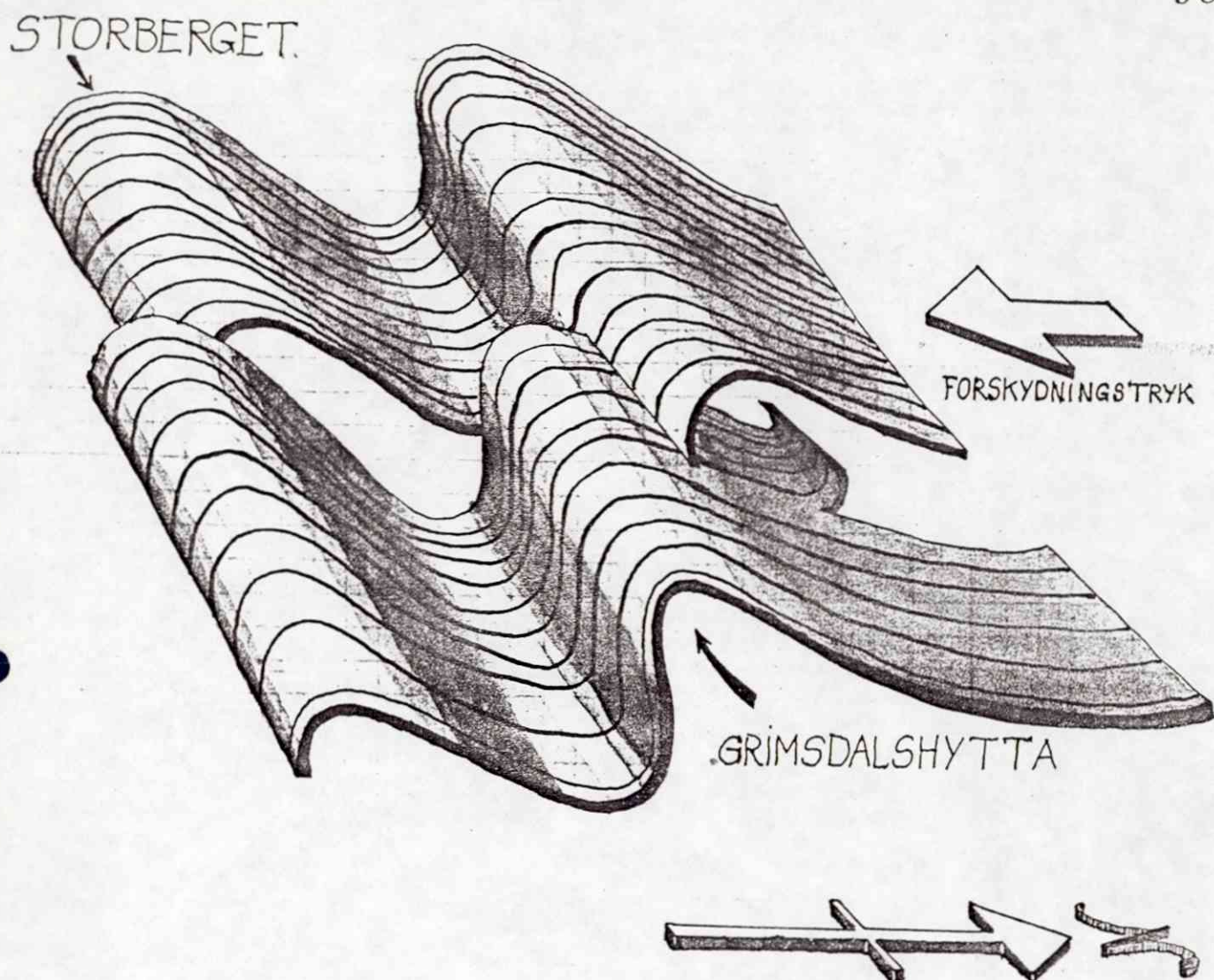


Fig. 50. Illustration af Grimsdalshytta "tear fault".

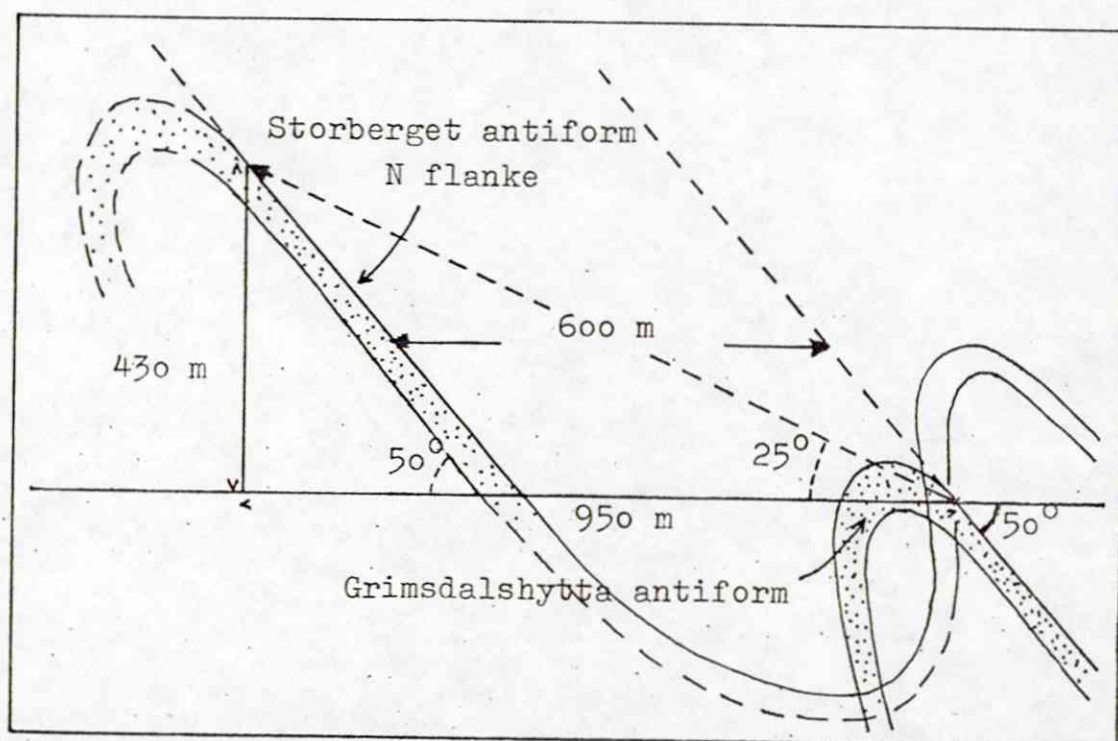


Fig. 51. Konstruktion af forsætningsbeløbet for Grimsdalshytta forkastningen.

## GEOFYSIK.

I Grimsdals området har der været anvendt to geofysiske metoder ved prospektion efter sulfidmalm legemer. Den vigtigste og mest omfattende af disse undersøgelser er den elektromagnetiske, der er udført efter turam metoden. Såvel Folldals feltet som Grimsdals området er blevet dækket af turam målinger, og undersøgelserne er foretaget af N.G.U., der tillige står for tolkning af anomaliernes forløb.

I mindre delområder i Grimsdalen, hvor man har påtruffet malm i enkelte borehuller, er der tillige udført CP-målinger. Disse målinger er udført under ledelse af ing. I. Killi, Folldal Verk A/S i årene 1974-1975.

Turam målinger.

De elektromagnetiske metoder er baseret på lovene om induktion. Ved hjælp af Maxwells ligninger kan induktionslovene kort formuleres:  $\text{rot } H = i + \frac{dD}{dt}$  og  $\text{rot } E = - \frac{dB}{dt}$ , der simplificeret kan udtrykkes: en strømførende leder giver anledning til et magnetfelt, og et magnetfelt giver anledning til en strøm i en leder.

Ved turam målingerne udlægges et langt kabel (1-4 km) parallelt med strygningen. Når der sendes strøm gennem kablet vil det give anledning til et magnetfelt, primærfeltet, der i et el-ledende lag mellem de geologiske bjergarter vil inducere en elektrisk strøm. Denne sekundærstrøm vil give anledning til et sekundært magnetfelt, der vil influere på det primære felt ( se fig. 52).

Det totale magnetfelts intensitet måles ved hjælp af to spoler med en indbyrdes afstand på 25 m. Med disse går man profiler vinkelret på det udlagte kabel. Man måler



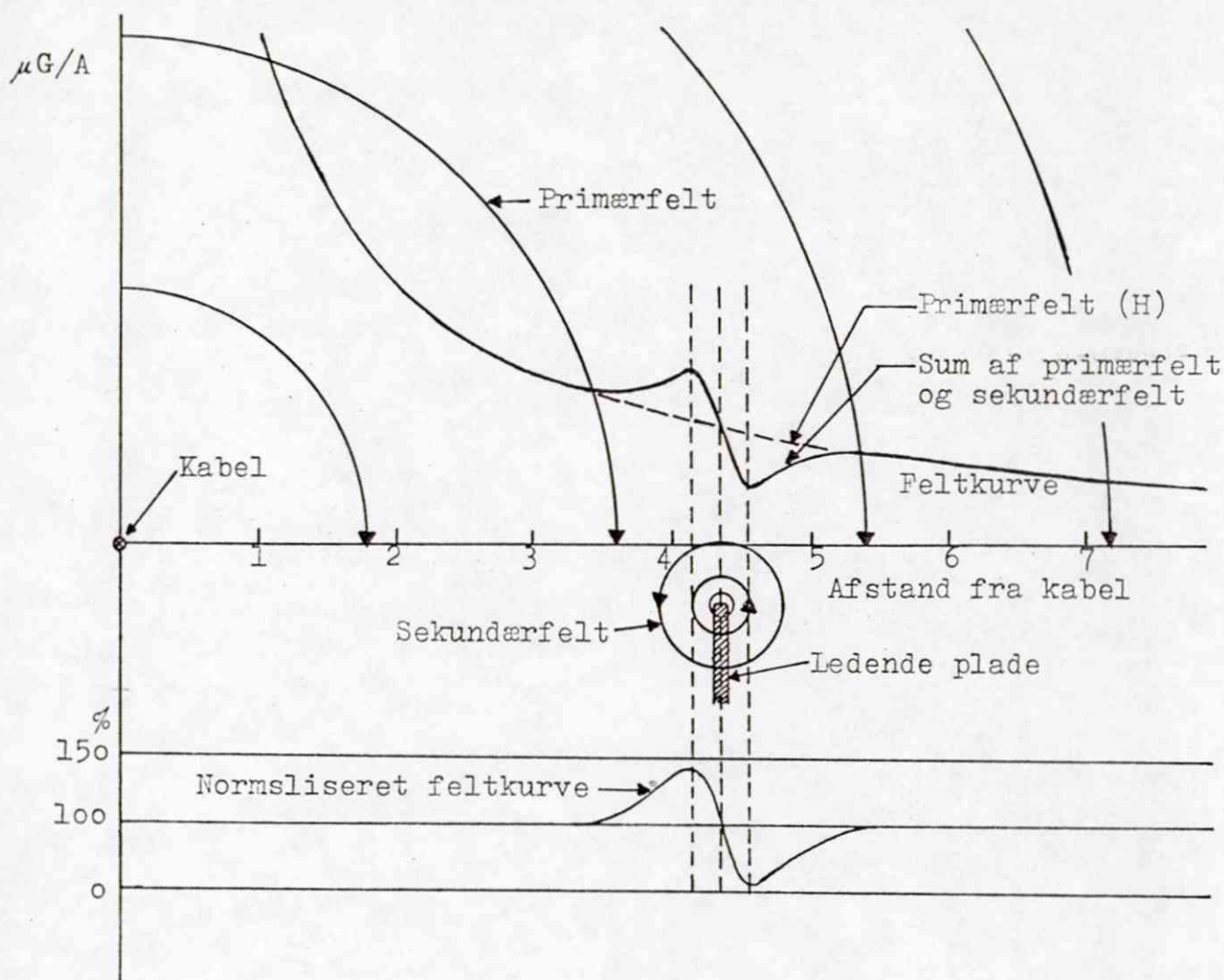


Fig. 52. Principskitse af turam måling.

Den normaliserede feltkurve fremkommer ved at fraregne det primære magnetfelts svækkelse bort fra kablet.

Svækkelsen er omvendt proportional med radius.

spændingsforskellen fra punkt til punkt (spændingsforskellen af den af magnetfeltet inducerede strøm i spolerne), og ved succesiv subtraktion fra punkt til punkt udregnes værdierne for profilkurven.

På kort 4 (bilag 4) er optegnet nogle af de vigtigste anomalier, der ud fra borehuller og blotninger er henført til en bestemt lithologi.

Af ledende bjergarter i Grimsdalen findes to principielt forskellige: massiv sulfid malm og grafit skifer. Det er ikke muligt ud fra geofysiske metoder alene at bestemme, fra hvilken bjergart anomalien stammer. Men kan man ud fra overflade blotninger og borehuls oplysninger bestemme anomaliårsagen, vil det på det geologiske kort være muligt at trække grænser hen over dækkede områder. En sådan grænsetrækning er udført f. eks. fra Tverrlisæter ned over Grimsi, hvor pyrititens beliggenhed er velkendt ved Tverrlisæter, hvor den som tidligere beskrevet ligger i den basiske grønskifer lige under metakvartskeratophyren. Grænsen mellem de to sidstnævnte bjergarter er således udtegnet efter anomalikortet (kort 4, bilag 4), idet, som det fremgår af kort 2 (bilag 2), der ingen blotninger findes nede omkring Grimsa på dette sted.

#### CP-målinger.

CP står for charged potential, opladet potential, og er en målemetode, hvorved man ligesom ved SP (selv potential) måler potentialeforskelle på terrænoverfladen. Målingerne foretages med et voltmeter, hvorpå man måler spændingsforskellen mellem to elektroder, der er stukket ned i jorden. Men til forskel fra SP målingerne, hvor man blot måler bjergartens selvpotential, måler man med CP målingerne et malmlegemes potentialefelt, når dette malmlegeme er tilsluttet en strøm.

Denne metode er specielt brugbar, når man vil følge et malmlegeme op, som allerede er kendt f. eks. fra en boring. Man sænker da en elektrode ned til den påtrufne malm, slutter strøm til og måler malmens potentialefelt på overfladen.



I Grimsdalen er der udført CP-målinger ved Tverrlisæter, hvor malmen blev tilsluttet en strøm i Bh 189 ( se kort 4, bilag 4) og V for Tverrbekken i Bh. 195.

På fig. 62 er en CP anomali sammenstillet med turam anomalien fra området NV for Tverrlisæter, og der ses her at være en god overensstemmelse mellem de to forskellige geofysiske målingers anomalier.

## DISKUSSION.

Metamorfe facies og foldefaser.

Bjergarterne i Grimsdalen har været udsat for mindst to metamorfe påvirkninger, og området må derfor betegnes som polymetamorft. Karakteren af metamorfose skal henføres til den regionale metamorfose, der har påvirket de norske Caledonider. Den typiske facies serie for denne er "Barovian-Type Facies Serie" (Winkler, 1967).

Samtidig med  $F_1$  foldningen optræder muscovit og biotit som schistositetsdannende mineraler i granat-biotit glimmer-skiferen, mens staurolit, kyanit og granat forekommer som porfyroblaster. Disse mineraler placerer bjergarten i nederste og mellemste amphibolit facies (B 2.1 og 2.2 i almandin amphibolit facies, Turner & Verhoogen, 1960). Tilstedeværelsen af staurolit kan give en vejledende temperaturbestemmelse for metamorfosen, idet staurolit dannes ved ca.  $540^{\circ}\text{C}$  ved 4 kbar (Winkler, 1967). Den senere pseudomorfose af staurolit og granat kan enten tilskrives en retrograd metamorfose eller en senere remetamorfose i grønskiifer facies, der resulterer i, at granat omdannes til klorit og staurolit til en sericitisk glimmer.

Metakonglomeratet ved top 1321 viser i de kvarts-feldspatrige partier, at muscovit har været under nedbrydning og omdannelse til orthoklas og andalusit. Denne omdannelse kan foregå fra  $600^{\circ}\text{C}$  ved 1 kbar vandtryk stigende  $30^{\circ}\text{C}$  for hver kbar vandtryks forøgelse (Winkler, 1967). Hvis man antager, at den mindre pegmatitdannelse, som optræder samme steds, repræsenterer en begyndende anatexis, må man regne med en maksimum temperatur på omkring  $650^{\circ}$ .



Folla Gruppens bjergarter består hovedsagligt af grønskifre (metavulkaniter), og der er blandt disse ingen mulighed for at finde mineralparageneser, der kan henføres til de typiske temperatur bestemte reaktioner. Hornblende er et af de mest hyppige mineraler i grønskifer bjergarterne. Det er almindeligt forekommende i alle de højere metamorfe facies og markerer en nedre facies grænse mellem højeste og mellemste grønskifer facies (Winkler, 1967). Hornblende danner schistositeterne tilknyttet  $F_1$  foldningen ( $s_1$  og  $s_2$ ). Denne foldning må da være foregået under metamorfe betingelser, der kan henføres til øvre del af grønskifer facies og amfibolit facies.

Tilstedeværelsen af andesin ( $An > 30\%$ ) i enkelte amfibolit bjergarter og andesin bevaret som porfyrokorn (kataklaster) i en  $F_1$  lukning viser, at  $F_1$  foldningen må være sket i amfibolit facies, idet  $An > 15\%$  henføres til almandin amfibolit facies (Turner & Verhoogen, 1960). Et andet typisk amfibolit facies mineral er almandin, der forekommer sammen med hornblende især i den basiske grønskifer. Det vil herefter være muligt at opskrive mineralparagenesen for grønskiferen under  $F_1$  deformationens påvirkning: hornblende-plagioklas-almandin, der svarer til højeste almandin amfibolit facies (B 2.3, Winkler, 1967). Desuden må tilføjes, at rutil er fundet i forbindelse med en udvalset isoklinal  $F_1$  fold, hvilket tillige tyder på højeste amfibolit facies. Det må herefter fastslås, at  $F_1$  foldningen såvel i Gula Gruppen som i Folla Gruppens bjergarter er foregået under amfibolit facies betingelser.

Den mest påfaldende metamorfe omdannelse, der er sket under  $F_2$  deformationen, er dannelsen af albit. Dette mineral er et af hovedmineralerne i Folla Gruppens bjergarter. Når det tillige forekommer sammen med klorit og epidot, kan det medvir-

ke til at give bjergarterne et generelt grønskifer facies præg.

Klorit forekommer ofte som pseudomorfose efter granat, biotit og hornblende. Denne pseudomorfose kan eventuelt henføres til en retrograd metamorfose i forbindelse med  $F_1$  foldningens metamorfose. Men når klorit optræder som  $s_3$  schistositeter i  $F_2$  folderne aksialplan, må denne kloritdannelse entydigt henføres til  $F_2$  foldningen.

Det er vanskeligt præcist at indkredse, hvor i grønskifer facies  $F_2$  deformationens metamorfose er foregået. Dog kan forekomsten af aktinolit i metagabbroen samt nydannede titanitkorn i  $s_3$  planerne pege på følgende paragenese: klorit-aktinolit-albit-epidot-titanit, svarende til mellemste grønskifer facies (B 1.2, Winkler, 1967), hvor man må regne med en temperatur på op til omkring  $400^{\circ}\text{C}$ .

Det må herefter konkluderes, at  $F_1$  foldningen fandt sted under amfibolit facies betingelser og overpræges af  $F_2$  foldningen, der foregik i grønskifer facies.

### Tektonik.

Hvis man vil danne sig et billede af  $F_1$  foldningen, må man prøve at forestille sig en simpel udfoldning af strukturerne til en position før  $F_2$  foldningen. En sådan udfoldning vil resultere i, at  $F_1$  akserne kommer til at ligge horisontalt med  $F_1$  foldeflanker, der vil være horisontale eller hælde  $5^{\circ}$  -  $15^{\circ}$  mod vest.  $F_1$  foldningen må betragtes som en tidlig og meget intensiv foldefase. Under deformationen har bjergarterne været påvirket af amfibolit facies metamorfose, og de liggende folder må være resultatet af store overskydnings-



bevægelser under en vest-østlig sammenpresning (vinkelret på  $F_1$  foldeakseretningen). Det vil dog ikke være muligt at danne et samlet billede af  $F_1$  strukturerne uden en dybtgående strukturel kartering af områderne mod SV og NØ. (En foreløbig undersøgelse af området mod NØ, Folldals området, tyder på, at der ligger en større  $F_1$  lukning i Kakkeldalen, men forholdene er endnu ikke tilfredsstillende klarlagt).

Dannelsen af  $F_2$  folderne kan betragtes på følgende måde: Hvis man går ud fra, at den upåvirkede  $F_1$  foldeakse har retningen NV/N, må man antage, at  $F_1$  foldens flanker stryger  $135^\circ - 180^\circ$  med en hældning  $5^\circ - 15^\circ$  mod SV/V. Hvis man derpå forestiller sig en overskydning af Gula Gruppen fra NV mod SØ hen over Folla Gruppens liggende  $F_1$  folder langs overskydningsplanet defineret ved foldeaksekoncentrationen på diagram 2, kort 5 (bilag 5), vil man se, at skæringen mellem  $F_1$  foldeflankerne og overskydningsplanet svarer til  $F_2$  aksernes retning (se fig. 53). Det må derfor være rimeligt at antage, at  $F_2$  folderne er skabt under overskydningen. Således må  $F_2$  foldefasen og overskydningen mellem Gula og Folla Grupper tilhøre samme kinematiske fase (deformationsfase  $D_2$ ).

Det er herefter muligt at opsummere deformationspåvirkningerne i følgende skema:

| Deformationsfase | foldning                                 | schistositet og lineation                                                                 | metamorfose          | andre deformationer                                               |
|------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|-------------------------------------------------------------------|
| $D_1$            | $F_1$<br>isoklinale<br>liggende          | $s_1$ biotit<br>hornblende<br>titanit<br>$s_2$ muscovit<br>hornblende<br>$l_1$ hornblende | amfibolit<br>facies  | forskydninger<br>langs $F_1$ folde-<br>deflanker<br><br>boudinage |
| $D_2$            | $F_2$<br>overkippede<br>tætte -<br>sætte | $s_3$ klorit<br>crenulation<br>cleavage                                                   | grønskifer<br>facies | overskydning<br>af Gula over<br>Folla G.                          |
| $D_3$            |                                          |                                                                                           |                      | forkastninger                                                     |

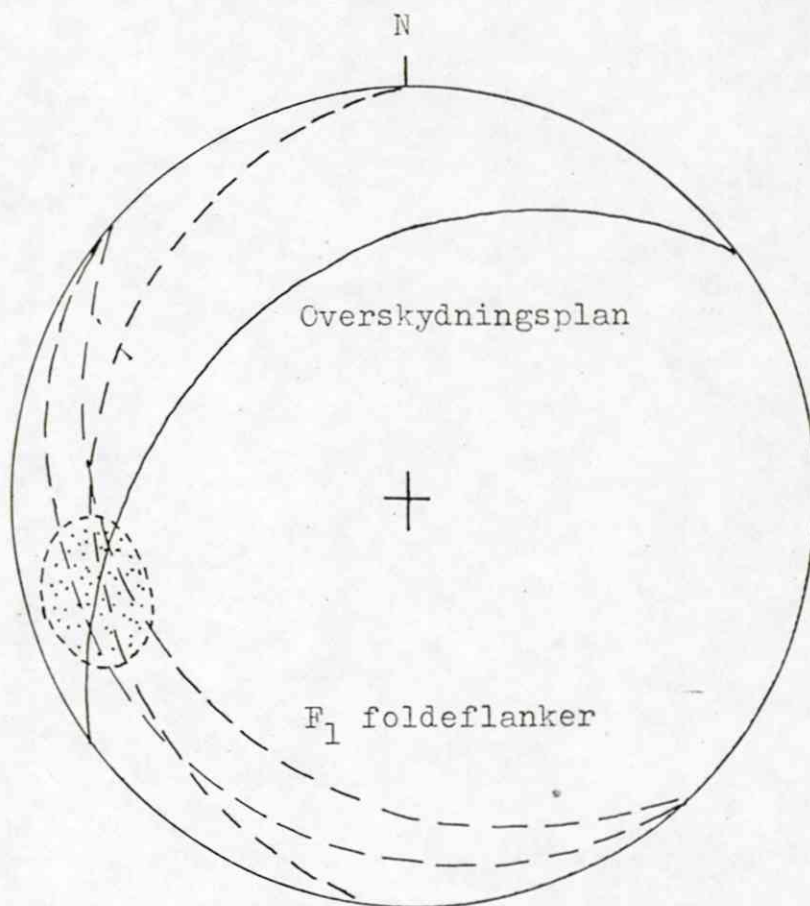


Fig. 53. Wulff net konstruktion af interferens mellem  $F_1$  foldeflankerne og overskydningszonen.

$F_1$  foldeflankerne er repræsenteret ved følgende planer:  $180^\circ/15^\circ V$ ,  $135^\circ/10^\circ SV$  og  $20^\circ SV$ . Overskydningen er repræsenteret ved planet  $50^\circ/30^\circ NV$ .

Interferensen mellem de to strukturer er angivet ved det prikkede areal, der svarer til den dominerende  $F_2$  akse orientering i Folla Gruppen, se f.eks. diagrammerne 5, 7 og 8 kort 5 (bilag 5).

Overskydningen af Gula Gruppe må man herefter forestille sig som en allerede foldet lagpakke, der fra N/NV forskydes mod S/SØ. Under overskydningen genereres  $F_2$  folder med akse-retninger mod VSV i Folla Gruppen og SV-NC i Gula Gruppen (se fig. 54).



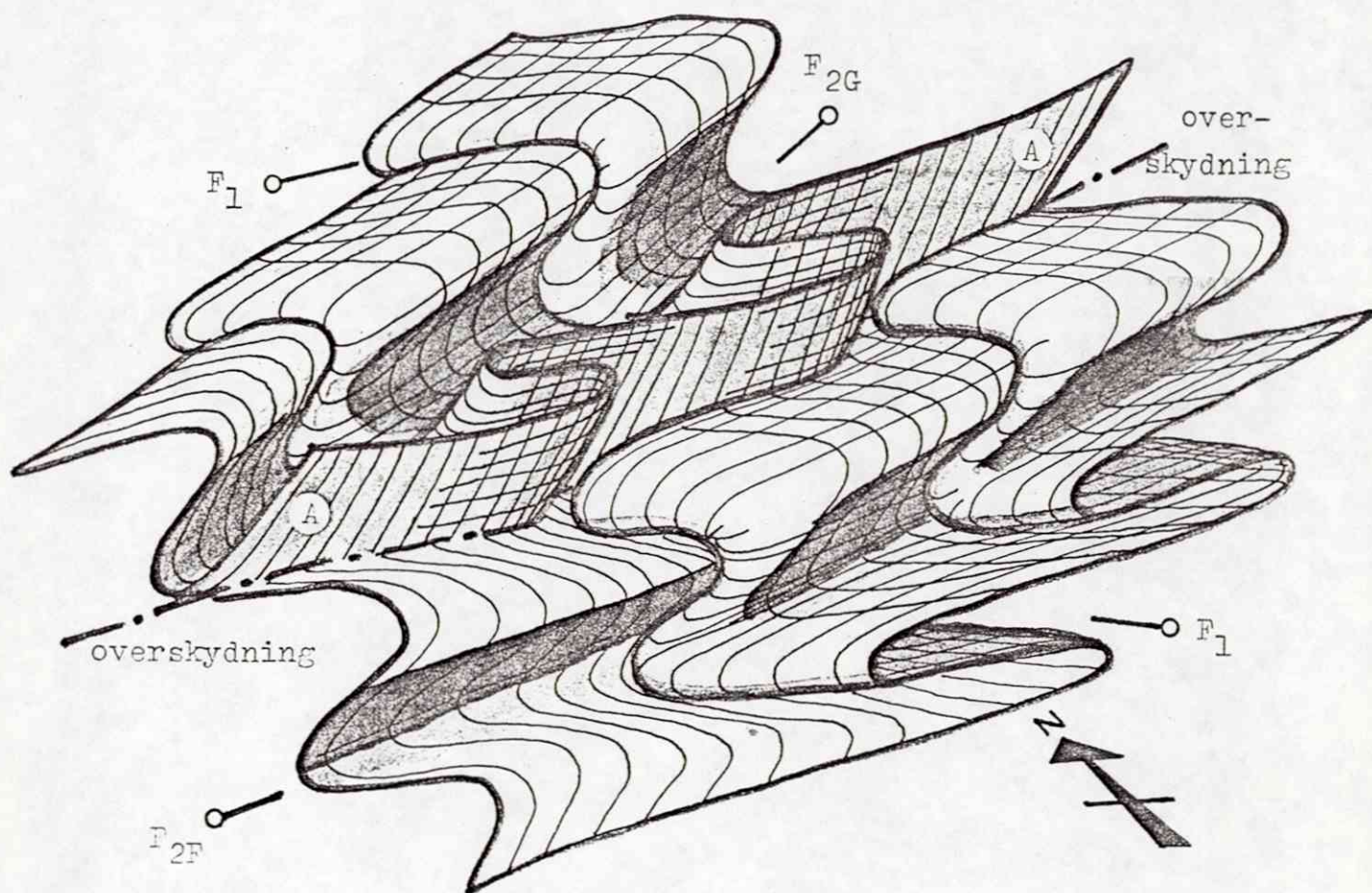


Fig. 54. Tektonisk model af  $D_2$  deformationens strukturer.

$F_1$ :  $F_1$  akseretning.

$F_{2G}$ :  $F_2$  akseretning i bjergarterne N for overskydningen.

$F_{2F}$ :  $F_2$  akseretning i Folla Gruppen S for overskydningen.

A: Overskydningsflade.

Rekognoscerende undersøgelser af foldeakse orienteringen inde i sparagmiterne tyder på, at Folla Gruppen tillige under samme deformations påvirkning er skudt ind over sparagmiterne, idet foldeakserne her viser en øst-vestlig orientering. Der kan herefter opstilles følgende hypotese vedrørende  $D_2$  deformationen: Folla Gruppen er først skudt ind over sparagmiterne, hvorefter Gula Gruppen er skudt ind over Folla Gruppen.

I klart vejr kan man fra Pighetta se ind over Rondane mod syd (se fig. 33), og mod nord ses Snøhetta i horisonten. Mod syd i Rondane ligger sparagmiterne forholdsvis flat med en generel hældning mod N (ca.  $20^{\circ}$ ). Mod nord består Snøhetta af sparagmiter med en generel stejlere hældning mod S (ca.  $50^{\circ}$  -  $60^{\circ}$ ). En umiddelbar antagelse ville være, at sparagmiterne fortsætter i en synform struktur under Folla og Gula Grupper fra Rondane nordpå til Snøhetta (se fig. 55). Folla Gruppen skulle herefter dukke op syd for Snøhetta, hvilket kunne svare til den grønskifer serie, hvori Tverrfjellets sulfidmalmsforekomst er beliggende. Strukturernes her står meget stejlt med en strygning ØNØ-VSV. Sulfidmalmsforekomsten ligger med samme lithostratigrafiske lagfølge som pyritit horisonten i Grimsdalen, nemlig pyritit øverst i en serie basiske grønskifre overlejret af en metakvartskeratophyr med en derpå følgende sericitisk grønskifer til glimmerskifer. Denne bjergarts serie har lige som grønskifrene i Grimsdalen været påvirket af to foldefaser (upubliceret rapport vedrørende strukturelle undersøgelser i Tverrfjellet, S. Schack Pedersen (1973)). Ved Tverrfjellet er foldernes orientering ØNØ-VSV med dyk varierende fra horisontalt til  $30^{\circ}$  mod øst.  $F_1$  akserne har samme generelle orientering (i forhold til  $F_2$  akse) som i Grimsdalen, men er kraftigere roteret ind mod parallelitet med  $F_2$  akse.

Det er således sandsynligt, at metavulkanit serien, Folla Gruppen, er en sammenhængende nappeenhed, der ligger oven på sparagmiterne i en synform struktur rækkende fra Tverrfjellet i nord til Grimsdalen i syd. En følge heraf må være, at Gula Gruppe er den øverste nappeenhed i området mellem Hjerkin og Grimsdalen.

Denne opfattelse stemmer ikke overens med den antiklino-



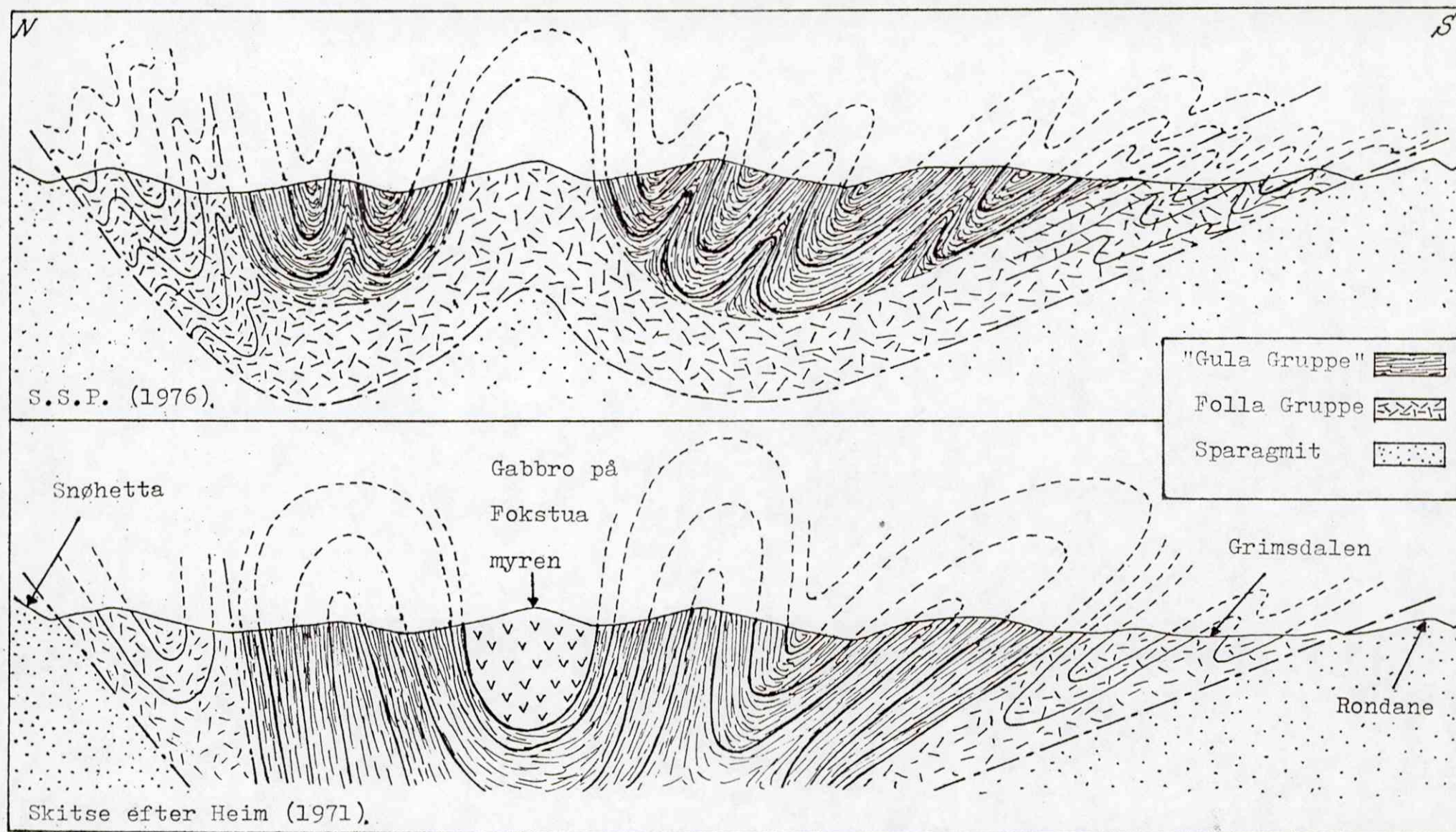


Fig. 55. To tektoniske modeller for bjergartsenhedernes placering i det sydlige Trondheimsfelt.

rium hypotese, som blev fremsat af Heim (1971). Heims model går ud fra, at Gula Gruppen udgør en nedre nappeenhed med Folla Gruppens bjergarter liggende i synformer (synformgrøfter) nord og syd for antiklinoriet (se fig. 55).

På baggrund af den her opstillede overskydningsmodel ville man med god tilnærmelse kunne korrelere den stratigrafiske inddeling for Sel-Vågå området (Strand, 1951 og 1964) til bjergarterne i Grimsdals området. Den nederste enhed i Sel-Vågå er Heidal Serien, der i Grimsdalen kunne svare til Grimsa og Ørnø Grupperne (Heim, 1971). Grimsa Gruppen er på kort 1 (bilag 1) repræsenteret ved kvartsitterne ved Tollelevshaug søer, der er intruderet af peridotitterne Tollelevshaug Kyrka og Streitkampen (m.fl.). Over Heidal Serien følger Grønstens Serien svarende til Folla Gruppen i Grimsdalen. I den overskudte enhed over Folla Gruppen ligger nederst en marmorhorisont og et grønstens konglomerat. Grønstens konglomeratet ville svare til Sel-Vågå områdets grønstens konglomerat, der her ligger øverst i Grønstens Serien.

Efter tektonisk inddeling ville bjergarterne oven for overskydningszonen mellem sparagmitterne og Folla Gruppen tilhøre Otta nappen (Strand, 1951 og 1964). I Grimsdals området er denne nappeenhed opsplittet i to mindre enheder: en nedre enhed fortrinsvis bestående af grønskeer og en øvre overskydning bestående af glimmerskeer (se fig. 55).

Hermed ville glimmerskeifrene beskrevet som Gula Gruppe være identiske med Sel Glimmerskeifrene. De vil da repræsentere de yngste bjergarter i området og kan da ikke korreleres med Gula Gruppen, der er betegnelsen for den nederste stratigrafiske enhed i Trondheimsfeltet (Vogt, 1945, Oftedahl, 1974, se tabel 1).



### Pyritit horisontens primære dannelse.

De lagbundne sulfidforekomster i Grimsdals området og tilstødende områder (Folldal og Hjerkin) tilhører en stor gruppe af sulfidmalms forekomster, der er kendt fra palaeo-iske aflejringer, som har gennemgået intensiv orogenese. Blandt disse forekomster skal først nævnes de norske, der forekommer i hele det kaledonske bælte, senest beskrevet af Vokes (1976). Hertil hører også et par svenske forekomster behandlet af Zachrisson (1971) og Juve (1974). Det er endvidere muligt at sammenligne med Rammelsberg og Meggen i Tyskland, forekomster tilknyttet Appalachierne i Nord Amerika, Ural i USSR, Tasmanien Australien og Sanbagawa malmene i Japan (Tatsumi et al., 1970).

Pyritit horisonten i Grimsdalen er beliggende øverst i en serie basiske metavulkaniter overlejret af en metakvartskeratophyr. Herpå følger en serie metavulkaniter af mere intermediær sammensætning mellemlejret med metasedimenter som grafitglimmerskifer og carbonatbåndede glimmerskifer. Øverst i denne serie findes glimmerskifer og kvartsiter, der går over i kvartsitbåndede glimmerskifer.

Det må heraf slutes, at dannelsen af pyrititen er sket på havbunden omkring et aktivt vulkansk center. Den initiale vulkanisme har været basisk og kan have bestået af såvel tuffiter som lava. Indslag af metagabbro i grønskifrene kan således svare til udbrudscentrenes tilførselskanaler eller mindre magmalommer.

Efter den initiale vulkanisme har den vulkanske aktivitet været relativt lille, mens der i magmakammeret er sket en afkøling med dertil hørende krystallisation og magmatisk fraktionering. En sådan fraktionering vil resultere i en koncentration af en hydrothermal fase, der fra toppen af magmakammeret vil diffundere bort langs sprækker og revner (exhalativ fase).

Den exhalative periode efterfølges af en extrusiv vulkanisme med afsættelsen af sure bjergarter som kvartskeratophyr svarende til, at magmakammeret har differentieret en sur fase ud af magmasmelten. Den vulkanske aktivitet afsluttes med afsætningen af en spilitisk vulkanit repræsenteret ved den sericitiske grønskifer.

Under den exhalative fase dannes pyritit horisonten ud fra hydrothermale væsker og gasser, der stiger op til havbunden, og hvorfra der udfældes jern sulfider sammen med sulfider af tungmetaller som Cu, Zn og Pb. Den magmatisk exhalative oprindelse af pyrititen understøttes geokemisk af forekomsten af grundstoffet Te, der ikke forekommer i målelige koncentrationer i sedimentære bjergarter (Sindeeva, 1964)).



### Pyritit horisontens opførsel under deformationerne.

Der er ikke i Grimsdalen fundet tegn på, at sulfiderne primært er dannet ved udfældning ved almindelige temperaturer i havvand. Således findes ingen gelstrukturer eller framboid strukturer i malmen. Alle de strukturer, der findes i de forskellige malmtyper, er tilknyttet forskellige metamorfe stadier.

Det tidligste trin, man kan konstatere, er pyrit 1 ( $py_1$ ). Disse pyritkorn, der er sammenvokset og rekrystalliseret til større pyritkorn ( $py_2$ ), må henføres til at være af tidlig metamorf (evnt. sen-diagenetisk) oprindelse. De repræsenterer således det første stadium i en fremadskridende metamorfose af pyrititen.  $Py_1$  har eksisteret sammen med en pyrrhotit ( $po_1$ ), som er bevaret som inklusioner, der følger  $py_1$  korngrænser i  $py_2$ . Omdannelsen af pyrrhotit til pyrit vil kræve et relativt højt svovltryk (ved  $300^\circ \text{C}$   $fS_2$  større end  $10^{+10}$  atm., se fig. 56).

Andre stratiforme sulfidforekomster, f. eks. den tyske forekomst Meggen og kuroko malmene i Japan, optræder altid i forbindelse med gips eller anhydrit og baryt. Det kan næppe udelukkes, at pyritit horisonten primært var ledsaget af  $CaSO_4$ , der under metamorfosen afgav S under samtidig dannelse af andre Ca-holdige mineraler, f.eks.  $CaCO_3$  (se fig. 57). Calcit findes næsten overalt i pyrititen.

Under stigende metamorfose vil pyrit omdannes til pyrrhotit (Vokes, 1969). Dannelsen af pyrrhotit 2 ( $po_2$ ) kan ses som en følge af stigende metamorfose og dermed stigende temperatur. (Barton (1970) fremfører, at sulfid reaktioner så godt som ikke er afhængige af trykket, hvilket vil sige dybden, hvorimod partialtrykket af de enkelte gaskomponenter

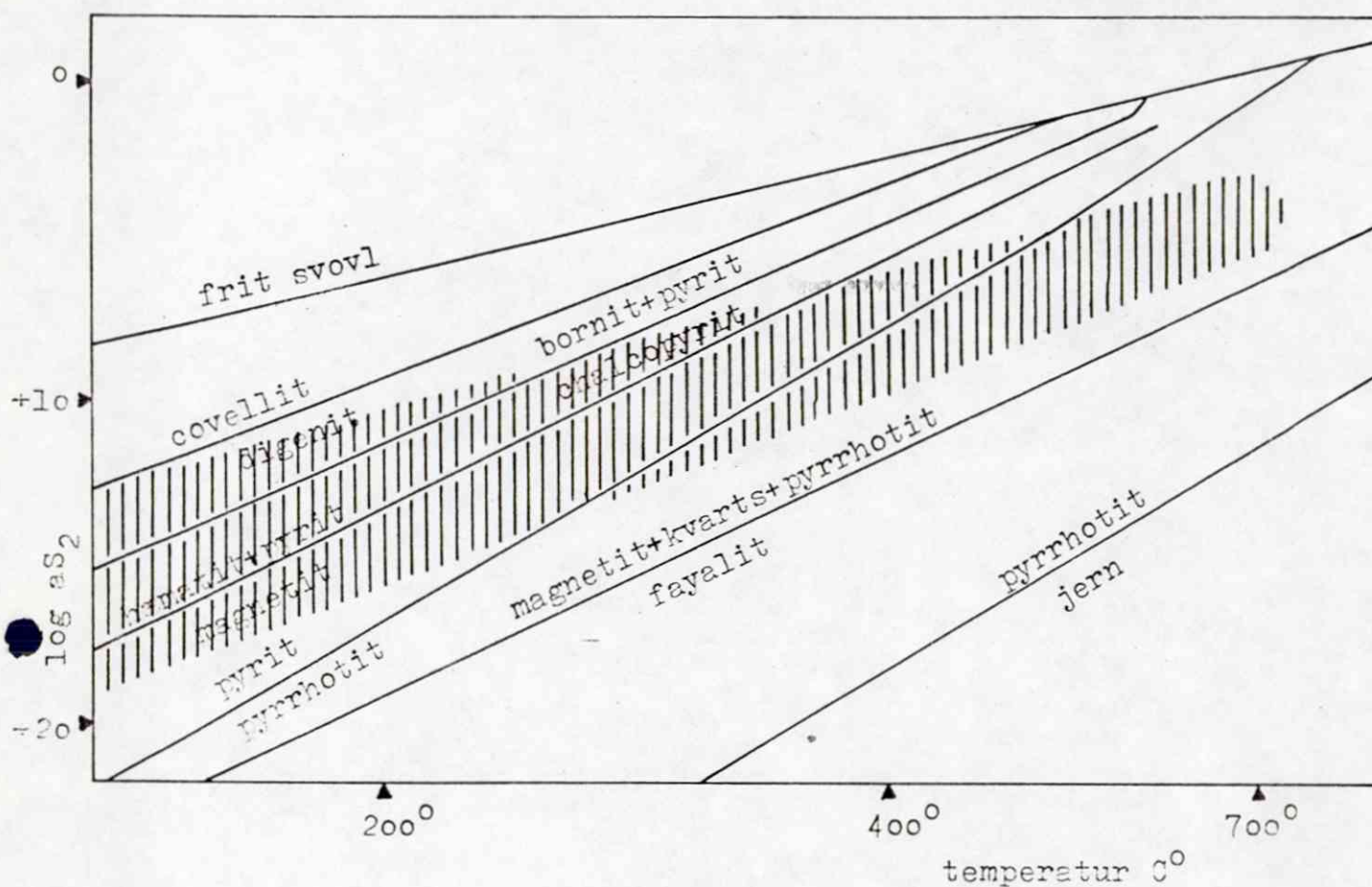
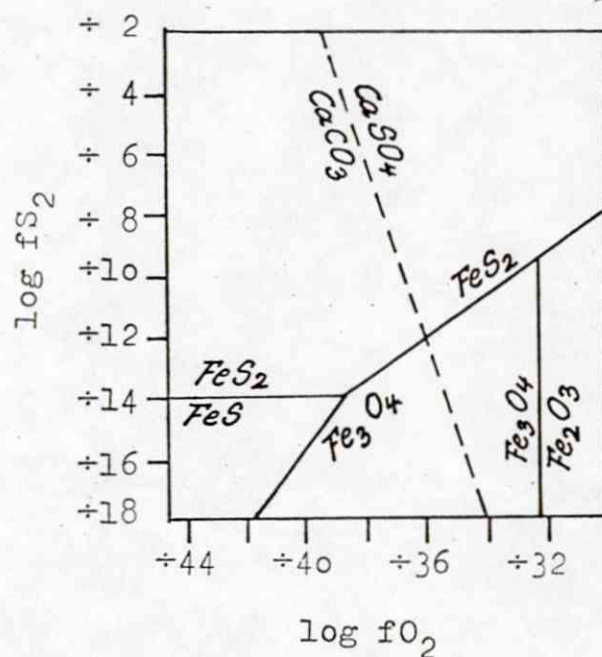


Fig. 56. Mineral stabilitets felter i svovltryk-temperatur diagram (efter Barton, 1970).

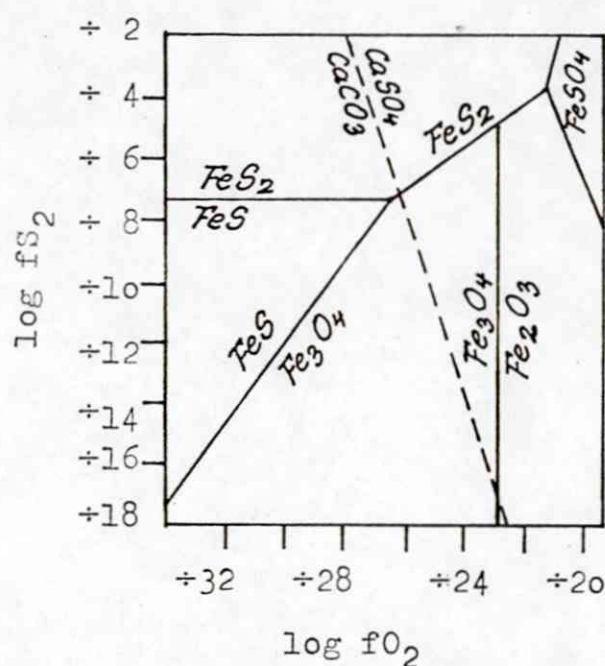
Det skraverede areal angiver "main line ore-forming environment".

Som mål for svovlets aktivitet vælger Barton dets damptryk, angivet ved  $f_{S_2}$ , dvs. fugaciteten af det diatomige svovl i gasform. Det må dog bemærkes, at størrelsen af den brøkdel af det totale svovl i dampform, der forekommer som  $S_2$  vil afhænge af både temperatur og (ydre) tryk.





$T = 250^{\circ} \text{C}$   
 $f_{\text{CO}_2} = 10^{-2} \text{ atm.}$



$T = 400^{\circ} \text{C}$   
 $f_{\text{CO}_2} = 1 \text{ atm.}$

Fig. 57. Mineral ligevægts diagrammer i relation til fugaciteten ( $f$ ) af  $\text{S}_2$ ,  $\text{O}_2$  og  $\text{CO}_2$  ved  $250^{\circ} \text{C}$  og  $400^{\circ} \text{C}$  ( efter Holland, 1965).

(Teksten til figuren fortsætter på næste side).

(Tekst til figur 57, fortsat).

Af figuren fremgår, at ved  $400^{\circ}\text{C}$  kan magnetit, pyrit og pyrrhotit samtidig forekomme som stabile faser (ved  $f\text{O}_2 = 10^{-26,5}$  atm.,  $f\text{S}_2 = 10^{-7,5}$  atm. for  $f\text{CO}_2 = 1$  atm.). Med stigende  $f\text{S}_2$  og konstant  $f\text{O}_2$  aftager stabiliteten af magnetit. Samtidig stiger stabiliteten af pyrit i forhold til pyrrhotit. Ved stigende  $f\text{O}_2$  og konstant  $f\text{S}_2$  stiger stabiliteten af magnetit, mens stabiliteten af pyrit og pyrrhotit falder. Der kan derfor findes områder, hvor pyrrhotit og pyrit er stabile, men magnetit ustabil, samt områder, hvor magnetit er stabil og pyrit og pyrrhotit ustabile. Stiger både  $f\text{O}_2$  og  $f\text{S}_2$  kan der findes områder, hvor både pyrit og magnetit er stabile, men pyrrhotit ustabil.

Ved sammenligning mellem de to diagrammer ses, at ved stigende temperatur, men konstant  $f\text{O}_2$  og  $f\text{S}_2$  stiger stabiliteten af pyrrhotit i forhold til pyrit og magnetit, og stabiliteten af anhydrit falder, mens stabiliteten af calcit stiger.

Det skal bemærkes, at mindre ændringer af  $f\text{CO}_2$  i de her betragtede systemer ikke har større betydning for stabilitetsfelternes beliggenhed.



( $O_2$ ,  $S_2$  og  $CO_2$ ) er afgørende).  $PO_2$  vokser konvekst ind i  $py_2$  (se fig. 24), og samtidig er der en tendens til, at  $po_2$  bliver orienteret under  $D_1$  deformationen. På fig. 56 er denne udvikling markeret i relation til temperatur og  $S_2$  fugacitet.

Magnetitidioblasternes tilstedekomst i magnetit-pyrrhotit-pyrit malmen repræsenterer et nyt trin i den metamorfe udvikling. Dette trin behøver ikke nødvendigvis at være tilknyttet temperaturforandringer, men kan i lige så høj grad tilskrives forandringer i  $O_2$  og  $S_2$  fugaciteterne. Da pyrit ikke omdannes under magnetit blastesen, må det betyde, at  $S_2$  fugaciteten er relativt stabil (se fig. 57), men  $O_2$  fugaciteten er stigende. Dette kan forklares ved, at der under  $F_1$  foldningen dannes cleavage planer i pyrititen, der tillader diffusion igennem bjergarten og tilførsel af  $O_2$ . Dette svarer nøje til, at magnetiten danner foliation i bjergarten.

Samtidig med magnetit dannelsen kan man da tænke sig, at let mobiliserbare sulfider som sphalerit og galena diffunderer bort fra magnetit-pyrit malmen tillige med svovl og afsættes i fælder, i.e. parasitfoldelukninger, hvor pyrititen ligger internt i metakvartskeratophyren, samtidig med at pyrit rekrystalliserer ( $py_3$ ). Metakvartskeratophyren er en sur bjergart, der vil afspærre sulfiderne.

Indeslutninger i pyrit af chalcopyrit med afblandingslameller af cubanit er fundet i sphalerit-pyrit malmen. Cubanit er et lavtemperaturmineral, som ikke er stabilt over  $200^\circ C$  (Cabri, 1973). Dannelsen af cubanit må derfor være sket ved en afblanding fra chalcopyrit under faldende temperatur. Dette betyder, at chalcopyrit i indeslutningen ved højere temperatur havde en sammensætning forskellig fra den nu eksisterende. Man må derfor antage, at under

| mineral                               | volumen % | atom % |      |      |
|---------------------------------------|-----------|--------|------|------|
|                                       |           | Cu %   | Fe % | S %  |
| cubanit ( $\text{CuFe}_2\text{S}_3$ ) | 39        | 8      | 16   | 25   |
| chalcopyrit ( $\text{CuFeS}_2$ )      | 61        | 13     | 13   | 25   |
| iss.                                  | 100       | 21     | 29   | 50   |
| cubanit                               | 26        | 6,3    | 12,7 | 19,0 |
| chalcopyrit                           | 51        | 12,7   | 12,7 | 25,7 |
| pyrrhotit ( $\text{FeS}$ )            | 23        | 0      | 5,6  | 5,6  |
| iss.                                  | 100       | 19,0   | 31,0 | 50,0 |

Tabel 3. Beregning af "intermediate solid solution", iss. sammensætningen ud fra indeslutninger af chalcopyrit, cubanit og pyrrhotit.

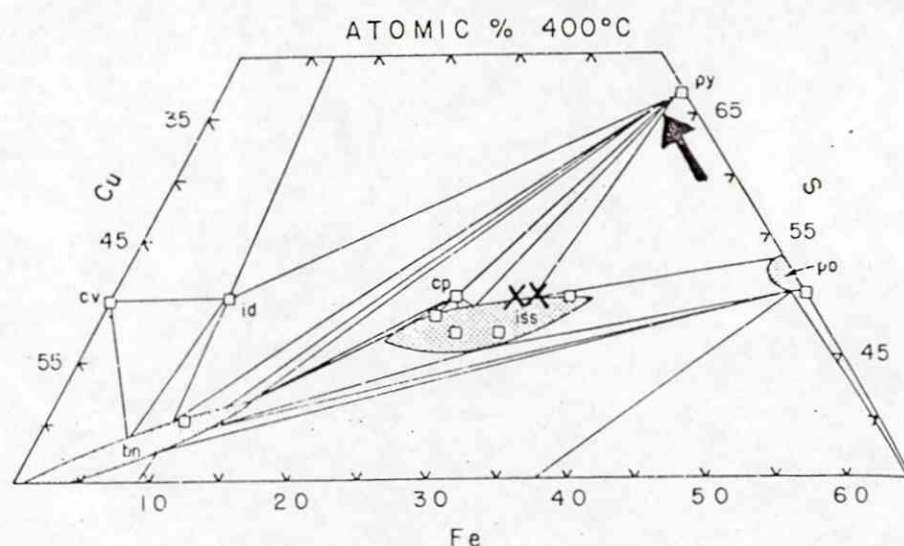


Fig. 58. Skematiske fase relationer i den centrale del af Cu-Fe-S systemet ved 400° C (efter Craig & Scott, 1974). De to kryds angiver sammensætningen af iss. beregnet ud fra indeslutningerne. Pilen angiver en mulig bevægelse mod et mineralfelt uden pyrrhotit.



højere temperaturer var der en "intermediate solid solution" (iss., Kullerud, 1969) tilstede, der havde en ligevægtssammensætning svarende til den temperatur, hvorunder indeslutningen blev fanget af den omliggende pyrit.

Ud fra skøn over volumenet af de enkelte mineraler i indeslutningen kan sammensætningen af iss. beregnes (se tabel 3). Disse værdier kan sammenlignes med sammensætningen af iss. fasen tilhørende relevante mineralparageneser ved forskellige temperaturer (se fig. 58). Heraf ses, at den beregnede sammensætning svarer til en dannelses temperatur på omkring  $400^{\circ}$  C. Dette ville stemme overens med, at malmen blev koncentreret under  $F_1$  foldningen og den hermed forbundne høj-temperatur metamorfose.

Man kan dog ikke på baggrund af kun to indeslutninger fremføre noget bevis for denne slutning. Men metoden bør ved fremtidige undersøgelser søges udnyttet til at få et skøn over den temperatur, hvorunder en bestemt malmdannelse er sket.

Blandt andre indeslutninger, der kan give oplysninger om malmdannelses temperaturen, er hessit i galena. Den dråbeform, med hvilken hessit optræder i galena (se fig. 30), er ikke ulig de strukturer, man ser, når saltvand er indesluttet i is. Dette tolkes som, at hessit var flydende, da det udskiltes fra galena. Man må forestille sig, at Ag og Te primært blev afsat i beskeden mængde samtidig med dannelsen af og inkluderet i PbS. Herved er Ag og Te indeholdt i galena, indtil sølvtellurid under metamorfosen fraktioneres. Forudsætningen for en flydende fase af Ag-Te er temperaturer over  $353^{\circ}$  C (Kracek, Ksanda & Cabri, 1966). Hessit dannes ved en temperatur på ca.  $460^{\circ}$  C, og en flydende fase af hessit vil således stemme overens med et temperaturregi svarende til nederste del af amfibolit facies. Det vil her ud fra

være rimeligt at antage, at hessit blev udskilt og dannet under  $F_1$  foldningen. Ved høje temperaturer krystalliserer hessit kubisk, men under afkøling overgår det til en orthorhombisk form ved  $145^{\circ}\text{C}$ . (Kracek, Ksanda & Cabri, 1966). Det er denne stærkt anisotrope hessit, som findes i sphalerit-pyrit malmen. Hessiten indeholder ofte talrige tvillingslameller, der kunne skyldes overgangen fra den kubiske til den orthorhombiske fase.

Under  $F_2$  deformationen sker der en kataklastisk deformation af pyrititen. Denne deformation er ikke gennemgribende, da den f. eks. ikke har deformeret pyrititen fra Grimsdals Gruva i samme omfang som pyrititen fra Bh. 222. Dette er en naturlig konsekvens af, at Bh. 222 ligger få hundrede meter fra overskydningszonen og samtidig er påvirket af slæb-ombøjningen langs Messter forkastningen. Deformationen har gennemgående givet pyrititen en kataklastisk tekstur. Pyritkornene er blevet opsprækkede og elongerede, magnetitkornene er blevet afrundede, og sphalerit er diffunderet ind mellem pyritkornene og i de nydannede sprækker. De metamorfe omdannelser tilknyttet denne deformation omfatter dannelsen af den rene magnetit-pyrit malm, hvor pyrrhotit kun er bevaret i pyritaggregater. Den øvrige pyrrhotit kan under  $F_2$  deformationen være omdannet til  $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{FeS}_2$  ved under faldende temperatur at reagere med  $\text{O}_2$  (og S), der er tilført ved diffusion langs cleavage planerne (sml. fig. 57). I overensstemmelse med en lavere temperatur er der ikke tegn på, at der er sket en rekrySTALLISATION af de tidligere pyriter ( $\text{py}_2$  og  $\text{py}_3$ ).



Derimod forekommer en ny "pyrit fase",  $py_4$ , i  $py_3$  mellemrummene. Det er specielt i sphalerit-pyrit malmen, at denne interstitielle fase optræder, men den forekommer også enkelte steder i den kataklastiske magnetit-pyrit malm.  $Py_4$ -fasen er specielt karakteriseret ved at have en ca. 2 til 3 % lavere reflektivitet end  $py_2$  og  $py_3$ . Dertil kommer, at der næsten altid vokser markasitkrystaller zonart i den. Dette kunne være udtryk for, at  $py_4$  er metastabil og under omdannelse til markasit. Det ses f. eks. ud fra fig. 25, hvordan markasitkrystallerne er vokset i den interstitielle  $py_4$ . Man må her gå ud fra, at markasitkrystallisationen er sket med en krystalvækst indefra, der efterhånden som krystallisationen skrider frem giver plads udefter, hvorved større markasitkrystaller får rum til at dannes.

Det vil herefter være nærliggende at forbinde de to metamorfe hændelser med hinanden, den næsten fuldstændige forsvinden af  $po_2$  og dannelsen af  $py_4$  og markasit.

### Malmkoncentration i relation til foldning.

Feltundersøgelser af malmen ved Grimsdals Gruva viser, at malmen er koncentreret i isoklinale  $F_1$  folder, hvilket medfører, at malmen forekommer i kileformede malmlegemer med en spids vinkel på  $5^\circ$  og en profilhøjde på omkring 50 m. De kileformede malmlegemer genfindes i de fleste borehuller, hvor man har påtruffet malmen. Men afhængig af, om man træffer malmen tæt på ombøjningszonen eller ude på flankerne, finder man en større eller mindre afstand mellem de enkelte malmbånd.

Bh. 164, Bh. 165, Bh. 169, Bh. 193 og Bh. 195 er eksempler på, at malmen er påtruffet ude på de isoklinale flanker, mens Bh. 166, Bh. 189, Bh. 222 og Bh. 226 er eksempler på malmlegemer påtruffet tæt på ombøjningszonen (se kort 4, bilag 4).

Hvis man vil finde frem til malmens placering, må man altså udrede  $F_1$  foldernes forløb.  $F_1$  aksernes ombøjning om  $F_2$  akse vil med god tilnærmelse danne et storcirkelmønster. På diagram 8 (kort 5, bilag 5) ses et eksempel på en storcirkelfordeling fra området ved Tverrlisøter. Denne storcirkel vil definere et plan, som for malme koncentreret i  $F_1$  folderne, betegnes malmplanet (oreplane, Stauffer (1968), se fig. 59). Malmens retning vil da være givet ved skæringen af malmplanet og den fremherskende planare retning i området. På fig. 60 er hældning/strygninger fra område 8 kontureret, og den største koncentration giver et plan med orienteringen  $60^\circ/55^\circ$  NV. Skæringen af dette plan med malmplanet (se fig. 61) giver en malmakse på  $257^\circ$  o-  $23^\circ$ .

I borehul Bh. 189 er der påtruffet malm i en dybde, der omregnet til koordinater i det geofysiske net svarer til kote 900 m i punktet 2100 V, 400 N, se fig. 62. Dette punkt ligger indeh for område 8, Tverrlisøter (se kort 5, bilag 5). Den geo-



# Tektonisk model

af foldestrukturen ved Tverrlisøter

## Grimsdalen.

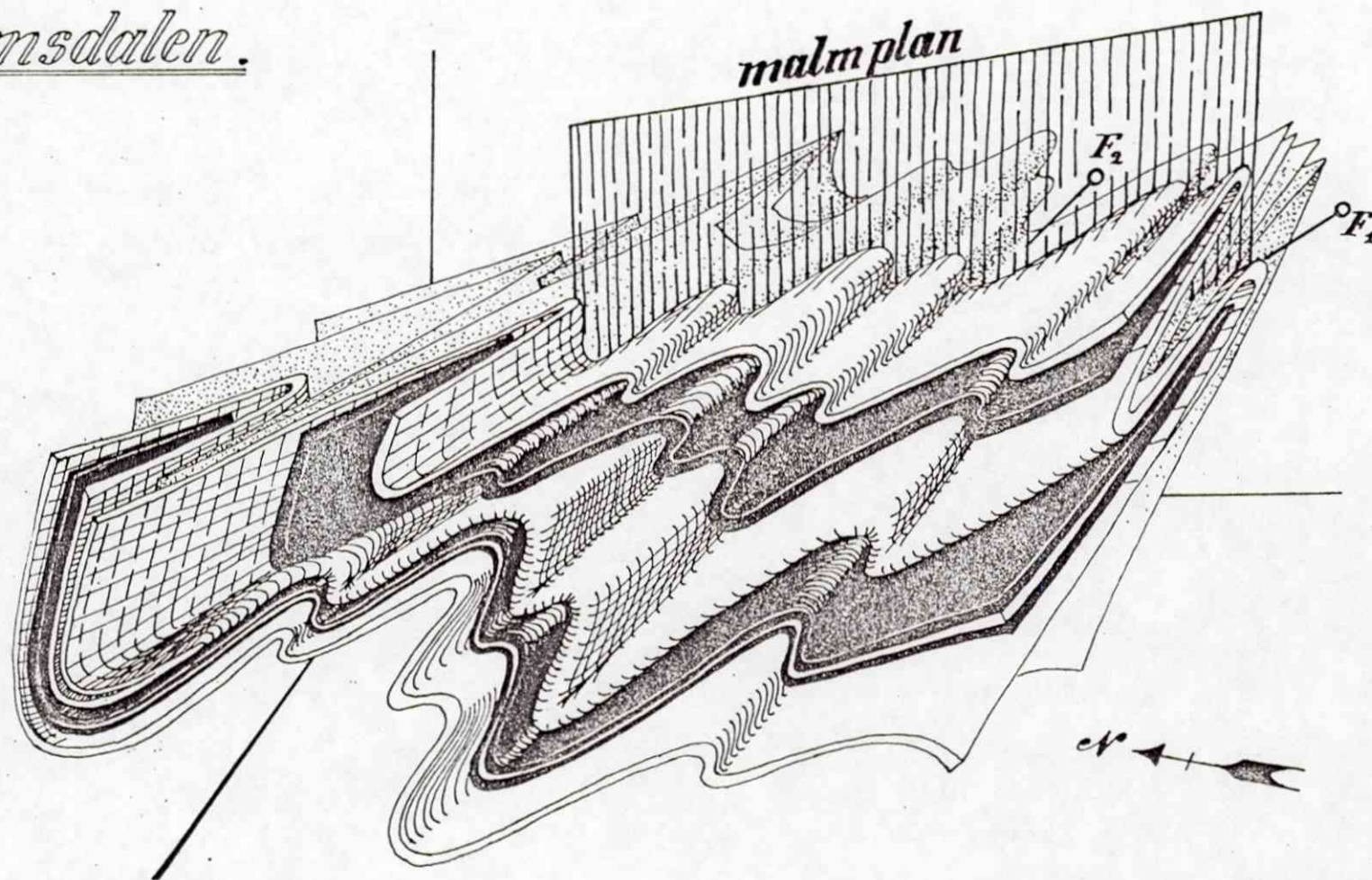


Fig. 59. Illustration af malmplan.

Malmplanet er defineret ved det plan, der indeholder  $F_1$  akserne. Malmplanet er her indlagt for "enden" af isoklinale  $F_1$  folder i metakvartskeratophyr.

-  : Metakvartskeratophyr.
-  : Malm i grønskeifer.
-  : Sericitisk grøn-glimmer-skeifer.

SSP  
76

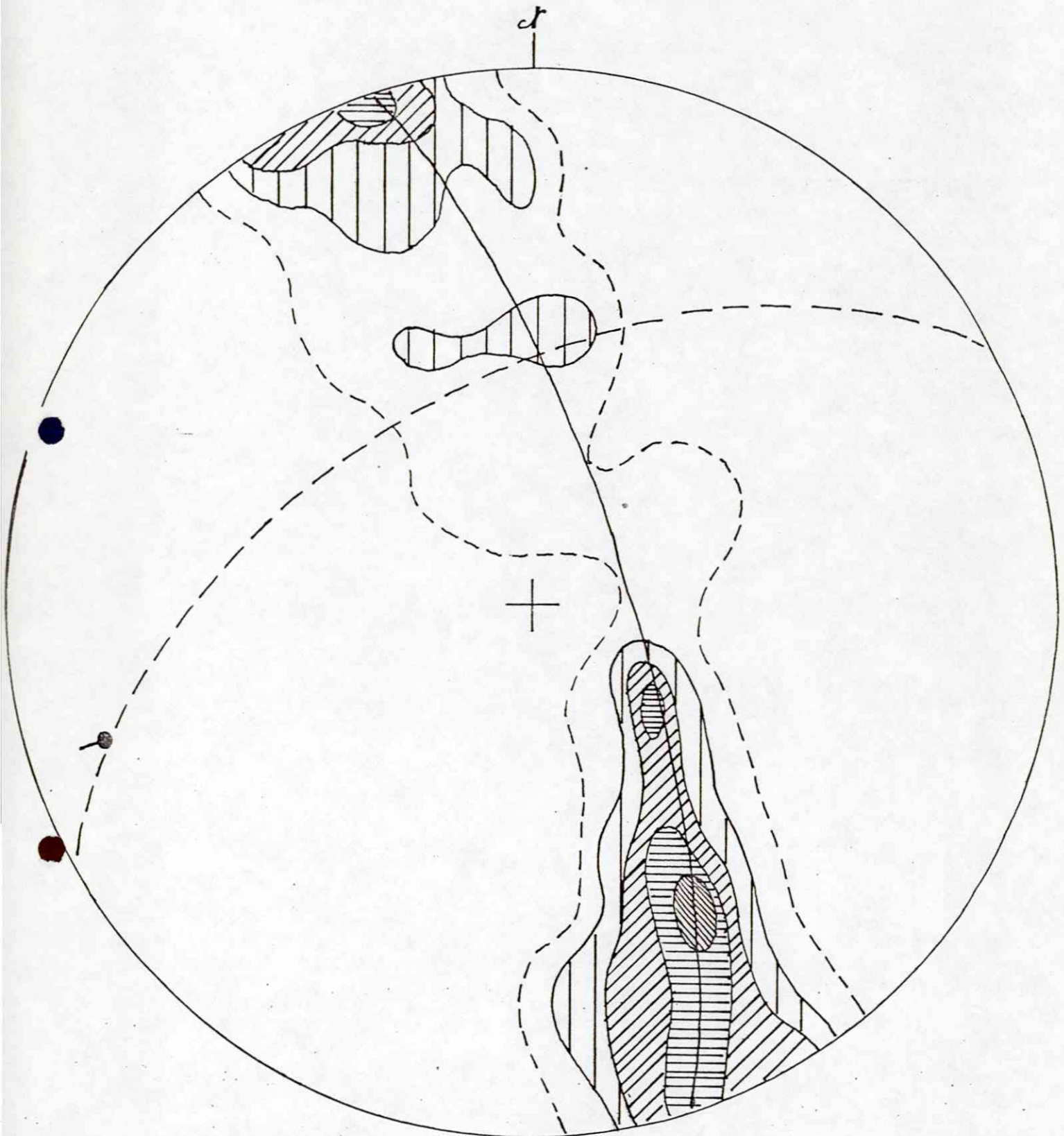


Fig. 60. Diagram over hældning/strygnings målinger i området ved Tverrlisater.

Konturering er udført på Kalsbeek net af planernes poler. Kontureringerne er baseret på 194 målinger. Den indtegnede foldeakse ( $251^{\circ}-15^{\circ}$ ) er konstrueret ud fra  $\pi$ -diagram metoden. Planet  $60^{\circ}/55^{\circ}$  NW er indtegnet normalt til den største pol-koncentration. Konturintervaller: 1, 3, 5, 7 og 9,5 %.



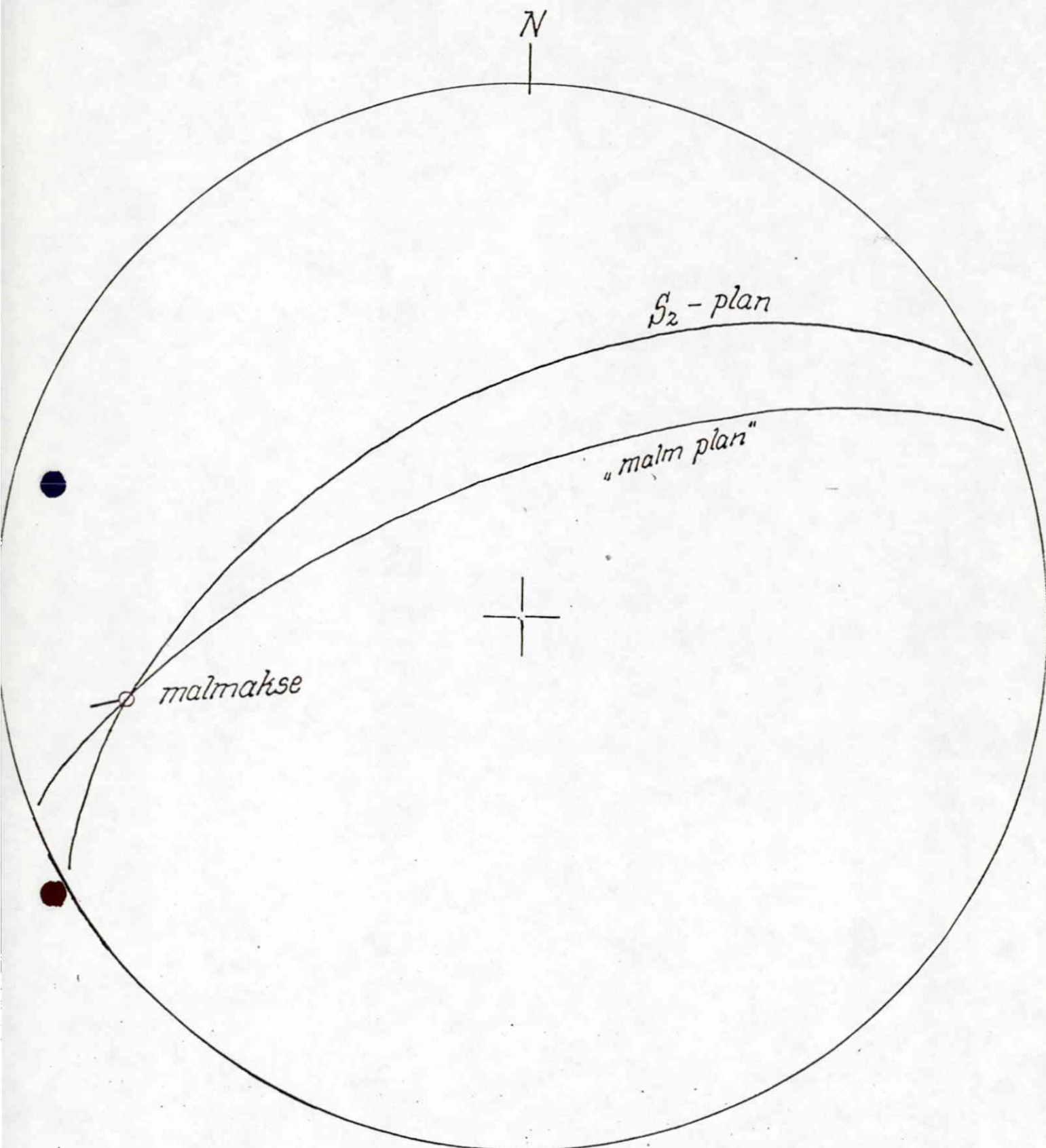


Fig. 61. Konstruktion af malmakse.

Diagrammet viser fremkomsten af malmaksen i området ved Tverrlisøter. Konstruktionen er udført på Lambert net.

Malmakse:  $257^{\circ}$  o-  $23^{\circ}$ .

Malmplan:  $68^{\circ}/68^{\circ}\text{NV}$ , svarer til  $F_1$  aksernes storcirkel.

$S_2$ -plan :  $60^{\circ}/55^{\circ}\text{NV}$ ,  $F_2$  foldningens hældning/strygningsplan (fra fig. 60).

fysiske anomali, der er forårsaget af malmen, som er påtruffet i Bh. 189, har retningen  $78^{\circ}$  ("strygning") på overfladen. Ved at sammenstille malmaksens orientering og den geofysiske anomali "strygning" ses, at der er en god retningsmæssig overensstemmelse, se fig. 62. En lignende sammenligning mellem den geofysiske anomali og den dominerende  $F_2$  akse (største aksekoncentration  $250^{\circ}$  o-  $12^{\circ}$ , diagram 8, kort 5, bilag 5) giver en vinkeldifferens på  $8^{\circ}$ , hvilket viser, at malmkoncentrationen ikke følger  $F_2$  akse i dette område.

Det vil herefter være muligt at konstruere sig frem til malmlegemets forløb i området ved Tverrlisæter. Den i Bh. 164 påtrufne malm repræsenterer flankerne af  $F_1$  folden, og malmen i Bh. 189 ligger i en position nærmere ombøjningszonen. Ud fra de geofysiske anomalier må man formode, at begge de påtrufne malme tilhører samme malmlegeme. På fig. 63 er malmhorisonterne, her betegnet kis, i Bh. 164 projiceret op i en position over den påtrufne kis i Bh. 189 langs malmaksens retning. I det herved fremkomne profil er det muligt at udtegne et idealiseret billede af malmlegemets kileformede udseende i tværsnit. Malmlegemets kileformede spids er herved konstrueret til at ligge 200 m til 250 m under terrænoverfladen omkring Bh. 189. Hvis man derefter projicerer denne  $F_1$  luknings spids op mod overfladen mod øst langs malmakseretningen, vil det medføre, at malmlegemet skulle gå i dagen omkring koordinat 1300-1400 V i det geofysiske net, og omkring 1700 V skulle det være muligt at træffe malmlegemet i ca. 100 m<sup>s</sup> dybde.

Denne model af malmlegemets forløb ved Tverrlisæter blev udfærdiget i sidste halvår af 1975 og vidergivet til Folldal Verk A/S (upubliceret rapport vedr. kisforekomsten ved Tverrlisæter, Grimsdalen, S. Schack Pedersen (1975)), og herefter besluttede man at nedsætte en boring omkring 1700 V, Bh. 231,



Fig. 62. Geofysiske anomalier ved Tverrlisater sammenstillet med oplysninger fra borehuller og strukturelle retninger.

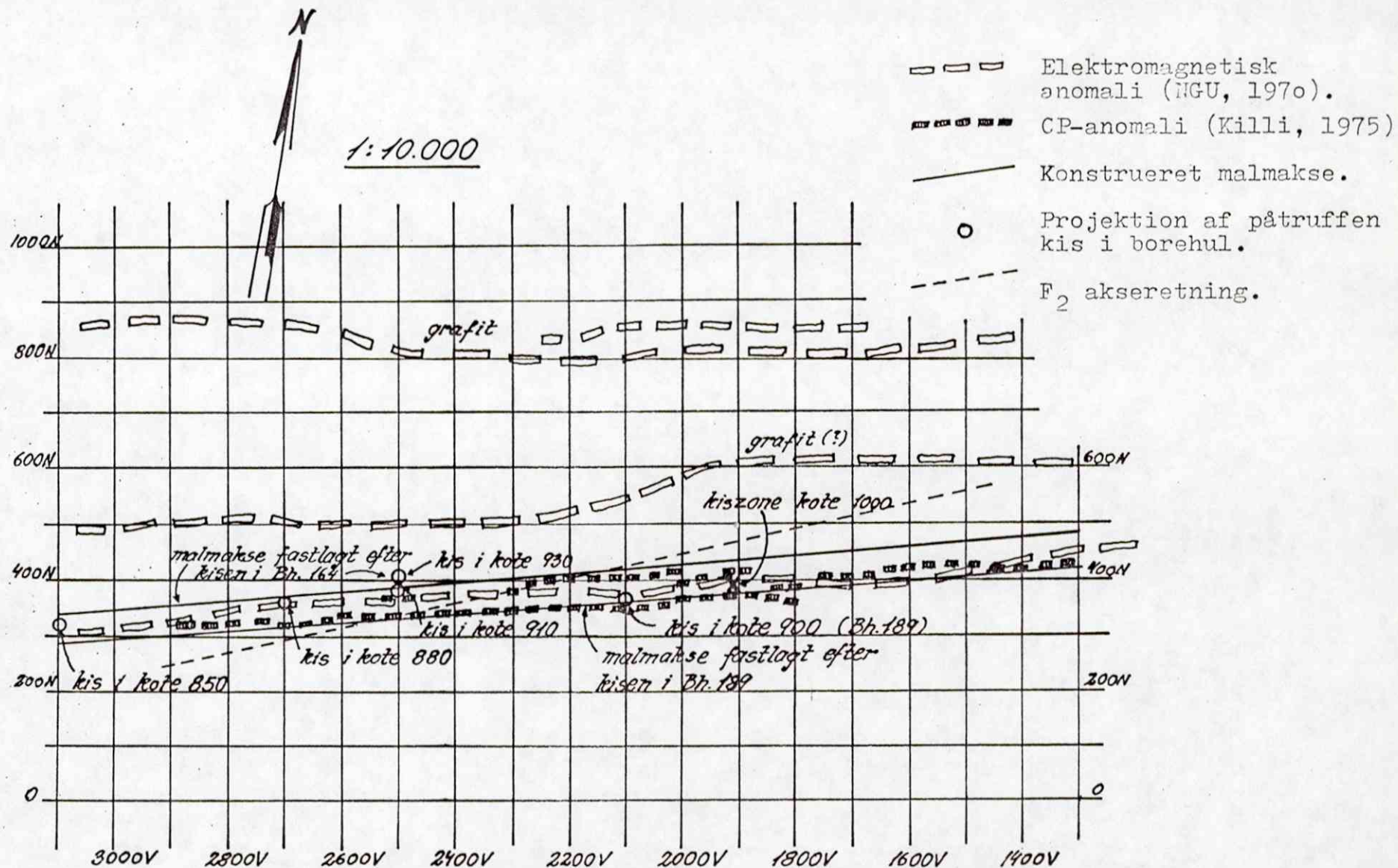
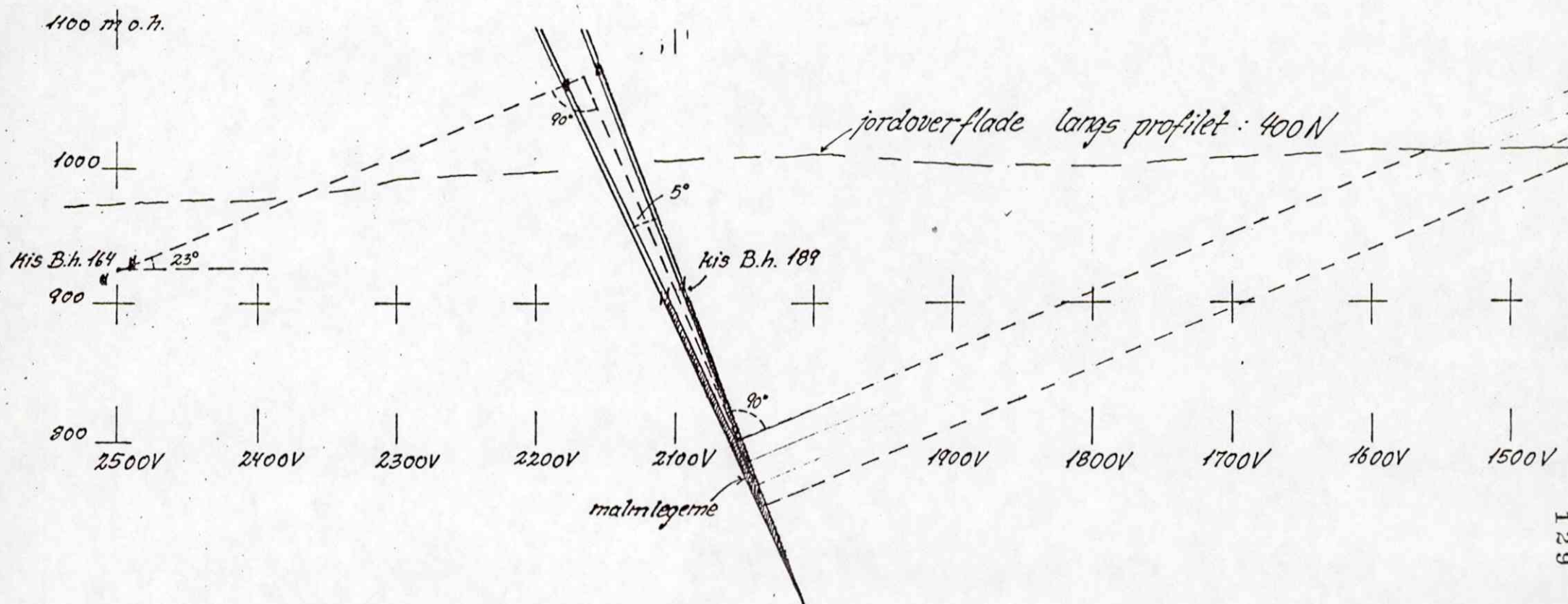


Fig. 63. Konstruktion af det kileformede malmlegemes forløb.  
 Den i Bh. 164 påtrufne kis er projiceret op vinkelret over  
 kisen i Bh. 189 langs malmaksen. Malmzonerne er drejet  $90^\circ$ ,  
 således at hvert kisbånd kan forbindes og sammentegnes til  
 et profil (stærkt idealiseret) af det kileformede malmlegeme.  
 Herefter er spidsen af kilen projiceret op til overfladen mod  
 øst langs malmaksen.





i sommeren 1976. Resultatet af denne boring ses på fig. 64. Der blev påtruffet to malmzoner. Den første zone blev påtruffet i ca. 75 m, og malmen bestod af mere end 10 % spha-lerit, der var koncentreret i en parasitfold. Den anden zone, der var den egentlige malmzone, blev påtruffet i dybden 94 m til 100 m. Forfatteren fulgte selv boringen, og under karteringen af borekernen udvikledes en teknik, der gjorde det muligt at optegne foldestrukturerne, som de fremgår af fig. 64.

Vanskeligheden ved at udtegne strukturer fra en borekerne består i, at kernen er uorienteret, når den kommer op. Dette problem kan løses ved avanceret og dyrt boreudstyr og en omhyggelig og langsommelig boreprocedure. Men ud fra kendskabet til de forskellige strukturelle elementer og deres fordeling i området, vil det i de fleste tilfælde være muligt at orientere en borekerne, når man ved, hvad der er op og ned. Når borekernen kommer op, placerer man kernestykket med borehullets orientering, i det aktuelle tilfælde  $60^{\circ}$  S. Herefter kan man rotere kernen til den rette position efter følgende kriterier:

1) Hvis der på kernestykket findes en  $F_2$  akse, kan kernen roteres til  $F_2$  aksens generelle orientering, for det aktuelle tilfælde mod VSV dykkende  $10^{\circ} - 20^{\circ}$ .

2) Findes der på kernestykket  $F_1$  akser eller hornblende lineation, kan kernen roteres, så disse orienteres i en med  $F_1$  aksefordelingen overensstemmende retning.

3) Er det muligt at bestemme aksialplaner på kernestykket, vil kernestykket kunne orienteres efter deres sandsynlige almindelige fordeling, i det betragtede tilfælde med stejle hældninger mod N.

4) Har kernestykket kun en skifrihed, kan denne roteres

Fig. 64.  
Opmålingsplan af borehul 231  
Grimsdalen.

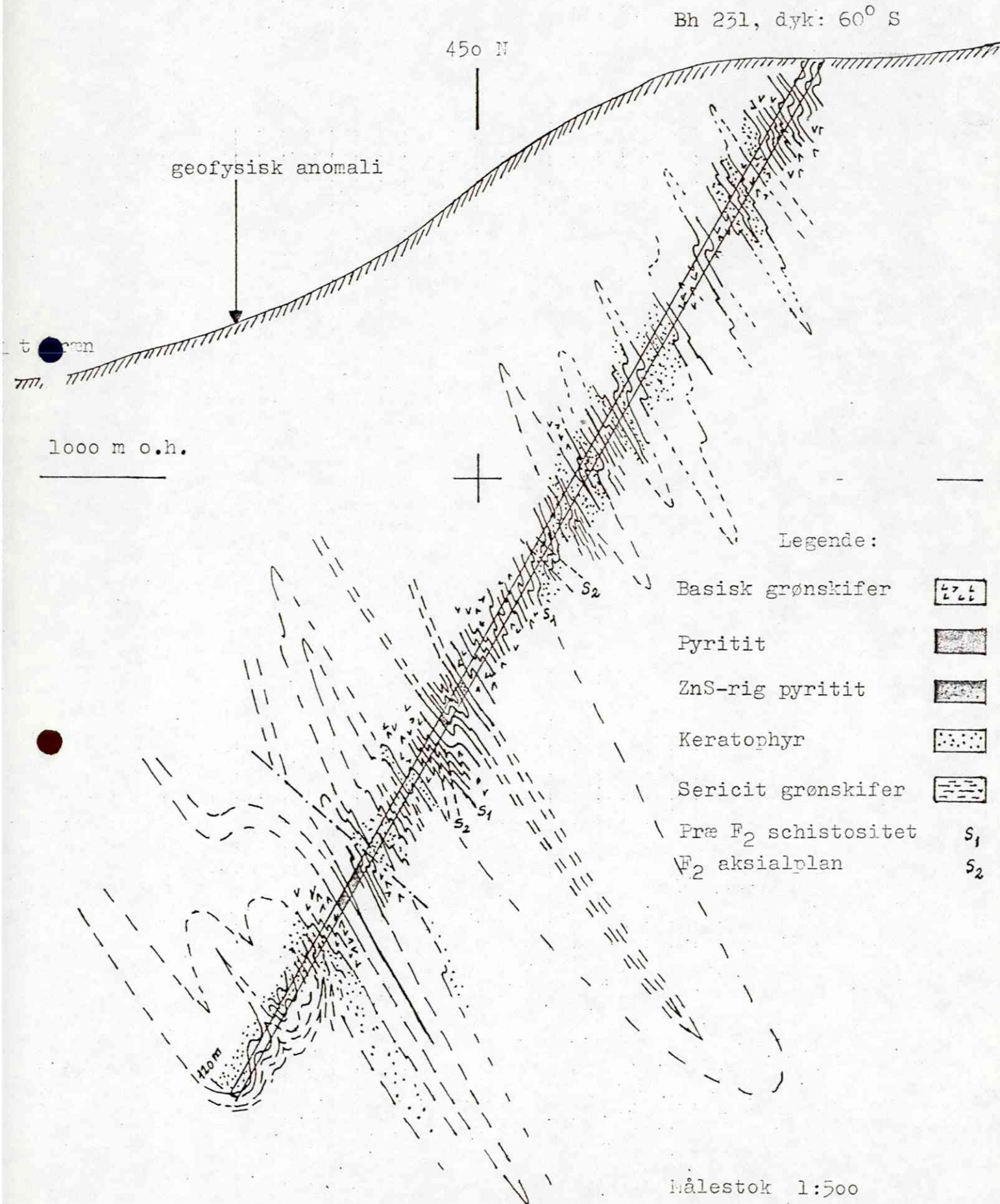
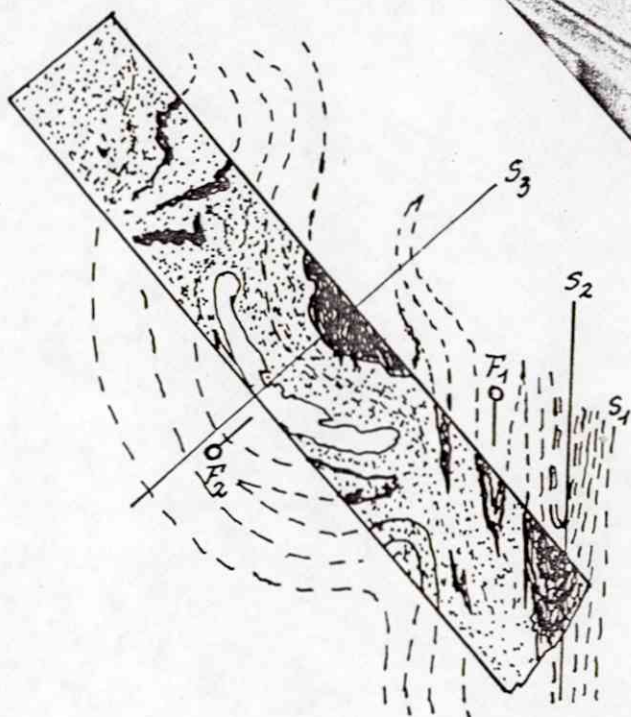
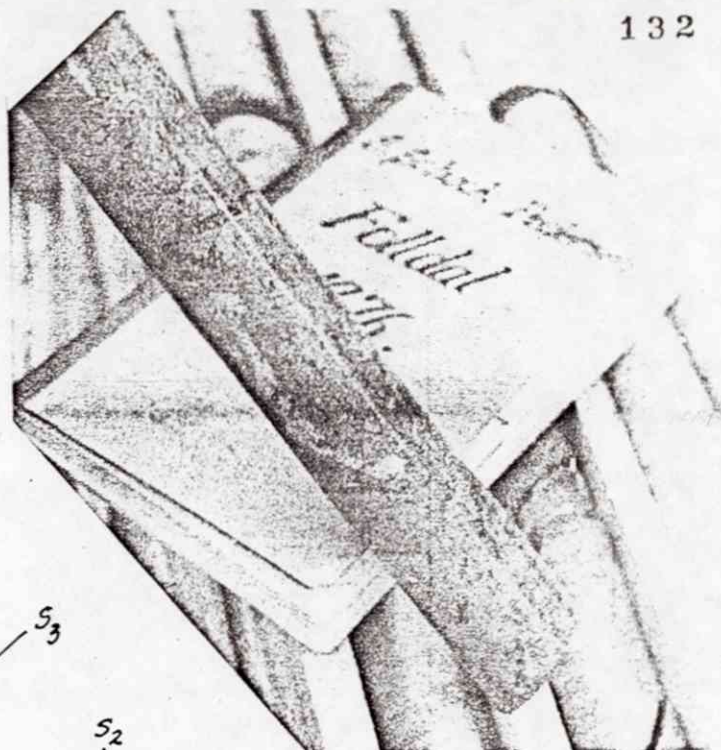


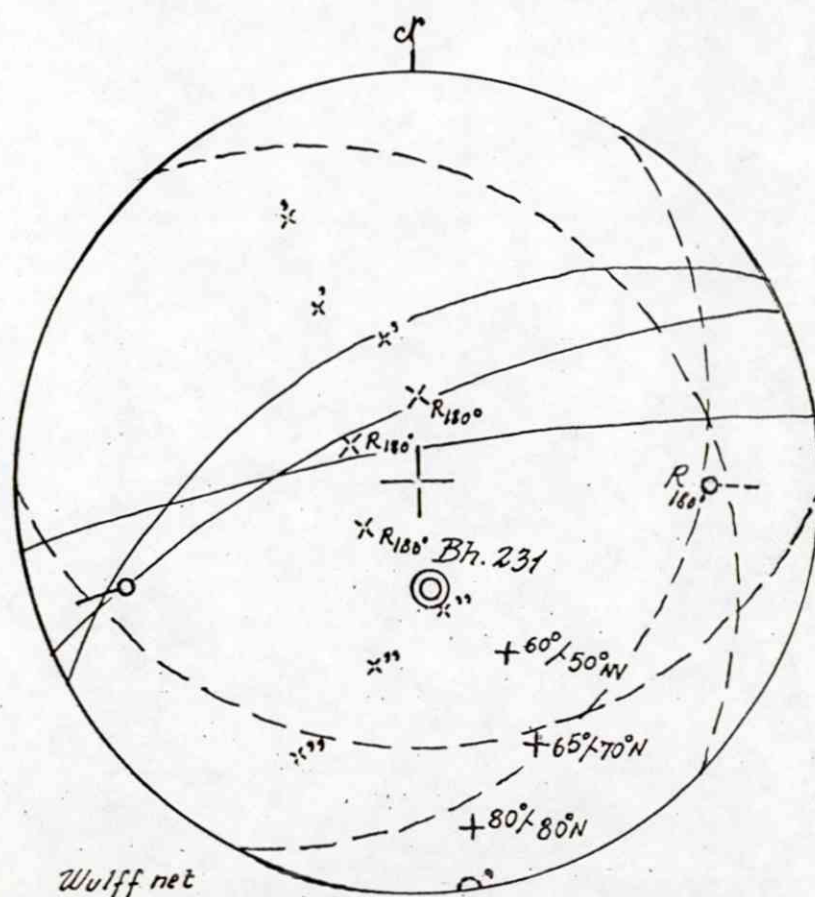


Fig. 65. Borekernestykke fra Bh. 231 med dobbeltfoldet pyritit. Nederst illustreres strukturernes rotation i forhold til kernestykket.



prikket: pyritit  
sort : grønskifer  
hvid : kvartslinse

Rotation af tre repræsentative hældning/strygningsplaner og en  $F_2$  akse. Stibledelinier og  $R_{180}^{\circ}$  markerer rotation om borehullets akse på  $180^{\circ}$ . Punkter med mærke og dobbeltmærke er rotationspunkter (Phillips, 1971).



ind mod en stilling, der svarer til den mest sandsynlige i følge de tektoniske diagrammer. Dette vil give en nogenlunde sikkerhed på orienteringen, idet strygningen som regel (i det mindste inden for Grimsdalen) vil være nogenlunde konstant inden for et begrænset delområde, og en rotation  $180^{\circ}$  af kernen vil som regel føre skifricheden i en lidet sandsynlig position (se fig. 65).

Ofte vil orienteringen af kernen kunne baseres på en kombination af flere af de ovenfor nævnte kriterier, hvorefter man med sikkerhed kan optegne folderne stil og tendens. Men der kan dog forekomme situationer, hvor man må renoncere på de eftertragtede oplysninger, f.eks. hvis boringen går igennem en knusningszone, eller bjergarten består af en kompakt, strukturløs bjergart (som f.eks. visse dele af metakvarts-keratophyren), samt hvis det forekommer uregelmæssige kvarts-linser.

Til slut skal det tilføjes, at der i efteråret 1976 blev nedsat endnu en boring ca. 300 m ø for Bh. 231. Denne boring påtraf ingen malmzone (personlig meddelelse fra Heim, 1976), hvilket er i fuld overensstemmelse med den anførte model, idet man her borede neden under den malmførende  $F_1$  lukning.



## KONKLUSION.

Geologi.

Grimsdalens sulfidforekomster er stratiforme mineraliseringer tilhørende en enkelt pyritit horisont, der kan henføres til den øvrige gruppe af kobber og zink forekomster tilhørende den centrale del af de Skandinaviske Caledonider.

Pyritit horisonten er tilknyttet en metavulkanit serie, som betegnes Folla Gruppen (ækvivalent med Støren Gruppen, Heim (1971)). Bjergarterne er stærkt deformeret og har været udsat for to metamorfe påvirkninger, først en almandin amfibolit facies metamorfose og senere en grønski fer facies metamorfose.

Stratigrafi.

Malmforekomsterne i Grimsdalen er tilknyttet Folla Gruppen og forekommer i følgende stratigrafiske lagfølge: nederst en basisk grønski fer, pyritit, metakvartskeratophyr, metaspilit og grafit-glimmerski fer øverst. Ud fra undersøgelser i tilstødende områder mener forfatteren, at denne stratigrafisk bestemte position af pyrititen tillige gælder for Foll-dal og Hjerkin n.

Ud fra den opstillede overskydningsmodel konkluderes, at bjergarterne nord for Folla Gruppen tilhører en yngre bjergartsenhed, der med størst rimelighed kan korreleres med Sel glimmerski fer serien i Sel-Vågå (Strand, 1951 og 1964).

### Tektonik.

Bjergarterne i Grimsdalen har været påvirket af to større deformationsfaser,  $D_1$  og  $D_2$ .  $D_1$  deformationen består af en foldefase,  $F_1$ , der har dannet liggende, isoklinale folder under amfibolit facies betingelser.  $F_1$  aksernes retninger varierer mellem N-S og NV-SØ, og foldefasen ledsages af mindre overskydninger langs foldeflankerne. Under  $D_1$  deformationens slutfase har bjergarterne været udsat for en sammenpresning, der har resulteret i boudinage.

Under  $D_2$  deformationen har bjergarterne været påvirket af overskydning fra NV mod SØ, hvorved der er sket en foldning af bjergarterne,  $F_2$  foldningen, som har resulteret i tætte til satte folder overkippede mod S/SØ og med akseretninger mod VSV. Langs med overskydningszonerne er der dannet myloniter, mens bjergarterne uden for mylonitzonen har været påvirket af en grønskifer facies metamorfose.

Den sidste tektoniske påvirkning er tre større forkastninger, der opdeler området i tre store blokke og adskiller Grimsdals området fra Folldals området.

### Sulfidmalmen.

Pyrititen danner kileformede malmlegemer, hvor den er koncentreret i  $F_1$  foldelukninger. Den geometriske placering af malmlegemerne er betinget af  $F_2$  foldningens bøjning af malmkoncentrationen i de isoklinale  $F_1$  folder.

Pyrititen består af fire malmtyper: 1) pyrrhotit-pyrit malm, 2) magnetit-pyrrhotit-pyrit malm, 3) magnetit-pyrit malm, 4) sphalerit-pyrit malm.

Malmtype 1) udgør hovedmalmen, der er tilknyttet de isoklinale  $F_1$  foldelukninger. Under  $D_1$  deformationen, der har



betinget denne malmkoncentration, er det sket en pyrit blastese på bekostning af en tidligere pyrit 1 og pyrrhotit 1, der er dannet diagenetisk eller tidligt metamorft. Den herved dannede grovkornede pyrit 2 er under den fremadskridende metamorfose blevet delvis nedbrudt under samtidig dannelse af intergranular pyrrhotit 2. Under den fortsatte metamorfe udvikling er der sket en magnetit blastese på bekostning af pyrrhotit 2, hvorved malmtypen 2 dannedes.

Malmtypen 3) forekommer som hovedmalm, hvor pyriten har været udsat for kataklastisk deformation tilknyttet  $F_2$  deformationen. Pyrit 2 og magnetit er kataklastisk deformeret, og magnetit danner foliation i bjergarten. Desuden er pyrrhotit 2 forsvundet.

Malmtypen 4) er koncentreret i parasitfolder langs hovedmalmen. Disse marginale malmbånd er sjældent mere end  $\frac{1}{2}$  m brede. Under  $F_1$  deformationen, der foregik ved amfibolit facies betingelser, blev sphalerit og galena koncentreret i parasitfoldelukninger sammen med en rekrystalliseret pyrit 3. I denne malmtypen ledsages galena af tellurider, der anses for at være metamorft differentieret fra galena. Under  $F_2$  deformationen kan malmtypen 4) være kataklastisk deformeret. I denne malm forekommer en interstitiel "pyrit" 4 sammen med markasit.

De økonomisk interessante mineraler fordeler sig på malmtyperne på følgende måde:

Malmtypen 1). Sammen med pyrrhotit forekommer chalcopyrit ca. 2,5 %, sphalerit ca. 0,5 % og galena mindre end 0,2 %.

Malmtypen 2). Indholdet af chalcopyrit i denne malm kan gå op til 5 %, og indholdet af sphalerit er omkring 1 %.

Malmtypen 3). Malmen kan indeholde op til 1 % chalcopyrit, men som helhed må man betragte den som en fattig malm.

Malmtype 4). Sphalerit kan udgøre op til 20 % af denne malm, men ligger generelt på ca. 9 %. Galena kan forekomme i op til 2 %, og chalcopirit udgør mindre end 1 %. En særlig interesse er tilknyttet denne malm, da den er sølvførende i form af mineralet hessit. Men malmens værdi må betragtes i forhold til den begrænsede mængde, idet sphalerit-pyrit malmen generelt forekommer i bånd mindre end 50 cm brede.

#### Strukturgeologi som malmledningsværktøj.

Strukturgeologiske undersøgelser kan gå ind i malmledningen på alle niveauer. I regional sammenhæng vil det ved hjælp af strukturelle metoder være muligt at finde sammenhængende områder, hvor der er potentielle muligheder for malmfund. En bekræftigelse på en sammenhængende nappestruktur fra Hjerkin til Grimsdalen vil således kunne fremvise nye lovende undersøgelsesområder.

I den fase af undersøgelsen, hvor man i malmledningen anvender geofysik, vil den strukturgeologiske undersøgelse være uundværlig, idet man her må sørge for, at målingerne bliver udført i den korrekte retning i forhold til lagplanerne og de generelle strukturelementer. Desuden vil kendskabet til forkastninger være af stor betydning for forståelsen af de geofysiske anomaliers forløb omkring disse.

Endelig er der den omhyggelige strukturelle undersøgelse i den fase af malmledningen, hvor man nedsetter diamantboringer. Som sagen omkring Bh. 231 viser, er strukturgeologiske undersøgelser en anvendelig malmlednings metode i foldede områder. Det er kun i sammenhæng med strukturgeologiske observationer, at diamantborekernens fulde værdi kan udnyttes til at fastlægge malmens forløb i dybet.



## REFERENCER.

- ANDERSEN, L.J. (1973): Cyclogram technique for Geological Mapping of Borehole Data.  
Danm. Geol. Unders., III Rk., nr. 41.
- BARTON, P.B. (1970): Sulfide Petrology.  
Mineral. Soc. Amer. Spec. Pap. 3, pp. 187-198.
- BERNER, R.A. (1969): The Synthesis of Framboidal Pyrite.  
Econ. Geol., Vol. 64, pp. 383-384.
- BERTHELSEN, A. (1973): Lærebog for den lille tektoniker.  
Varv, København, 196 pp.
- BJØRLYKKE, K. (1905): Det Centrale Norges Fjeldbygning.  
Norges Geol. Unders., nr. 39, 595 pp.
- BUGGE, C. (1954): Den Kaledonske fjellkede i Norge.  
Norges Geol. Unders., nr. 189, 79 pp.
- CABRI, J.L. (1973): New data on phase relations in the Cu-Fe-S system.  
Econ. Geol., Vol. 68, pp. 443-454.
- CARSTENS, C.W. (1922): Av Trondhjemsfeltets Geologi nyere undersøkelser.  
Norsk Geol. Tidsskr., Vol. 7, pp. 1-5.
- CRAIG, J.R. & SCOTT, S.D. (1974): Sulfide phase equilibria, 109 pp.  
i Sulfide Mineralogy. Mineralogical Society of America Short Course Notes.
- FOSLIE, S. (1926): Norges Svovelkisforekomster.  
Norges Geol. Unders., nr. 127, 122 pp.
- GOLDSCHMIDT, V.M. (1915): Die Kalksilikatgneis und Kalksilikatglimmerschiefer des Trondhjem-Gebiets.  
Skr. VidenskSelsk., Christ., nr. 10, 37 pp.
- HEIM, J.G. (1968): Die Sparagmitgrenze südlich Follidal.  
Norges Geol. Unders., nr. 258, pp. 44-61.

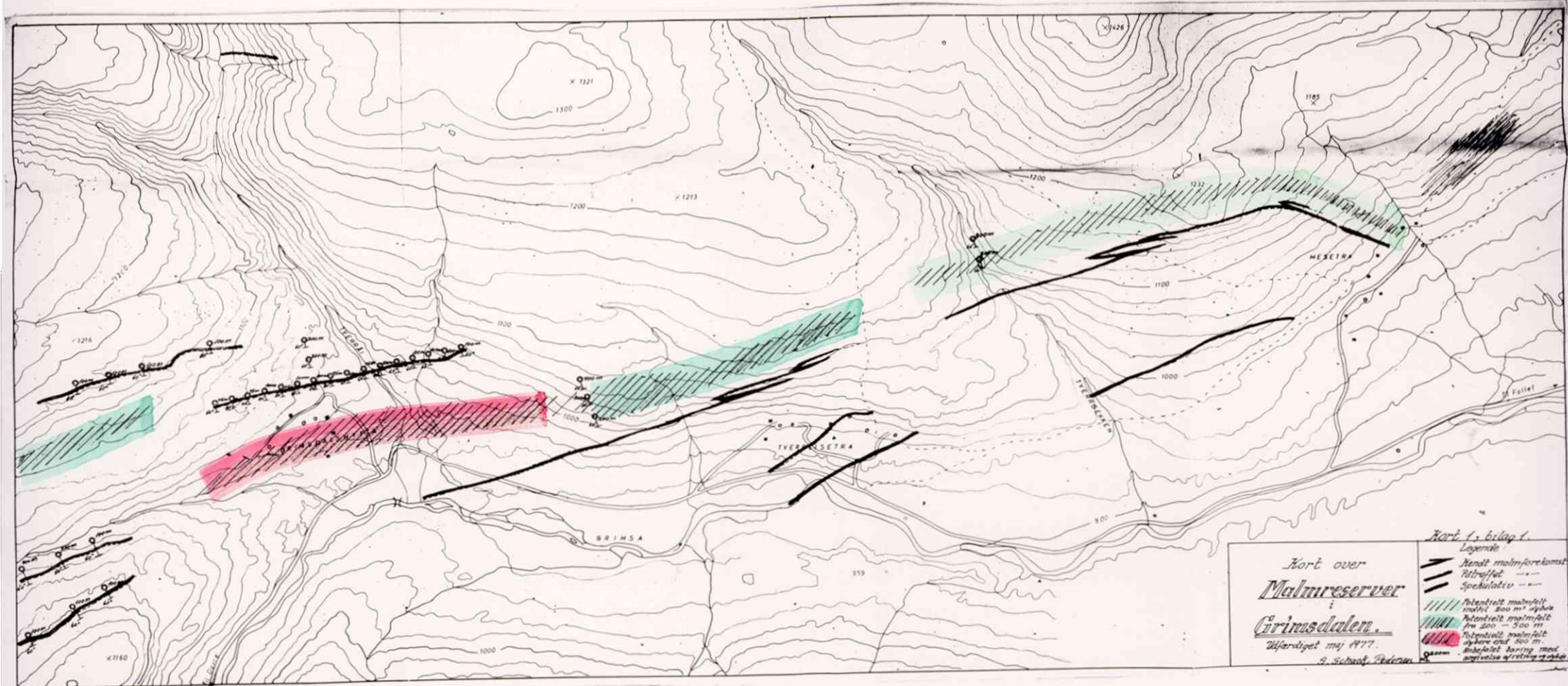
- HEIM, J.G. (1971): Zur Geologie des südlichen Trondheim-Gebietes. Upubliceret doktordisputats, Johannes Gutenberg Universität, Mainz. 154 pp.
- HILLS, E.S. (1963): Elements of Structural Geology. Methuen & Co Ltd., London. 483 pp.
- HOBBS, B.E. et al. (1976): An Outline of Structural Geology. Wiley International, 571 pp.
- HOLLAND, H.D. (1965): Some applications of thermochemical data to problems of ore deposits. Econ. Geol., Vol. 60, nr. 6, pp. 1101-1166.
- JUVE, G. (1974): Ore Mineralogy and Ore Types of the Stekenjokk Deposit, Central Scandinavian Daledonides, Sweden. Sver. Geol. Unders., Ser. C nr. 706, 162 pp.
- KALSBECK, F. (1963): Hexagonal methode for contourering on equal areal stereographical net. N. Jb. Miner. Mh., Stuttgart, nr. 7, pp. 173-176.
- KRACEK, F.C., KSANDA, C.J. & CABRI, L.J. (1966): Phase relations in the silver-tellurium system. The American Mineralogist, Vol. 51, pp. 14-28.
- KULLERUD, G et al. (1969): Phase relations in the Cu-Fe-S, Cu-Ni-S and Fe-Ni-S system. I, Wilson, H.D.B. (edit.), Magmatic Ore Deposits, Econ. Geol. Monogra. 7, pp. 323-343.
- OFTEDAHL, C. (1958): A Theory of Exhalative-Sedimentary Ores. Geol. Fören. Förhan. Stockholm, Vol. 80, pp. 1-19.
- OFTEDAHL, C. (1974): Norges Geologi. Tapir Trondheim, 169 pp.
- PAGE, N.J. (1964): The sulfide deposit of Nordre Gjetryggen Gruve, Folldal, Norway. Norges Geol. Unders., nr. 228. pp. 217-269.



- PHILLIPS, F.C. (1971): The use of stereographic projection in structural geology. Edward Arnold (Publ.) Ltd, 90 pp.
- RAMDOHR, P. (1953): Über Metamorphose und sekundäre Mobilisierung. Geologische Rundschau, bind 42, pp. 11-19.
- RAMDOHR, P. (1975): Die Erzminerale und ihre Verwachsungen. Akademie-Verlag, Berlin.
- Vedhæng: Tabellen neuer Reflexionswerte.
- RAMSAY, J.G. (1967): Folding and fracturing of rocks. McGraw-Hill, 568 pp.
- RUI, I.J. & BAKKE, I. (1975): Stratabound sulphide mineralization in the Kjøli area, Røros district, Norwegian Caledonides. Norsk Geol. Tidsskr., Vol. 55, pp. 51-75.
- SINDEEVA, N.D. (1964): Mineralogy and types of deposits of Selenium and Tellurium. Interscience Publishers, 363 pp.
- STAUFFER, M.R. (1968): The tracing of hinge-line ore bodies in areas of repeated folding. Canadian Journ. of Earth Sciences, Vol. 5, pp. 69-79.
- STRAND, T. (1951): The Sel and Vågå map areas. Norges Geol. Unders., nr. 178, 117 pp.
- STRAND, T. (1964): Geology and structure of the Prestberget area. Norges Geol. Unders., nr. 228, pp. 289-310.
- STRAND, T. & KULLING, O. (1972): Scandinavian Caledonides. Wiley Interscience, 302 pp.
- TATSUMI, T. et al. (1970): Volcanism and Ore Genesis. University of Tokyo Press, 448 pp.
- TURNER, F.J. & VERHOOGEN, J. (1960): Igneous and metamorphic petrology. New York, 535 pp.
- TÖRNEBOHM, A.E. (1896): Grunddragen af det centrale Skandinaviens bergbygning. Kg. Svenska Vetenskacad. Handl., Vol. 28, nr. 5, 212 pp.

- UYTENBOGAARDT, W. & BURKE, E.A.J. (1971): Tables of Microscopic Identification of Ore Minerals. Elsevier.
- VOGT, T. (1945): The geology of part of the Hølanda-Horg district, a type area in the Trondheim Region. Norsk Geol. Tidsskr., Vol. 25, pp. 449-527.
- VOKES, F.M. (1969): A review of the metamorphism of sulphide deposits. Earth-Science Reviews, Vol. 5, pp. 99-143.
- VOKES, F.M. (1976): Caledonian massive sulphide deposits in Scandinavia: a comparative review. pp. 79-123, i WOLF, K.H. (edit.): Handbook of stratabound and stratiform ore deposits. II Regional studies and specific deposits. Vol. 6. Elsevier Scientific Publishing Company.
- WINKLER, H.G.F. (1967): Petrogenesis of metamorphic rocks. Springer-Verlag, 237 pp.
- WOLFF, F.C. (1967): Studies in the Trondheim Region, Central Norwegian Caledonides II. Norges Geol. Unders., nr. 245, pp. 1-122.
- ZACHRISSON, E. (1971): The structural setting of the Stekenjokk ore bodies, central Swedish Caledonides. Econ. Geol., Vol. 66, pp. 641-652.







# Geologisk kort

over strøget

## Grimsdalen-Folldal

Sydlig del af  
Trondheims regionen  
Norge

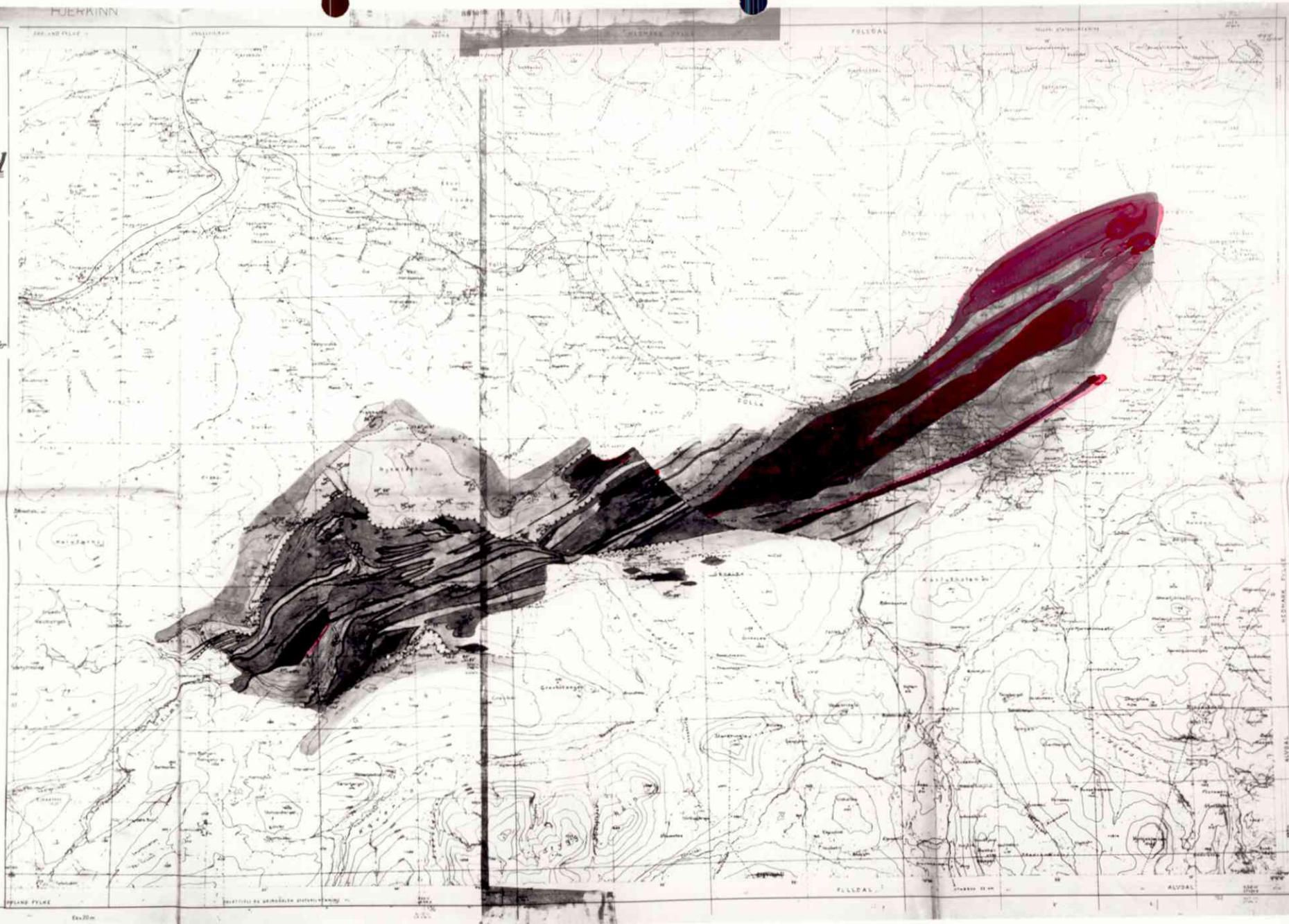
Målestok 1:50.000

### Legende:

-  Gula-gruppe
-  Stauralt-grund-bælt glimmerskifer
-  Svarts-blå glimmerskifer med konglomerat
-  Marmor
-  Grønnskeiser-aufbald serie med magnetitførende kvartst
-  Folla-gruppe
-  Basisk grønnskeiser
-  Melokvartsierotophyr
-  Serpentin grønnskeiser
-  Grafit-glimmerskifer
-  Metagabbro
-  Spargmit
-  Ultramafit-serpentin
-  Ulfiferentieret kvartst
-  Ulfiferentieret grønnskeiser
-  Bjergartegrænse
-  Overdygningens grænse
-  Førbastning
-  Høstning-skræning
-  Følbekke

Udfærdiget maj 1976 på baggrund af  
kartering udført sommerne 1974 og 1975

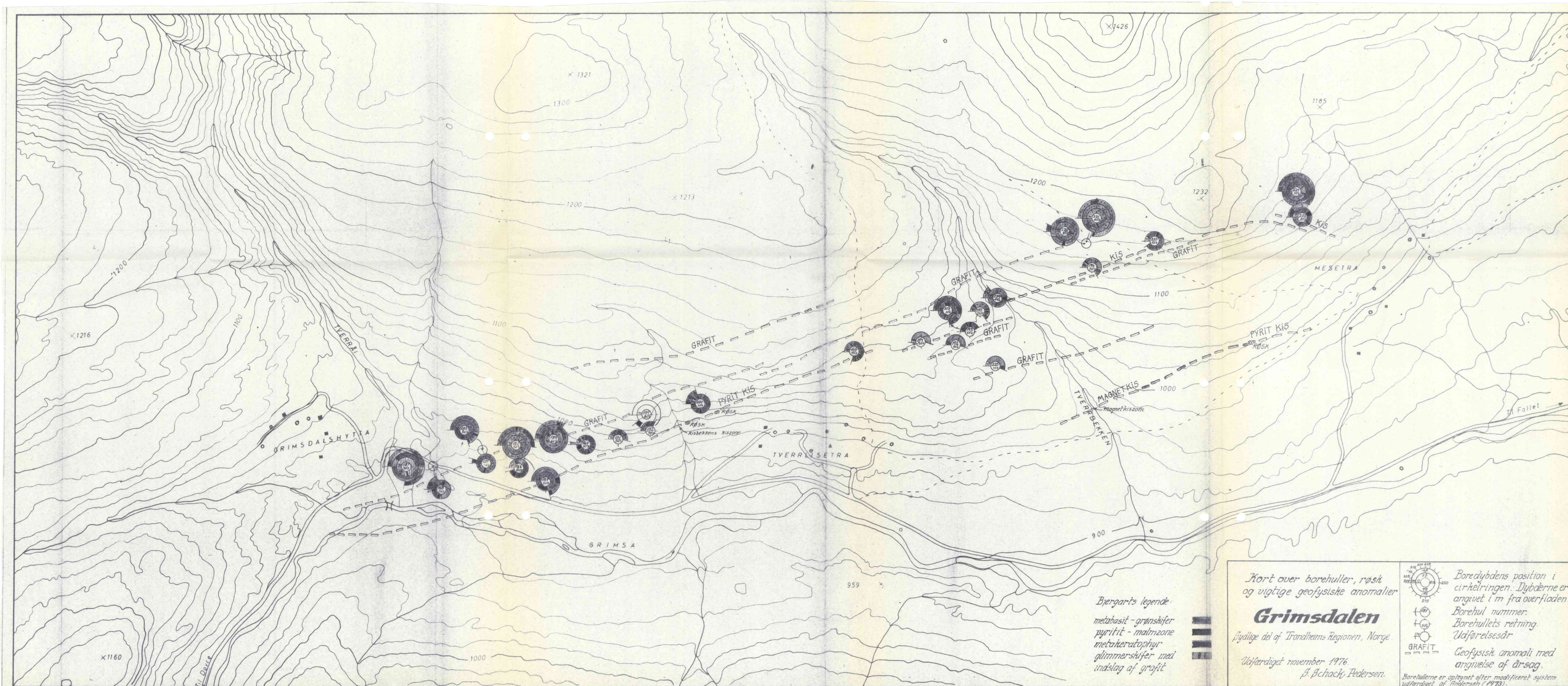
af Schack Pedersen















RAPPORT

Potensialmålinger Grimsdalen 1975.

I tidsrommet 14.7. - 31.7.75 ble det utført elektriske potensialmålinger i tre mindre felt i Grimsdalen, ialt målte man ca. 26 profilkm. med profilavstand 50 og 100 m. NGU's stikningsnett fra 1969 ble benyttet og i tillegg er det stikket endel nye mellomprofiler ved Meseter. Arbeidet ble utført med et hjelpemannskap på 2 - 3 mann.

Meseter I.

Feltet er målt med jording i malm 38 m nede i borhull 222, dette hullet er boret til 130 m og skjærer også gjennom grafittskifersonen ca. 50 m syd for malmsonen.

Anomalibildet skiller seg ikke vesentlig fra de tidligere em - Turam - målingene, malmsonen kommer meget tydelig frem og det samme gjør grafittskiferen nord og syd i feltet. I området 2150 - 2300 X indikeres en sone 15 - 20 m nord for malmsonen, dette er sannsynligvis en parallellsone av samme type som finnes vest for Tverrbekken.

Tverrliseter II.

Feltet ble målt med jording i kis ca. 16 m nede i borhull 193, dette borhullet er boret videre til 65 m og har også kis ved ca. 50 m. Den korte avstanden ned til strömelektroden forårsaket en kraftig anomali direkte over jordingspunktet som delvis overskygger nærliggende soner. I den vestlige del av feltet sammenfaller anomalierne relativt bra med em - turamanomaliene, potensialmålingene viser imidlertid tydelig at malmsonen består av 2 ledere med innbyrdes avstand 10 - 20 m. Grafittskiferen nord og syd i feltet indikeres svakt.

Östover fra 300 V er det relativt stor forskjell på resultatene av de to målemetodene, CP-kartet tyder på at malmsonene er sammenhengende i strökretningen gjennom hele feltet, muligens med unntak av sonen i jordingspunktet. Ved 200 V - 500 N indikeres en sone som strekker seg östover og ut av måleområdet, sonen er gjennomboret i borhull 203 og inneholder grafitt,



### Tverrliseter III.

Dette feltet er det samme som Tverrliseter II, men med jording ca. 51 m nede i borhull 195. Minimumslinjen kommer nå over den sydligste av malmsonene, forøvrig er det liten forskjell mellom de to potensialkartene. På profilene 100 Ø - 200 Ø i Tverrbekkdalen er stikningsnettet mangelfullt og her må man regne med endel feil i målepunktavstandene.

### Tverrliseter IV.

Dette feltet ble målt med jording i kis i den dypestliggende av 2 malmsoner i borhull 189. Malmsonen, delvis med 2 ledere, fremkommer tydelig i hele feltets lengde. Potensialmålingene synes ikke å gi noen bevis for at de 2 malmsonene er foldet på større dyp og dermed er en leder.

Det kan ~~også~~ nå være aktuelt å måle CP og motstand i endel borhullsprofiler for å fastlegge malmens utstrekning og eventuelle sammenheng mot dypet.

Tverrfjellet, 27.11.1975.



(Ivar Killi).

RAPPORT

Potensialmålinger Grimsdalen 1975.

I tidsrommet 14.7. - 31.7.75 ble det utført elektriske potensialmålinger i tre mindre felt i Grimsdalen, ialt målte man ca. 26 profilkm. med profilavstand 50 og 100 m. NGU's stikningsnett fra 1969 ble benyttet og i tillegg er det stikket endel nye mellomprofiler ved Meseter. Arbeidet ble utført med et hjelpemannskap på 2 - 3 mann.

Meseter I.

Feltet er målt med jording i malm 38 m nede i borhull 222, dette hullet er boret til 130 m og skjærer også gjennom grafittskifersonen ca. 50 m syd for malmsonen.

Anomalibildet skiller seg ikke vesentlig fra de tidligere em - Turam - målingene, malmsonen kommer meget tydelig frem og det samme gjør grafittskiferen nord og syd i feltet. I området 2150 - 2300 X indikeres en sone 15 - 20 m nord for malmsonen, dette er sannsynligvis en parallellsone av samme type som finnes vest for Tverrbekken.

Tverrliseter II.

Feltet ble målt med jording i kis ca. 16 m nede i borhull 197, dette borhullet er boret videre til 65 m og har også kis ved ca. 50 m. Den korte avstanden ned til strömelektroden forårsaket en kraftig anomali direkte over jordingspunktet som delvis overskygger nærliggende soner. I den vestlige del av feltet sammenfaller anomalierne relativt bra med em - turamanomaliene, potensialmålingene viser imidlertid tydelig at malmsonen består av 2 ledere med innbyrdes avstand 10 - 20 m. Grafittskiferen nord og syd i feltet indikeres svakt.

Östover fra 300 V er det relativt stor forskjell på resultatene av de to målemetodene, CP-kartet tyder på at malmsonene er sammenhengende i strökretningen gjennom hele feltet, muligens med unntak av sonen i jordingspunktet. Ved 200 V - 500 N indikeres en sone som strekker seg östover og ut av måleområdet, sonen er gjennomboret i borhull 203 og inneholder grafitt,



### Tverrliseter III.

Dette feltet er det samme som Tverrliseter II, men med jording ca. 51 m nede i borhull 195. Minimumslinjen kommer nå over den sydligste av malmsonene, forøvrig er det liten forskjell mellom de to potensialkartene. På profilene 100 Ø - 200 Ø i Tverrbekkdalen er stikningsnettets mangelfullt og her må man regne med endel feil i målepunktavstandene.

### Tverrliseter IV.

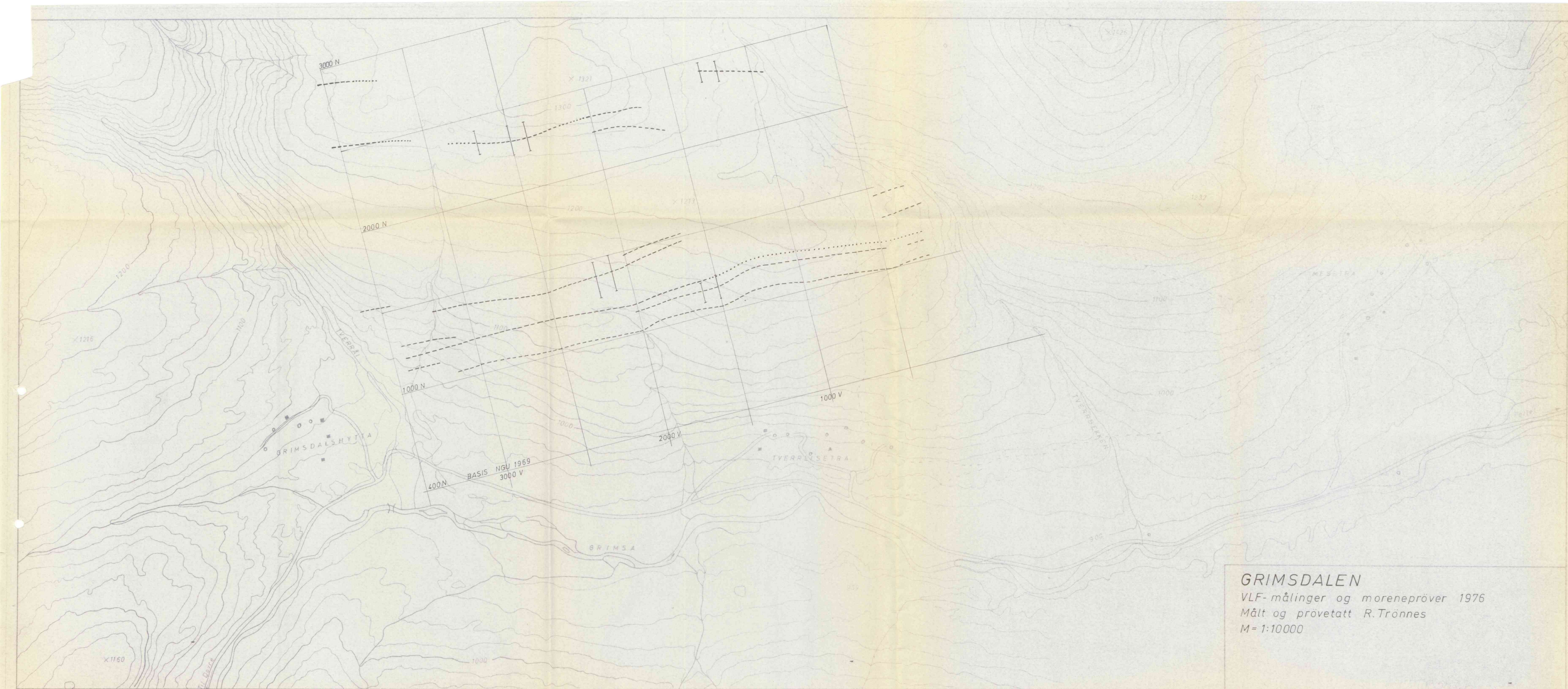
Dette feltet ble målt med jording i kis i den dypestliggende av 2 malmsoner i borhull 189. Malmsonen, delvis med 2 ledere, fremkommer tydelig i hele feltets lengde. Potensialmålingene synes ikke å gi noen bevis for at de 2 malmsonene er foldet på større dyp og dermed er en leder.

Det kan ~~også~~ nå være aktuelt å måle CP og motstand i endel borhullsprofiler for å fastlegge malmens utstrekning og eventuelle sammenheng mot dypet.

Tverrfjellet, 27.11.1975.

*I. Killi*  
(Ivar Killi).





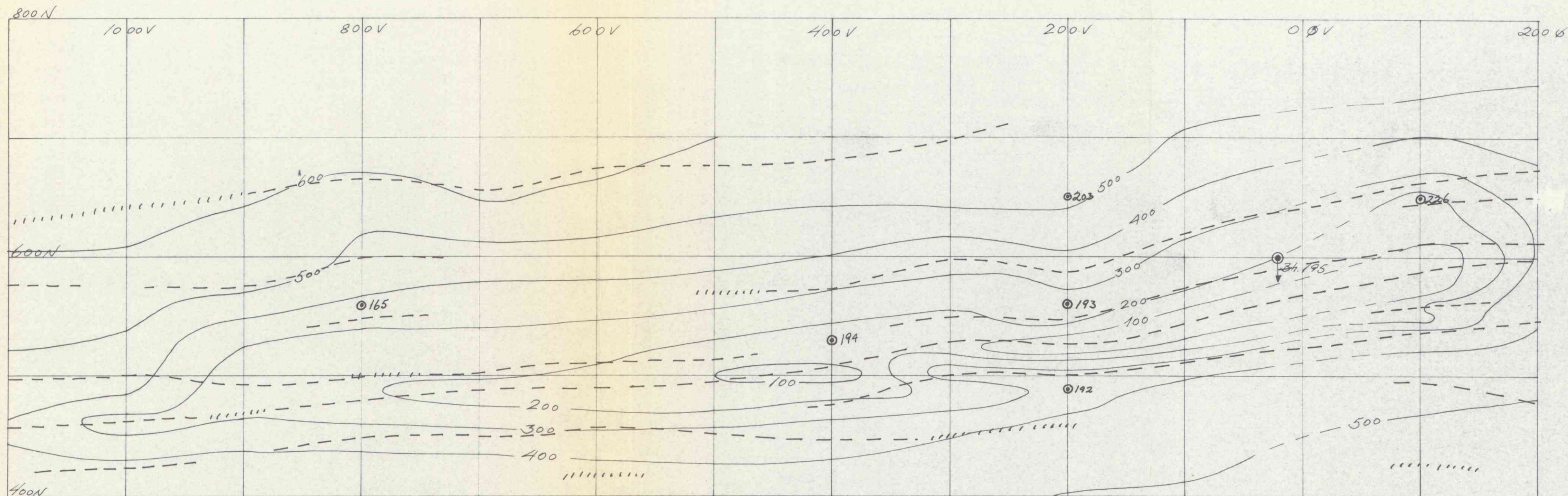
## GRIMSDALEN

VLF-målinger og moreneprøver 1976

Målt og prøvetatt R.Trønnes

M= 1:10000





FOLLDAL VERK A/S

Potensialmålinger Grimsdalen

Tverrliseter III 1975

M = 1:2500

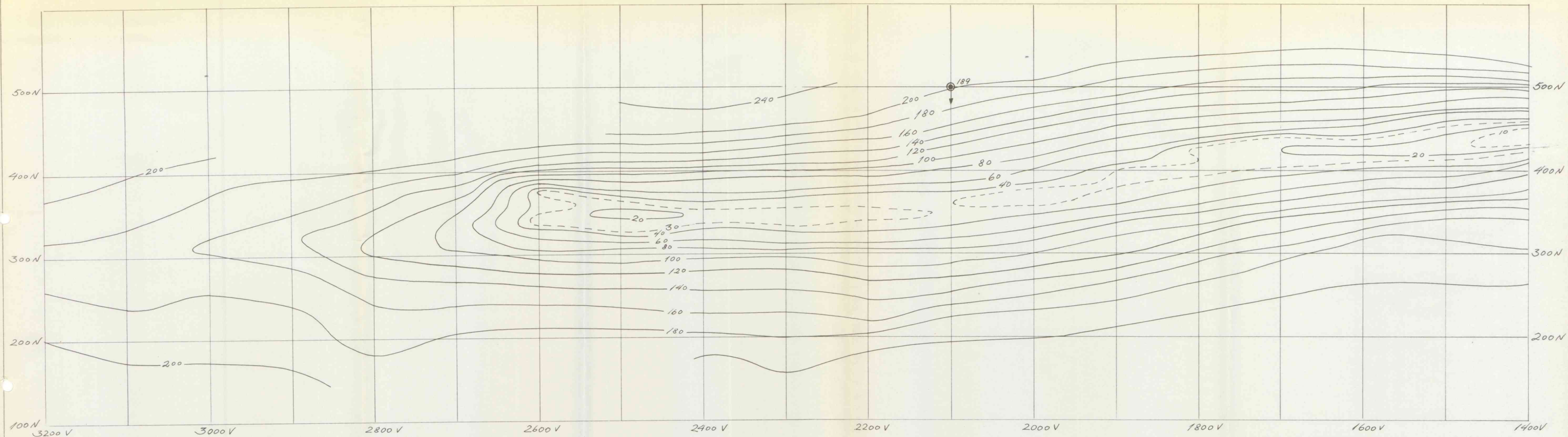
CP I = 0,4 A

Enhet mV

Jording i bh. 195  
sone II

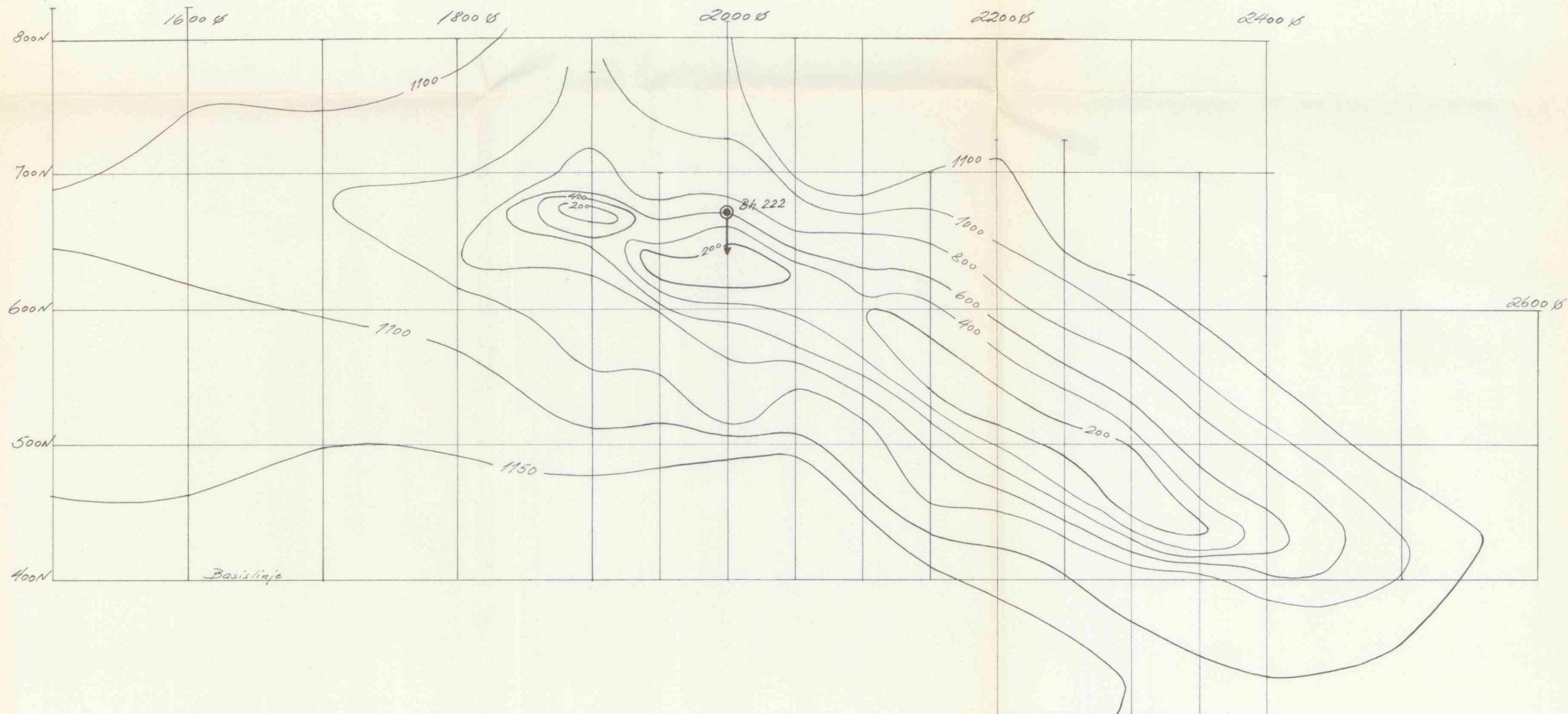
11.75 Y.K.



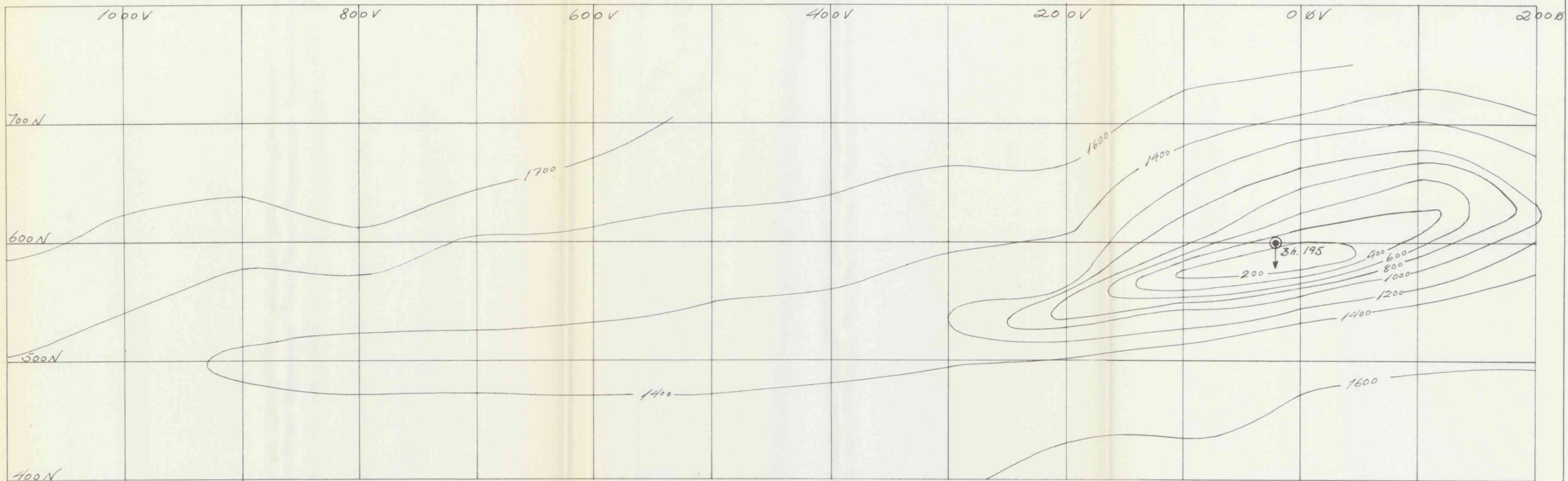


|                      |            |
|----------------------|------------|
| FOLLDAL VERK A/S     |            |
| Potensialmålinger    | Grimsdalen |
| Tverrliseter IV 1975 | M=1:2500   |
| CP I=0,3 A           | Enhet mV   |
| Jording i bh. 189    | 11.76 J.K. |



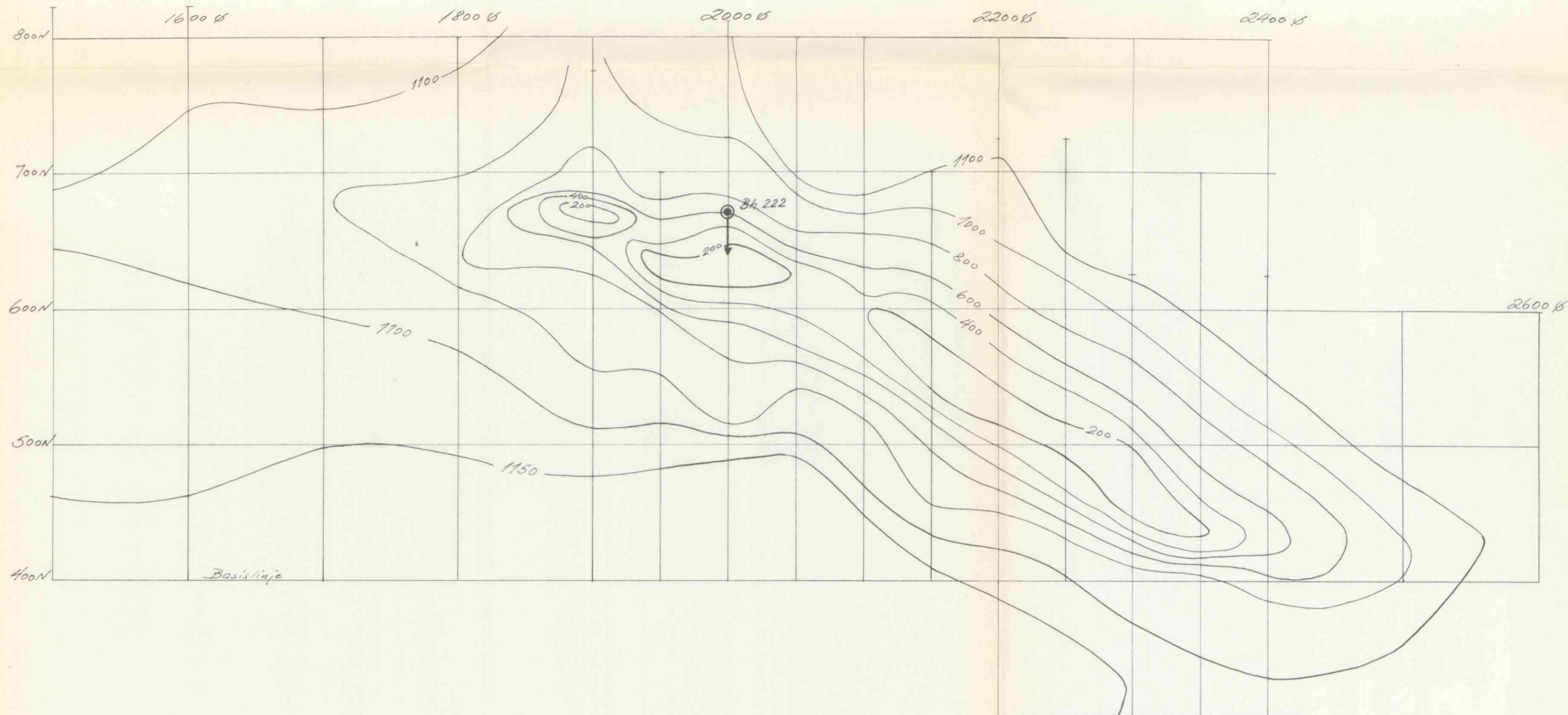


|                              |                 |
|------------------------------|-----------------|
| FOLLDAL VERK A/S             |                 |
| POTENSIALMÅLINGER GRIMSDALEN |                 |
| FELT MESETER I 1975          | M=1:2500        |
| CP I= 0,4 A                  | Enhet mV        |
| JORDING I BH. 222            | Målt, tegn Y.K. |

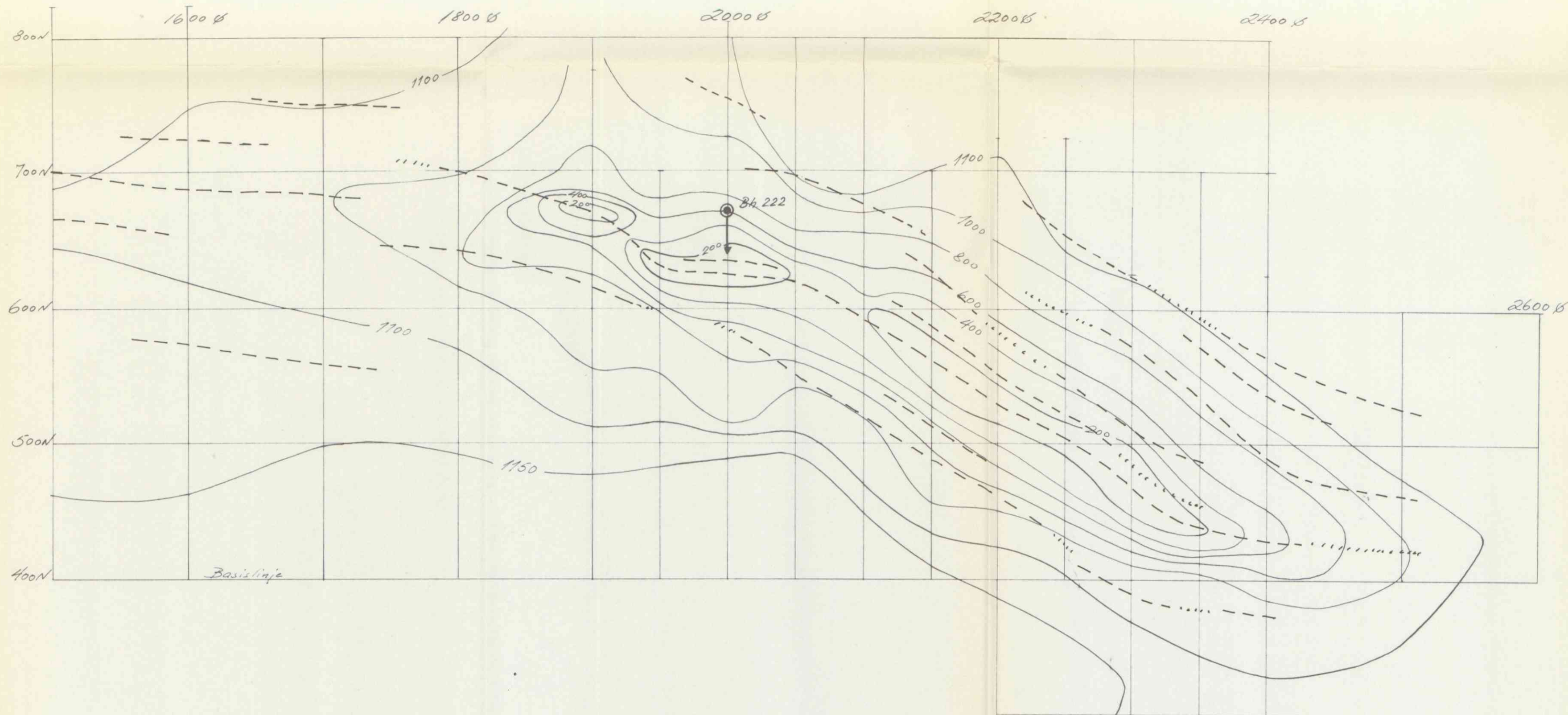


|                              |            |
|------------------------------|------------|
| FOLLDAL VERK A/S             |            |
| Potensialmålinger Grimsdalen |            |
| Tverrliseter II 1975         | M= 1:2500  |
| CP I= 0,4 A                  | Enhet mV   |
| Jording i bh. 195            | 10.76 J.K. |



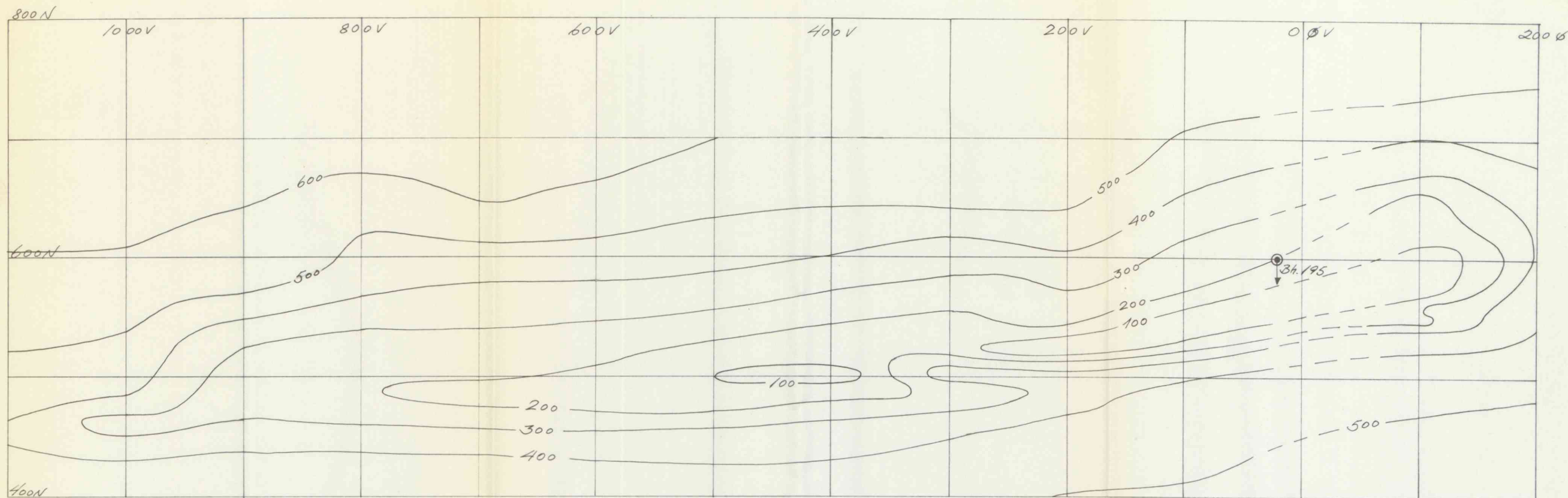


|                              |                        |
|------------------------------|------------------------|
| FOLLDAL VERK A/S             |                        |
| POTENSIALMÅLINGER GRIMSDALEN |                        |
| FELT MESETER I 1975          | M=1:2500               |
| CP I = 0,4 A                 | Enhet mV               |
| JORDING I BH. 222            | Målt, tegn <i>Y.K.</i> |



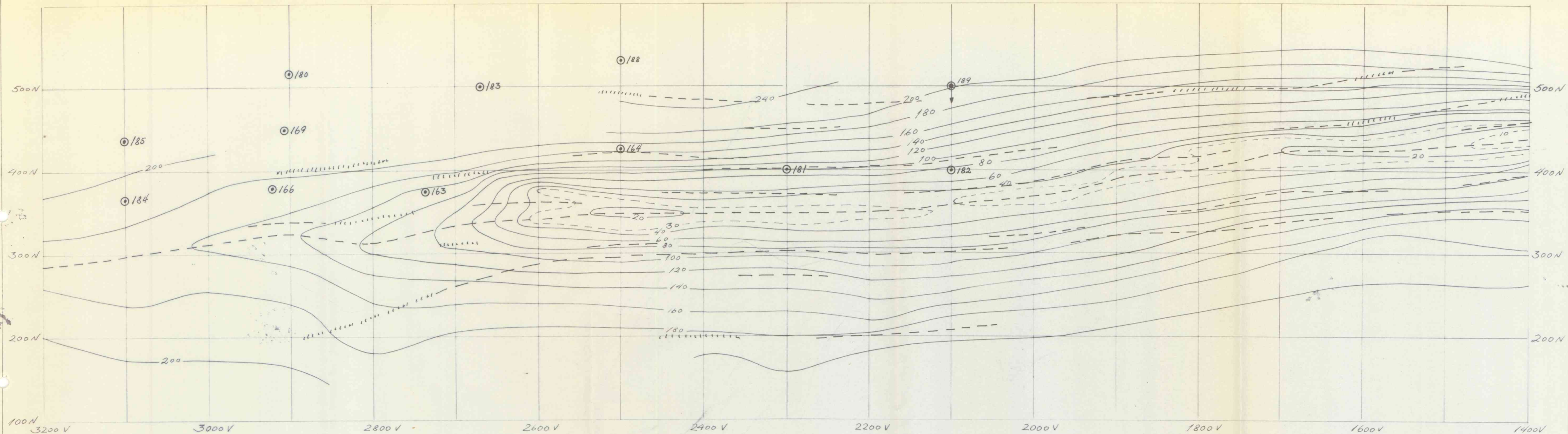
|                              |               |
|------------------------------|---------------|
| FOLLDAL VERK A/S             |               |
| POTENSIALMÅLINGER GRIMSDALEN |               |
| FELT MESETER I 1975          | M=1:2500      |
| CP I=0,4 A                   | Enhet mV      |
| JORDING I BH. 222            | Målt, tegn YL |





|                              |                                          |
|------------------------------|------------------------------------------|
| FOLLDAL VERK A/S             |                                          |
| Potensialmålinger Grimsdalen |                                          |
| Tverrliseter III 1975        | M = 1:2500<br>Enhet mV<br><br>11.76 Y.K. |
| CP I = 0,4 A                 |                                          |
| Jording i bh. 195            |                                          |





|                              |          |
|------------------------------|----------|
| FOLLDAL VERK A/S             |          |
| Potensialmålinger Grimsdalen |          |
| Tverrliseter IV 1975         | M=1:2500 |
| CP I=0,3 A                   | Enhet mV |
| Jording i bh. 189            | 11.76 JK |