

Bergvesenet

Postboks 3021, 7002 Trondheim

Rapportarkivet

Bergvesenet rapport nr BV 3255	Intern Journal nr	Internt arkiv nr Boks nr 4	Rapport lokalisering Nordland	Gradering
Kommer fra ..arkiv Bergverkselskapet	Ekstern rapport nr BNN 8510	Oversendt fra	Fortrolig pga	Fortrolig fra dato:
Tittel Resyme av Reinfjell-Plura-området				
Forfatter Ole Rasmussen		Dato 1984	Bedrift Bergverkselskapet Nord-Norge A/S	
Kommune Rana	Fylke Nordland	Bergdistrikt Nordlandske	1: 50 000 kartblad	1: 250 000 kartblad
Fagområde	Dokument type	Forekomster		
Råstofftype	Emneord			
Sammendrag				

BNN Nr 8510

NORDL. BERGM. EMBETE	
Arkivnr.	_____
Jnr.	183/87
Innk.	17.06. Saksb. _____
Eksp.	_____
Merkn.	_____

R E S Y M E

A V

- REINFJELL - PLURA - OMRÅDET V/FL. OLE RASMUSSEN, 1984.
- SKARN FORMATION AND MINERALIZATION IN THE BOSSMO AND PLURA AREA (NOTHERN CENTRAL CALEDONIDES), RANA DISTRICT, NORWAY V/ MONIKA SCHENK, 1987.

Komplette eksemplarer av rapportene er arkivert hos
PROSPEKTERING A/S, Stabekk og Andfiskå.

Fl. Ole Rasmussen

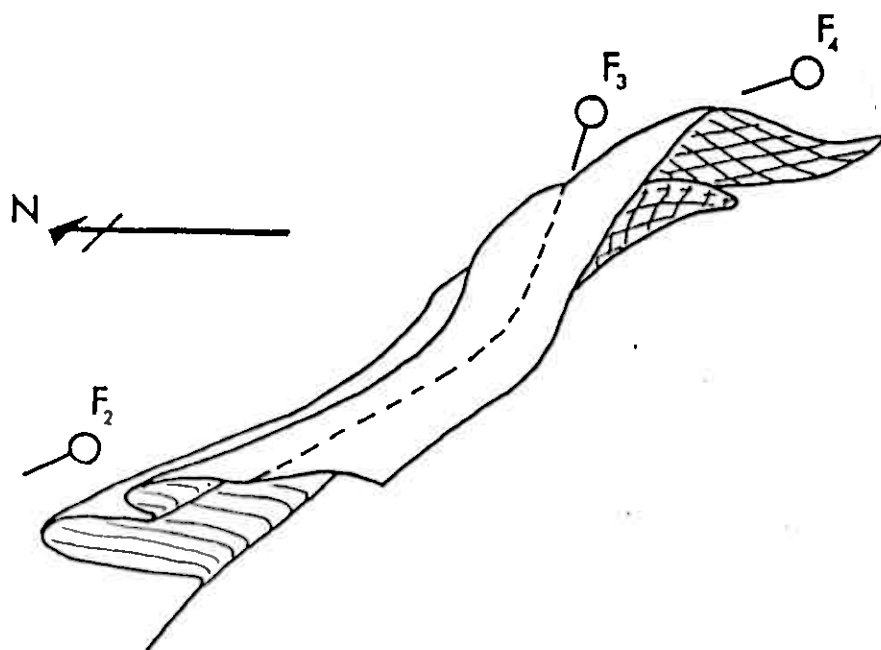
Reinfjell — Plura

Området

En del af en
dobbelt foldet

Duplex

Tekst — bind



Afløsningsopgave ved kandidateksamen

Institut for Almen Geologi

KØBENHAVNS UNIVERSITET

1984

A/S BLEIKVASSLI GRUBER
BERGVERKSELSKAPET NORD-NORGE A/S
PROSPEKTERING A/S

IFØLGE GJELDENE REGLER VED
KØBENHAVNS UNIVERSITET MÅ
OFFENTLIG UTLÅN AV "SPECIALE
AVHANDLINGER" (EKSAMENSOPPGAVER)
KUN SKJE MED FORFATTERENS
SKRIFTLIGE TILLATELSE. DETTE
GJELDER OGSÅ SITERING FRA
AVHANDLING I PUBLIKASJONER.

LESEREN/BRUKEREN ANMODES OM Å
TA HENSYN TIL FORFATTERENS
OPPHAVSRETT. OGSÅ FRA SELSKAPETS
SIDE ER AVHANDLINGEN (EKSAMENS-
OPPGAVEN) Å BETRakte SOM EN
INTERN RAPPORT.

INDHOLDSFORTEGNELSE

Kap. 1	Indledning	1
	Lokalisering og topografi	1
	Geologisk kortlægning i området	1
	Introduktion til områdets geologi	2
	Metoder og nomenklatur	4
Kap. 2	Bjergartsbeskrivelse: Udbredelse og petrografi	7
	<u>Mofjell-Gruppen</u>	8
	Indledning	8
	Grå Gnejs Enhed	9
	Kyanit-gnejs	12
	Hornblendegnejs	16
	Amfibolit	19
	<u>Plurdal-Gruppen</u>	23
	Indledning	23
	Zoisit-kalkglimmerskiifer	25
	Granat-kvarts-glimmerskiifer	28
	Karbonatgnejs	31
	Calcit-marmor	34
	Dolomit-marmor	36
	Kalksilikat bjergart	38
	<u>Bjergarter udenfor gruppe inddelingen</u>	43
	Ultrabasit	43
	Metaaplit	47
Kap. 3	Petrogenese	49
	Indledning	49
	Hoved-metamorfose	50
	Spor af tidlig metamorfose	51
	Retrograd metamorfose	52

Skarngenese	54
Ultrabasit legemer	56
<u>Malmgenese</u>	59
Mofjell-Gruppen	59
Plurdal-Gruppen	60
Kap. 4 Strukturel geologi	62
Indledning	62
Geometrisk analyse (Metoder)	64
F ₂ -foldning	67
Overskydninger	69
F ₁ -folder	74
Andre strukturer	74
F ₃ -foldning	75
F ₄ -foldning	77
Kap. 5 Dateringer i området	79
Kap. 6 Historisk udvikling	81
Indledning	81
Diskussion	82
Konklusion	87
Bilag 1 Figur- og tabel-bind med 44 figurer og 12 tabeller.	
1 Geologisk kort 1:10.000	
1 Serieprofil 1:10.000	
1 Sammentegnet profil 1:10.000	
1 Geologisk kort med prøvelokaliteter 1:20.000	
1 Aksekort (F ₂) 1:20.000	
1 Kort over aksevariation 1:20.000	
1 Aksialplanskort 1:20.000	
1 Blotningskort 1:5.000 med signaturnøgle (kun i vejleders eksemplar)	

Kap. 5. Dateringer i området

I sommeren 1982 blev indsamlet prøver i meta-aplit, der krydser Malmhaugen, med henblik på whole-rock Rb-Sr datering af M. Marker og forfatteren. En af disse prøvelokaliteter ligger indenfor dette kortblad og en anden umiddelbart nord for kortbladet (se kort over prøvelokaliteter), den sidste prøvelokalitet er beliggende 7 km vest herfor.

En foreløbig beregning af analyseresultater giver en isochron på 450 m.y. (Svend Pedersen pers.com). En alder, der er i god overensstemmelse med andre aldre indenfor Rødingfjell-Nappen.

Dioritisk gnejs 470 ± 59 m.y. (Cribb 1981), aplitiske gange 447 ± 7 m.y. (Classon 1979), mikroklin-gnejs 464 ± 22 m.y. (Råhein & Ramberg in pres.).

Da meta-apliten indenfor dette kortblad er foldet F_2 , skulle denne alder altså give en maksimum alder for F_2 -foldningen. Men dette forudsætter, at den alder, der beregnes er intrusionsalderen for meta-apliten.

Det kunne tankes, at 450 my i stedet er den metamorfe alder. Whole-rock systemet er forblevet åbent efter intrusionen under amfibolit-facies betingelser tæt på solidus for granit (se fig. 25) og først er blevet lukket når den regionale metamorfose er nået under "blocking" temperatur (Wilson et al. 1983).

Tidligere blev 572 ± 32 my år, datering fra Dalselv Meta-granit (Graversen & M. Marker, 1982), betragtet som maksimum alder for F_2 -foldningen. Legemet indeholder foldede xenolitter (F_1) og granit-legemet er foldet F_2 .

Dette kan dog stadig være tilfældet, hvis 450 m.y. er en metamorf alder, som dog sandsynligvis ligger tæt på F₂-foldefasen.

Under alle omstændigheder sandsynliggør 572 m.y., sammenholdt med den af Cribb (1981) påståede metamorfe begivenhed 1000-1200 my i metasedimenter fra Melöy-Gruppen ca. 60 km nord-vest for dette kortblad, at metasedimenterne inden for Rödingfjell-Nappen er af proterozoisk alder.

Kap. 6. Historisk geologisk udvikling

Indledning

De data, som det har været muligt at uddrage af Rein-fjell-Plura området skal kort resumeres.

Metasedimenterne i området er af proterozoisk alder. Mofjell-Gruppen og Plurdal-Gruppen er tektonisk bragt i kontakt meget tidligt i den geologiske udvikling. Malm indenfor Mofjell-Gruppen er af synsedimentær exhalativ oprindelse. Der har ikke sikkert kunnet fastlægges en F_1 -foldefase indenfor kortbladet, men der findes spor af en tidlig metamorf begivenhed (relikt plagioklas fra grønski-fer facies metamorfose).

Plurdal-Gruppens malmdannelse er synorogen og sandsynligvis samtidig med den gennemgribende post F_1 overskydningsfase under amfibolit-facies betingelser. $F_{2/3}$ -foldning er foregået under amfibolitfacies betingelser.

Den yngste kaledonske begivenhed, der kan iagttages er F_4 -foldningen med nord-dykkende akse. Metamorfose i forbindelse hermed kan ikke iagttages.

Dette 50 km² store område placeret ret centralt indenfor Rødingfjell-Nappen kan selvfølgelig ikke forventes at løse de store spørgsmål, der stadig står åbne indenfor det kaledonske orogens udviklingshistorie. Men for at afprøve bæredygtigheden af de opnåede resultater og for at få dem korrolleret i tid, er man nødt til at sammenligne med andres oplysninger.

Diskussion

Det er idag almindelig anerkendt, at de norske kaledonider er et produkt af en pladetektonisk udvikling (Furnes et. al. 1979, Gustafson 1978, Gee 1975, Roberts & Sturt 1980). Skønt der selvfølgelig også findes en anden skole, der hævder, at den udbredte nappe-tektonik skyldes gravitativ opdomning af grundfjeldsmassiver gennem en ensialist sedimentpakke (Ramberg 1966, Cooper & Bradshaw 1980).

I Furnes et. al. (1979) er sammentegnet (se fig 41) de væsentligste ofiolitfragmenter, ø-bue og ensialiske vulkanit forekomster i de skandinaviske kaledonider. Det skal lige bemærkes, at det er vulkanitter, der er afmærket ved Sagelvatn og ikke de tidligere omtalte sagvandit legemer, der er beliggende tæt herved i Skibotn-Nappen.

I Mo i Rana området er ikke foretaget kemiske analyser af bjergarter, endsize foretaget sporelement analyser af intrusiver og extrusiver, der er dog bestilt kemisk analyse af den daterede metaaplit, men denne foreligger endnu ikke. Det vides altså ikke om f.eks. amfibolit horisonterne, de granitoide gange eller keratofyr horisonterne tilhører den calcalkaline suite, selvom det er af forvente.

Fig. 42's illustration af øbue-modellens gyldighed samt Vokes's (1976) påvisning af ligheden med Kuroko-type malm får forfatteren til at fortsætte med opbygningen af en model af den historiske udvikling her udfra.

Man kan således forestille sig, at Mofjell-Gruppen har udgjort en øbue i høj energi miljø med sandede (grå gnejs) og lerede (kyanit gnejs) sedimenter, samt at amfibolit horisonterne repræsenterer lava eller

sills og keratofyr horisonterne repræsenterer sure extrusiver. Plurdal-Gruppens karbonatholdige bjergarter kunne så passende være back-arc sedimenter i et lavenergi miljø.

Næste fase skulle så være overskydningen af Mofjell-Gruppen på Plurdal-Gruppen og en efterfølgende foldning af disse to grupper før intrusionen af Dalselv-granitten 572 m.y. (Graversen et. al. 1981, M. Marker 1983).

Da Dalselv-enheden først er bragt i kontakt med Mofjell-Gruppen under post F_1 overskydningen (M. Marker 1983) kan denne enhed, sammen med Ørtfjell-Gruppen og grundfjeldsmassiverne i vest have dannet "basement" for Mofjell- og Plurdal-Grupperne under første obduktion, eller måske være en del af et mikrokontinent som Avalon i Appalacherne; et eller flere mikrokontinenter er foreslået af Ramsay & Sturt (1977), Roberts & Gale (1978).

En tredje mulighed er, at Dalselv-granitlegemet har intruderet øbue komplekset i en tidlig fase af subduktionen og har revet foldede sedimenter med.

På den nyeste udgave af kortblad Storforshei 1:50.000 (preliminær udgave) fremgår det tydeligt, at hele Mofjell- og dele af Plurdal-Gruppen kan betragtes som en duplex struktur. Der er således ikke længere F_1 -folder, som ikke kan tolkes som flexurer (se fig. 42), eller som ligeså godt kan være interferensmønstre F_2/F_4 (sådanne mønstre ses kun indenfor F_4 antiformen mod øst).

M. Marker, der har sammmentegnet kortblad Storforshei i dette område, mener dog fortsat, at der er tale om en reel F_1 -fase, idet denne er påvist i nærliggende enheder (pers.com.).

F₁-foldning i Ørtfjell-Gruppen (Graversen & Marker 1982) nord for Plurdal-Gruppen må betragtes som veldokumenteret. Kvarts-båndede jernmalme er her jo i sig selv en indikation på Prækambrisk alder. Yderligere kunne den kommende sommers arbejde vise, at den såkaldte Langfjell-zone nord for Plurdal-Gruppen er en hovedoverskydning mellem Plurdal-Gruppen og Ørtfjell-Gruppen.

Uanset om F₁ eksisterer indenfor Mofjell-Gruppen, må man forestille sig, at det næste trin i udviklingen er en "thin-skinned" tektonisk udvikling som den kendes i Appalacherne (Hatcher 1981) og i Alperne (Boyer & Elliot 1982).

Under denne fase er så "skarn-horisonten" blevet dannet af brines, der er trængt frem langs "Floorthrusten". Ultrabasit legemer er slæbt med langs talrige overskydningsplaner, og da man må forestille sig at det er i disse overskydningsplaner, volatilmængden og O₂-CO₂ fugasiteten er størst, bliver de primitive ultrabasiske legemer metamorfoseret til de sagvanditter vi kender i dag.

Den efterfølgende F₂-foldning folder som nævnt de aplitiske gange omkring Malmhaugen. Ca. 15 km syd syd-vest for dette kortblad er tilsvarende granitiske dykes dateret af Claesson (1979). Claesson betragter disse dykes som sen til post-orogene, og hans konklusion er, at alderen angiver intrusionstidspunktet og ikke er en metamorf alder. Dersom Claesson har ret betyder det, at F₂/F₃foldningen er ret præcist fastlagt til omkring 450 m.y.

Ved Karmøy i syd-vest Norge er sene granodioritiske gange blevet dateret til 450 m.y. (Sturt & Thon 1978), dette tolkes af Roberts & Sturt (1980) til i bred forstand at markere afslutningen på den Finmarkiske fase.

Mofjell-området kan altså blive "the missing link" mellem nord og syd-vest Norge, for så vidt angår den Finmarkiske fase.

I Mofjell-området ses, hvis Mofjell- og Plurdal-Gruppen ikke er F_1 -foldet, en komplet øbue-sekvens inklusiv ultrabasitlegemer, obduceret på foldede prækambriske sedimenter og med Sveco-fenisk-grundfjeld "i ryggen".

Hovedparten af den geologiske udvikling tilhører tilsyneladende den Finmarkiske fase. Den skandinaviske fase (mellem-sen Silur) må så være gået ret sporløst hen over området.

Dette skyldes, at Mofjell-området nu er placeret inden for Rödingfjell-Nappen og i denne fase er blevet bevæget "en block".

Alligevel er det sandsynligvis denne fase, der er årsag til den mangeårige diskussion om tværfoldningen i Nordland.

Alle tidligere faser (F_1 ?- F_2 / F_3 inklusiv overskydninger) er idag orienterede med øst-vest lineationer. Der er ikke ud fra udviklingen i hverken syd-vest eller Nord-Norge evidenser for nord-syd kompression under Finmarkisk fase og/eller skandinavisk fase.

En total reorientering af det kaledonske stressfelt fra nord-syd kompression til øst-vest kompression fra 450 my til 420 my (start af skandinavisk fase) synes usandsynlig.

Den nuværende øst-vest lineation tænkes af mange forfattere at være et ældre lineament, der er reorienteret så det nu fremtræder parallelt med den seneste a-retning i et ducilt simple shear system, (Williams

& Zwart 1974, Escher et. al. 1977, Bryant & Reed 1969). Det må altså have virket internt i napperne under deres "emplacement" og altså i den skandinaviske fase. Dette kræver, at F_3 så er en skandinavisk a-lineation, der skal være sent anlagt, det er umuligt at reorientere så åbne strukturer i et simple shear system, uden at de "klapper sammen". F_4 må så være post-skandinavisk.

Et andet forslag bygger på de seneste års udvikling indenfor "thin-skinned tectonics" (se f.eks. Journal of Structural geology, vol. 5/2, 1983 eller McClay & Price 1981).

Dersom de relativt smalle strimler i den totale kaledonske sammenhæng i hvilke "tvær-akserne" er de dominerende, kan påvises i stedet for at være udviklede i forbindelse med frontal-ramper, som her foreslået i det tektoniske afsnit, i stedet er lateral ramper (se fig. 43,44). I så fald har man ikke længere problemet med "extension" af lag og hele lagpakker, samtidig med generel "shortning" i samme retning.

Et forsøg på at tegne "Branch-line" kort og profiler er forsøgt af Hossack (1983) for Trondhjemsregionen, det kunne også være vejen frem her i regionen.

Der er ingen mulighed for at fastlægge F_4 -foldningen tidsmæssigt. Den kan være foregået under skandinavisk fase eller under den tidlige Devone fase, som markerer afslutningen på den kaledonske udvikling (Roberts & Sturt 1980).

Konklusion

Mofjell-Gruppen er et tidligere øbuekompleks måske af Proterozoisk alder med en bagved liggende lavenergi zone i hvilken Plurdal-Gruppens bjertgarter er aflejret.

Denne sekvens er så sandsynligvis - men ikke nødvendigvis - overskudt og foldet præ-kaledonsk måske sveko-norwegisk, (dersom dette er tilfældet er malmgenesen i Plurdal-Gruppen og Mofjell-Gruppen af vidt forskellig alder). Om denne fases metamorfosegrad kan intet sikkert siges, måske er den i grønsifer-facies (relict plagio-klas med An_{10}).

Finmarkisk fase markeres af udbredt overskydningstektonik med syn-orogen malmdannelse (skarnhorisonten) og foldning (F_2) samt senkinematisk intrusion af aplitiske-granodioritiske gange, med dannelse af replaceringsmalm, alt under amfibolit facies betingelser. Tilfældig orientering af zoisit i lagplaner, discondant phengitisk muskovit, granatvækst i alle bjergarter undtagen grå gnejs enhed, tilfældig orientering af epidot og chlorit viser at metamorfosegraden er faldet langsomt, og måske har holdt sig i grønsifer facies under hele den resterende kaledonske udviklingshistorie.

Skandinavisk fase går "sporløst" hen over området, idet hele området forsættes "en block"; med mindre en ductil simple shear model akcepteres, og man betragter alle lineationer og lag som reorienterede.

En model udfra "Thin-skinned-tectonics" kan løse problemet uden en reorientering.

F_4 er sandsynligvis af sen-post-skandinavisk alder.

GEOLOGISK KORT OVER REINFJELL-PLURA

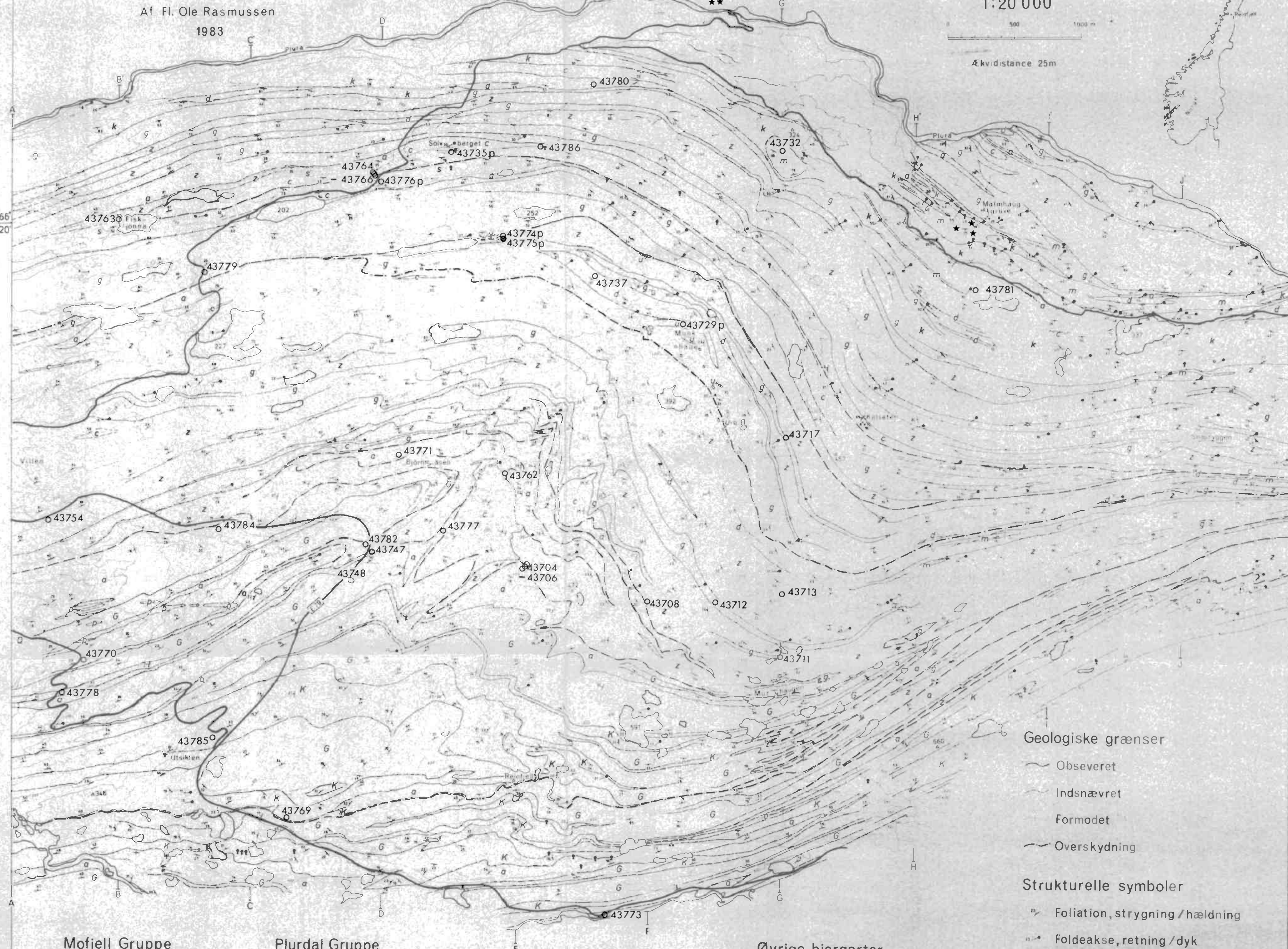
Af Fl. Ole Rasmussen

1983

PRØVE-LOKALITETER

1:20 000

Ækv. distance 25m



Mofjell Gruppe

- K** Kyanit-gnejs
- G** Grå gnejs enhed
- H** Hornblendegnejs
- a** Amfibolit

Plurdal Gruppe

- z** Zoisit-kalkglimmerskifer
- g** Granat-kvarts-glimmerskifer
- k** Karbonatgnejs
- s** Kalksilikatbjergart ("Skarn")

- c** Calcit-marmor
- d** Dolomit-marmor
- a** Amfibolit

Øvrige bjergarter

- u** Ultrabasit
- p** Pegmatit
- m** Meta-aplit
- q** Kvartær sand/grus

Geologiske grænser

- Obseveret
- Indsnævret
- Formodet
- Overskydning

Strukturelle symboler

- Foliation, strygning / hældning
- Foldeakse, retning / dyk
- Lineation, retning / dyk

Profillinier

- Skjerp / mine, nedlagt
- 43700 Prøvelokalitet og prøvenummer
- p Polerprøve
- ★ Dateringsprøve

F.O.R. - 83

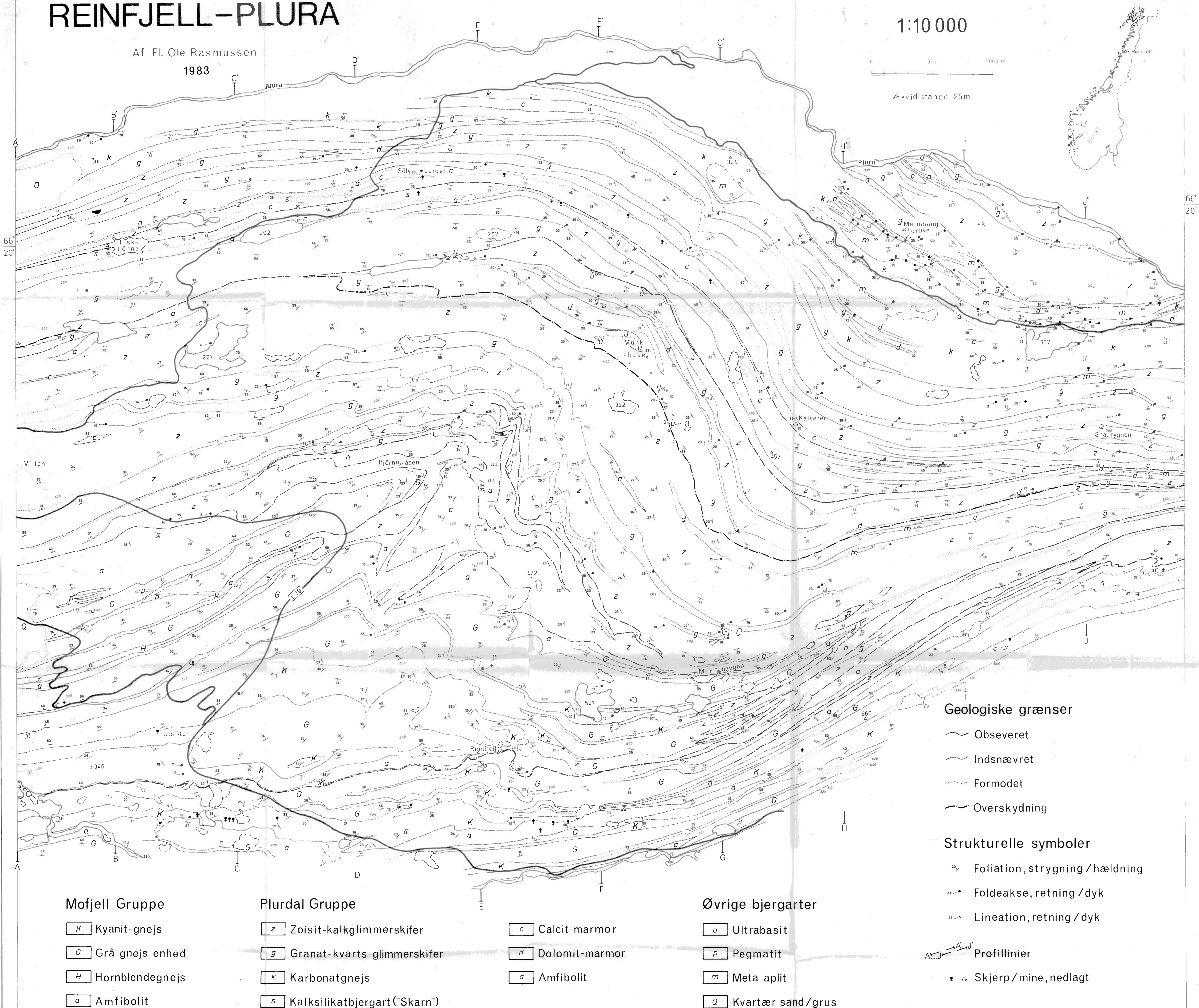
GEOLOGISK KORT OVER REINFJELL-PLURA

Af Fl. Ole Rasmussen
1983

1:10 000

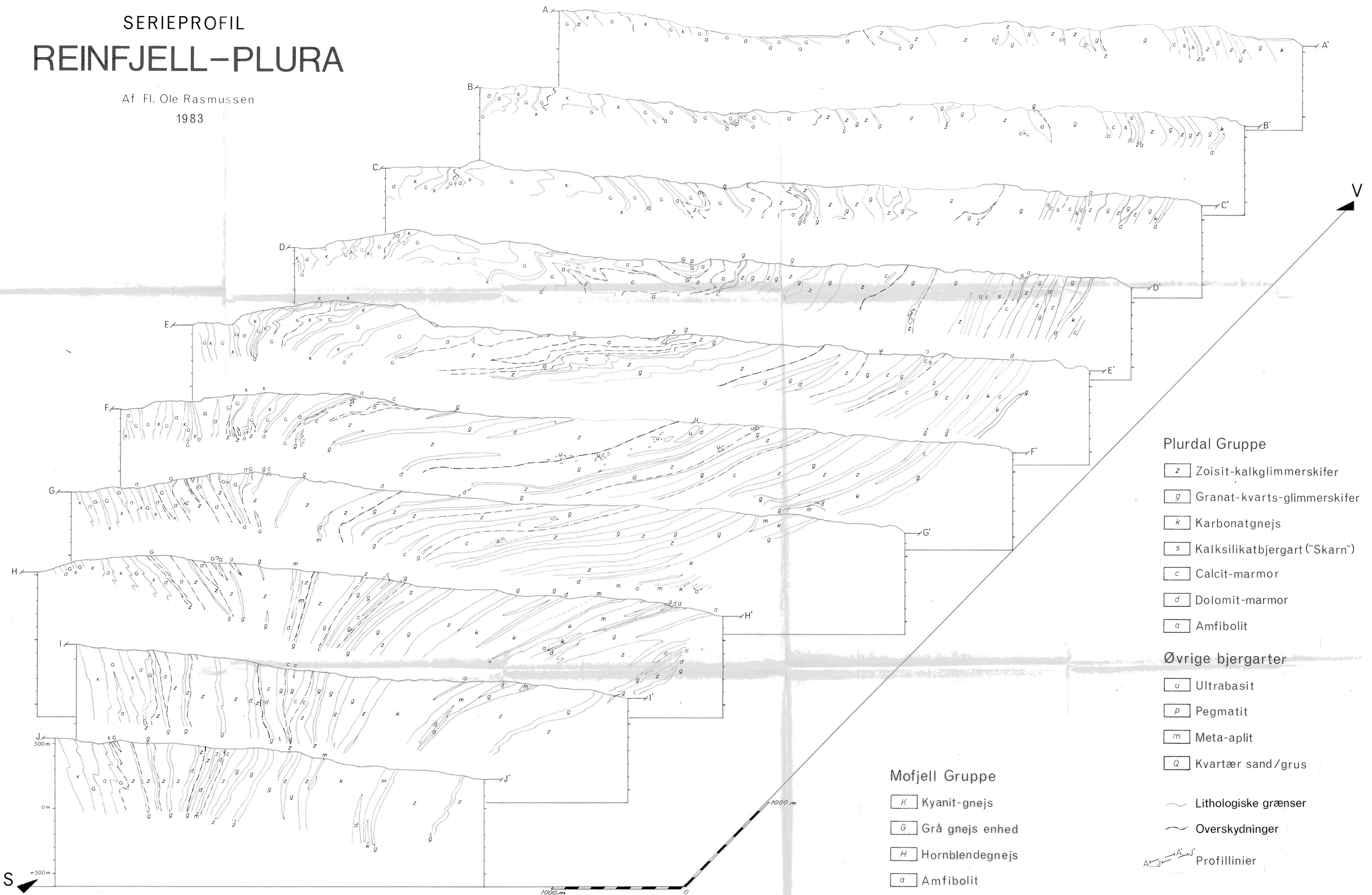
0 500 1000 m

Ækvdistance 25m



SERIEPROFIL REINFJELL-PLURA

Af Fl. Ole Rasmussen
1983



Plurdal Gruppe

- z Zoisit-kalkglimmerskifer
- g Granat-kvarts-glimmerskifer
- k Karbonatgnejs
- s Kalksilikatbjergart ("Skarn")
- c Calcit-marmor
- d Dolomit-marmor
- a Amfibolit

Øvrige bjergarter

- u Ultrabasit
- p Pegmatit
- m Meta-aplit
- Q Kvartær sand/grus

Mofjell Gruppe

- K Kyanit-gnejs
- G Grå gnejs enhed
- H Hornblendegnejs
- a Amfibolit

— Lithologiske grænser

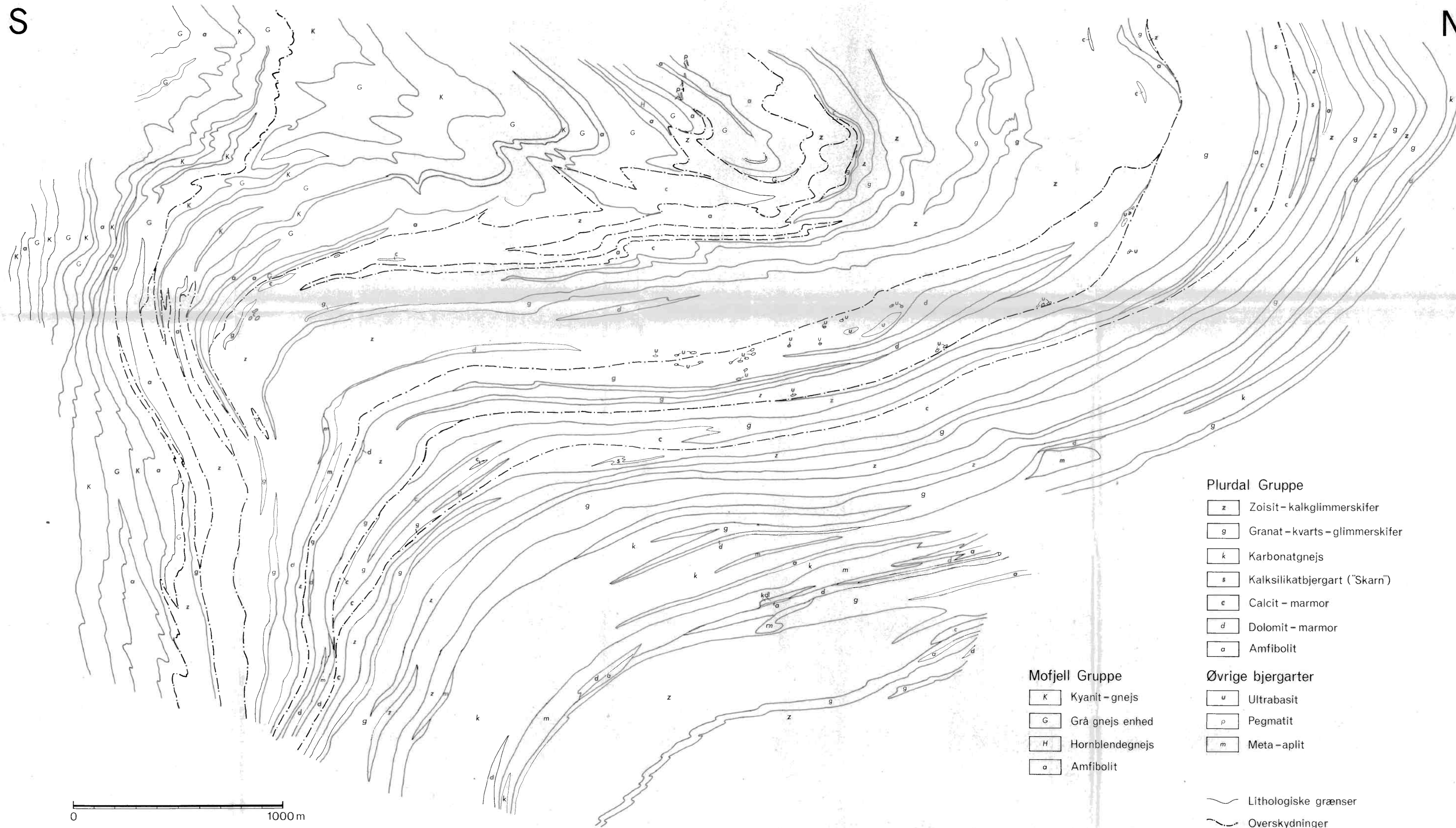
— Overskydninger

A'—J' Profillinier

KONSTRUERET PROFIL MED E-E' SOM BASISLINIE

REINFJELL-PLURA

AF FL. OLE RASMUSSEN
1983



AKSEKORT REINFJELL - PLURA

AF FL. OLE RASMUSSEN

1983

1:20 000

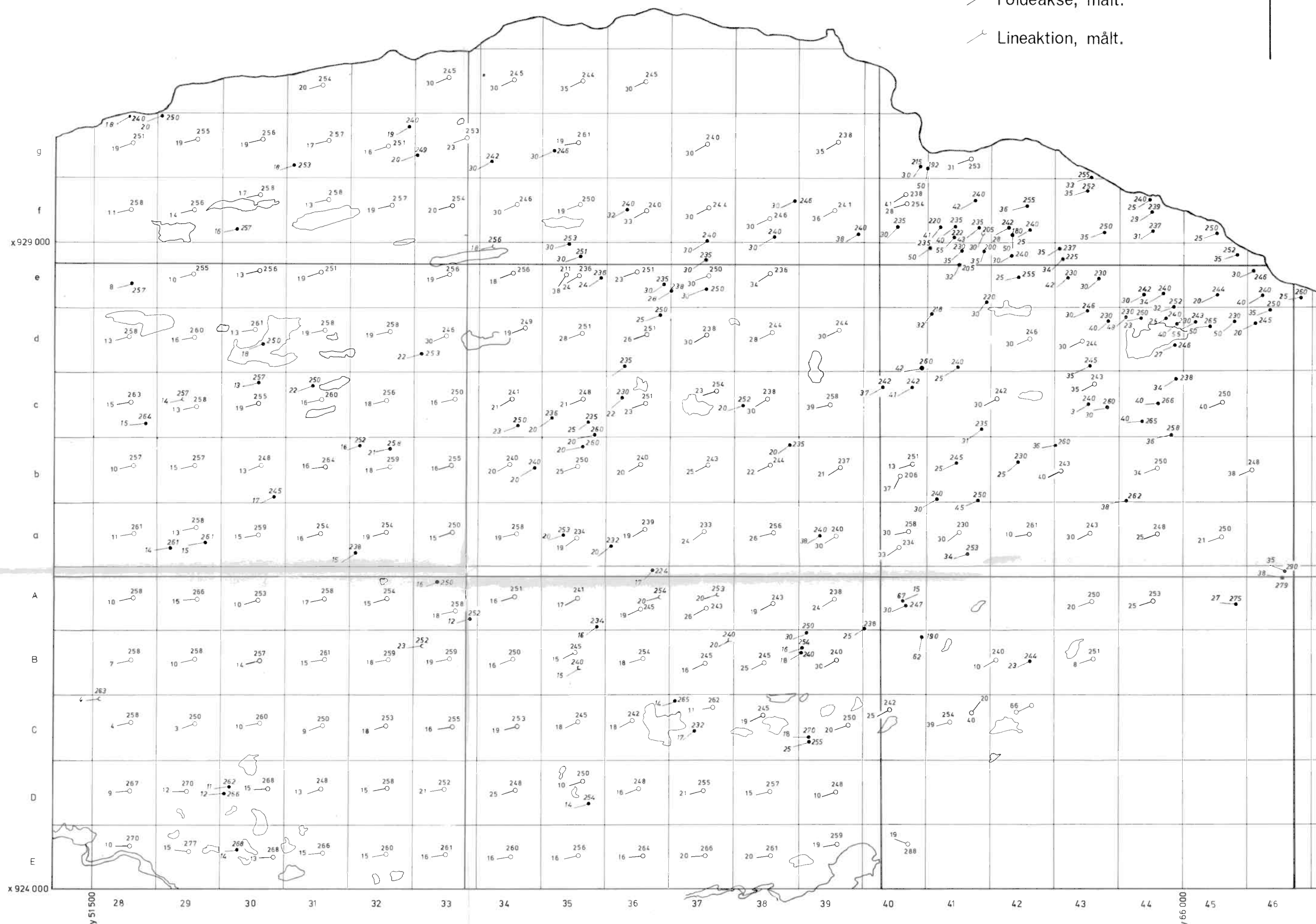
0 1000m.

N

○ Foldeakse, konstrueret. (F_2)

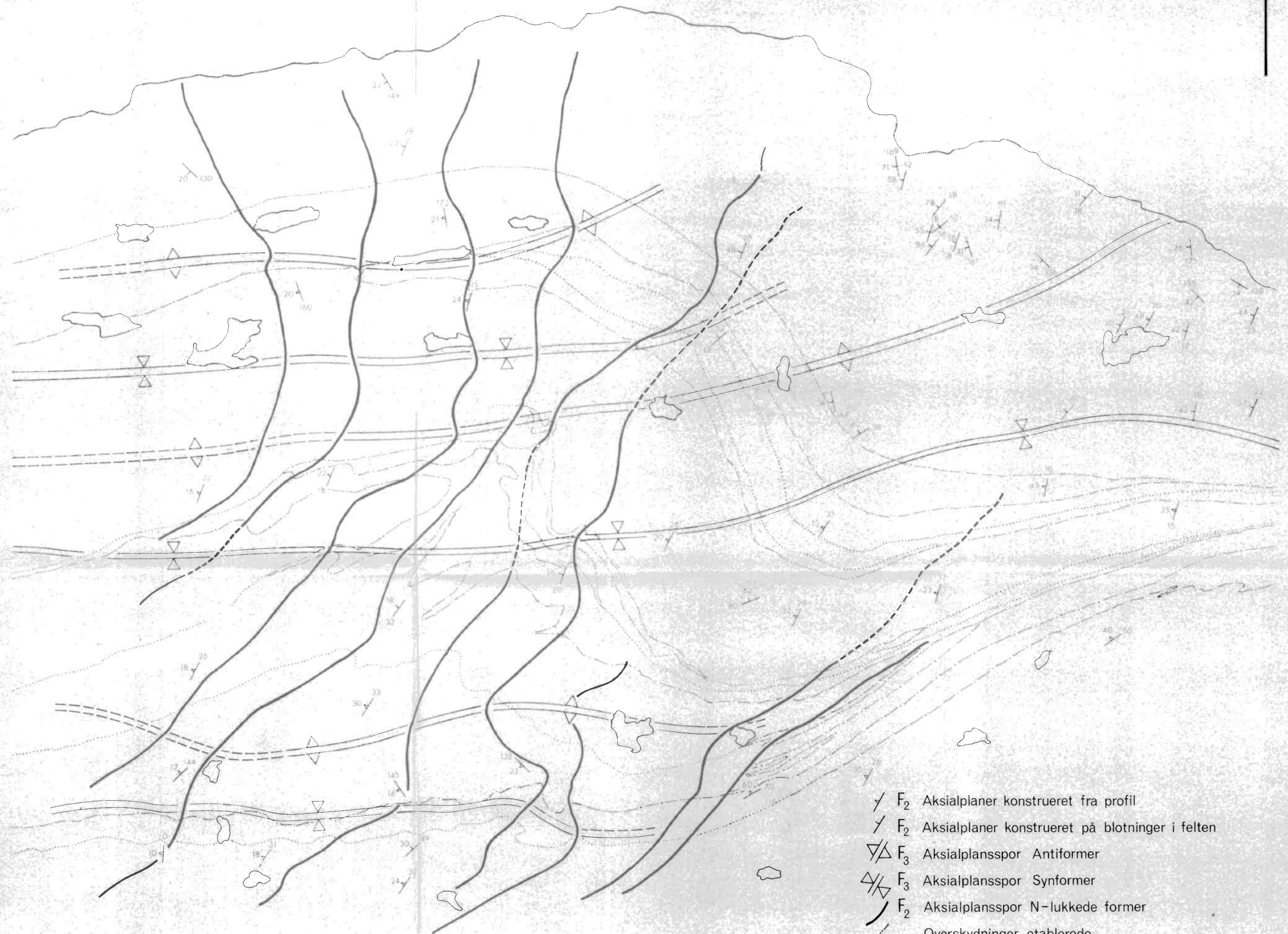
● Foldeakse, målt.

— Lineaktion, målt.



Aksialplaner
REINFJELL - PLURA
Af Fl. Ole Rasmussen

1: 20 000
0 500 1000 m.



- ✓ F₂ Aksialplaner konstrueret fra profil
- ✓ F₂ Aksialplaner konstrueret på blotninger i felten
- ▽/△ F₃ Aksialplansspor Antiformer
- △/▽ F₃ Aksialplansspor Synformer
- F₂ Aksialplansspor N-lukkede former
- Overskydninger etablerede
- Overskydninger formodede

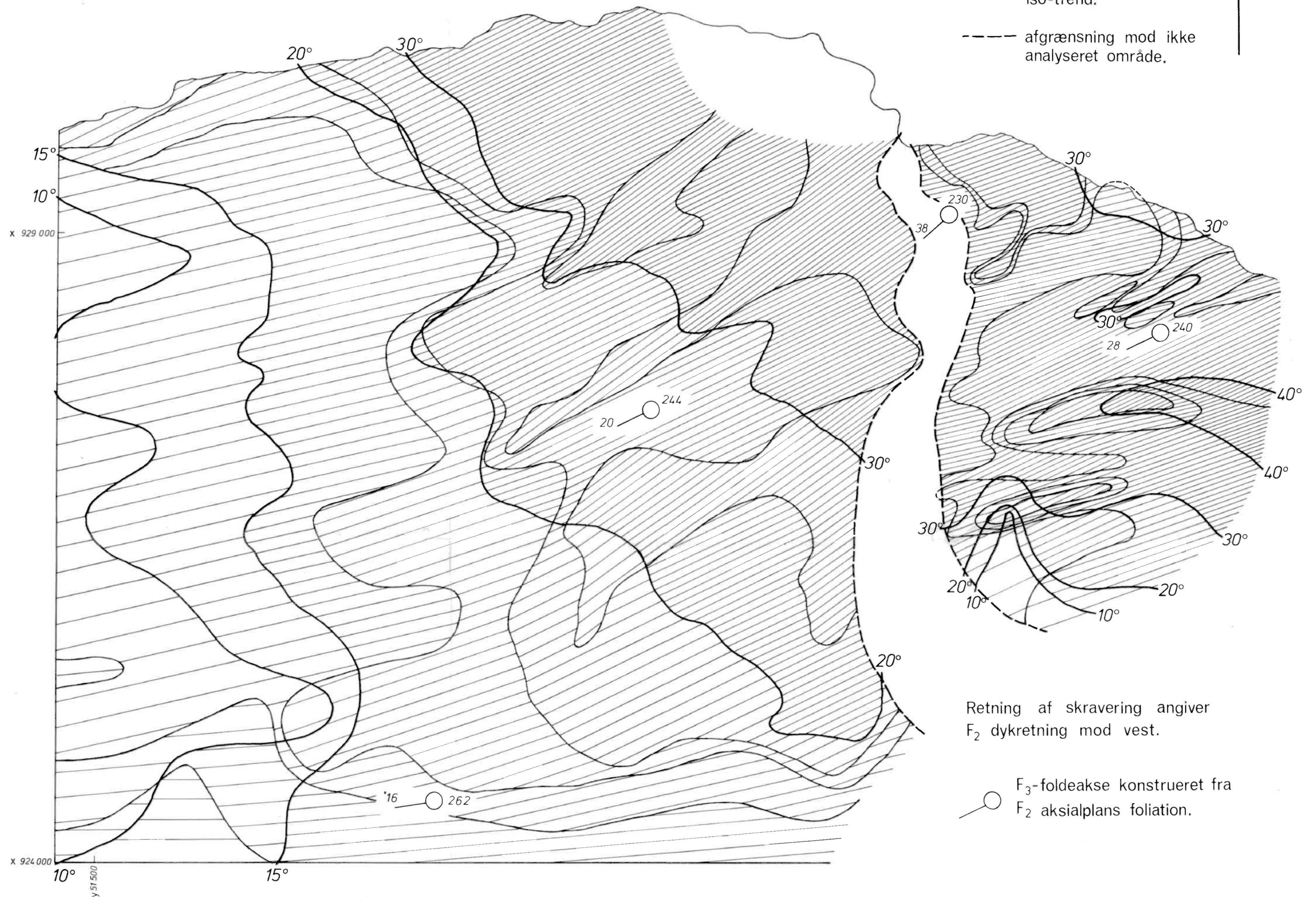
KORT OVER FOLDEAKSEVARIATION REINFJELL-PLURA

AF FL. OLE RASMUSSEN
1983

1:20 000
0 1000m.



- iso plunge.
- iso-trend.
- - - afgrænsning mod ikke analyseret område.



Retning af skravering angiver
 F_2 dykretning mod vest.

○ F_3 -foldeakse konstrueret fra
 F_2 aksialplans foliation.



SKARN FORMATION AND MINERALIZATION
IN THE BOSSMO AND PLURA AREA
(NORTHERN CENTRAL CALEDONIDES)
RANA DISTRICT; NORWAY

MONIKA SCHENK

1987

Submitted as partial fulfillment of
the requirements for a Diploma
in Geology/Earth Sciences at the
Swiss Federal Institute of Technology (ETH)
Zürich/Switzerland

Advisor: Prof. Marc Grünenfelder
(Institut für Kristallographie und Petrographie
ETH Zürich)

Co-advisor: Prof. Arne Bjørlykke
(Institutt for Geologi,
Universitetet i Oslo)

ABSTRACT

In the Plura valley, east of Mo i Rana in northern Central Norway (Nordland county), about 40 kilometers south of the arctic circle, small occurrences of Cu-, Fe- and Zn-sulphides occur associated with massive, iron-rich calcsilicate rocks (skarn).

The skarn zone, an about 15 kilometer long and up to 300 meter wide band of lenses, is lying concordant to the bedding in a marble layer, within a serie of cambro-silurian metasediments, comprised of calcareous- or garnet mica schists, marbles and subordinate amphibolites and quartz-rich gneisses (Plurdal group). The rocks are polymetamorphic with an amphibolite facies mineralogy, and later greenschist facies assemblages. The amphibolite facies metamorphism was accompanied by isoclinal folding.

Teconostratigraphically, the Plurdal group belongs to the Rödingsfjell nappe, which is part of the tectonically uppermost allocthonous nappe complex in the Norwegian Caledonides.

The ore mineralization comprised in the skarn lenses consists of dominantly chalcopryite, pyrrhotite and sphalerite with locally magnetite, arsenopyrite, pyrite, mackinavite and cubanite. The skarn minerals show a prograde, anhydrous assemblage with garnet and clinopyroxene growth, and a later, retrograde, hydrous stage with actinolite, epidote or clinozoisite and locally vesuvianite, axinite and apophyllite. Ore deposition took place mainly during the early retrograde stage.

Three zones were distinguished, based on their predominant ore (and gangue) minerals:

- the western Bossmo zone, with andradite-rich garnet, salitic to ferrosalitic pyroxene, as well as vesuvianite and axinite. The predominant ore mineral is idiomorphic magnetite, along with pyrite, pyrrhotite and chalcopryite.

- the Mjöllia-Granhei zone with ferrosalitic to hedenbergitic pyroxene, almandine-grossularite garnet, sphalerite as dominant ore mineral and minor pyrrhotite, chalcopryite, arsenopyrite and magnetite.

- the eastern Flatlia-Kalseter zone, with still almandine- and hedenbergite-richer garnets and pyroxenes, respectively. Alteration of pyroxenes to iron-rich actinolite is widespread. This actinolite-rich zones are frequently enriched in chalcopryite, which is the dominant ore mineral in this zone, besides minor pyrrhotite.

The concordant, stratabound occurrence of the skarn bodies, as well as the lack of any larger intrusive bodies were formerly interpreted as evidence for a pure metamorphic transformation of an iron-rich sediment, resulting in skarn. However, structural and petrographic investigations, combined with K/Ar isotope mineral data point to a metasomatic origin of the skarn, subsequently followed by the main metamorphic event and associated isoclinal folding. A thrust fault recognized along the skarn zone could have served as passway for fluids.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Gebiet des Plura Tales, östlich der Stadt Mo i Rana im nördlichen Norwegen (Provinz Nordland), etwa 40 Kilometer südlich des Polarkreises, finden sich mehrere kleinere Cu-, Fe- und Zn- sulphid Vorkommen, die an massive, eisenreiche Kalksilikatgesteine (Skarn) gebunden auftreten.

Diese Skarngesteine liegen als linsenförmige Boudins über eine Länge von 15 Kilometern konkordant zur Schichtung in einer Serie von kambro-silurischen Sedimenten, die während der kaledonischen Orogenese mehrmals verformt, überschoben und metamorphisiert wurden, und heute als Marmore, Kalkglimmerschiefer, Granatglimmerschiefer und untergeordnet

Gneisse vorliegen (Plurdal Gruppe). Vereinzelte Vulkanitlagen treten in Form von ebenfalls konkordanten Amphiboliten auf.

Die Plurdal Gruppe gehört zur Rüdingsfjelldecke, und somit zum oberstgelegenen Deckenpaket, dem 'Uppermost Allochthon', der norwegischen Kaledoniden. Die Hauptmetamorphose, die Amphibolit-facies-bedingungen erreichte, ist von einer isoklinalen Faltung begleitet.

Das Erz in den Skarnlinsen besteht namentlich aus Chalcopyrit, Pyrrhotin und Sphalerit, mit lokalem Auftreten von Magnetit, Arsenopyrit, Pyrit, Mackinavit und Cubanit. Bei den Skarnmineralien kann eine prograde, wasserfreie Paragenese mit Granat und Clinopyroxen, und eine retrograde Phase mit wasserhaltigen Mineralien wie Aktinolit, Epidot oder Clinozoisite sowie lokal Axinit, Vesuvian und Apophyllit unterschieden werden. Die Erzbildung erfolgte hauptsächlich zu Beginn der retrograden Phase.

Drei in ihrer Mineralogie verschiedene Zonen können unterschieden werden:

- die westliche Bossmo Zone, mit Andradit-reichem Granat, salitisch - ferrosalitischem Pyroxen, ferner auch Vesuvian und Axinit. Als Haupterz tritt idiomorpher Magnetit auf, nebst Pyrrhotin, Pyrit und Chalcopyrit.

- die Mjöllia-Granhei Zone, mit ferrosalitischem - hedenbergitischem Pyroxen und Grossular-Almandine Granat. Sphalerit ist das typische Erzmineral dieser Zone, begleitet von Pyrrhotin, Chalcopyrit, ferner Arsenopyrit und Magnetit.

- die Flatlia-Kalseter Zone, mit noch Almandine-reicherem Granat und Hedenbergit-reicherem Pyroxen. Häufig beobachtet wird die Alteration von Pyroxen zu eisenreichem Aktinolit. Diese Aktinolitreichen Gesteine sind vielfach reich an Chalcopyrit, der in dieser Zone das vorherrschende Erzmineral ist.

Das konkordante Vorkommen des Skarnhorizontes, sowie das Fehlen einer Intrusion in der Nähe führte vormals zur Hypothese, dass der Skarn während der Hauptmetamorphose (Amphibolit Fazies) aus einem eisenreichen Sediment entstand, ohne jede Zuführung weiterer Komponenten. Strukturelle und petrographische Untersuchungen, kombiniert mit K/Ar Datierung an Amphibolen im Rahmen dieser Arbeit, sprechen jedoch eher für eine metasomatische Entstehung des Skarnes, mit Zuführung verschiedener Elementen wie Fe, Mn, Cu und Zn, und nachträglich erfolgender Metamorphose und Deformation. Das heutige langgezogene Erscheinungsbild und die Boudinierung des Skarnes dürfte hauptsächlich auf die starke, kaledonische Deformation zurückzuführen sein. Möglicherweise spielte auch eine ältere Ueberschiebungsfläche entlang des Skarnhorizontes als Zuführkanal für Fluids eine Rolle.

INDEX

A. REGIONAL GEOLOGY

1. INTRODUCTION	6
1.1. Location, access and physiography	
1.2. Mining history and previous geological work	
2. LARGE SCALE TECTONICS.....	10
2.1. The Northern Central Caledonides	
2.2. The Rödingsfjell Nappe Complex	
3. GEOLOGIC SETTING.....	16
3.1. Host rock lithology	
3.2. Ore occurrences in the Plurdal rocks	
3.3. Regional metamorphism	
B. CHARACTERISTICS OF SKARN AND ASSOCIATED ORE	
4. GENERAL CHARACTERISTICS; OCCURRENCE AND SIZE OF PLURA SKARN BODIES	
4.1. Structural setting	
4.2. Texture	
4.3. Sequence of events	
5. MINERALOGY OF SKARN.....	54
5.1. Bossmo zone	
5.2. Mjöllia-Kalseter zone	
5.3. Composition of skarn minerals	
5.4. Ore mineralization in skarn	
5.5. Summary diagram	
6. GEOCHEMICAL VARIATIONS WITHIN SKARN ZONES.....	80
6.1. Major elements	
6.2. Trace elements	
6.3. Zonal variations	
6.3.1 The Mjöllia-Kalseter zone	
6.3.2 The Bossmo zone	
7. GENESIS OF SKARN: GENERAL CONSIDERATIONS.....	84
7.1. The Bossmo zone	
7.2. The Mjöllia-Kalseter zone	
7.3. Correlation between the Bossmo- and the Mjöllia-Kalseter zones	
8. K/Ar ISOTOPE DATING ON AMPHIBOLES.....	98
9. CONCLUSIONS.....	103
10. REFERENCES.....	104
11. ANALYTICAL METHODS	109
12. ACKNOWLEDGEMENTS	110
13. MAPS	
Fig.26 Generalized Geological Map (with sample locations)	
Fig.27 Map locations	

4.3. SEQUENCE OF EVENTS (summary)

The skarn gangue- and ore minerals reflect a sequence of phase assemblages which could be explained as a function of time and physiochemical changes (e.g. decline of temperature, change of fugacities, c.f. chapter 7) and which is indicated by microfabrics, spatial distribution (zonation) and mode of occurrence (massive bodies, veins, fracture fillings).

Relative age classification on the basis of crosscutting vein and overgrowth relationships indicate an early **anhydrous** stage with iron-rich pyroxene and garnets. Cross-cutting the generation of early (prograde) skarn, are garnet-veins, some of them associated with sphalerite. Late garnets, in particular those accompanied by sphalerite, show in general higher Mn-values than earlier ones.

Following the main stages of garnet and pyroxene formation, zones, veins and fracture fillings of **amphibole + quartz + calcite** occur, replacing the pyroxene and in some cases also garnets. Most of the amphibole is actinolitic and is often associated with chalcopyrite (retrograde stage).

In the Bossmo area, the latest skarn forming process is characterized by vesuvianite, axinite and clinozoisite.

Ore precipitation took mainly place during the late prograde and early retrograde stage, after formation of garnet and pyroxene. Copper mineralizations are concentrated in areas, where abundant alteration of prograde skarn to amphibole occurred. This is especially the case in the most eastern part, where intense brecciation is observed, pre- and syn-dating the retrograde stage. The skarn forming stages succeed one another and later periods are in general superposing earlier stages.

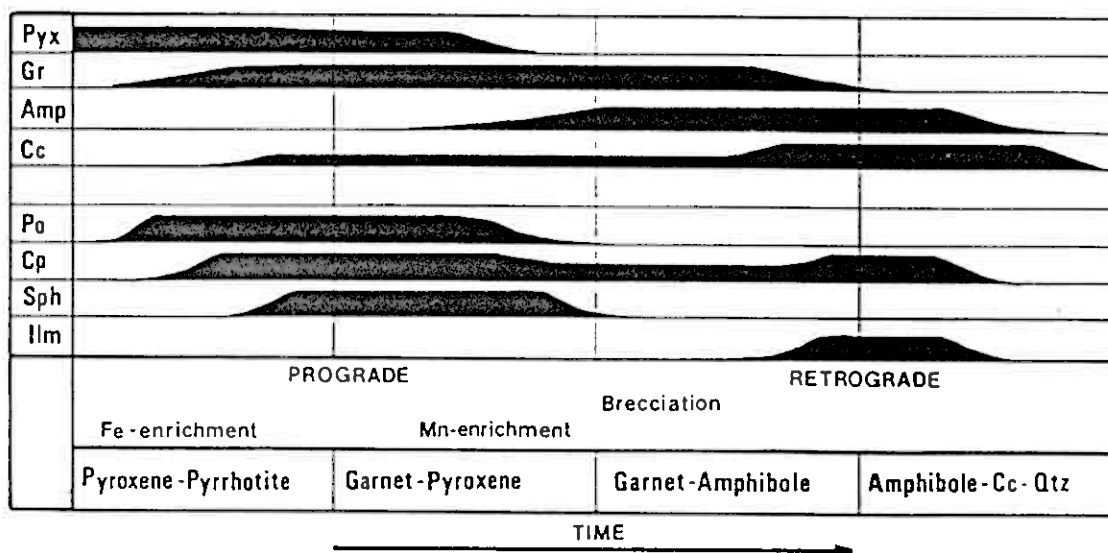


Fig. 9: Schematic diagram, showing the sequence of major minerals in the Mjöllia-Kalseter zone, as developed adjacent to fractures and veinlets or in breccia-zones, and as indicated by overgrowth relationships.

Boudination and isoclinal folding (f2) are supposed to be postdating the main skarn forming process. However, the f2 folding and associated metamorphism may have functionated over a wide time span. More precise relations and in particular the timing of the boudination are difficult to work out under the present exposure conditions and the complex structural situation. The sharp contacts of the skarn boudins in the Seterdalen adit suggests, that skarn formation came to an end before it was boudinated.

Hence, the sequence of the main events was as follows:

- 1) **prograde, anhydrous skarn formation**
(clinopyroxene and garnet); massive and polygonal texture
- 2) **ore deposition, first pyrrhotite, then**
chalcopyrite and sphalerite, the former in general being the latest one.
- 3) **retrograde, hydrous stage of skarn**
formation, growth of radiating actinolites besides clinozoisite/epidote and locally vesuvianite, axinite. Late manganoan calcite and spessartite in veins. As latest retrograde minerals apophyllite, chlorite.
- 4) **brecciation, beginning already during late**
prograde stage, since actinolite+calcite+chalcopyrite are found as matrix
- 5) **boudination, folding and regional**
metamorphism (f2,M1)

Tab. 3: Comparison of the Bossmo - Plura skarn zones

	<u>BOSSMO</u>	<u>MJØLLIA-GRANHEI</u>	<u>FLATLIA-KALSETER</u>
Skarn types	grandite-magnetite pyroxene-epidote garnet-pyroxene calcitic (amphibole)	garnet-pyroxene pyroxene amphibole clinozoisite-garnet	garnet-pyroxene pyroxene-pyrrhotite amphibole clinozoisite-garnet
Prograde minerals (anhydrous stage)	salite-ferrosalite (hd ₅₀), late pyx: hd-richer grandite core (ad ₆₃₋₇₀ gr ₁₉₋₃₇) rim (ad ₅₈₋₆₈ gr ₂₅₋₄₀)	ferrosalite-hedenbergite (hd ₆₀₋₆₅) almandine-grossularite (alm ₄₅₋₅₀ gr ₃₅₋₄₅)	ferrosalite-hedenbergite (hd ₇₀) almandine-grossularite core (alm ₄₅₋₅₀ gr ₃₅₋₄₀) rim (alm ₅₄₋₆₅ gr ₂₆₋₄₀)
Retrograde minerals (hydrous-stage)	Fe-actinolite epidote vesuvianite axinite apophyllite	Fe-actinolite clinozoisite	Fe-actinolite clinozoisite
Ore minerals	magnetite (pyrite, pyrrhotite, chalcopyrite)	sphalerite (pyrrhotite, chalcopyrite, arsenopyrite, magnetite)	chalcopyrite (pyrrhotite, sphalerite, bismuth)
geochemical variations within skarn types	Ca, Si, Fe, Mn	Ca, Al ₂ O ₃ , (Fe, Mn)	Ca, Al ₂ O ₃ , (Fe, Mn)
Fe ² /Fe ³ (atomic)	low (0.38 - 6.1) relatively oxidized	high (12.8 - 14.0) relatively reduced	high (2.4 - 17.2) relatively reduced

Fig. 17: Summary diagram

Gar Pyx Amph Cz Ep Cc Qz Ves Ax Sch Po Py Cp Sph Asp Mt Ilm

BOSSMO

Grandite-Magnetite																	
Pyroxene-Epidote																	
Garnet-Pyroxene																	
Amphibole-Garnet																	
Calcitic skarn																	

MJÖLLIA - KALSETER

Pyroxene-Pyrrhotite																	
Garnet-Pyroxene																	
Garnet-Amphibole																	
Clinozoisite-Garnet																	

Abbreviations:	Gar	garnet	Cc	calcite	Sch	scheelite	Sph	sphalerite
	Pyx	pyroxene	Qz	quartz	Po	pyrrhotite	Asp	arsenopyrite
	Amph	amphibole	Ves	vesuvianite	Py	pyrite	Mt	magnetite
	Cz	clinozoisite	Ax	axinite	Cp	chalcopyrite	Ilm	ilmenite
	Ep	epidote						

The summary diagram shows the composition of the different skarn types in the Bossmo- and the Mjöllia - Kalseter zones. (Retrograde minerals are indicated by single lines, prograde minerals by double lines. Stippled lines are for minerals that occur only rarely)

9. CONCLUSIONS

Skarns, on the whole, display a broad variety in ore content, zoning sequences and gangue mineralogy, as a consequence of many factors such as tectonic setting, related plutons, depth of emplacement, local pH conditions, host rocks and fluid composition, as repeatedly mentioned by many authors (e.g. Burt, 1974; Evans, 1980; Einaudi et.al, 1981 and 1982; Kwak, 1986)

Most skarns can be related to a visible pluton, while others show a close relation to fault systems or shear zones, which may have served as pathways for fluids of unknown origin (e.g. Linchburg, Titley 1961). Skarns formed by metamorphic recrystallization of impure carbonates or volcano-sedimentary rocks are for instance the Sterling Hill and Franklin deposits in New Jersey (Squiller and Sclar, 1980) and the Ausable Magnetite deposits, New York State (Hagner and Collins, 1967). The garnet-pyroxene-magnetite deposits of the Arendal district, southern Norway (Bugge, 1941; 1978) are supposed to be formed as large scale reaction skarn during granulite-facies metamorphism. Most skarns formed by metamorphic processes seem to occur in high-amphibolite- to granulite-facies regions.

For the Plura and Bossmo skarns, the two 'end member models' of pure isochemical metamorphism and of infiltrational metasomatism have been discussed.

Since the skarn bodies are boudinated, folded and metamorphosed, the whole evolution appears to be extremely complicated and both, metasomatism and metamorphism may have been involved, for instance in a manner as described by the 'fluid trap' model (cf. chapter 7.2.)

However, it has been shown, that at least the skarn zone at Bossmo exhibits significant evidence for the influence of fluids, probably of magmatic origin, as indicated e.g. by the occurrence of axinite.

The described features of the Mjöllia-Kalseter skarn zone, such as mineralogy, geochemistry, zonation and temperature of formation, could be explained by both isochemical metamorphism of a Fe-Ca-rich sediment, containing sulphides, or by infiltrational metasomatism, or a combination of both. Texture and time relation of skarn relative to country rocks would favour a metasomatic model.

K/Ar isotope data of hornblendes from amphibolites, with an age of 415 ± 6 my, interpreted as time of amphibolite facies metamorphism in the Plurdal group, compared with skarn actinolite (489 ± 6 my), imply that skarn was formed prior to the amphibolite-facies metamorphism generally related with the f2 isoclinal folds (cf. chapter 8).

Assuming, that both skarn zones were formed as a more or less concordant body by the same process, which seems reasonable because of their similar time- and host-rock relations, infiltrational metasomatism, subsequently followed by deformation and medium-grade metamorphism, are supposed to be responsible for the skarn formation.

Fig. 27

Map locations

1 : 5000

p.I Mjöllia - Granhei
p.II Flatlia - Fisktjønna
p.III Seterdalen - Kalseter

Details/sections

Fig.10 The Bossmo skarn outcrops
Fig.13 Flatlia: section (stratigr. column of the skarn zone)
Fig.14 The Kalseter Mine
Fig.15 The Seterdalen Mine

Overview and sample locations: Fig.26 Generalized geological map of the Bossmo-Plurdal skarn zone
(covers the same part as map below)

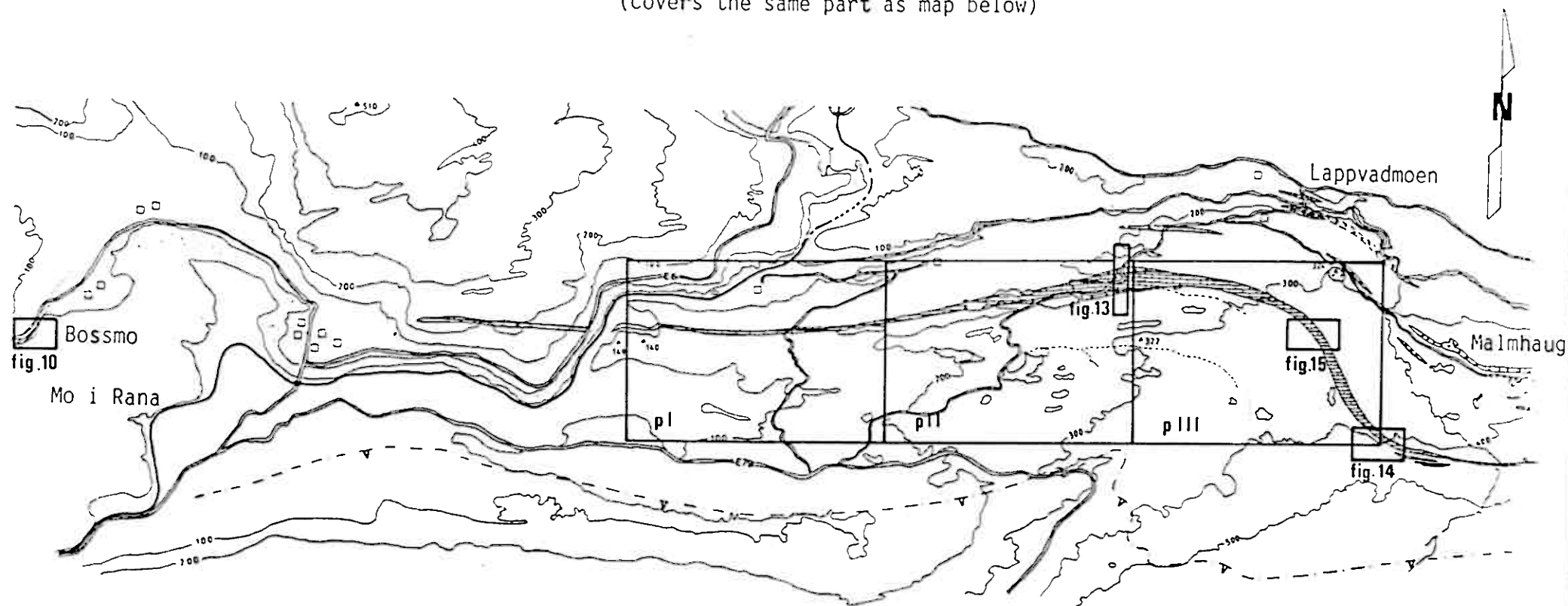


Fig. 26
Generalized Geological Map of the
BOSSMO - PLURDAL SKARN ZONE

