

NGU Rapport 91.214

**Hvaler-prosjektet: Grunnvann i fjell.
Sprekkekartlegging i
Iddefjord-Granitten**

Rapport nr. 91.214		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen
Tittel: Hvaler-prosjekt : Grunnvann i fast fjell. Sprekkekartlegging i Iddefjord-Granitten			
Forfatter: David Banks & Erik Rohr-Torp		Oppdragsgiver: NGU	
Fylke: Østfold		Kommune: Hvaler	
Kartbladnavn (M=1:250.000) Oslo		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) 1913-III Fredrikstad	
Forekomstens navn og koordinater: Kirkeøy UTM 616 6550		Sidetall: 149	Pris: 190,-
		Kartbilag:	
Feltarbeid utført: Mai-Juni 1990	Rapportdato: 31.12.91	Prosjektnr.: 63.2462.00	Ansvarlig: <i>Göran Norland</i>
Sammendrag: Hovedmålet med sprekkekartleggingen har vært å prøve å identifisere stressmønsteret som forårsaket sprekkesystemet på Hvaler. To motsigende hypoteser har blitt foreslått. i) En forholdsvis enkel, subjektiv tolkning av sprekkesoneretninger fra flyfotografier over den nord-vestlige halvdelen på Kirkeøy tilsier en NNØ orientert σ_1 . Denne modellen er ikke inkonsistent med mer nøyaktige analyser av sprekker fra kart, flyfotografier og feltmålinger. Denne modellen kan kritiseres på forskjellige teoretiske grunnlag, men den er konsistent med to mulige tektoniske forklaringer. a) Dannelse av sprekkesystemet i sen-prekambrium, nesten samtidig med selve granitten. En NNØ-lig hovedstress svarer til den VNV-rettet fabrikk i de omkringliggende gneisbergartene som følge av den Sveconorvegiske fjellbyggingsfase. Den svarer også til en ca. NV-lig orientert fabrikk i granitten som er observert av tidligere forskere. b) En høyrelaterale skjærbevegelse langs Oslograbengrenseforkastningen i post-permisn tid. ii) Analyse av bevegelsesretningen langs mindre og større sprekkesoner (tolket fra retningen på en-echelon tensjons- eller Reidal-skjærsprekken) tilsier σ_1 med retning 150° (dvs NNV). Denne tolkningen er støttet av oppdagelsen av NNV-orienterte diabasganger på Kirkeøy og Kjøkøy. Denne tolkningen kan muligens være mer pålitelig enn den ovennevnte tolkningen, pga. at den er basert på konkrete data. En datering av diabasgangene vil kunne avgjøre stressfeltets alder og tektoniske sammenheng. De to helt forskjellige tolkningene illustrerer hvor lett det er å konstruere et fornuftig stressmønster for dannelsen av et sprekkesystem, og så foreslå en inndeling av sprekkesonene mellom tensjons- og skjærsprekker. Det må på forhånd kunne finnes en ensidig tolkning av sprekkesystemet for virkelig å kunne teste om stressmønsteret som dannet et sprekkesystem kontrollerer grunnvannsytselen fra sprekker av ulike retninger. Det har hittil ikke vært mulig å gjøre dette på Hvaler.			
Emneord: Hydrogeologi	Grunnvannsmagasin	Berggrunn	
Granitt	Borestedsundersøkelse	Feltmåling	
Sprekkesone	Strukturgeologi	Fagrapport	

Innholdsfortegnelse

<i>English summary</i>	3
1. Sammendrag	5
2. Bakgrunn for undersøkelsen	6
2.1 Bakgrunn	6
2.2 Målet med undersøkelsene	7
2.3 Hvaler-områdets geologi	8
2.4 Permeabiliteten i oppsprukkede akviferer	9
2.5 Tilfeller av lav-transmissivitets sprekkesoner	9
3. Undersøkelser på Hvaler	11
4. Sprekkkartlegging i Hvaler-tunnelen	12
5. Mål og bakgrunn til NGU sin kartlegging	13
5.1 Den forenklede modellen	13
5.2 Problemer med den forenklede modellen	14
5.3 Eksisterende sprekkmålinger	16
6. Målinger av lineamenter fra topografiske kart	17
7. Kartlegging av sprekker fra flyfotografier	17
8. Målinger i felt	18
8.1 Orientering av sprekken	18
8.2 Lange, "åpne", lineære sprekker	20
8.3 Sprekkemineraler	22
8.4 Vannutsig	23
8.5 Pegmatitter	23
8.6 Kjennetegn på bevegelsesretning langs sprekker	24
8.7 Dannelse av sprekkmønsteret	25
9. Konklusjoner	27
10. Litteraturhenvisninger	28
 TABELLER:	33
FIGURER:	38
VEDLEGG:	73

English summary

Banks, D. & Rohr-Torp, E. 1991. Hvaler project. Groundwater in hard rock. Fracture mapping in the Iddefjord granite. NGU report 91.214. 149 pp.

The Geological Survey of Norway (NGU) is in the process of carrying out an integrated study of the groundwater resources of the Precambrian Iddefjord Granite of Hvaler municipality in southeastern Norway. This report describes a comprehensive mapping of fractures in the granite, which forms the basis for:

- (i) *evaluation of methods for identifying transmissive fractures and fracture zones; e.g. aerial photos, topographical maps, field measurements and geophysics.*
- (ii) *evaluation of the geological processes which can be significant for the water yield of fractures; e.g. previous and current stress field, secondary mineralisation, neotectonic (post-glacial) movements and stresses, and overlying Quaternary deposits.*

Some hydrogeologists (Larsson, 1972; Huntoon, 1986; Rohr-Torp, 1987) have been able to identify a regional correlation between the ancient stress field which created or reactivated a fracture pattern and the permeability of the constituent fractures. Other workers have found a correlation between permeability and the current stress-field in the rocks (Olsson, 1979; Selmer-Olsen, 1981; Carlsson & Christiansson, 1987).

The main aim of this fracture-mapping has been to attempt to identify the stress field which is responsible for the fracture pattern on Hvaler. Two contradictory hypotheses are proposed.

- (i) *A relatively simple, subjective interpretation of the directions of fracture zones identified from aerial photos over the northwesterly peninsula of Kirkeøy implies a NNE-SSW oriented σ_1 . This, in turn, implies an interpretation of NNW and NE trending fracture zones as shear zones, and NNE trending fractures as tension features. This model is not inconsistent with more detailed measurements of fracture zones and fractures from topographical maps, aerial photos and in the field. This model can be criticized on several theoretical grounds, but is consistent with two possible tectonic explanations.*

(a) creation of the fracture pattern in the late Precambrian, almost contemporaneously with the granite itself. A NNE-oriented main stress is consistent with the WNW oriented fabric in the surrounding gneiss, resulting from the Sveconorwegian orogenesis (Park, 1988). It also is consistent with an approximately NW-oriented fabric observed in the Iddefjord granite by some previous geologists (Gleditsch, 1951).

(b) a right-lateral shear movement along the Oslo Graben Boundary Fault in post-Permian times (Størmer, 1935). This would also result in a stress pattern as described above.

(ii) Analysis of the direction of displacement along fracture zones (ascertained from the orientation of en-echelon tension or Reidal-shear fractures) implies a σ_1 trending 150° (i.e. SSE-NNW). This interpretation is supported by the discovery of NNW-oriented basic dykes on both Kirkeøy and Kjøkøy, which may either be of Permian (Oslo graben rifting) or Precambrian (Koster dyke-swarm) age. This interpretation is possibly more reliable than (i), being based on concrete data. A dating of the dyke rocks should reveal the age and tectonic setting of such a stress field.

The two rather different interpretations illustrate how plausible it can be to "discover" a reasonable stress-field which could have created a fracture system, and thus to propose a subdivision of fractures into "tension" and "shear". To really be able to test whether the stress pattern which created a fracture pattern controls the transmissivity of fractures of different orientations, it must be possible to find an unequivocal interpretation in advance. It has not been possible to do this satisfactorily on Hvaler.

1. Sammendrag

Norges geologiske undersøkelse (NGU) utfører et integrert studium av grunnvannsressursene i den prekambriske Iddefjordgranitten i Hvaler kommune, i sør-øst Norge.

Denne rapporten beskriver en sprekkestrekning, som kan danne grunnlaget for:

- i) vurdering av metoder for å lokalisere transmissive sprekker og sprekkesoner; f.eks: flyfotografier, topografiske kart, feltmålinger og geofysikk.
- ii) vurdering av de geologiske prosessene som kan være av betydning for en sprekks vanngiverevn; f.eks: tidligere og nåværende stress-felt, sekundær mineralisering, neotektoniske (post-glasiale) bevegelser og stress samt overliggende løsmasseavsetninger.

Noen forskere har identifisert en regional korrelasjon mellom det daværende spenningsfeltet som dannet eller reaktiverte et sprekkesystem og den hydrauliske ledningsevnen til de konstituente sprekkene. Andre forskere har funnet en korrelasjon mellom hydraulisk ledningsevne og det nåværende stressfeltet i bergarten.

Hovedmålet med sprekkestrekningen har vært å prøve å identifisere stressmønsteret som forårsaket sprekkesystemet på Hvaler. To motsigende hypoteser har blitt foreslått.

i) En forholdsvis enkel, subjektiv tolkning av sprekkesoneretninger fra flyfotografier over den nord-vestlige halvdelen på Kirkeøy tilsier en NNØ orientert σ_1 . Dette fører til tolkning av NNV og NØ-gående sprekkesoner som skjærsprekker, og NNØ-gående sprekker som tensjons-sprekker. Denne modellen er ikke inkonsistent med mer nøyaktige analyser av sprekker fra kart, flyfotografier og feltmålinger. Denne modellen kan kritiseres på forskjellige teoretiske grunnlag, men den er konsistent med to mulige tektoniske forklaringer.

a) Dannelse av sprekkesystemet i sen-prekambrium, nesten samtidig med selve granitten. En NNØ-lig hovedstress svarer til den VNV-rettet fabrikk i de omkringliggende gneisbergartene som følge av den Sveconorvegiske fjellbyggingsfase. Den svarer også til en ca. NV-lig orientert fabrikk i granitten som er observert av tidligere forskere.

b) En høyrelaterale skjærbevegelse langs Oslograbengrenseforkastningen i post-permisk tid. Dette ville gi et stressmønster som ligner på dette beskrevet ovenfor.

ii) Analyse av bevegelsesretningen langs mindre og større sprekkesoner (tolket fra retningen på en-echelon tensjons- eller Reidal-skjærsprekker) tilsier σ_1 med retning 150° (dvs SSØ-NNV).

Denne hypotesen er støttet av oppdagelsen av diabasganger på Kirkeøy og Kjøkøy (Skams Kloie) med NNV-retning. Diabasgangene kan enten høre til den permiske (Oslograben) svarmen, eller den prekambriske (Koster) svarmen. Denne tolkningen kan muligens være mer pålitelig enn den ovennevnte tolkningen, pga. at den er basert på konkrete data. En datering av diabasgangene vil kunne avgjøre stressfeltets alder og tektoniske sammenheng.

De to helt forskjellige tolkningene illustrerer hvor lett det er å konstruere et fornuftig stressmønster for dannelsen av et sprekkesystem, og så foreslå en inndeling av sprekkesonene mellom tensjons- og skjærsprekker. Det må på forhånd kunne finnes en ensidig tolkning av sprekkesystemet for virkelig å kunne teste om stressmønsteret som dannet et sprekkesystem kontrollerer grunnvannsytelsen fra sprekker av ulike retninger. Det har hittil ikke vært mulig å gjøre dette på Hvaler.

2. Bakgrunn for undersøkelsen

2.1 Bakgrunn

I Norge bores det årlig ca. 4000 brønner i fjell. Brønnboring er forbundet med usikkerhet med hensyn til vannmengde, vannkvalitet og influensområde omkring borebrønnen. Derfor baseres sjeldent større vannverk på grunnvann fra fjell.

Økonomisk og helsemessig er det viktig å utvikle fagfeltet. Metoder som sikrer stor vannforsyning, god vannkvalitet og avgrensning av influenseområde ved fjellboring vil medføre at større vannverk i fremtiden ofte vil kunne bli basert på grunnvann fra fjell. Dette vil gi store økonomiske besparelser og gjennomgående bedre vannkvalitet i forhold til valg av overflate-vannkilder.

2.2 Målet med undersøkelsene

Norges geologiske undersøkelse (NGU) utfører et integrert studium av grunnvannsressursene i den prekambriske Iddefjordgranitten i Hvaler kommune, i sør-øst Norge.

Kunnskapen om grunnvannets opptreden i fast fjell er mangelfull. De fleste detaljerte undersøkelser har fokusert på enkelte lokaliteter, ofte i lav-permeabilitets terreng, og vanligvis i forbindelse med forslag for deponering av radioaktivt- / spesialavfall eller for kjernekraft- eller vannkraftverk. Forholdsvis få studier har forsøkt å detaljere tilstedeværelsen og strømningen av grunnvann i oppsprukkete akviferer i en mer regional målestokk, med tanke på uttak av grunnvann. Videre mangler sikre retningslinjer for ansetting av borebrønner i fast fjell.

Den vanligste metoden for å bore etter vann i fast fjell er å anta at de sprekkesonene som markerer seg tydeligst i terrenget og ved geofysiske undersøkelser er de mest transmissive, og så bore i disse. I mange tilfeller, kan slike sprekkesoner ha en høy transmissivitet, men dette er ikke alltid tilfelle. Markerte sprekkesoner har stedvis redusert transmissivitet på grunn av sekundære omvandlingsprodukter og leiremineraler.

NGUs Hvalerprosjekt har som mål å utføre et integrert studium av grunnvannsressursene i en fast fjell-akvifer, og omfatter:

- i) vurdering av metoder for å lokalisere transmissive sprekker og sprekkesoner; f.eks: flyfotografier, topografiske kart, feltmålinger og geofysikk.
- ii) vurdering av de geologiske prosessene som kan være av betydning for en sprekks vanngiverevne; f.eks: tidlige og nåværende stress-felt, sekundær mineralisering, neotektoniske (post-glasiale) bevegelser og stress, samt overliggende løsavsetninger.
- iii) identifisering av hydrokjemiske vanntyper, og deres kjemiske utvikling.
- iv) vurdering av teknikker for å øke kapasiteten i borehull f.eks. hydraulisk trykking, sprengning, bruk av syrer eller dispergeringsmidler.
- v) utvikling av standard rutiner for prøvepumping av borehull i fast fjell, samt et standard program for kjemisk analysering.

2.3 Hvaler-områdets geologi

Hvaler kommune består av en gruppe øyer ytterst i Oslofjorden i Skagerrak (fig. 1, 2). Fjellgrunnen består av den prekambriske Iddefjord-granitten, som er detaljert beskrevet av Oxaal (1916). Pedersen & Maaløe (1990) oppgir at granitten består av 13 separate plutoner, hvorav de yngste gir en Rb/Sr alder på 918 ± 7 millioner år. Granitten består hovedsaklig av plagioklas, mikroklin og kvarts. I tillegg finnes visse mengder biotitt, hornblende, muskovitt, jern-oksyd, kloritt, apatitt, titanitt og zirkon (Pedersen & Maaløe, 1990), og leilighetsvis granat. Granitten inkluderer basiske kropper, pegmatittganger og xenolitter av den omkringliggende gneis-bergarten. I noen områder kan xenolitt-innholdet være svært høyt. I den nylig avsluttede Hvaler tunnel er gneis-innholdet omkring 55 % (Larsen, 1990; Banks et al 1992a). Pegmatittene i granitten synes å bestå av to generasjoner; en generasjon er betydelig deformert, mens den andre er lineær, og har ofte utviklet en innvendig, sentral sprekkeflate. Geofysiske undersøkelser tyder på at granitten er en tabulær intrusjon (Ramberg & Smithson, 1971).

Til felles med de fleste høylatitudsområder, er granitten på Hvaler forholdsvis frisk, uten en tykk forvittringshud. Gjennomgående frisk bergart forekommer over størstedelen av øyene, og overflaten viser ofte spor etter glasial skuring. Granitten er delt opp i et mønster av lineære daler, som følge av glasial erosjon langs sprekke- og knusningssoner. Disse dalene er delvis innfylt av kvartære løsmasseavsetninger, som skjuler utgående av selve sprekkesonen. De lineære sundene mellom øyene i Hvalergruppen (f.eks. de to sundene mellom Vesterøy og Asmaløy, og "Løperen" mellom Asmaløy og Kirkeøy) kan også tenkes å ha blitt dannet på denne måten. Øyene har blitt utsatt for betydelig landheving i de siste 10.000 år. Øverst maringrense er ca. 170 m o.h. (Selmer-Olsen, 1964). Øyene har derfor vært over havnivå i noen få tusen år. Det hydrogeologiske miljøet for bergartene på land har derfor blitt betydelig forskjellig fra de som er truffet i tunnelen kun i løpet av denne perioden.

Hvalerøyenes kvartæravsetninger er hovedsaklig begrenset til sprekkesone-kontrollerte daler, og består av grunnmarin (eller littorale) sand og silt (Olsen og Sørensen, 1990). Begrensete avsetninger av torv, vindblåst sand og grovere grus/steinaktige strandavsetninger finnes på sørsiden av Kirkeøy. Den "massive" granitten mellom de lineære dalene består av bart fjell, eller fjell med en tynn dekke av humus.

2.4 Permeabiliteten i oppsprukkede akviferer

Det er en alminnelig antakelse at de mest fremstående sprekkesoner som kan identifiseres i en fast-fjells akvifer er de som vil gi mest vann. Slike sprekkesoner er typisk lokalisert ved hjelp av deres topografiske uttrykk, fjern-måling (Ronge, 1988; Ericsson, 1988), og ved diverse geofysiske metoder, slik som elektromagnetisk induksjon, VLF (Very Low Frequency) profilering, seismisk refraksjon, magnetiske anomalier, elektrisk motstandsprofilering og georadar (Mullern, 1980; Henkel og Eriksson, 1980; Davis og Annan, 1989). Noen hydrogeologer har likevel prøvd å komme videre enn "største er best"-antakelsen når det gjelder sprekkesoner, og har undersøkt innvirkningen av tektonisk stress. Noen forskere (Larsson, 1972; Huntoon, 1986; Rohr-Torp; 1987) har identifisert en regional korrelasjon mellom det daværende spenningsfeltet som dannet eller reaktiverte et sprekkmønster og den hydrauliske ledningsevnen til de konstituente sprekken. Andre forskere har funnet en korrelasjon mellom hydraulisk ledningsevne og det nåværende stressfeltet i bergarten (Olsson, 1979; Selmer-Olsen, 1981; Carlsson & Christiansson, 1987).

I tropiske områder, hvor et tykt lag av forvitret fjell (saprolitt) ligger over det faste fjellet, er det oppdaget at forvitlingslaget kan deles inn i flere forvitringssoner (Clark, 1985; Acworth, 1987; Idowu Olayinka, 1990). Studier av disse sonene indikerer at en lav grad av forvitring kan bryte ned "sementen" mellom enkelte mineralkorn uten noen betydelig grad av omdanning til leiremineraler. Dette fører til en grusaktig tekstur, med økt permeabilitet. En høyere grad av forvitring vil likevel føre til omfattende omdanning til leiremineraler og dermed en betydelig reduksjon i permeabilitet. Til tross for de noe annerledes prosesser som er involvert (sammenlignet med tropisk forvitring) tyder resultater fra den nylig avsluttede Hvaler tunnelen at grad av omvandling til leiremineraler også kan ha stor betydning for vanngiverevnen i sprekkesoner til ganske store dyp i en fast-fjellsakvifer (Banks et al, 1992a).

2.5 Tilfeller av lav-transmissivitets sprekkesoner

Mens det uten tvil er mange sprekkesoner som har en betydelig vanngiverevne, har mange nyere studier vist at dette ikke er en regel som kan anvendes generelt. Nye borebrønner i topografisk fremstående sprekkesoner i diverse prekambriske og paleozoiske bergartstyper på

Hitra, samt borehull i geofysisk fremstående soner i paleozoiske grønnskifre på Leksvik (Rueslåtten et al, 1984a,b) har gitt veldig lite vann. Mangelfull korrelasjon mellom tilstedeværselen av sprekkesoner og vanngiverevne har også blitt lagt merke til i kommunene Ringebu (Rohr-Torp, 1989) og Vik (Rohr-Torp, 1986).

I tillegg er det under tunneldrift i Norge (spesielt undersjøiske tunneler) registrert at de største sprekke- og knusningssoner sjeldent fører til betydelige vannlekkasjeproblemer. De fleste store lekkasjer pleier å oppstå fra mindre sprekkesoner eller enkelte sprekker/sprekkegrupper i forholdsvis massivt fjell. Eksempler kan finnes fra Ålesund (Olsen & Blindheim, 1987); Ulla-Førre (Bertelsen, 1981); Lysåker-Slemmestad, nær Oslo (Løset, 1981); Flekkerøy (Gulbrandsen, 1989) og Karmsund (Kluver, 1983). Disse er oppsummert av Nilsen (1988, 1990) og Banks et al (1992a). Dette synes, i mange tilfeller, å skyldes at de største sprekkesoner ofte er tettet med sekundære leirer som resultat av forvitring eller hydrotermisk aktivitet. Det bemerkes at de tunnelene hvor en har opplevd de største vannlekkasjeproblemer inkluderer Godøy-tunnelen (Storås, 1988) og Frierfjord-tunnelen (Kluver, 1983). I disse var det veldig lite leireomvandling; og i Godøy-tunnelen ble det ikke krysset noen stor forkastningssone.

I Hvaler er det nylig avsluttet en 4 km-lang, undersjøisk vegg tunnel. Den ble drevet i 1988-89 for å gi veiforbindelse mellom Asmaløy & Kirkeøy (fig.2). Før tunnelen ble drevet, ble store sprekkesoner lokalisert ved hjelp av flyfotografier, akustisk profilering og seismisk refraksjon (Taugbøl & Øverland, 1987; Larsen, 1990). Når disse sprekkesonene ble truffet i tunnelen, var de fleste av lav transmissivitet og fylt med leiremineraler. Disse leiremineralene inneholdt opp til 50 - 100 % smektitt med ekstreme svellegenskaper (opp til 400 % frisvelling i kontakt med vann - Tabell 1). Smektitt-sprekkefyllinger er også funnet i mange andre norske bergartstyper og områder (Brekke, 1963; Selmer-Olsen, 1964) og de resulterer sannsynligvis fra forholdsvis lavtemperatur hydrotermisk omdannelse ved Mg & Ca-rike væsker (Storey & Lintern, 1981). Slike svelleleirer kan forventes å være ganske effektive til å tette sprekker. De største vanninnslag til Hvalertunnelen syntes å komme gjennom andre mindre sprekker/-sprekkegrupper, som i hovedsak ikke ble påvist ved forundersøkelsene (fig. 3). Kalkulasjoner fra Lugeon-testing og den totale lekkasjen til tunnelen indikerer en bakgrunnspermeabilitet omkring 10^{-9} - 10^{-8} m/s. Permeabiliteten i nærheten av de største lekkasjene vurderes å være ca. 100-1000 ganger høyere, ca. 10^{-7} - 10^{-5} m/s. Undersøkelsen er nøyde beskrevet i Larsen (1990) og Banks et al (1992a).

Det synes derfor at identifiseringen av store sprekkesoner ved hjelp av geofysiske og visuelle teknikker ikke alltid er en tilfredsstillende måte å lokalisere grunnvannsressurser i fast fjell på. Ingen nåværende geofysisk teknikk kan tilfredsstillende skille mellom transmissive og leirefylte sprekkesoner. Til tross for at den ikke er omfattende utprøvd, har Selmer-Olsens (1983) metode for å skille mellom slike soner ved kombinert bruk av IP (indusert polarisasjon) og elektrisk motstand gitt skuffende resultater i Vik kommune (Rønning, 1986). Rønning (pers.komm.) mener likevel at veldig lave verdier ved bruk av elektriske motstandsmålinger kan tyde på leirfylte sprekker.

3. Undersøkelser på Hvaler

Hittil er det utført undersøkelser på Hvaler på følgende områder.

- i) Et studium av sprekkesoner i Hvaler-tunnelen og deres betydning for vannlekkasjer.
Studiet skal publiseres i Banks, Solbjørg & Rohr-Torp, 1992a.
- ii) En omfattende kartlegging av sprekker/sprekkesoner fra topografiske kart, flyfotografier og feltmålinger, som er rapportert i denne rapporten.
- iii) Undersøkelser av grunnvannskjemi, og identifisering av 4 hovedtyper av grunnvann.
Dette er presentert i Banks, Rohr-Torp & Skarphagen, 1992b.
- iv) En undersøkelse av borehullstatistikk fra Iddefjordsgranitten. Dette er presentert, sammen med resultatene fra kapasitetstesting, i Banks, Rohr-Torp & Skarphagen, 1992b.
- v) Geofysiske målinger har blitt utført i flere utvalgte "testområder" som kan være aktuelle for testboring. Disse rapporteres av Lauritsen & Rønning 1992.
- vi) Kapasitetstesting av fire testhull til 73 m, som ble boret ved område 16 (tallsystem i denne rapporten). Kapasitetstestinga er rapportert, sammen med geofysisk borhulls-logging i Banks, Lauritsen, Skarphagen & Rohr-Torp, 1991.

4. Sprekkekartlegging i Hvaler-tunnelen

Før tunnelen ble drevet, ble det foretatt forskjellige forundersøkelser. Disse omfattet:

- a) bruk av flyfotografier, seismisk refraksjon og akustisk dyp-profilering for å kartlegge større sprekkesoner.
- b) felt-studier av enkelte sprekker, for å finne ut om distribusjonen av sprekkeretninger.

Flyfoto- og geofysiske studier greide å kartlegge 16 sprekkesoner langs tunnelens trasé; derav 9 på land og 7 under Løperen (Larsen, 1990). Alle disse hadde retning NNV til N, og vises på Fig. 3 (etter Taubøl & Øverland, 1987; Larsen, 1990 og Banks et al, 1992a). De fleste av disse ble truffet som forventet i tunnelen, med godt samsvar mellom forundersøkelser og virkeligheten i tunnelen (Fig.4).

Sprekkekartlegging på Asmaløy og Kirkeøy ga rosediagrammer som vises i Fig.5 (etter Larsen, 1990), med hovedretninger N og NØ på Asmaløy; og NØ og Ø på Kirkeøy. I tunnelen ble sprekene kartlagt under drift, og de virkelige sprekkerosene viser et dårlig samsvar mellom forundersøkelser og driftsundersøkelser. I virkeligheten ble det funnet NNV-SSØ og ØNØ-VSV retninger i stuff Asmaløy, og N-S og Ø-V sprekker i stuff Kirkeøy. En må imidlertid huske at sprekene som er kartlagt i tunnelen påvirkes av tunnelens retning, dvs. at sprekker som er rettvinklet på tunnelen har en høyere tilsynelatende hyppighet enn sprekker som er parallelle med tunnelen.

Mange av sprekene i tunnelen er innfylt av sprekkemineraler. Ifølge Larsen (1990) kunne de klassifiseres etter følgende system:

- a) Sprekker uten fylling
- b) Sprekker uten svelleleire, dvs. sprekker med:
 - i) Leire uten svelleegenskaper
 - ii) Kalkbelegg
 - iii) Kalkspat
 - iv) Kloritt

- v) Rustbelegg
- c) Sprekker med svelleleire
 - i) helt nedknust grått sandig leirmateriale
 - ii) grå/grønn/hvit seig leire med bergartsfragmenter
 - iii) mørk grønn tykk såpeaktig leire
 - iv) grå/grønn/hvit ren leire

I tillegg er det funnet soner med forvitret øyegneis, hvor feltspaten er omdannet til svelleleirer. Dette gjør bergarten lett knusbar, og skyldes sannsynligvis penetrasjon av hydrotermiske væsker inn i bergartens matriks fra en sprekke. I disse sonene er gneisstrukturen fremdeles synlig.

Svelleleirene fra tunnelen har veldig sterke svelleegenskaper, med frisvelling mellom 90 og 400 %, og svelletrykk fra 650 Kpa til 1100 Kpa (Larsen, 1990). XRD studier hos NGI har også bekreftet at svelleleirene inneholder en stor andel smektitt (Tabell 1). NGU har også utført XRD studier på leireprøver fra to av tunnelens leireholdige sprekker, og på materiale fra en av sonene med forvitret gneis. Prøvene ble kjørt på XRD både før og etter behandling med etylen glykol. Glykolering gjorde at maksimalet ved ca. 14 Å (6,4°) ble flyttet ned til ca. 17 Å (5°). Dette bekrefter tilstedeværelsen av smektitt, og skyldes ekspansjon av leirens struktur ved opptak av glykolen. Diffaktogrammene presenteres i Vedlegg 1.

I tunnelen var det få betydelige vannlekkasjer. Lekkasjene er presentert i Fig. 4, og de største er dokumentert i Tabell 2 (etter Banks et al, 1992a).

5. Mål og bakgrunn til NGU sin kartlegging

5.1 Den forenklede modellen

Hvaler ser ut til å ha en enkel geologisk oppbygning og et oversiktlig sprekjemønster. Dette er en av grunnene til at Hvaler ble utvalgt som et aktuelt forskningsområde. Området er en del av Iddefjordgranitten (Båhusgranitt på svensk side). Den ser ut, ved første øyekast, til å ha vært utsatt for forholdsvis enkle trykk- og avlastningsforhold, noe som gjenspeiles i et regelmessig rombisk sprekjemønster. For eksempel, er Kråkerøy ofte vist frem som et eksempel av et

regelmessig mønster (Fig.6, tatt fra NLVF, 1980). Fig.7a viser et foreløpig sprekkesonekart basert på en innledende flyfototolkning innen den nordvestlige delen av Kirkeøy, (Fig. 8 viser et kart over Kirkeøy) som ble valgt til studieområdet (Rohr-Torp, 1991). En sprekkerose basert på Fig. 7a er gitt i Fig.7b.

I tidligere undersøkelser av fast-fjellområder i Norge har det blitt vanlig å tolke slike sprekke-mønstre ved enkle 2-dimensjonale stressfelt, som danner skjær- og tensjons-sprekker (Fig. 9a). Dette er beskrevet i strukturgeologisk sammenheng av bl.a. Hancock, 1985. Et slikt sprekke-mønster er observert i eksperimenter av f.eks. Cloos, 1920; og mønsteret er anvendt i hydrogeologisk sammenheng av bl.a. Larsson, 1972, i Sverige; Rohr-Torp, 1987, i Drøbak-området og Lauritzen, 1989, i norske karstsystemer. Forsøker man dette med sprekkmønsteret i Figs.7a og 7b, kan man foreslå et spenningsfelt med hovedkompresjon ca. N20°, hvorved sprekkesonenene kan klassifiseres i tensjonssprekker (NNØ og NV) og skjærsprekker (NNV og ØNØ). Tradisjonelt ansees tensjonssprekker som de beste vanngivere, og et av prosjektets hovedmål er å prøve å verifisere dette. Samtidig var det ønske om å finne frem til feltkriterier for å skille mellom tensjons- og skjærsprekker.

5.2 Problemer med den forenklede modellen

Det kan imidlertid pekes på flere problemer med den tidligere omtalte praksisen:

- a) Flyfotografier, kart og geofysikk gir lite 3-dimensjonal informasjon, for eksempel om fallvinkel av sprekkesoner. De viser heller ikke avlastnings- og andre sprekker som kan være sub-parallelle med bakken og som kan være veldig viktig for grunnvannsføring.
- b) Metoden antar at hovedkompresjonen er horisontal. Hovedstress kan være vertikal (f.eks. i en graben-sammenheng), og dette kan føre til skjær- (normale-) forkastninger som er parallelle med rift-aksen (Fig.10a). Iflg. metoden som er omtalt i 5.1, ville disse tolkes som tensjons-sprekker.

- c) Metoden antar en 2-dimensjonal stress-felt (dvs. maksimum og minimum stress) som er parallel med overflaten, og fører til vertikale sprekker. Denne tolkningen kan være riktig for enkelte lag i lagdelte bergarter, men er ikke nødvendigvis anvendbar i mer massive bergarter, hvor en 3-dimensjonal tolkning kan være mer aktuell (Fig. 10 b, etter Reches, 1983).
- d) det er sjeldent kun én fase for sprekkedannelse og reaktivering i en bergart, spesielt for den prekambriske Iddefjordsgranitten. Granitten kan ha blitt påvirket av flere forskjellige stress-felt som forårsaker sprekkedannelse eller reaktivering:
- i) Stressfelt forårsaket av intrusjon og avkjøling av granitten.
 - ii) Senprekambriske eller paleozoiske tektoniske felt
 - iii) Åpningen av Oslo-graben (σ_{\min} ca. Ø-V i en regional målestokk, men kan variere lokalt)
 - iv) Post-permiske stressfelt relatert til mulig høyrelateral skjærbevegelse langs Oslo-grabengrenseforkastningen. Størmer (1935) har funnet en sammenheng mellom foldning og sprekjemønster nær forkastningen i forbindelse med denne skjærbevegelsen, så vel som dannelse av "Hvalerdypet" som en tensjonsgraben (fig.11). Han mener at større NØ-SV sprekker i kystområdet ved Iddefjordgranitten er tensjonsprekker relatert til høyrelateral skjærbevegelse. Han mener videre at denne høyrelaterale skjærbevegelsen også har forårsaket NV-SØ foldakser i permiske "rombeporfyr" konglomerater i Oslofjord. I en mesoskopisk målestokk er sprekene som dannes ved en N-S dekstral skjærbevegelse identiske med sprekker som dannes ved NØ-SV kompresjon (Fig.9b - Mead, 1920). Dette betyr at Rohr-Torps hovedkompresjonsretning på N20° på Kirkeøy (Fig 7a,b), og den svake NV-SØ fabrikk-orientering i Iddefjord-granitten (beskrevet av Gleditsch, 1951) kan svare til Størmers teori.
 - v) Stress under eller etter den siste istiden. Avlastningssprekker kan åpnes parallelt med bakken når istrykket avtar eller bergarten eroderes. Tilstedeværelsen av disse, og deres betydning for steinbruddsindustrien på Hvaler understrekkes av Oxaal (1916). Man kan heller ikke se bort fra mulig sprekkedannelse eller reaktivering på grunn av differensiell isostatisk hevning eller bøyning (Mörner, 1979; Lagerbäck, 1979; Björkman & Trädgård, 1982). Lagerbäck registrerer nyere forskyvninger på opp til ca. 25 m ved forkastninger i N.Sverige, og noterer en sammenheng mellom grunnvannskilder og slike forkastninger.

e) Noen hydrogeologer (Larsson, 1972; Huntoon, 1986; Rohr-Torp; 1987) har funnet korrelasjoner mellom det daværende tektoniske stressfelt som dannet eller reaktiverte et sprekkesystem, og sprekkenes vanngiverevne. Man må imidlertid ikke se bort fra det nåværende stressfeltet betydning som en bestemmende faktor for en sprekks permeabilitet. Korrelasjoner mellom hydraulisk ledningsevne og en sprekks orientering i det nåværende trykkfeltet er funnet av bl.a. Olsson, 1979; Selmer-Olsen, 1981; Carlsson & Christiansson, 1987.

f) Lineamentene som kartlegges fra flyfotografier er vanligvis ikke enkelte sprekker, men sprekkesoner (bestående vanligvis av sprekker med forskjellige sprekkeretninger, som ofte ikke er parallelle med sprekkesonens trend - Fig. 12, 13b). Noen av de enkelte sprekkene vil kunne være skjærsprekker, og noen tensjonssprekker.

Et av Hvalerprosjektets hovedmål er derfor å finne ut om den forenklede modellen (beskrevet i den første delen av kapittelet) kan ha betydning for en borebrønns kapasitet. Hvis ikke, skal Hvaler-prosjektet prøve å finne ut om andre stress-modeller (f.eks. nåværende stress) kan være av betydning.

5.3 Eksisterende sprekkmålinger

Det har blitt gjort flere forsøk til å finne et regionalt mønster for sprekkesoner i Norge. En sammenstilling av forsøkene gjennom årene vises i Fig.14. Den siste utgaven av teorien (Fig. 14c) foreslår at det finnes kun fire hovedsprekkesoneretninger i Norge (N, NØ, Ø og SØ), og må sannsynligvis ansees som for forenklet. I alle fall svarer ikke data fra Kirkeøy til denne teorien (Fig.7a).

Ramberg et al (1977) og Gabrielsen & Ramberg (1979) har brukt data fra Landsat til å forberede et mer komplisert, men mer pålitelig, sprekkesonekart over Norge (Fig. 15, 16a). De har gjennomført undersøkelsen ved å dele opp landet i 16 delområder, hvorav tre vises i Fig.16b. Hvaler ligger i Ramberg et als (1977) område 8 (Prekambrium Ø for Oslofjord).

6. Målinger av lineamenter fra topografiske kart

Det er forsøkt å måle regionale lineamenter som kan påvises fra 1:50000 topografiske kart. Den sørlige delen av Iddefjord-granitten er kartlagt, samt gneis-området NØ for Halden. Området er inndelt i flere delområder, som vises i Fig.17a, og beskrives i Tabell 3. I hvert delområde er lineamentenes retning og lengde målt. Det var lettere å identifisere lineamentene på den svenske siden av grensen hvor kart publiseres med koturinterval på 10 m, enn på den norske siden hvor koturintervalen er 20 m. Resultatene vises i Fig.17b.

Resultatene viser en dominant NNØ til NØ retning i hele Iddefjordgranittsområdet, med en biretning NNV eller N i noen delområder. I det ytterste gneis-området, N for Halden, er sprekkmønsteret noe annerledes med to dominante retninger, nemlig NØ og NV. Den NV-lige retning svarer muligens til foliasjonsretningen i gneisen (Sigmund et al, 1984; Park, 1988).

7. Kartlegging av sprekker fra flyfotografier

Den nordlige delen av Kirkeøy har også blitt kartlagt ved bruk av svart/hvit flyfotografier. Større sprekkesoner identifiseres ved at de ofte har blitt tilvokst med vegetasjon (pga. akkumulasjon av næringsrike løsavsetninger og forvitningsmateriale i topografiske lavområder). I granittmassifene mellom sprekkesonene, er det mulig å identifisere sprekker helt ned til ca. 10 meters lengde.

Resultatene fra flyfotokartleggingen (Figs.18a,b) gir et noe mer komplisert bilde enn de topografiske kartene. NNØ og NØ hovedretninger er fremdeles fremstående, og Ø-V sprekker er nesten ikke å finne, men det er større variasjon i sprekkeretninger mellom de forskjellige delområdene. På den vestlige delen av den nordvestlige halvøya er en NNV retning også fremtredende.

Fokuserer man på den NV-lige halvøya på Kirkeøy (venstre side på Fig.18a), har de mest fremstående, flyfotoidentifiserte sprekkesonene fire hovedretninger (NV, NNV, NØ-NNØ og ØNØ). Slike rettvinklede, eller dobbel-rettvinklede mønstre er ofte observert i gammelt granittisk

terrenget (f.eks. Tirén & Beckholmen, 1989). Disse store sprekkesonene deler terrenget inn i et mosaikk av mindre blokker. Innen hver blokk, vil tektoniske stress være betydelig modifisert av tilstedeværelsen av store sprekkesoner og andre omkringliggende blokker. Dette gir et stadig mer komplisert sprekkmønster med mindre målestokk.

8. Målinger i felt

8.1 Orientering av sprekken

I mai/juni 1990 ble det foretatt målinger av sprekker i felt på den nordlige delen av Kirkeøy. Ca. 35 lokaliteter ble besøkt, og sprekken ble kartlagt mht. retning, fall, lengde, synlig mineralisering og vannutsig. Strandområder, hvor det finnes renvasket og lite forvitret berg viste seg å være de beste områdene for kartleggingen, men andre områder iland ble også kartlagt. Kartleggingen fokuserte på Kirkeøyas nordvestlige halvøy. Resultatene fra de enkelte lokalitetene vises i Vedlegg 2. Det regionale bildet som kommer fram av kartleggingen er enda mer komplisert enn fra topografiske kart eller flyfotografier (Fig.19). Den NØ/NNØ retningen kan fremdeles identifiseres på noe steder, samt mangelen på Ø-V sprekker. I de fleste delområder ser imidlertid en NV eller NNV retning ut til å være den mest fremstående.

De forskjellige hovedretningene som er kartlagt var ikke alle tilstede på hver eneste lokalitet. På én lokalitet fantes kun noen av de regionale hovedretningene. På en annen lokalitet kunne det finnes en helt annen kombinasjon av hovedretningene. Dette illustreres i Fig. 13c, som er et bilde fra lokalitet nr.11. Bildet viser et sprekkmønster som ser ut til å være meget oversiktlig og enkelt. Hvis man beveger seg litt videre til lokalitet nr.10, får man et noe annerledes mønster (se Vedlegg 2).

De største sprekkesonene kunne ikke undersøkes direkte under kartleggingen, da de var overdekt med løsavsetninger. Mindre sprekkesoner kunne derimot undersøkes, samt sprekker i "veggene/sidene" av større soner. Observasjoner tyder på at det kan finnes to typer sprekkesone:

- a) soner som består av sprekker som er omtrent parallelle med sonens trend (for eksempel; en sprekkesone i område 17 (se 8.2); de to sonene i område nr. 44.
- b) soner som består av sprekker som danner en vinkel med sonens trend. En mindre sone som illustrerer dette vises i Fig.13b. Et eksempel på en større sone som viser dette er den store Korshavn-til-Urdal-sonen. Den vestlige delen av denne sonen har en trend på 56° , mens de mest fremstående sprekken i "veggene/sidene" til sonen (i områder 15, 23 & 25) har orientasjon ca. 40° . Denne typen sprekkesone kan være en av årsakene til at sprekkmønsteret fra flyfotografier, som til en viss grad bygger på sprekkesoner) svarer dårlig til mønsteret fra feltmålinger, hvor hovedsaklig enkelt-sprekker er kartlagt.

Det bemerkes også at mønsteret fra flyfotografier på den NV-lige delen av Kirkeøy, er noe annerledes enn på den N  -lige halvøya. Dette gjenspeiles også i feltmålingene.

Feltmålingene viser også lite samsvar med målingene som ble tatt i forbindelse med tunnelen, hvor det ble registrert en fremstående Ø-V retning. Den retningen sees i NGUs feltmålinger kun i området omkring B  lingshavn. Dette understreker igjen de tydelige variasjoner som kan finnes innen ganske korte avstander.

Det bemerkes at tilstedeværelsen av n  r-horisontale avlastningssprekker ser ut til å være meget variabelt. På noen lokaliteter (f.eks. vegskr  ningene på Kjøkøy, Stokken [mellom Vesterøy & Kjøkøy] & Asmaløy) er slike sprekker utviklet til flere meters dyp, mens på mange andre lokaliteter ser de ut til å være dårlig utviklet. Imidlertid, ville man forvente underrepresentasjon av slike sprekker i resultatene, fordi overflate-parallelle sprekker sjeldent vil sees i overflaten.

Fig.20d-f viser alle målte sprekker på ett stereonett/ én rosediagram.

8.2 Lange, "åpne", lineære sprekker

8.2.1 Sandbrekke, område 36

I løpet av kartleggingen ble det oppdaget to ekstremt lineære, lange sprekker i forholdsvis massiv granitt N for Sandbrekke (område 36 - Fig.13d). Sprekkene har en forholdsvis konsistent apertur av ca. 30 cm. Sprekkene kan være mer enn 2m dype (Fig.13d). Bunnen av sprekken er fylt med et tykt humus/jordlag. Kantene til sprekken er forholdsvis skarpe og lite avrundete. Blokker med permisk rombeporfyr kan finnes sittende i sprekken, som tyder på at de sannsynligvis var åpne under, eller snart etter, istiden. Ved område 36 kunne det også finnes pegmatitter (hvorav én med en kjerne av aplitt) med samme retning.

Flere muligheter for sprekkenes dannelse ble foreslått:

- a) at sprekken er vanlige sprekkesoner som har vært fylt med leire, bresja, eller oppsprukket fjell, og som har blitt erodert ut, muligens under istiden eller ved bølger i strandsonen.
- b) Sprekkene er eroderte diabasganger.
- c) Sprekkene er veldig åpne, neotektoniske sprekker dannet ved hevnings- eller avlastningsbevelgeser etter istiden.
- d) Sprekkene er åpne, nye tensjonssprekkes som skyldes nåværende topografiske stress i åssiden.

Mysteriet ble løst i løpet av sommer 1992, da Lilian Skjernaa og hennes kollega (fra Universitet i København) utførte noen geofysiske målinger ved område 54 (Vedlegg 4), og oppdaget en diabasgang med retning $150^{\circ}/80^{\circ}\text{Ø}$. Gangen ble deretter kartlagt av forfatterne, og det viste seg at gangen kunne følges tilbake til lokalitet 36, og videre, med strøkretning ca. 160° . På granittmassivene ble diabasgangen erodert ut til en smal, dyp, kløft i granitten (dvs. de lange, dype, lineære sprekken ved lokalitet 36 !). Kun leilighetsvis var det mulig å finne spor av diabasbergart på "sprekkens" vegger. Ved lokalitet 36 ble den opprinnelige gangen borte, mens en ny gang begynte parallelt med, og litt øst for den. Gangen kunne følges videre til Ramsholt, og det

kan finnes sprekker som muligens er en forlengelse av gangen helt til Reffgårds vanndam. Gangen kan også finnes på sørsiden av Holtekilen (Fig. 27).

8.2.2 Skams Klove, Kjøkøy

Den såkalte "Skams Klove" på Kjøkøy ble også besøkt av forfatterne. Dette er en lignende, men langt dypere (opp til 3-4m) og bredere (ca. 1,5 m), "åpen sprekk" som ble brukt av tyskerne som en mini-festning under krigen. Selv om det ikke var mulig å finne diabasgangbergart *in situ* i sprekken, hadde blokker av slik bergart blitt brukt i steingjerder nedenfor fortifikasjonen, og kan antas å ha sin opprinnelse i nærheten. I selve sprekken, kan det finnes is-striper på sprekvens vegger, som tyder på glasial uterodering av diabasgangen. Stripene er orientert nedover ved sprekvens begynnelse, oppover ved den andre enden og nesten horisontalt i midten av sprekken. Dette gjenspeiler isbevegelsen inne i sprekken. Skams Klove-sprekken har orientasjon $146^\circ/85^\circ\text{V}$. Det kan ikke utelukkes at den er en forlengelse av Sandbrekke-gangen (Fig. 2).

8.2.3 Pulservik, område 17

Inspeksjon an en annen, men mindre imponerende, tilsynelatende "åpen" sprekk med retning $145^\circ/83^\circ\text{V}$ ved område 17 har vist at "sprekken" faktisk er en sprekkesone som består av tettpakkede parallele sprekker. Sprekkene er parallele med sprekkesonens trend. Det oppsprukkede fjellet har blitt erodert ut, med resultatet at sprekkesonen ser ut til å være én stor åpen sprekk (dvs. forklaring (a) i 8.1.1). Selv om sprekkesonene ved områder 17 og 36 (også Skams Klove) synes å ha forskjellige forklaringer, er det interessant å bemerke at alle har lignende retninger. De har derfor muligens sin opprinnelse i en felles tektonisk sammensetning.

8.2.4 Implikasjoner

Det er interessant å bemerke at NNV-retningen er fremstående på Kirkeøy. Den er også retningen på de fleste sprekkesonene krysset av Hvaler-tunnelen (Larsen 1990). Kan det være at flere av disse sprekkesonene er virkelig diabasganger, og kunne dette forklare den sterke omdanning til smekttitt-leirer i sprekkesonene i tunnelen? I allefall gir diabasgangene en indikasjon av hovedstressretningen under deres dannelse (NNV). Hittil har diabasgangene ikke blitt datert. En slik datering vil eventuelt kunne avgjøre gangenes alder og tektoniske sammenheng; om de er en del av den permiske svarmen (Oslo-graben-relatert) som lokalt har NNV-

retning, eller om de hører til den prekambriske Koster-svarmen (Sveconorvegisk - Hageskov 1985).

8.3 Sprekkemineraler

Sprekkemineraler som er påvist, og bekreftet ved XRD-analyse, inkluderer kvarts, epidot, kalsitt og fluoritt. XRD har også indikert tilstedeværelsen av lepidolitt og pyritt i noen av sprekkefyllinger. Det er dessuten vanlig med en mørkegrønn/svart sprekkefylling. XRD tyder på at denne består av kloritt med kvarts. Lysegrønne sprekkefyllinger er også observert. Noen av disse består klart av epidot, mens andre har en lysere grågrønn farge. XRD-analyser tyder på at disse kan bestå av epidot og albitt, men de behandles som en egen gruppe, i tillegg til vanlige epidot-fyllinger. Orange/brun "jern"-farge er observert på noen sprekkeflater.

Ved område 45ii, er det funnet spor av et gult mineral på en sprekkeflate med orientering $171^\circ/74^\circ\varnothing$. Det finnes også mørkegrønn mineral (kloritt) og orange-brunt "jern"mineral på denne sprekkeflaten. XRD har ikke kunnet påvise identiteten på det gule mineralet (diffraktogrammen legges ved i Vedlegg 1b).

Sammenligner man sprekkerosene/stereonetten for alle mineraliserte sprekker med den for samtlige sprekker, finnes det få betydelige forskjeller. Distribusjonen for mineraliserte sprekkeretninger er mindre jevn enn for alle sprekker fordi det er målt et mindre antall mineraliserte sprekker fra kun noen få lokaliteter. Begge diagrammer viser hovedretninger mot NV, N og ca. NØ. Den eneste forskjellen som kan kommenteres er at den NØ-lige retningen for mineraliserte sprekker ligger litt N for NØ. Denne retningen ligger litt Ø for NØ for samtlige sprekker.

Distribusjonen av sprekkefyllingene vises på Fig.21. Mineralene som viser den mest fortrinnsberettigete distribusjonen er epidot, kalsitt og fluoritt.

Epidot er hyppig observert som et jevnt dekke på sprekkeflater på forskjellige lokaliteter, men nesten alltid på sprekker med orientasjon $20-40^\circ$ og ca. 130° (Fig.21). Dette kan tyde på at sprekken var forholdsvis åpne da mineralet ble utfelt, og derfor muligens tensionssprekker. (Skjærsprekker kan også være åpne til en viss grad, pga. at små bevegelser kan skape en

"mismatch" mellom sprekkens veger, og derfor til åpne kanaler. I midlertid ville man kanskje ikke forvente at hele sprekkeflaten ville være så åpen å tillate avsetting av et såpass jevnt epidotlag).

Fluoritt er nesten alltid funnet i sammenheng med kalsitt (og ofte med epidot) og har bare blitt observert på sprekkeflater med orientering 23-40° på områder 15, 23 og 25 langs den store Korshavn-Urdal sprekkesonen.

Både "mørkt/svart", "lysegrønt" og "orange" sprekke mineral viser en klar inndeling i NV, N, og NNØ retninger. Det er vanskelig å si om dette bare gjenspeiler hovedretningene for samtlige sprekker (med mindre jevn distribusjon pga. av mangelfullt statistisk grunnlag) eller om det representerer et reelt fortrinnsberettiget mønster.

8.4 Vannutsig

I noen få tilfeller (ca. 40) ble det observert noe vannutsig i sammenheng med kartlagte sprekker. Orienteringsmønsteret for disse sprekkenes vises på Fig.22. Stereonettet tyder på at det finnes en overvekt av flatliggende sprekker med vannutsig, sammenlignet med alle kartlagte sprekker (Fig.20f). Dette tyder på at flatliggende sprekker (muligens nylig dannede/reaktiverte avlastningssprekker) kan være mer permeable enn sprekker med andre orienteringer.

Ser man på sprekkerosene (som viser kun sprekker med fall $\geq 45^\circ$), kan man ikke identifisere betydelig avvik fra rosediagrammet for samtlige sprekker (Fig.20e). Den eneste forskjellen er at i stedet for en NØ-lig retning, finnes det en mer ØNØ-lig retning for sprekker med vannutsig. Dette kan muligens bety at ØNØ-retningen er relativt mer permeabel enn andre retninger, men det mangelfulle statistiske grunnlaget gjør dette meget usikkert.

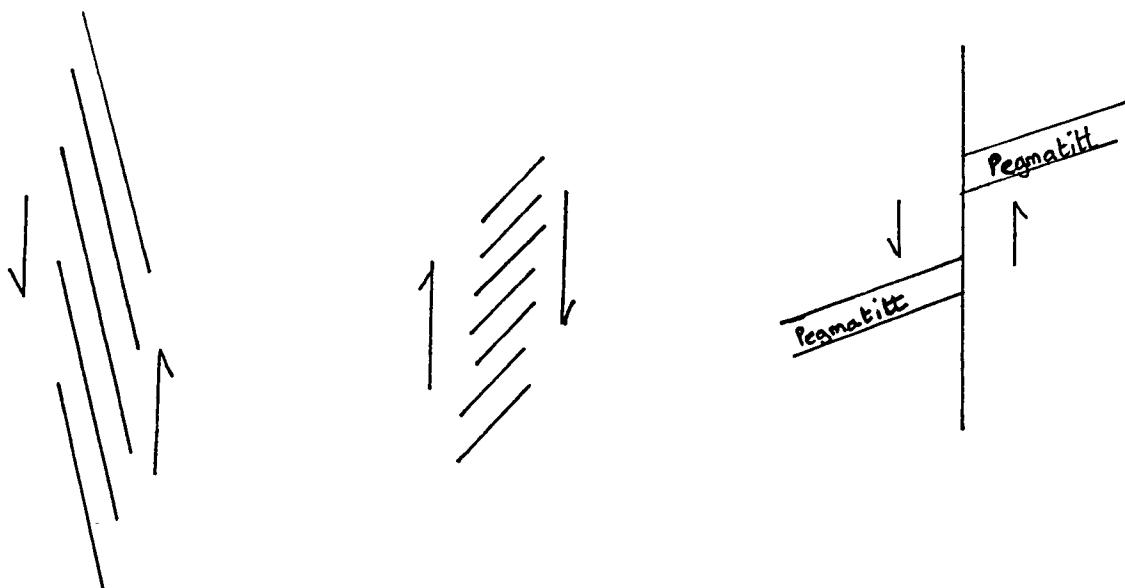
8.5 Pegmatitter

Lite vekt er lagt på registrering av pegmatitter under sprekkekartleggingen, men det ser ut til å finnes minst to typer / generasjoner av pegmatitt. En generasjon er betydelig deformert, mens den andre er lineær og inneholder ofte en innvendig parallell sprekkeflate.

Rosediagrammer/stereonet i Fig.23 viser retninger på pegmatitter, både med og uten innvendig sprekk. Ser man på samtlige pegmatitter, ligner retningene (på pegmatitter med fall $\geq 45^\circ$) på det målte sprekkeretningsmønsteret i Fig.20e. Dette kan muligens bety at sprekkesystemet ble dannet samtidig med pegmatittene, dvs. ganske tidlig under granittens avkjøling. Imidlertid, må man ikke legge for mye vekt på denne tolkningen fordi kun noen få titalls (< 30) pegmatitter er målt i felten. Stereonettet viser også at pegmatittene har en tendens til å være mer flatliggende enn de fleste vanlige sprekker (sammenlign med Fig.20f).

8.6 Kjennetegn på bevegelsesretning langs sprekker

På noen lokaliteter har det vært mulig å identifisere mindre sprekkesoner som består av "en-echelon" sprekker, som danner en akutt vinkel med sprekkesonenens trende. Antar man at disse enten er Reidel-type skjærsprekker eller "en-echelon" tensjonsprekker som dannes pga. skjærbevegelser (se Fig.9b, 12 og nedenfor) kan man vurdere retningen på skjærstresset som dannet sonen (Mead 1920). Det samme kan gjøres ved store sprekkesonedaler, hvor hovedsprekkeretningen ser ut til å svare til Reidal-skjærsprekker (f.eks. Tchalenko, 1970; Wilcox et al., 1973). Dette gjelder lokaliteter 14/15, 16, & 21 b hvor hovedsprekkeretningen danner en akutt vinkel med sprekkesoneretningen. Plotter man disse retningene (enten som høyre- eller venstrelaterale) på et rosediagram (Fig.25), får man en overraskende god fordeling.



For sprekkesoner med retning $125 - 149^\circ$ viser rosediagrammet at bevegelsen er alltid høyrelateral. Med retning $150 - 200^\circ$ er bevegelsen kun venstrelateral. (Soner med retning $200 - 239^\circ$

gir blandete resultater). Overgangen mellom høyre- og venstrelaterale bevegelser kommer ved 150° , og dette svarer derfor til hovedkompresjonsretning σ_1 .

8.7 Dannelse av sprekkmønsteret

Fig. 25 viser rosediagrammene som fåes ved sprekkmålinger på alle målestokk fra Landsat bilder, gjennom 1:50.000 topografiske kart og flybilder, ned til feltmålinger.

Landsat-bildene (etter Ramberg et al, 1977; Gabrielsen & Ramberg, 1979) for prekambrium øst for Oslograben (Ramberg et al område 7), gir en sprekkerose som ikke er vesentlig forskjellig fra flyfoto- og feltmålingsrosene. Det identifiseres en sprekkegruppe med retning NV til N, og en gruppe omkring NØ-NNØ. Dette tyder på at sprekkeretningen i Iddefjordgranitten har forbindelse med et mer regionalt sprekkmønster.

Bruk av topografiske kart viser en veldig fremtredende NØ-NNØ retning, med en mindre NV-NNV retning, både for hele den norske Iddefjordsgranitten, og for Hvaler-øyene. Ved bruk av flyfotografier blir mønsteret mer utsprettet. Til tross for at NØ-retningen fremdeles er viktigst, blir NV og NNV retninger stadig mer fremstående. Dette observeres i enda høyere grad ved feltmålingene. Her er det en enda mer jevn fordeling av retninger, men hovedretning er nå blitt NNV-NV.

Det finnes få Ø-V-gående sprekker, uavhengig av målestokk. Mellom NNØ og N er det også tegn på sprekkmangel.

Rosene viser at jo mindre målestokken er, desto mindre ensartet blir sprekkmønsteret. Dette antas å skyldes minst to faktorer.

- i) At de store sprekkesonene som identifiseres ved topografiske kart og flybilder består (i felten) av mindre sprekker med forskjellige retninger, som ikke nødvendigvis er parallelle med sonens strøk.
- ii) At de store sprekkesoner deler opp granitten i "blokker". Under innflytelse av et regionalt stressfelt, virker disse blokkene på hverandre. Dermed opprettes mindre, lokale stressfelt

innenfor blokkene. Dette kan gjøre det lokale sprekkemønsteret betydelig forskjellig fra det regionale.

Hvis man antar at sprekkemønsteret i hovedsak ble dannet på et tidlig tidspunkt (f.eks. under, eller like etter granittens avkjøling), ville man forvente at mønsteret forklares ved det daværende stressfeltet på dette tidspunkt. Park (1988) beskriver Båhus-granitten (dermed Iddefjord-granitten) som en sen- til post-orogenisk granitt. Den intruderte ved slutten av den "Sveconorvegiske" fjellbygningsfasen, som varte (iflg. Park, 1988) fra 1090 - 890 Ma BP. Parks alder på 890 Ma BP for Iddefjordsgranitten er litt senere en Pedersen & Maaløe (1991) sin alder (918 Ma BP). Graversen (1984) mener at den Sveconorvegiske fasen har en regional N-S trend, som går på tvers av Ø-V-trenden fra den tidligere Svecokareliske fasen. Graversen (1984) identifiserte 4 deformasjonsfaser i Prekambrium i Oslo-Øyeren området:

F_0 = flatliggende folder/napper med N-S-gående akser - Svecokareliske ??

F_1 = Subhorisontale NNØ-SSV foldakser. Middels til høy amfibolitt-type metamorfose og anateksis.

F_2 = Ø-V foldakser. Middels amfibolitt-type metamorfose med fornyet anatekse. ca. 1500 Ma BP.

F_3 = Sveconorvegisk fase. Vestlig området oppførte seg som en stiv blokk. I østen, NNV-SSØ-gående foldakser, med steil aksialflate, og et svakt fall mot NNV på selve aksene. Middels til lav amfibolitt-type metamorfose og noe retrogradasjon til grønnskifer-type i senere faser.

Østfold-delen av det Sveconorvegiske beltet er preget av en gneis-fabrikk med retning NNV til VNV, antakelig dannet ved et tilnærmet NØ-rettet hovedtrykk (Park, 1988). Fabrikken i nærheten av Iddefjord-granitten ligger NV til VNV, som innebærer et NØ-NNØ rettet hovedtrykk.

Til tross for at granitten intruderte ved slutten av fjellbygningsfasen, er den sannsynligvis også påvirket av et trykkfelt med lignende retning. Gleditsch (1951) la merke til en svak NV fabrikk i granitten, og Rohr-Torp (1991) foreslo opprinnelig et NNØ-rettet hovedtrykk for Hvalers sprekkesystem.

Det daværende trykkfeltet ved slutten av den Sveconorvegiske fjellbygningsfasen foreslås derfor som en mulig årsak til det observerte sprekkesystemet. Det kan likevel ikke utelukkes andre dannelsesmåter; f.eks. Oslo-graben-fasen som førte til ca. N-S tensjonsfabrikk (med lokale variasjoner), og Størmers foreslår høyrelaterale bevegelse langs Oslograbengrenseforskning, som ville ligne på NNØ-NØ kompresjon, og gi en NV-fabrikk i granitten.

Stoler man på den NNV-hovedkompresjonsretning som er derivert fra analyse av bevegelsesretninger langs skjærsprekker, og fra diabasgangretningsene, kan et slikt stressfelt ha en tektonisk sammenheng med:

- (i) den permiske (Oslograben) diabasgangsvarmen som lokalt kan ha en NNV retning
- (ii) den prekambriske såkalte Koster-svarmen (Hageskov 1985), med NNV-retning, som har sammenheng med den sveconorvegiske fjellbygningsfasen
- (iii) den Kaledonske fjellbygningfasen med hovedsaklig NV-VNV-rettet hovedtrykk.

Datering av diabasgangene vil kunne avgjøre gangenes alder og dermed deres tektoniske sammenheng.

9. Konklusjoner

Hovedmålet med sprekkesystemet har vært å prøve å identifisere stressmønsteret som forårsaket sprekkesystemet på Hvaler. To motsigende hypoteser har blitt foreslått.

i) En forholdsvis enkel, subjektiv tolkning av sprekkesoneretninger fra flyfotografier over Kirkeøys nordvestlige halvøy tilsier en NNØ-orientert σ_1 . Dette fører til tolking av NNV og NØ-gående sprekkesoner som skjærsprekker, og NNØ-gående sprekker som tensjonssprekker. Denne modellen er ikke inkonsistent med mer nøyaktige analyser av sprekker fra kart, flyfotografier og feltmålinger. Denne modellen kan kritiseres på forskjellige teoretiske grunnlag, men den er konsistent med to mulige tektoniske forklaringer.

- a) Dannelse av sprekkesystemet i sen-prekambrium, nesten samtidig med selve granitten. En NNØ-lig hovedstress svarer til den VNV-rettede fabrikken i de omkringliggende gneisbergartene som følge av den Sveconorvegiske fjellbygningsfasen. Den svarer også til en ca. NV-lig orientert fabrikk i granitten som er observert av tidligere forskere.

- b) En høyrelateral skjærbevegelse langs Oslograbengrenseforkastningen i post-permisk tid. Dette ville gi et stressmønster som ligner på dette beskrevet ovenfor.
- ii) Analyse av bevegelsesretningen langs mindre og større sprekkesoner (tolket fra retningen på en-echelon tensjons- eller Reidal-skjærsprekker) tilsier σ_1 med retning 150° (dvs NNV). Denne hypotesen er støttet av oppdagelsen av diabasganger på Kirkeøy og Kjøkøy (Skams Klove) med NNV-retning. Diabasgangene kan enten høre til den permiske (Oslograben) svarmen, eller den prekambriske (Koster) svarmen. Denne tolkningen kan muligens være mer pålitelige enn den ovennevnte tolkningen, pga. at den er basert på konkrete data. En datering av diabasgangene vil kunne avgjøre stressfeltets alder og tektoniske sammenheng.

De to helt forskjellige tolkningene illustrerer hvor lett det er å konstruere et fornuftig stressmønster for dannelsen av et sprekkesystem, og så foreslå en inndeling av sprekkesonene mellom tensjons- og skjærsprekker. Det må på forhånd kunne finnes en ensidig tolkning av sprekkesystemet for virkelig å kunne teste om stressmønsteret som dannet et sprekkesystem kontrollerer grunnvannsytelsen fra sprekker av ulike retninger. Det har hittil ikke vært mulig å gjøre dette på Hvaler.

OBS ! I denne rapporten er det hovedsaklig brukt det Europeiske gradsystemet (dvs. $1^\circ = 1/360$ sirkel). På enkelte steder oppgis orienteringer med det gamle norske systemet (nemlig $1^\circ = 1/400$ sirkel)

10. Litteraturhenvisninger

ACWORTH, R.I. 1987. The development of crystalline basement aquifers in a tropical environment. Quarterly Journal of Engineering Geology, 20, 265-272.

BANKS, D. & ROHR-TORP, E. 1990. Hvaler-prosjektet - et integrert studium av grunnvann i fast fjell. Geonytt, 17, Nr.4, ss 25-26 & 59, Des. 1990.

BANKS, D., LAURITSEN, T., SKARPHAGEN, H. & ROHR-TORP, E., 1991. Hvaler-prosjekt - grunnvann i fast fjell. Boring og kapasitetstesting av fire hull, ved Pulservik, Kirkeøy. Norges geol.unders. rapport 91.215.

BANKS, D., SOLBJØRG, M.L. & ROHR-TORP, E. 1992a. Permeability of fracture zones in a Precambrian granite. Quarterly Journal of Engineering Geology (skal publiseres). 1992

- BANKS, D., ROHR-TORP, E. & SKARPHAGEN, H. 1992b. An integrated study of a Precambrian granite aquifer, Hvaler, Southeastern Norway. Norges.geol.unders.Bulletin (skal publiseres). 1992.
- BERTELSEN, G. 1981. Vannlekkasjer ved Ulla-Førre. Section 25 In "Fjellsprengningsteknikk, bergmekanikk, geoteknikk, 1981", ed. Heltzen A.M.; Nilsen, B. & Mowinckel A. Tapir forlag, Trondheim.
- BJØRKMAN, H. & TRÄDGÅRD, J. 1982. Differential uplift in Blekinge indicating late glacial neotectonics. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar, 104, 75-79.
- BREKKE, T.L. 1963. Om montmorillonittførende leirslepper og ras i fjellanlegg. Licentiatgradsavhandling. Norges tekniske høgskole, Trondheim, 1963.
- CARLSSON, A. & CHRISTIANSSON, R. 1987. Geology and tectonics at Forsmark, Sweden. Vattenfall, FUD-Rapport Nr. U(B) 1987/42, Statens Vattenfallsverk, Älvkarleby, Sweden, 91 ss.
- CLARK, L. 1985. Groundwater abstraction from Basement Complex areas of Africa. Quarterly Journal of Engineering Geology, 18, 25-34.
- CLOOS, E. 1955. Experimental analysis of fracture patterns. Bull.Geol.Soc.Am., 66, 241-256.
- DAVIS, J.L. & ANNAN A.P. 1989. Ground-penetrating radar for high resolution mapping of soil and rock stratigraphy. Geophysical Prospecting, 37, 531-551.
- ERICSSON, L.O. 1988. Grunnvattenprospektering i kristallin berggrund med hjulp av satellitdata. In "Grunnvattenførsørjing - Geohydrologi i praktiken", proceedings of symposium 4/5/88. VIAK AB and Svenska Hydrologiska Rådet, 121-130
- GABRIELSEN, R.H. & RAMBERG I.B. 1979. Fracture patterns in Norway from Landsat imagery; results and potential use. Proc. Norwegian Sea Symposium, Tromsø, Aug.1979.
- GLEDITSCH, Chr.C. 1951. Geologisk markarbeid 1951 for NGU i Oslo, Østmark og Lørenskog (20-28/6); Hvaler og Moss (3/7-16/8); Rektangelkart Fet (17/8-1/9). Upubliserte feltnotater fra NGU-arkivet.
- GRAVERSEN, O. 1984. Geology and structural evolution of the Precambrian rocks of the Oslofjord-Øyeren area, Southeast Norway. Nor.geol.unders.Bull., 398, 50ss.
- GULBRANDSEN, A. 1989. Utbytte av forundersøkelse kontra undersøkelser fra stoff for undersjøiske tunneler. Hoveddøppgave, Geologisk Institutt, Norges tekniske høgskole, Trondheim. 82 ss.
- HAGESKOV, B, 1985. Hin Hånes harvespor. Varv, 2 (1985), 35-42.
- HANCOCK, P.L. 1985. Brittle microtectonics: principles and practice. J.Struct.Geol., Vol.7, Nr.3/4, 437-457.

- HENKEL, H. & ERIKSSON, L. 1980. Interpretation of low-altitude airborn magnetic and VLF measurements for identification of fracture zones. In "Subsurface Space", ed. Bergman M., Pergamon Press, Oxford & N.Y., 913-918.
- HOBBS, W.H. 1911. Repeating patterns in the relief and in the structure of the land. Geol.Soc. Am.Bull., 22, 123-176.
- HUNTOON, P.W. 1986. Incredible tale of Texasgulf well 7 and fracture permeability, Paradox Basin, Utah. Groundwater, Vol.24, No. 5, 643-653.
- IDOWU OLAYINKA, A. 1990. Electromagnetic profiling for groundwater in precambrian Basement Complex areas of Nigeria. Nordic Hydrology, 21, 1990, 205-216.
- KJERULF, T. 1879. Udsigt over det sydlige Norges geologi. W.C.Fabritus, Christiania, 262 ss.
- KLUVER, B.H. 1983. Undersjøiske tunneler - Ingenørgeologiske erfaringer. Section 30 In "Fjellsprengningsteknikk, bergmekanikk, geoteknikk, 1983", ed. Heltzen A.M.; Fredriksen U.; Nowacki F. & Berg K.R. Tapir forlag, Trondheim.
- LAGERBÄCK, R. 1979. Neotectonic structures in North Sweden. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar, Vol.100, 263-269.
- LARSEN, M.L. 1990. Riksvei 108 Hvalertunnelen, geologisk slutrapport. Statens Vegvesen Østfold, Vegkontoret, rapport nr. 88/3744, 31 ss.
- LARSSON, I. 1972. Groundwater in granite rocks and tectonic models. Nordic Hydrology, Vol.3, 111-129.
- LAURITSEN, T. & RØNNING, J.S. 1992. Geofysiske målinger over mulige vannførende sprekkesoner på Kjerkøy, Hvaler, Østfold. Nor.geol.unders. report 92.173, 28ss.
- LAURITZEN, S-E. 1989. Shear, tension or both - a critical view on the prediction potential for caves. Proc. 10th Int. Cong. Speleogy, Budapest, 13-20 august, 1989, 119-120.
- LØSET, F. 1981. Ingenørgeologiske erfaringer fra kloakktunnelen Lysaker-Slemmestad. Section 31 In "Fjellsprengningsteknikk, bergmekanikk, geoteknikk, 1981", ed. Heltzen A.M.; Nilsen, B. & Mowinckel A. Tapir forlag, Trondheim.
- MEAD, W.J. 1920. Notes on the mechanics of geologic structures. J.Geology, 28, 505-523.
- MÖRNER, N-A. 1979. Earth movements in Sweden, 20.000 BP to 20.000 AP. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar, Vol.100 [for 1978], del 3, 279-286.
- MULLERN, C.F. 1980. Airborne geophysical measurements used for hydrogeological mapping. 6th Nordiska Hydrogeologiska Konferansen i Vemdalens, Ur UNGI Rapport No. 53, 135-142.

- NILSEN, B. 1988. Norwegian sub-sea tunnels - A review with emphasis on water leakages. In "Tunnels and Water", proceedings of the international congress on tunnels and water, Madrid, 12-15 June 1988, ed. Serrano J.M., Balkema, Rotterdam, 913-918.
- NILSEN, B. 1990. Tunneler under fjorder og sund. Geonytt, vol.3, 1990, 3-5.
- NLVF, 1980. Grunnvann i Norge - forekomster, utnyttelse og beskyttelse. NLVF-utredning, nr.107, Norges landbruksvitenskaplige forskningsråd, ISBN 82-7290-002-5.
- OLSEN A.B. & BLINDHEIM O.T. 1987. Erfaringer med stabilitetssikring og tetting av vannlekkasjer for Ålesund-Giske-tunnelene. Section 36 In "Fjellsprengningsteknikk, bergmekanikk, geoteknikk, 1987", Tapir forlag, Trondheim.
- OLSEN, L. & SØRENSEN, E. 1990. Fredrikstad. 1913 III. 1:50000 kvartærgeologisk kart. Norges geol. unders. Upublisert manuskart. Skal publiseres 1992.
- OLSSON, T. 1979. Hydraulic properties and groundwater balance in a soil-rock aquifer system in the Juktan area, northern Sweden. Striae, Vol 12, Uppsala, 72 ss.
- OXAAL, J. 1916. Norsk granitt. Nor.geol.unders. 76.
- PARK, R.G. 1988. Geological structures and moving plates. Blackie, Glasgow, 337ss.
- PEDERSEN S. & MAALØE S., 1990. The Iddefjord Granite: geology and age. Norges geologiske undersøkelse bulletin, Vol.417, 55-64.
- RAMBERG, I.B., GABRIELSEN, R.H., LARSEN, B.T. & SOLLI, A. 1977. Analysis of fracture patterns in Southern Norway. Geologie en Mijnbouw, 54 (4), 295-310, Nederland.
- RAMBERG, I.B. & SMITHSON S.B. 1971. Gravity interpretation of the southern Oslo graben and adjacent precambrian rocks, Norway. Tectonophysics, 11, 419-431.
- RECHES, Z., 1983. Faulting of rocks in 3-dimensional strain fields II, theoretical analysis. Tectonophysics, 95, 133-156.
- ROHR-TORP, E., 1986. Mulig grunnvannsforsyning til Vangsnæs, Vik kommune. Nor.geol.-unders. rapport 86.166.
- ROHR-TORP, E., 1987. Beskrivelse til hydrogeologisk kart Drøbak 1814 II. Norges geologiske undersøkelse skrifter, 78, 19ss. med kart.
- ROHR-TORP, E., 1989. Venabygdsfjellet, mulig grunnvannsforsyning. Nor.geol.unders. rapport 91.006.
- ROHR-TORP, E., 1991. Grunnvann i krystallin berggrunn. Sluttrapport fra forprosjekt. Nor.geol.unders. rapport 91.189.
- RONGE, B. 1988. Lokalisering av bergborrade brunnar med avseende på sprödtektoniska element i bergrunden och deras permeabilitet. In "Grunnvattenförsörjning - Geohydrologi i

praktiken", proceedings of symposium 4/5/88. VIAK AB and Svenska Hydrologiska Rådet, 107-115.

RUESLÅTTEN, H.R., LILE, O.B., VESLEGARD, G. & FJELD, O.C., 1984a. Vann i fjell prosjektet. Undersøkelsesrapport. Norges tekniske høgskole, Trondheim, 1984.

RUESLÅTTEN, H.R., LILE, O.B., VESLEGARD, G. & FJELD, O.C., 1984b. Vann i fjell prosjektet, sluttrapport. Norges tekniske høgskole, Trondheim, 1984.

RØNNING, J.S. 1986. Geofysiske målinger over vannførende sprekkesoner ved Vangsnæs. Nor.geol.unders. rapport 86.183.

SELMER-OLSEN, R. 1964. Alminnelig geologi og ingeniørgeologi. Tapir forlag, Trondheim, 409 ss.

SELMER-OLSEN, R. 1981. Betrakninger over store vannlekkasjer i dyptliggende tunneller. Section 21 In "Fjellsprengningsteknikk, bergmekanikk, geoteknikk, 1981", ed. Heltzen A.M.; Nilsen, B. & Mowinckel A. Tapir forlag, Trondheim.

SELMER-OLSEN, R. 1983. Geoelektriske målinger på svakhetsoner i fjell. Section 14 In "Fjellsprengningsteknikk, bergmekanikk, geoteknikk, 1983", ed. Heltzen A.M.; Fredriksen U.; Nowacki A. & Berg K.R. Tapir forlag, Trondheim.

SIGMOND, E.M.O., GUSTAVSON, M. & ROBERTS, D. 1984. Berggrunnskart over Norge. M 1:1 million. Norges geologiske undersøkelse.

STOREY, B.C. & LINTERN, B.C. 1981. Alteration, fracture infills and weathering of the Strath Halladale granite. Environmental protection unit, Institute of Geological Sciences, Harwell, U.K., Report ENPU 81-13.

STORÅS, I. 1988. Ingeniørgeologisk analyse av vannlekkasjer og injeksjon i Hvalertunnelen. Hovedoppgave, Geologisk Institutt, Norges tekniske høgskole, Trondheim. 80 ss.

STØRMER, L. 1935. Contribution to the geology of the southern part of the Oslofjord. Norsk geol.tidskr., 15, 43-114.

TAUGBØL & ØVERLAND A/S 1987. Ingeniørgeologisk rapport; Hvalertunnelen. Rapport Nr. 2479.9, Taugbøl & Øverland A/S, Oslo, 8 ss. med diagrammer.

TCHALENKO, J.S. 1970. Similarities between shear zones of different magnitudes. Geol.-Soc.Am.Bull., 81, 1625-1640.

TIRÉN, S.A. & BECKHOLMEN, M. 1989. Block faulting in southeastern Sweden interpreted from digital terrain models. Geologiska Föreningens i Stockholm Förhandlingar, 111, del 2, 171-179.

WILCOX, R.E., HARDING, T.P. & SEELY, D.R. 1973. Basic wrench tectonics. Am.Assoc.-Petroleum Geol.Bull., 57, nr.1, 74-96.

Tabeller

- Tabell 1 Røntgenpulverdiffraksjonanayser av sprekkefyllinger fra Hvaler-tunnelen.
- Tabell 2 Oversikt over de betydeligste vannlekksjer registrert under drift av Hvaler-tunnelen.
- Tabell 3 Statistiske data om lineamentmålinger fra 1:50.000 topografiske kart.
- Tabell 4 Statistiske data om lineamentmålinger fra flyfotografier.
- Tabell 5 Statistiske data om sprekkemålinger i felten.

Tabell 1. Røntgenpulverdiffraksjonanalyser som gir andel-innholdet av mineraler i < 20 µm delen av sprekkefyllingen. (Smek = smektiitt, Kl = Kloritt, Kv = kvarts, Felt = feltspat. Noen prøver inneholder spor av kalsitt og amfibol i tillegg. Analysert av Norges geotekniske institutt (NGI).

Peile nr.	Orientasjon (Strøk/fall)	Smek	Kl	Mica	Kv	Felt	Fri Svelling	Svelle-Trykk
2113	079°/56°S	85-90	spor	5-10	spor	5	192%	
2125	075°/55-60°S	70-75	-	20-25	-	-	161%	
2168	015°/70°E	65	-	20-25	0-5	5-10	338%	900-1000 Kpa
2178	3 sprekker c.157°/80°W	95-100	spor	spor	spor	0-5	438%	
2184	149°/88°W	95-100	spor	spor	-	0-5	361%	1100 Kpa
2222	132°/70°N	80-85	spor	15-20	-	-	180%	
2246.5	153°/87°NE	90-95	-	5-10	-	-	205%	
2246.5	153°/87°NE	75-80	spor	20-25	-	spor	192%	
2260	140°/90°	75-80	-	20-25	spor	-	140%	
2310	162°/88°W	90	5-10	spor	-	-	196%	
2342	162°/90°	95-100	-	spor	-	-	171%	
2352	153°/90°	95-100	-	spor	-	-	166%	650-700 Kpa
5451	Forvitret gneis	65	20-25	0-5	5-10	-	121%	
5507	158°/90°	50-55	10-15	25	5-10	spor	143%	
5585	099°/82°N	30-35	15	40-45	5	spor	99%	
5602	c.097°/81°N	50	10-15	30	5-10	spor	131%	

Tabell 2: Oppsummering av de betydeligste vanninnslag inn i Hvaler-tunnelen, hvor forinjeksjon ble foretatt. Peilenummer som oppgis er rangen hvor forinjeksjon ble foretatt. Vanninnstrømning er det største vanninnslaget gjennom et enkelt sonderhull, fulgt av (i parentes) det totale vanninnslag gjennom alle sonderhull på dette peilenummer / antall sonderhull.

Peilenr.	Sprekk-orientasjon (strøk/fall)	Innslag (l/min)	Beskrivelse
2110-2200	Forskjellige	40 (70 / 6)	Flere enklere sprekker med svelleleire
2467-2567	c.090°/c.80°S	150 (161 / 3)	Få enkelte sprekker uten leirefylling. Konstant lekkasje fra sonderhull.
2698-2731	c.150°/c.80°E	5 (5 / 2)	Sone av enklere sprekker med svelleleire. Svarer godt til svakhetssone som ble påvist i forundersøkelsene.
2946-2980		20 (20 / 2)	Enkelte sprekker med svelleleire
3783-3820	160°/70-90°W	170 (170 / 3)	Markerte enkelte slepper med svelleleire

Tabell 3. Statistiske data om lineamentmålinger fra 1:50.000 topografiske kart (Fig. 17a, 17b). Lengden av de fleste lineamentene er avrundet til nærmest km (0-1½ km = 1 km, 1½-2½ km = 2 km osv.). * = gneis-områder. Øvrige områder består hovedsaklig av Iddefjord-granitt.

Område nr.	Område	Antall lineam-enter	Total lengde (km)	Radius Høyre halv	Radius venstre halv (km)
I	Fastland & øyer V. for Seutelva	44	92	10	15
II	Kråkerøy & Kjøkøy	30	66	5	20
III	Fredrikstad	10	26	5	10
IV	Kartblad 1913-III Ø for Glåma	27	72	5	25
V	Kartblad 1913-II N for Iddefjord	38	88	5	15
VI *	Gneiss-området, NØ	68	111	10	10
VII *	Gneiss-området V & NV for Halden	24	42	5	10
VIII	Hvaler (Iddefjord granitt)	82	148	10	20
IX	Svensk granitt	81	150	10	25
X	Norsk granitt Ø for Iddefjord	29	60	2	5
Sum (Fig. 25)	Iddefjord granitt - totalt	341	702		

Tabell 4. Statistiske data om lineamentmålinger fra flyfotografier. Viser til Fig. 18b.

Område nr.	Antall lineamenter	Total lengde (km)	Radius - høyre halv	Radius- venstre halv (km)
1	134,5	20,7	15	2
2	92,5	15,5	10	2
3	89,5	18,3	10	2
4	183,5	41,3	15	4
5	180	36,7	15	4
6	54	16,5	5	1,5
7	395,5	66,1	20	5
8	236	44,4	20	4
9	271,5	49,8	20	4
Sum	1637	309,3		

Tabell 5. Statistiske data om sprekkmålinger i felten, som vises på sprekkeroser i Fig. 19. Kun sprekker med fall $\geq 45^\circ$ inkluderes.

Sprekkerose nr.	Lokaliteter	Antall sprekker	Skala på sprekkerosen
1	9-30 + 45	771	5 %
2	32-34	102	5 %
3	42-44	126	5 %
4	37-41	130	5 %
5	36	38	5 %
Sum (Fig. 20f)		1167	5 %

Figurene

- Fig. 1 Kart over Norge som viser lokaliseringen av steder som er nevnt i teksten.
- Fig. 2 Kart over Iddefjordgranitt-området, S-Ø Norge.
- Fig. 3 Kart som viser Hvaler-tunnelens tracé under Løperen.
- Fig. 4 Samsvar mellom sprekkesoner og vannlekkasjer i Hvaler-tunnelen.
- Fig. 5 Rosediagrammer som viser sprekkeretninger fra Hvaler-tunnelen (etter Larsen, 1990).
- Fig. 6 Regelmessige sprekkesoner på Kråkerøy - etter NLVF, 1980.
- Fig. 7 a) Foreløpig sprekkesonekart over den NV-lige delen av Kirkeøy
b) Sprekkerose derivert fra Fig. 7a.
- Fig. 8 Kart over Kirkeøy.
- Fig. 9 a) Dannelse av tensjon- og skjærsprekker i 2-D stressfelt.
b) Dannelse av tensjon- og skjærsprekker i skjær-regime.
- Fig.10 Mulige sprekjemønstre i et 3-D stressfelt, etter Reches, 1983.
- Fig.11 Skissekart som indikerer tektoniske blokker langs Oslograbengeneforkastningen (etter Størmer, 1935).
- Fig.12 Diagram som viser Reidal-eksperimentet, etter Tchalenko, 1970.
- Fig.13 Bilder a) Iddefjordgranitt på Kirkeøy, område 8 - viser pegmatitt, aplittgang og xenolitt.
b) Sprekkesone som består av oblikt-liggende sprekker (område 12)
c) Område 11, med tilsvynelatende regelmessig sprekjemønster
d) Lange, lineære sprekker ved Sandbrekke (område 36)
- Fig.14 Evolusjon av lineamentkart over Skandinavia.
- Fig.15 Forenklet geologisk kart over Oslograben, etter Ramberg et al, 1977.
- Fig.16 a) Spekkesonekart (fra Landsat) over sørlige delen av Norge, etter Ramberg et al, 1977.
b) Rosediagrammer for Landsat-identifiserte sprekkesoner for Oslo-graben, samt prekambrium Ø og V for Oslograben.
- Fig.17 a) Inndeling av Iddefjordgranitt-område for topografisk analyse.
b) Sprekkeroser for sprekkesoner som er identifisert fra 1:50 000 topografiske kart.
- Fig.18 a) Sprekkekart for sprekker som er identifisert fra flyfotografier - N-lig delen av Kirkeøy.
b) Sprekkeroser for flyfoto-identifiserte sprekker.
- Fig.19 Sprekkeroser for sprekker som er målt i felten - N-lig delen av Kirkeøy.
- Fig.20 Stereonett og sprekkeroser for sprekker som er målt i felten.
- Fig.21 Stereonett og sprekkeroser for sprekker med sprekkemineraler som er målt i felten.
- Fig.22 Stereonett og sprekkeroser for sprekker med vannutsig som er målt i felten.
- Fig.23 Stereonett og sprekkeroser for pegmatitter som er målt i felten.
- Fig.24 Retning på skjærbevegelse langs sprekker/sprekkesoner.
- Fig.25 Sammenligning av sprekkeroser fra Landsat, topografiske kart, flyfotografier og feltmålinger.
- Fig.26 Forenklet tektoniske kart over Østfold, Median og Østlig segmentene i det Sveconorvegiske beltet (etter Park, 1988).
- Fig.27 Kart over sentral-Kirkeøy som viser lokalisering av diabasgangen

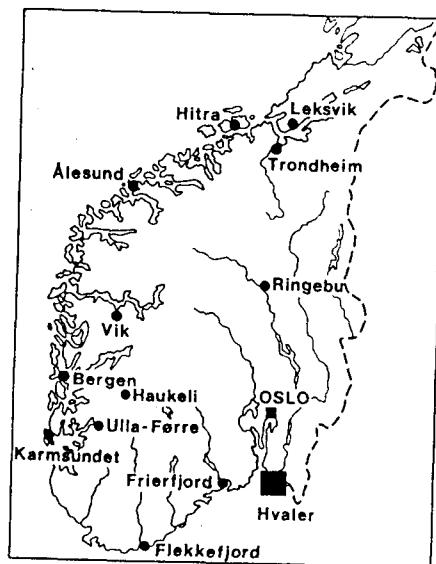


Fig. 1 Kart over Norge som viser lokaliteter som er nevnt i teksten. Det svarte området viser Hvaler (etter Banks et al 1992a).

Fig. 2

Kart over Iddefjordgranitt-området, S-Ø Norge.

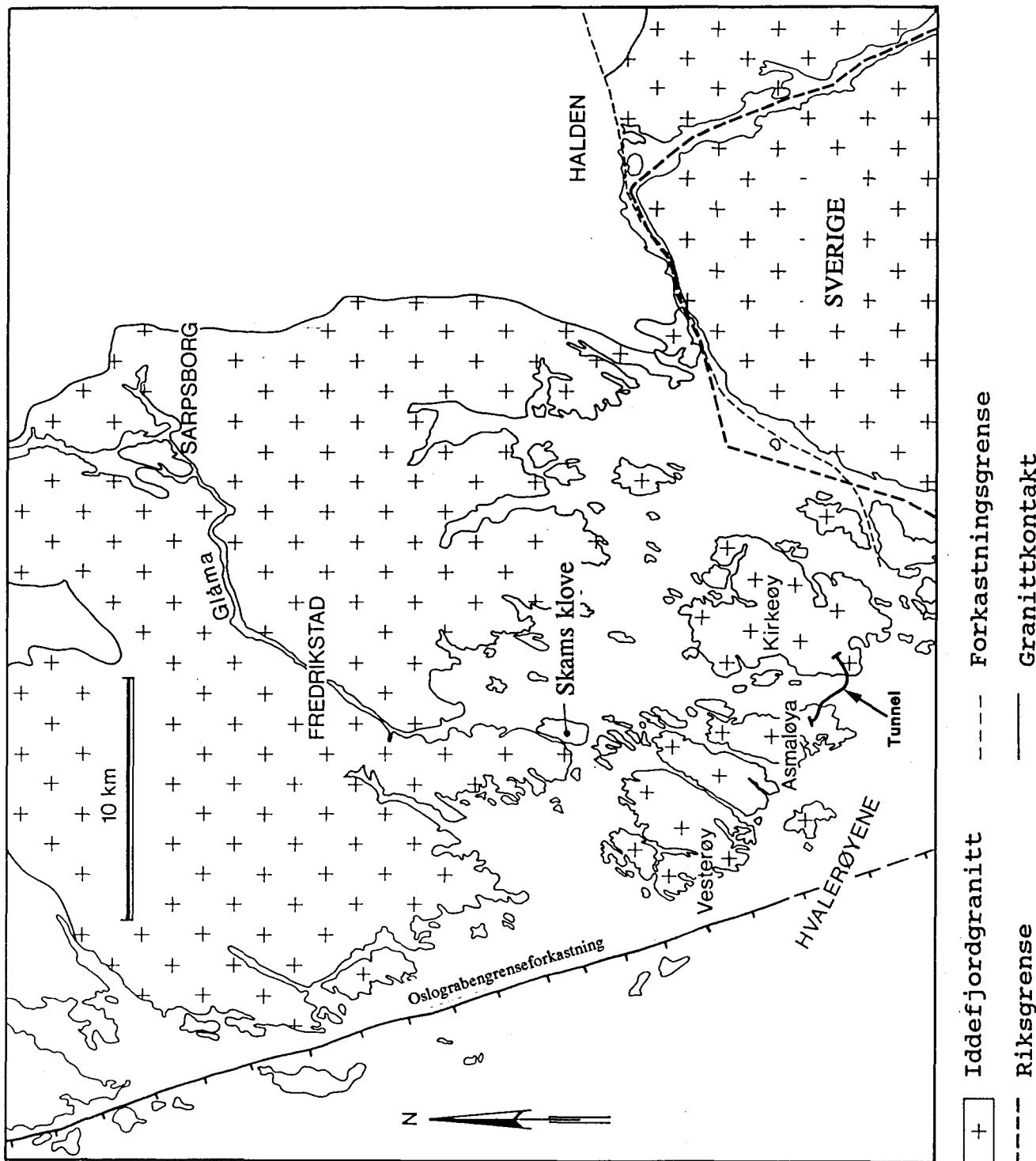
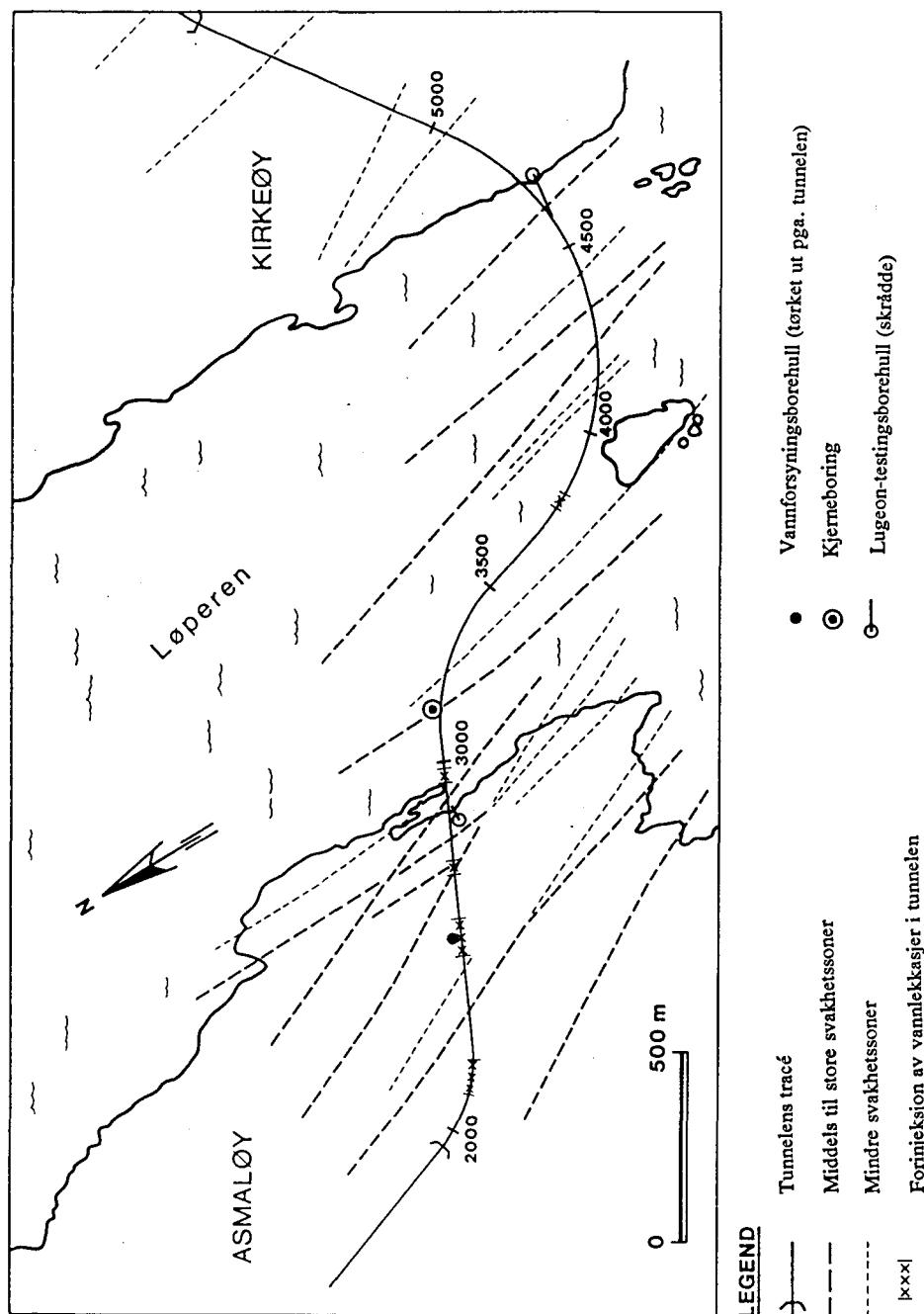


Fig. 3 Kart som viser Hvaler-tunnelens tracé under Løperen, samt svakhetssoner som ble identifisert fra forundersøkelser. Etter Taugbøl og Øverland, 1987; Larsen, 1990 og Banks et al., 1992a.



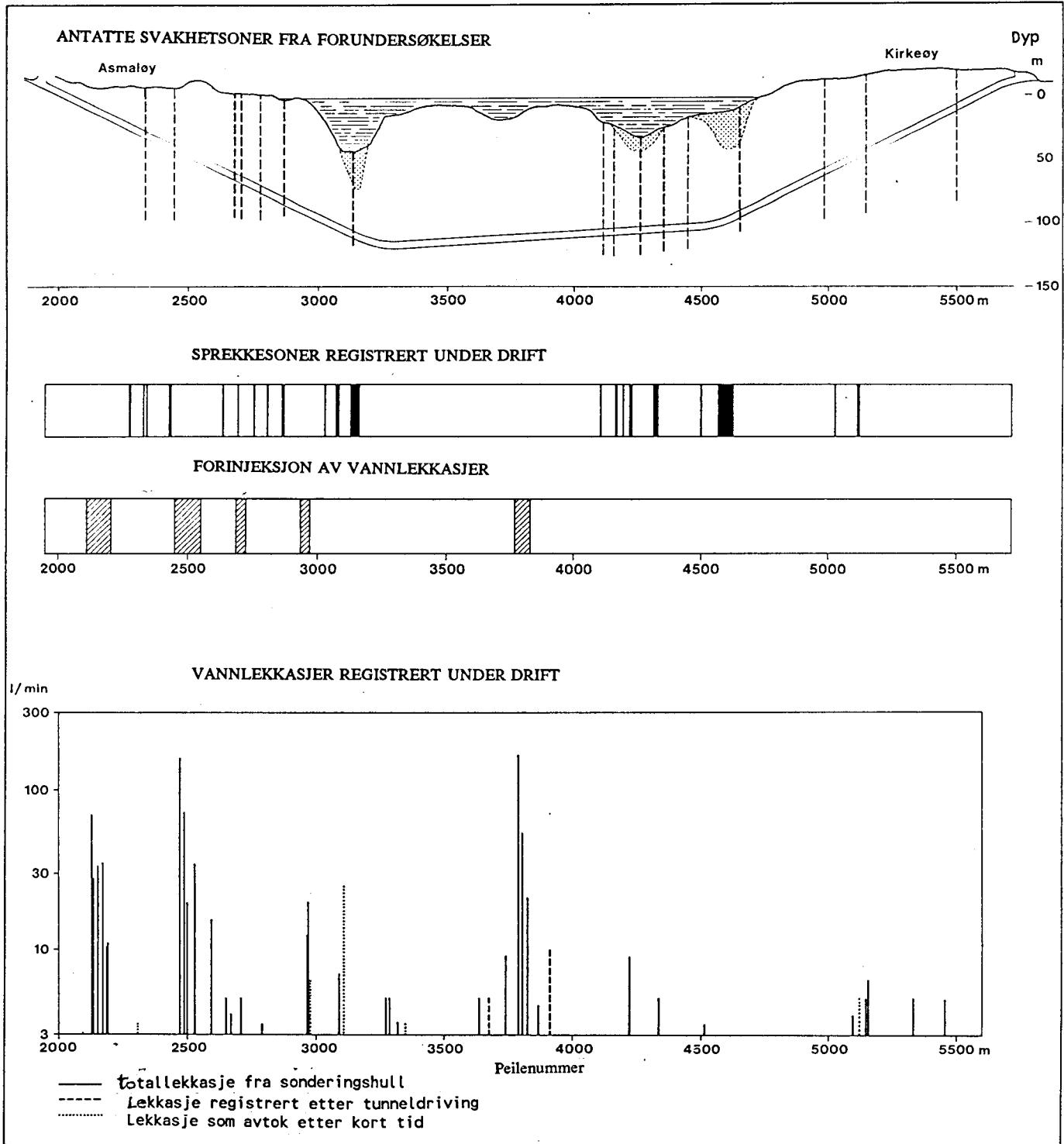
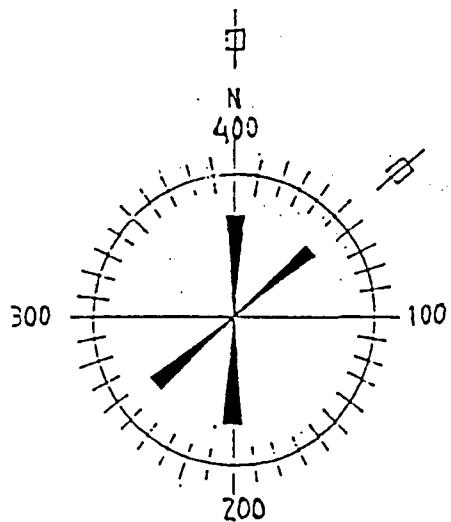
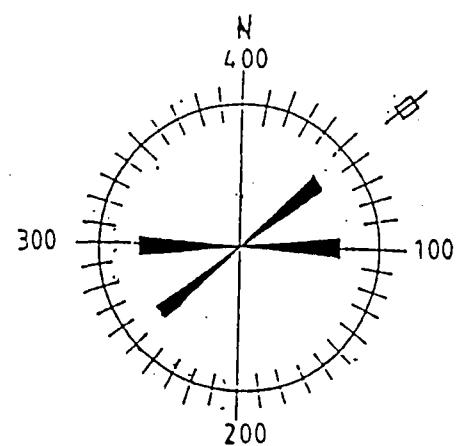


Fig. 4 Samsvar mellom antatte (fra forundersøkelser) og påviste sprekkesoner, samt vannlekkasjer inn i Hvaler-tunnelen (etter Larsen, 1990, og Banks et al, 1992a). Lekkasjer vises som den totale innstrømningen fra alle sonderinghull på et bestemt peilenummer (legg merke til logaritmisk skala).

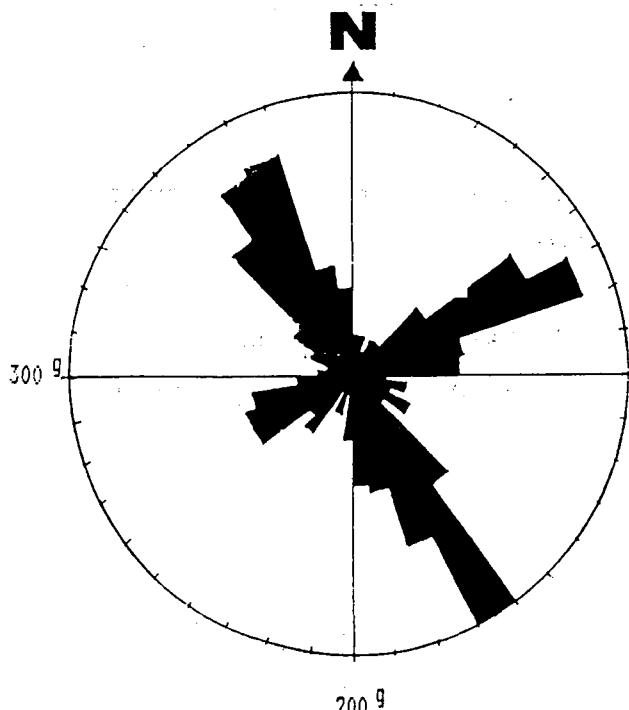
Sprekkerose Asmaløy



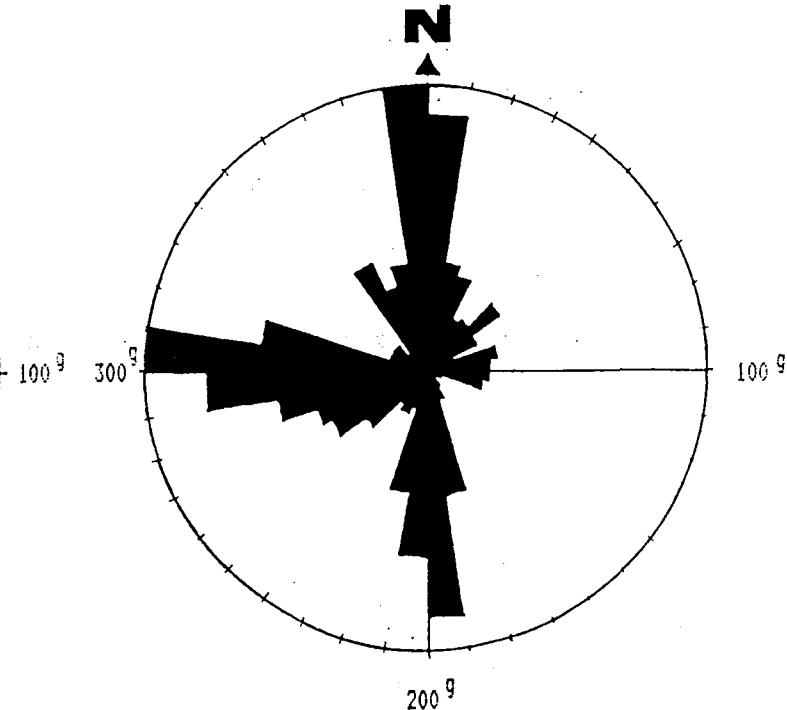
Sprekkerose Kirkeøy

**Sprekkerosser fra forundersøkelser**

Sprekkerose Asmaløy



Sprekkerose Kirkeøy

**Sprekkerosser fra driftsundersøkelser****Fig. 5**

Rosediagrammer som viser sprekkeretninger fra Hvaler-tunnelen (etter Larsen, 1990).

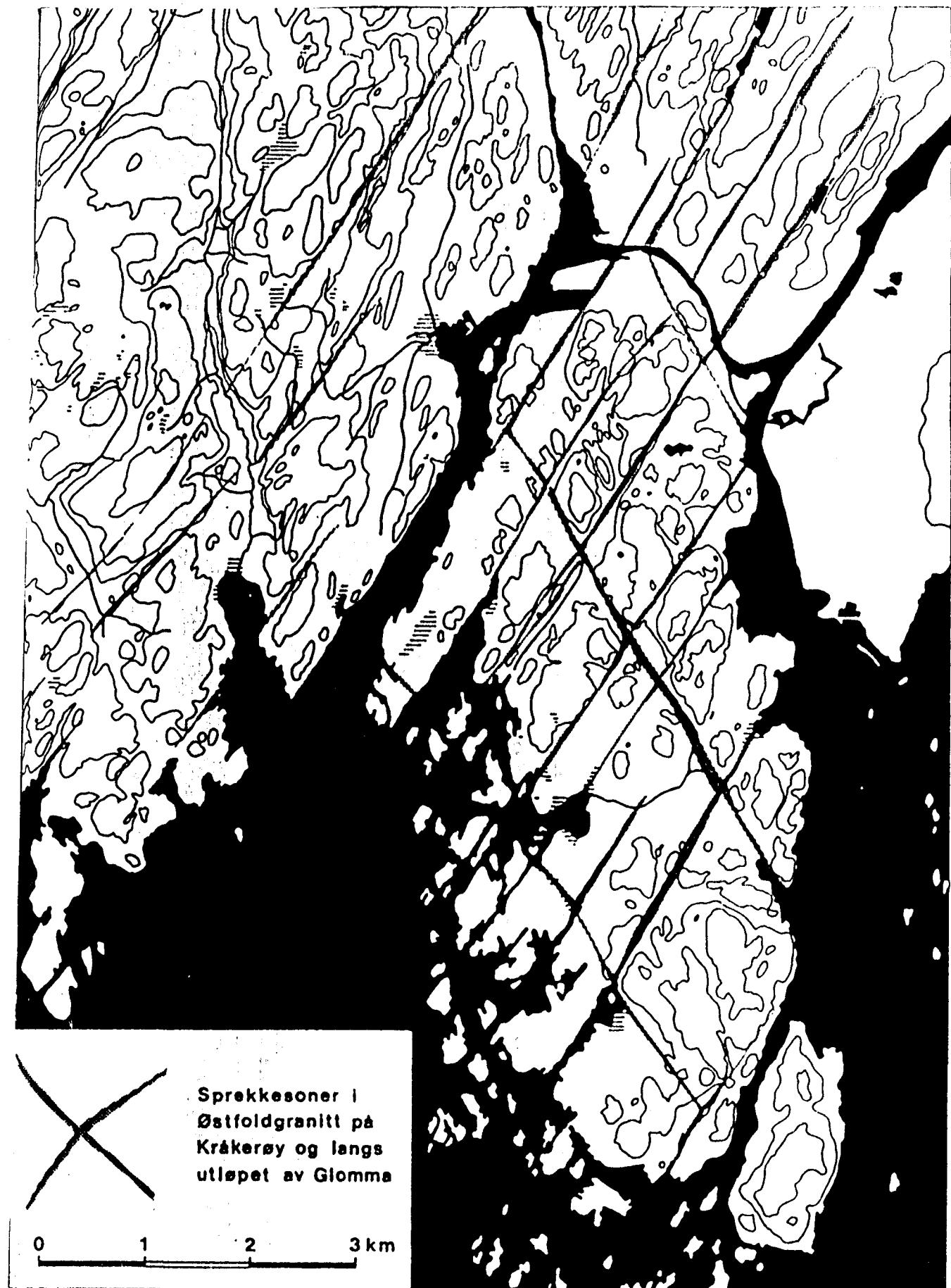


Fig. 6 Regelmessige sprekkesoner på Kråkerøy - etter NLVF, 1980.

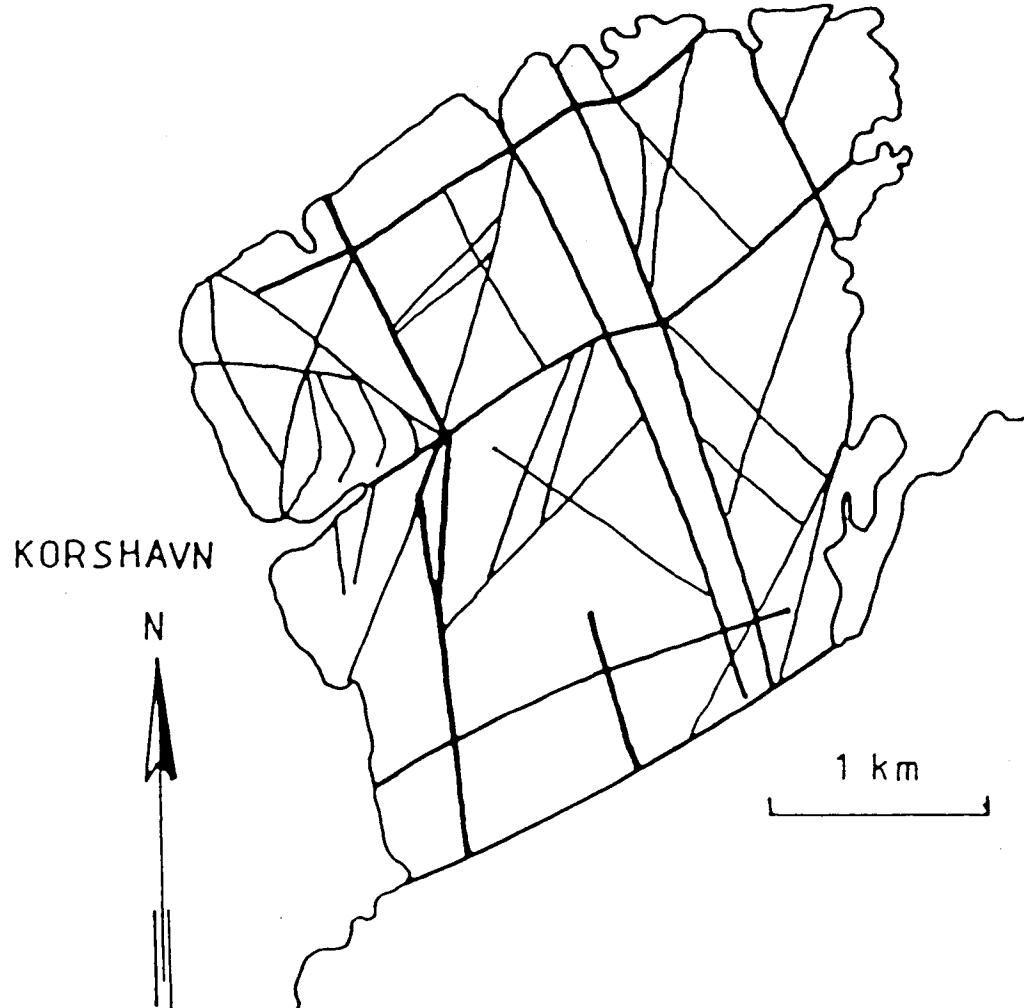


Fig. 7a Foreløpig sprekkesonekart over den NV-lige delen av Kirkeøy (etter Rohr-Torp, 1991)

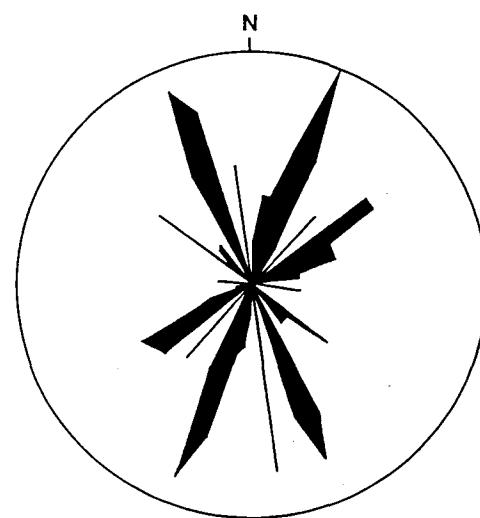


Fig. 7b Sprekkerose derivert fra Fig. 7a.

Antall sprekker på høyre side ($N = 53$), total lengde på venstre side ($N = 45,45$ km)

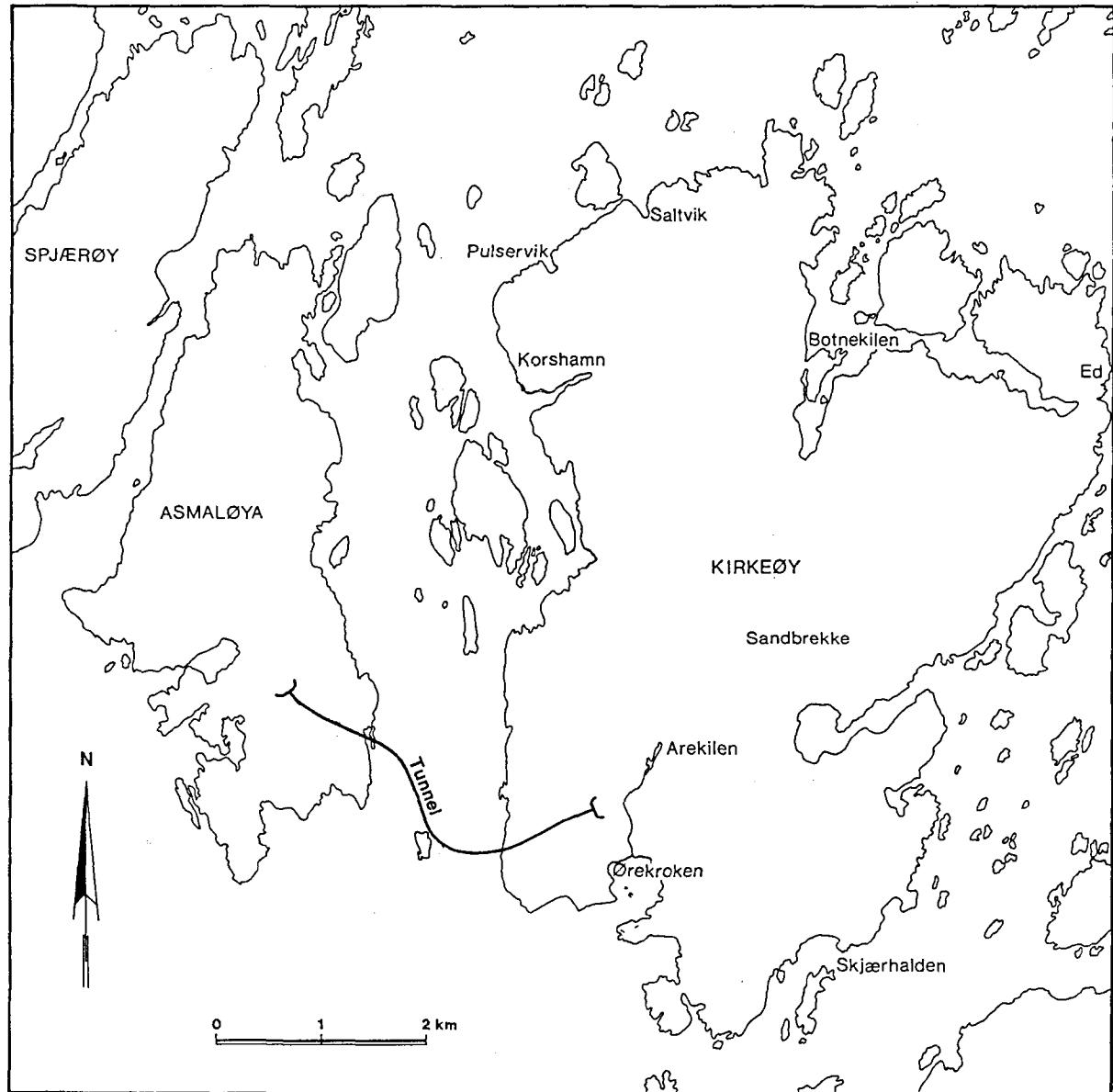


Fig. 8 Kart over Kirkeøy (etter Banks et al, 1992b).

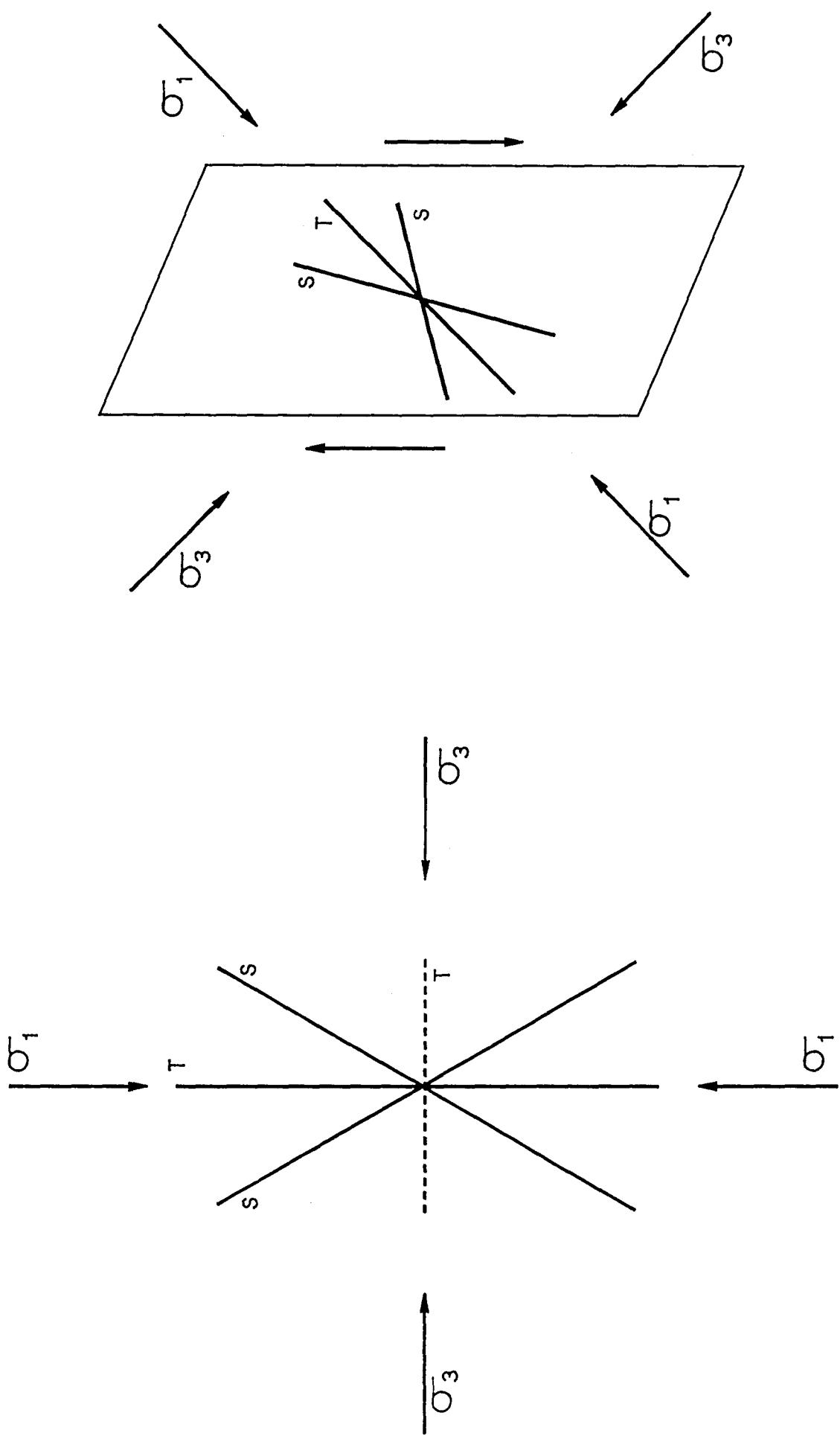
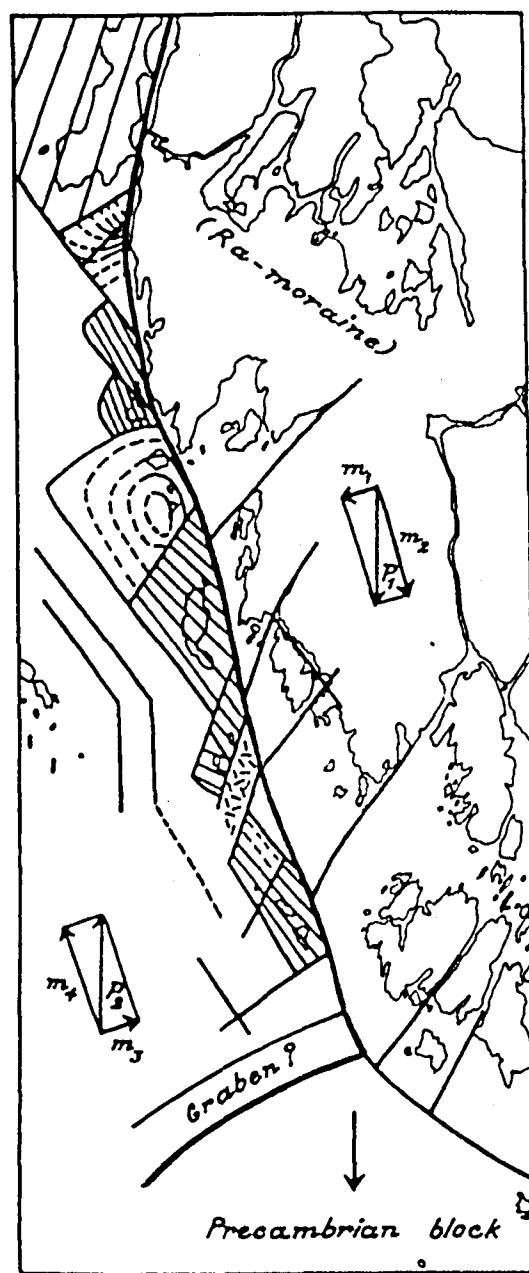


Fig. 9a Dannelse av tensjon- og skjærsprekker i 2-D stressfelt.

Fig. 9b Dannelse av tensjon- og skjærsprekker i skjær-regime.

Fig.11

Skissekart som indikerer tektoniske blokker langs Oslograbengrenseforkastningen (etter Størmer, 1935).



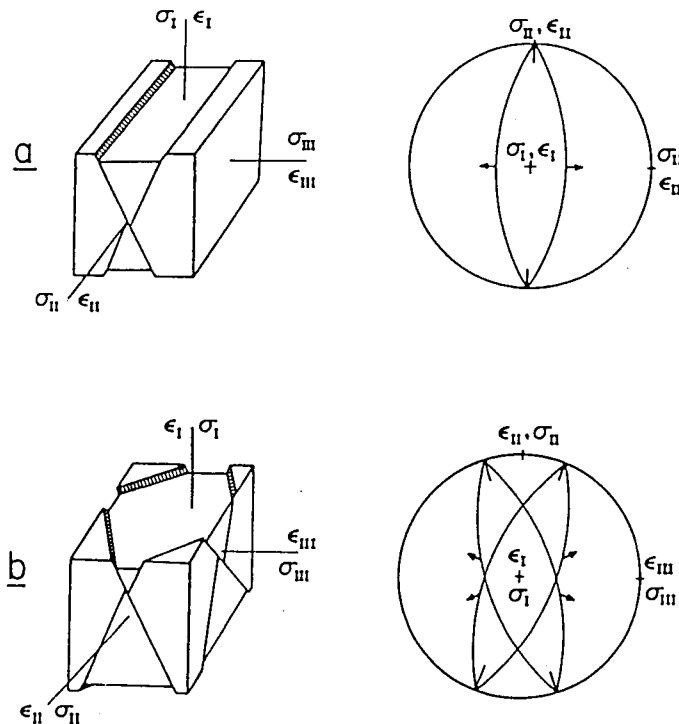


Fig. 1. a A conjugate set of normal faults, and the associated principal stress and strain axes according to Anderson (1951).
 b. Four sets of normal faults that can accommodate three-dimensional strain, and the orientations of the principal stress and strain axes. Arrows indicate slip directions in both diagrams.

Fig.10

- a) Konjugate, normale forkastninger, og tilsvarende stress- og deformasjonsakser.
- b) Fire normale forkastninger som tar opp 3-D deformasjonen, og tilsvarende stress- og deformasjonsakser. Piler indikerer forkastningsretning på begge diagrammer. Etter Reches, 1983.

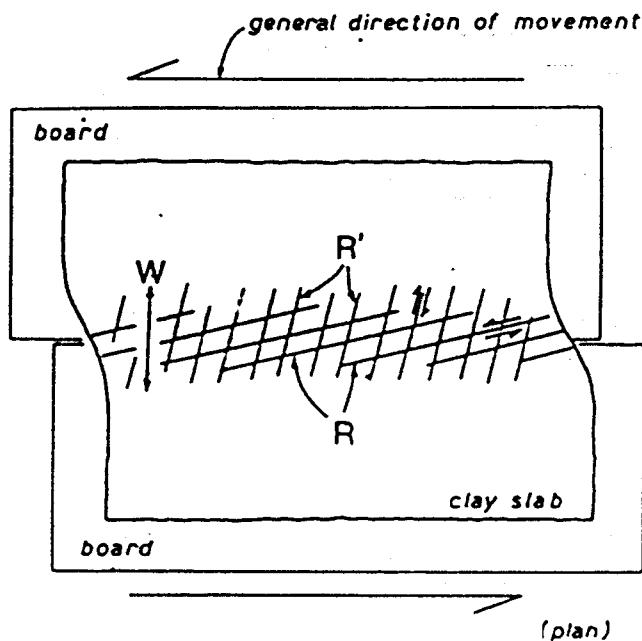


Fig.12

- Diagram som viser Reidal-eksperimentet, etter Tchalenko, 1970.
 R = Reidal-skjærsprekke
 R' = Konjugat Reidal-sprekk
 W = skjærsonens bredde



Fig.13a: Iddefjordgranitt på Kirkeøy, område 8; viser pegmatitt, aplittgang & xenolitt



Fig.13b: Sprekkesone som består av oblikt-liggende sprekker. Område 12.



Fig.13c. Område 11 med tilsynelatende regelmessig sprekkmønster.

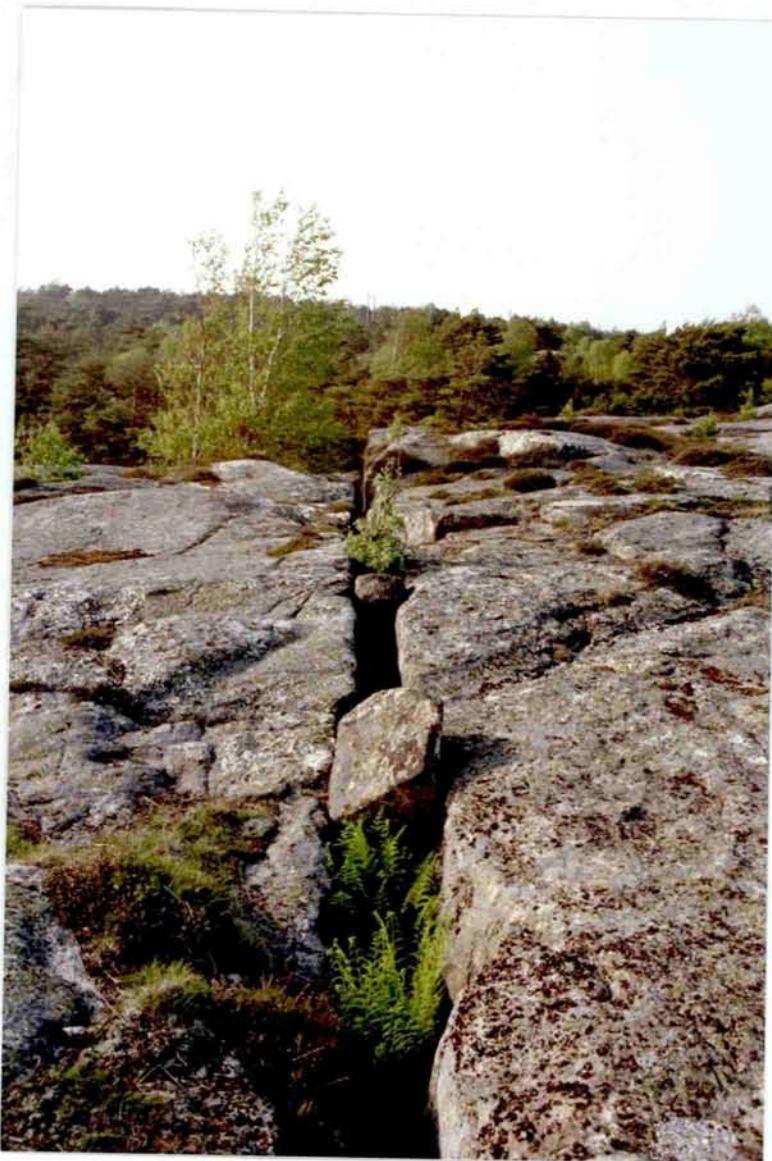
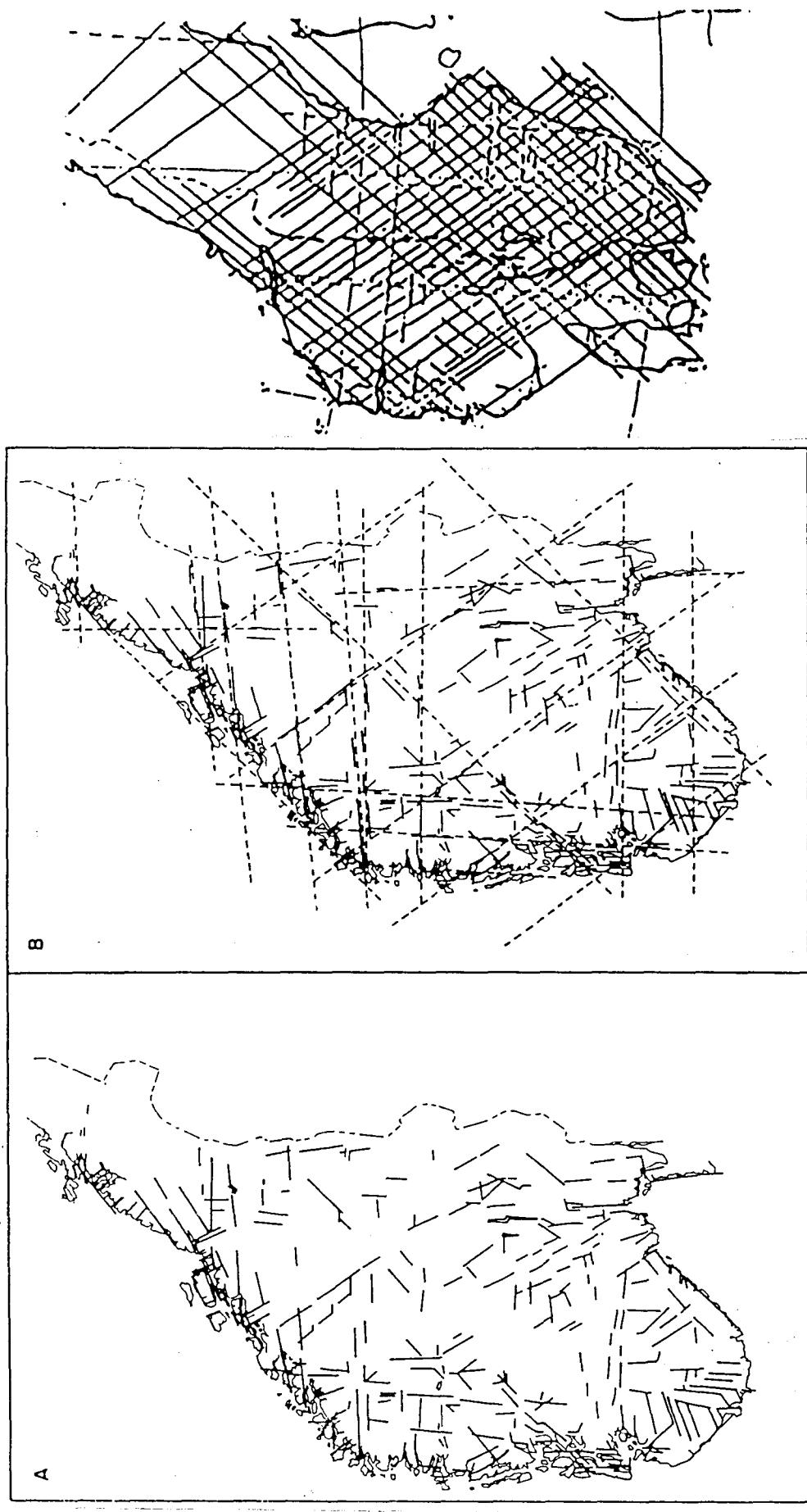


Fig.13d. Lange, lineære sprekker ved Sandbrekke (område 36).

Fig.14 Evolusjon av lineamentkart over Skandinavia. Sammenstilling etter Bo Ronge.



Lineamentkart over Skandinavia, av fra venstre: Kjerulf (1879), Hobbs (1911),
Gustafson og Ronge (1985).

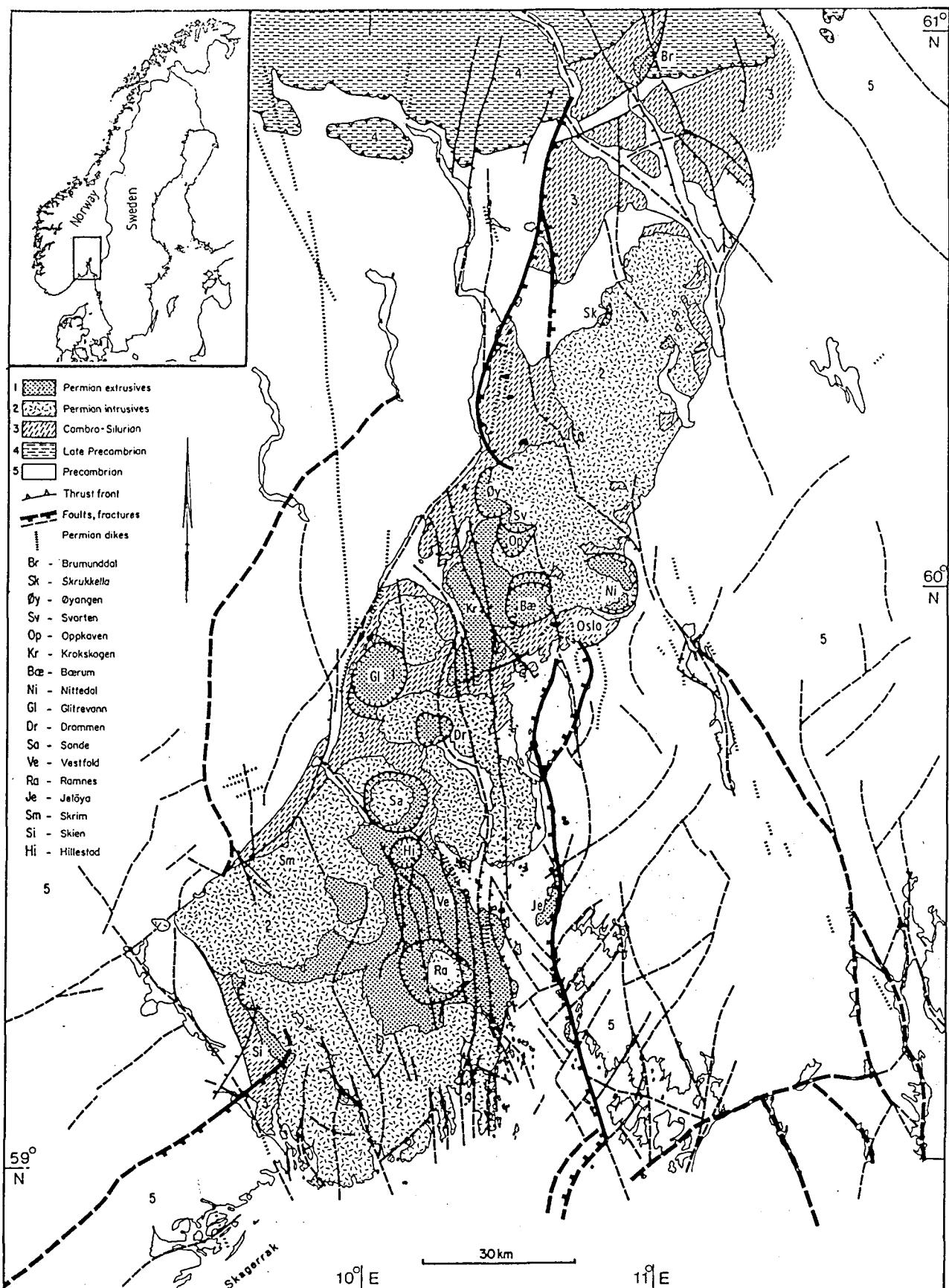


Fig.15 Forenklet geologisk kart over Oslograben, etter Ramberg et al., 1977.

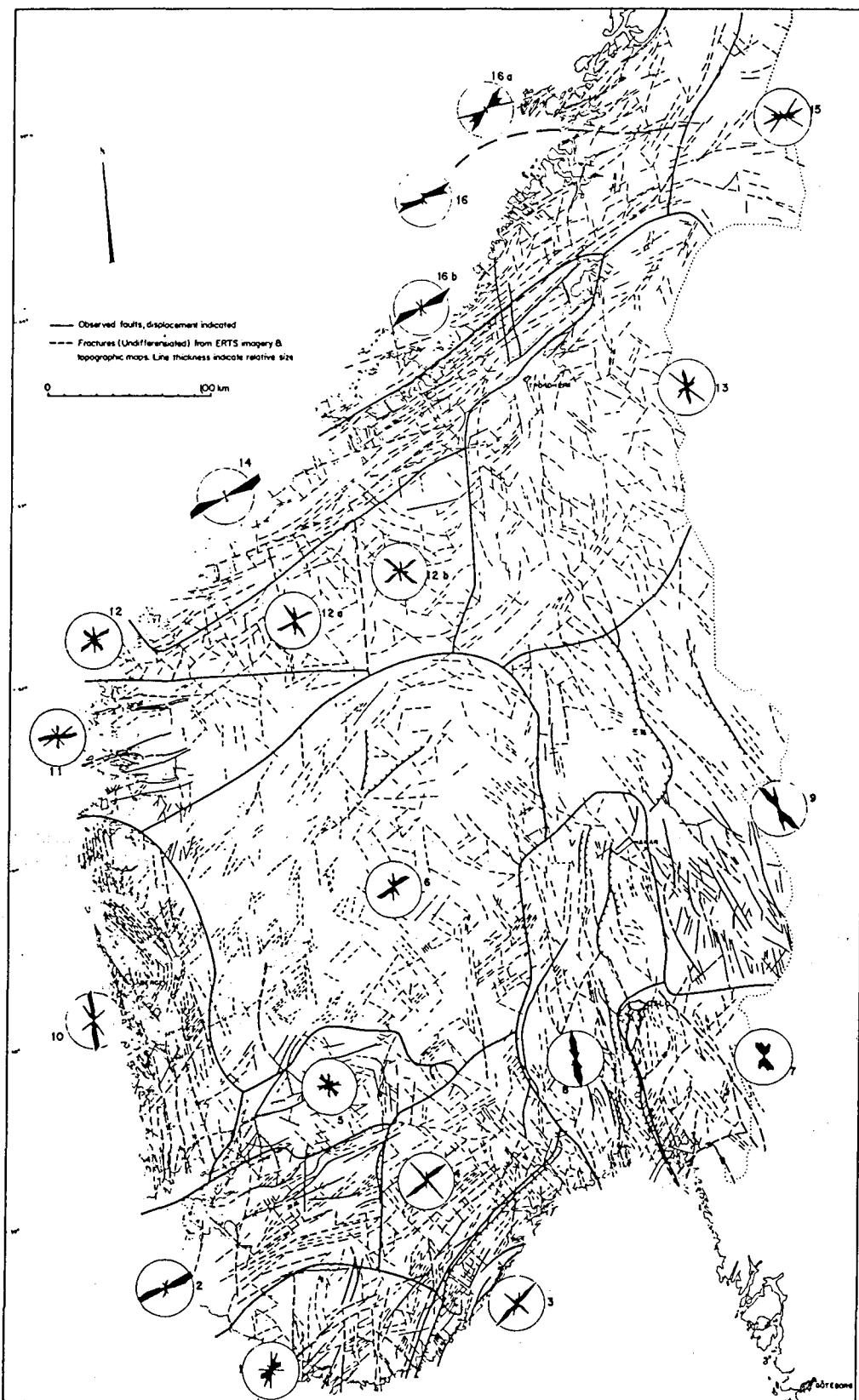


Fig.16a Sprekkesonekart (fra Landsat) over sørlige delen av Norge, etter Ramberg et al., 1977.

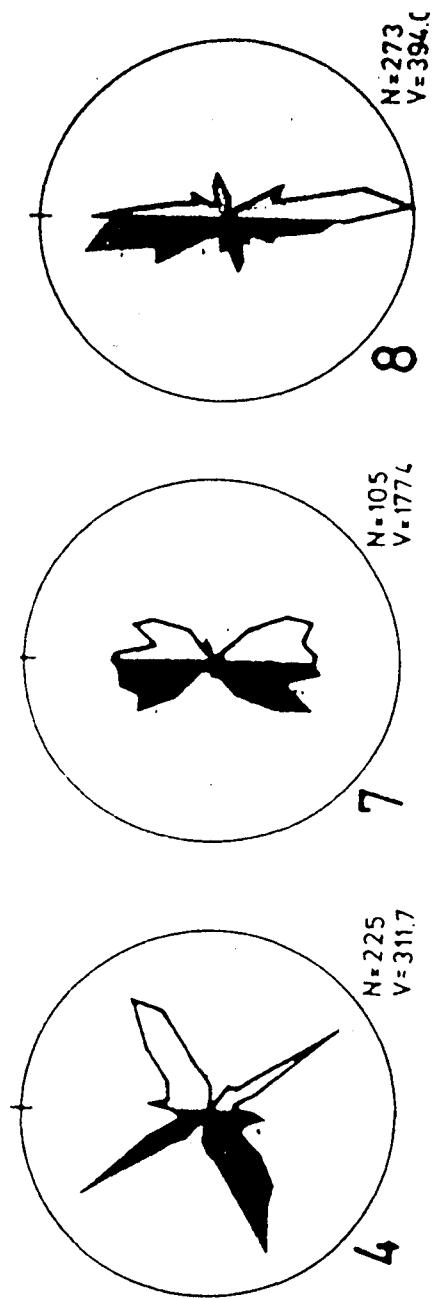
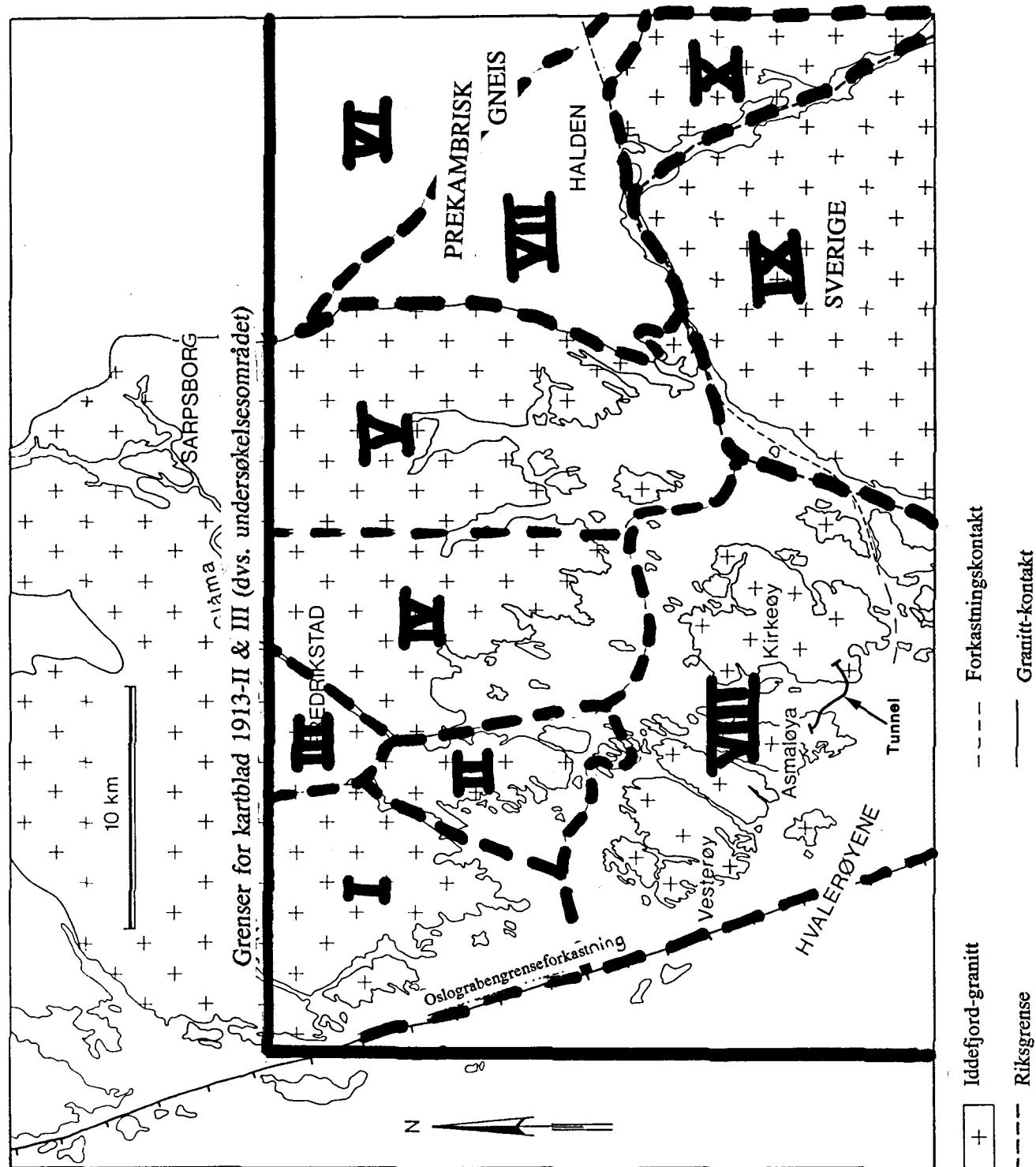


Fig. 16b Rossdiagrammer for Landsat-identifiserte sprekkesoner (se Fig. 16a). Etter Gabrielsen & Ramberg, 1979.
4 = Prekambrium V for Oslograben
7 = Prekambrium Ø for Oslograben.
8 = Permisk Oslo-graben.

Fig.17a Inndeling av Iddefjordgranitt-område for topografisk analyse.

Romerske tall viser til Tabell 3



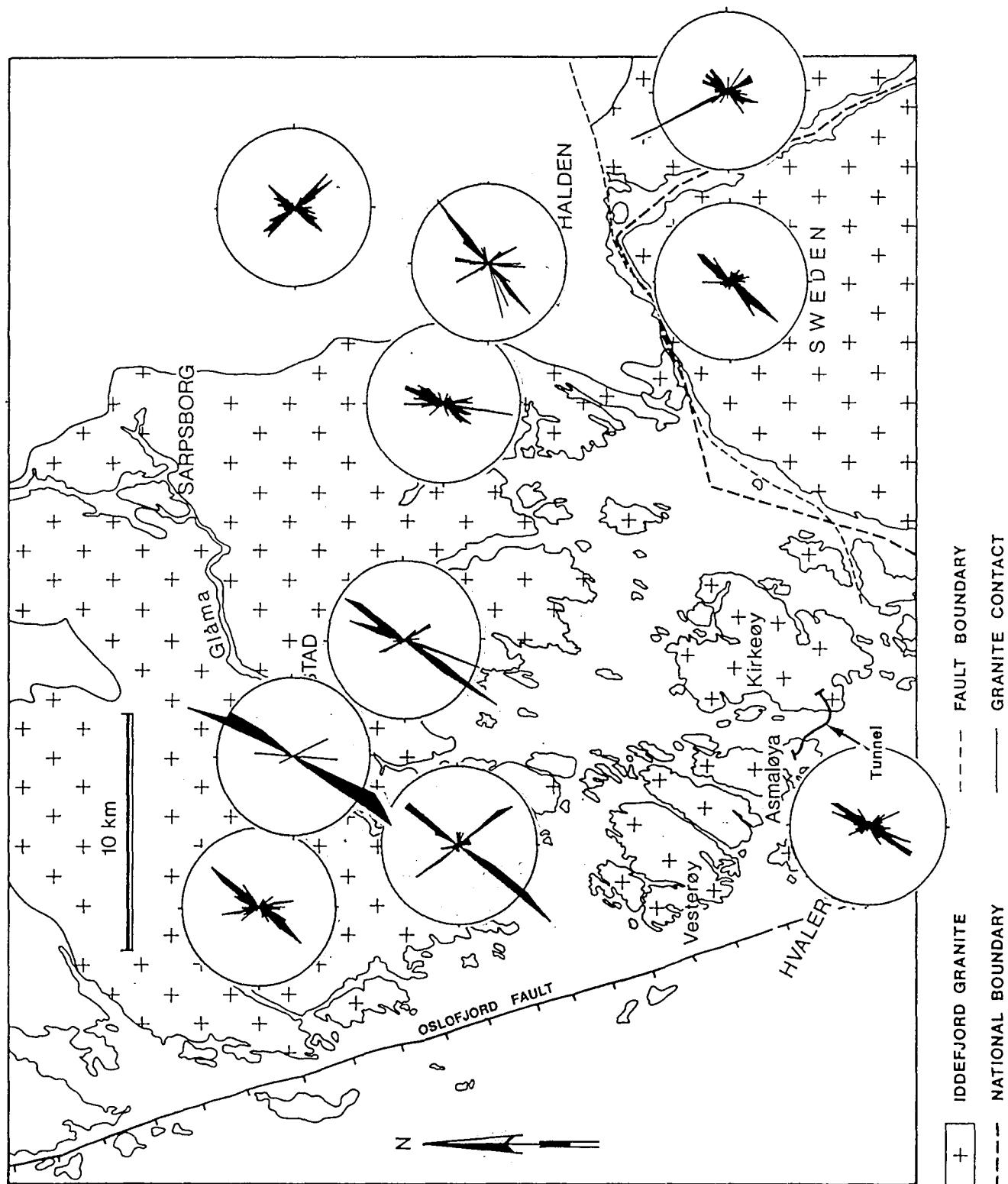


Fig.17b Sprekkesoner for sprekkesoner som er identifisert fra 1:50 000 topografiske kart. Høyre side for hvert diagram viser antall lineamenter, venstre side viser deres totale lengde.

Fig.18a Sprekkekart for sprekker som er identifisert fra flyfotografier
nordlig del av Kirkeøy

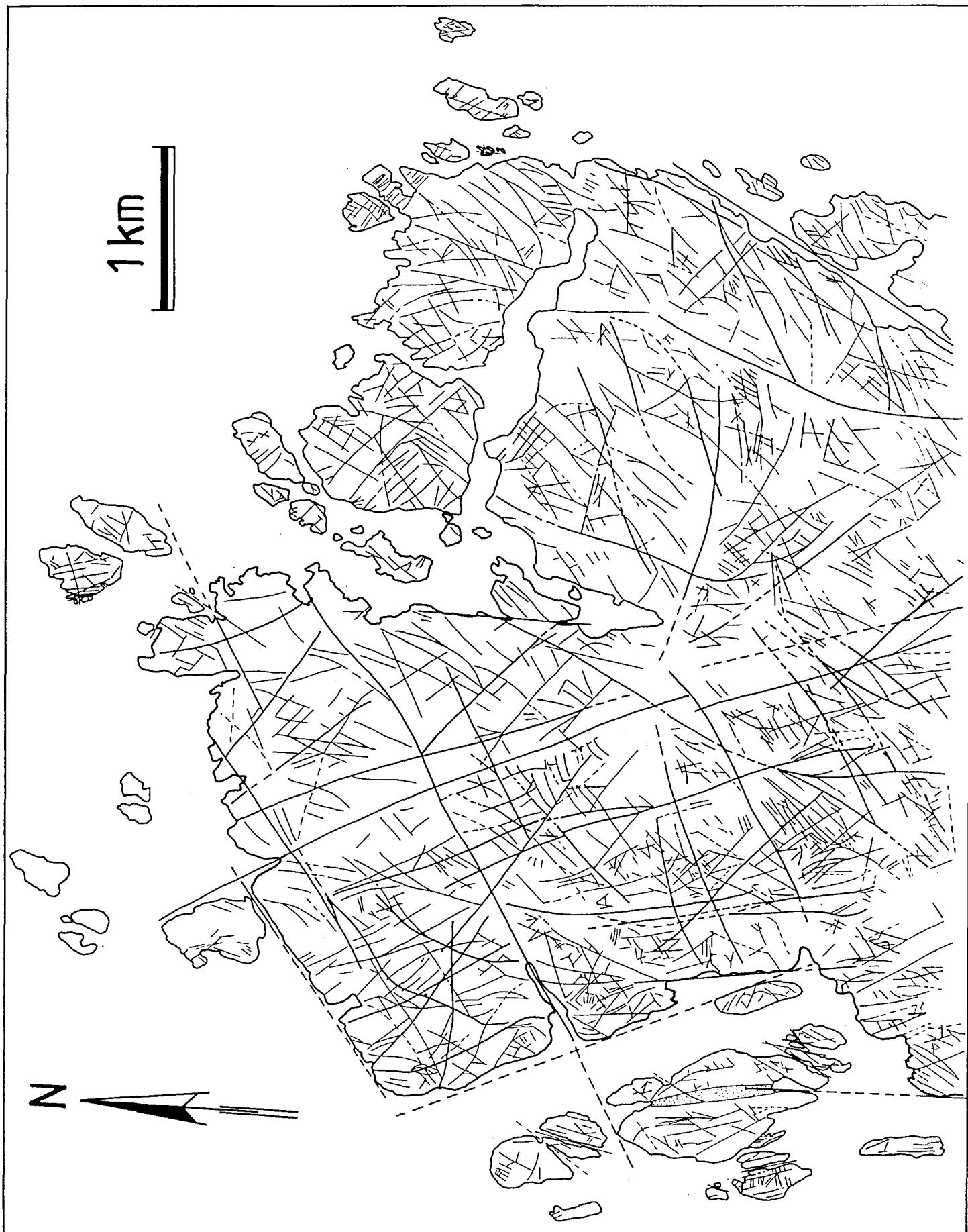
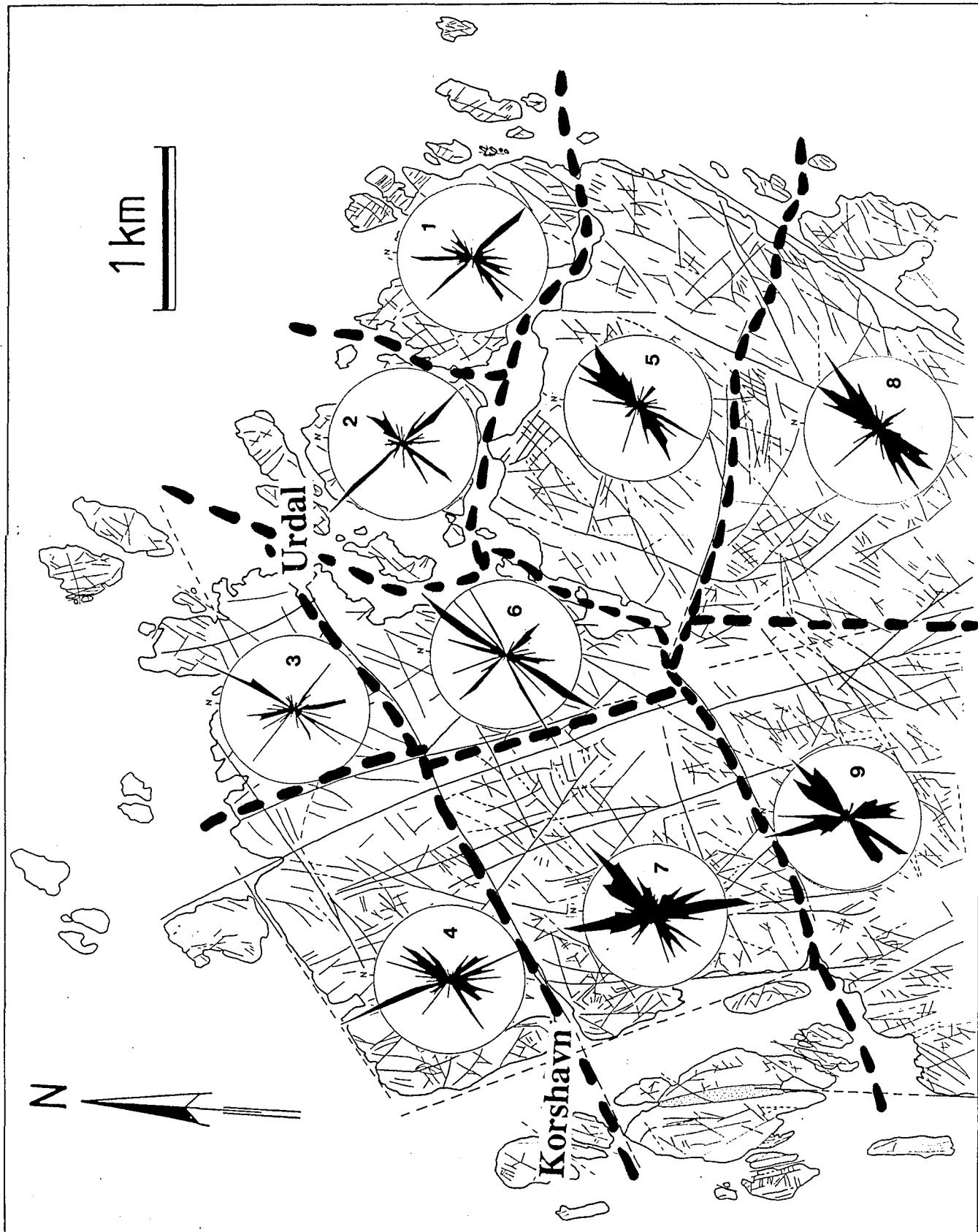


Fig.18b Sprekkesøer for flyfoto-identifiserte sprekker.



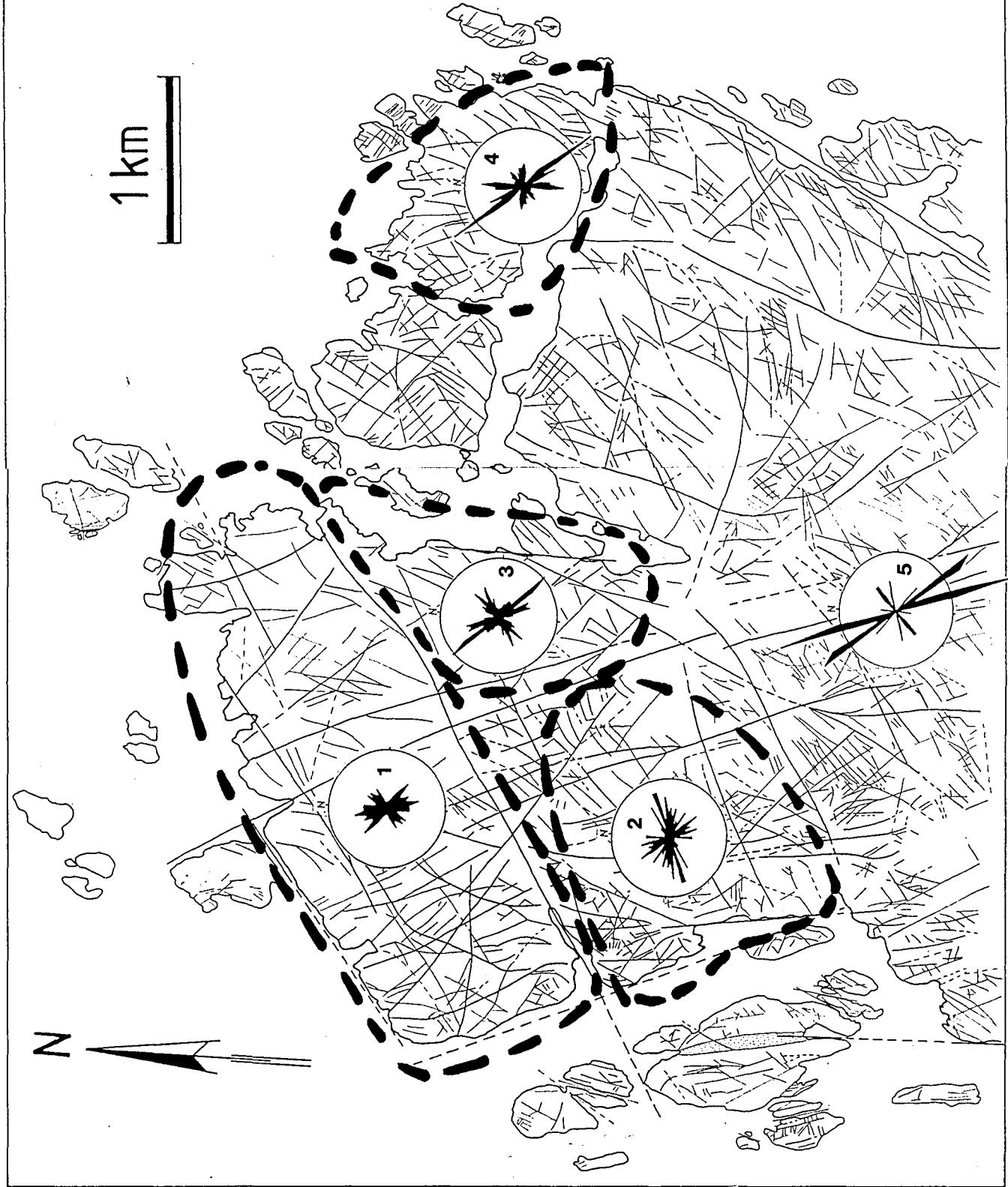
Høyre side for hvert diagram viser antall lineamenter, venstre side viser deres totale lengde.

Tykke linjer viser inndeling av området for lineamentanalyser (se Tabell 4)

Fig.19

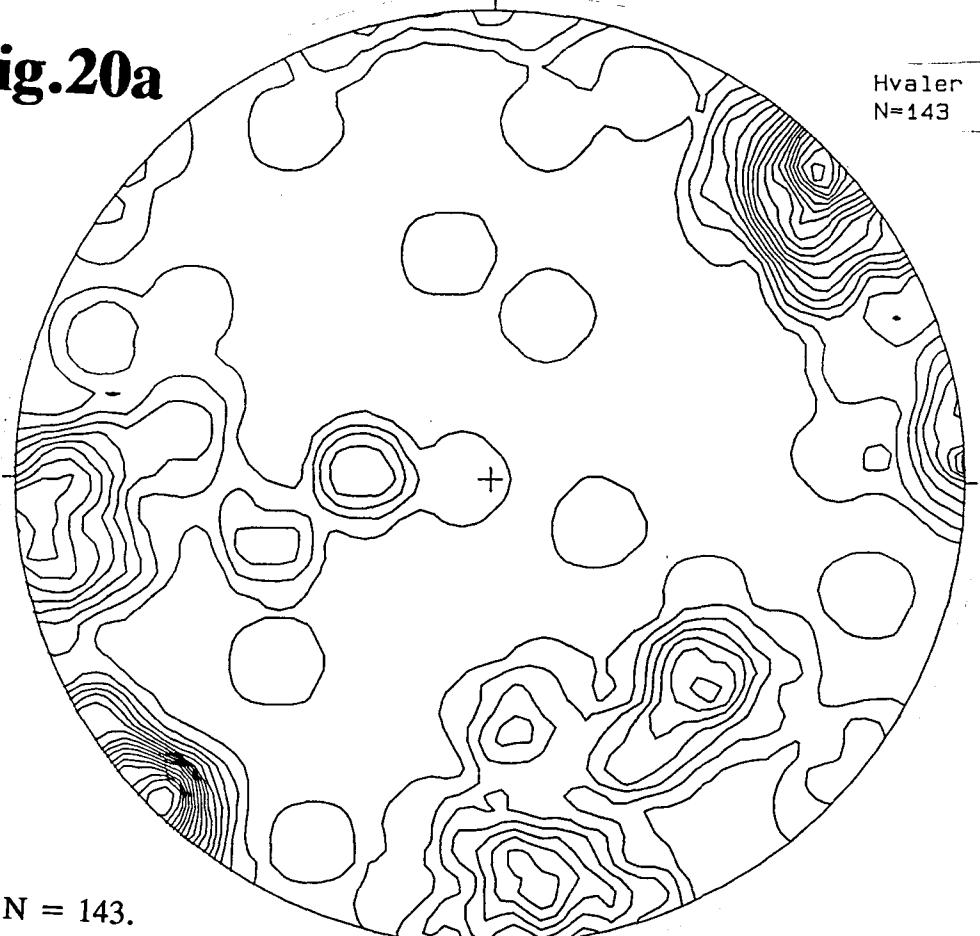
Sprekkeroser for sprekker som er målt i felten - nordlig del av Kirkeøy.
Rosene viser kun sprekker med fall $\geq 45^\circ$.

Tykke linjer viser omtrentlige områder som hvert rosediagram omfatter (se Tabell 5)

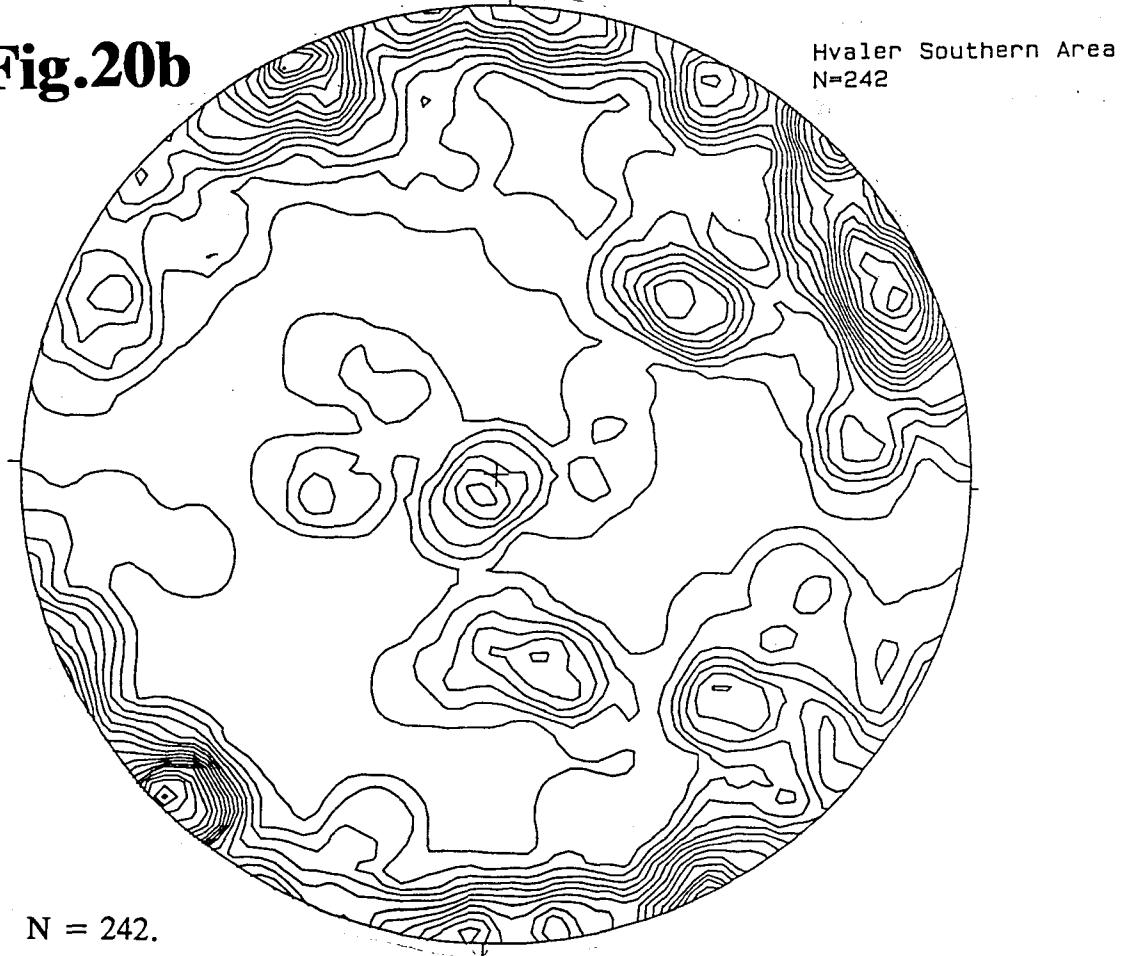


Basiskart viser flyfotoidentifiserte sprekker

Sprekkerose 2 = lokaliteter 32-34; sprekkerose 3 = lokaliteter 42-44; sprekkerose 4 = lokaliteter 37-41; sprekkerose 5 = kun lokalitet 36. Sprekkerose 1 = øvrige lokaliteter (dvs. 9-30 & 45).

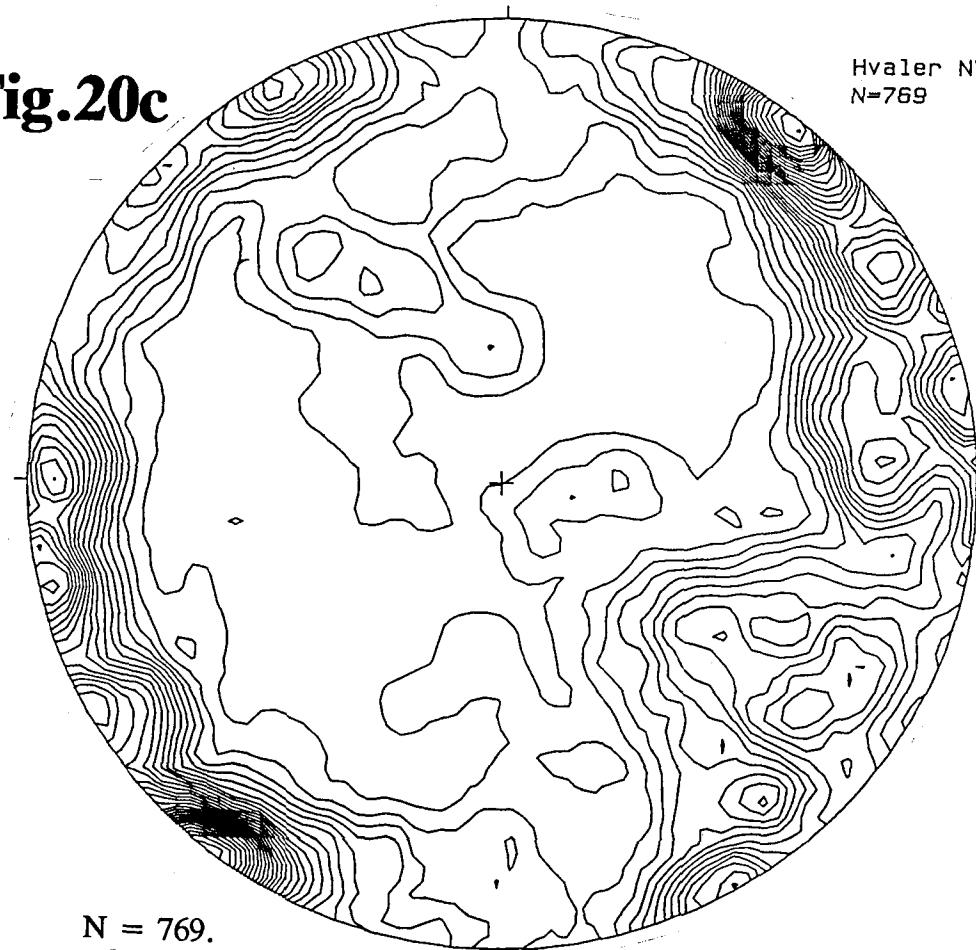
Fig.20a

Stereonett - alle sprekker målt i felten. Nord-østlige halvøya, Kirkeøy.

Fig.20b

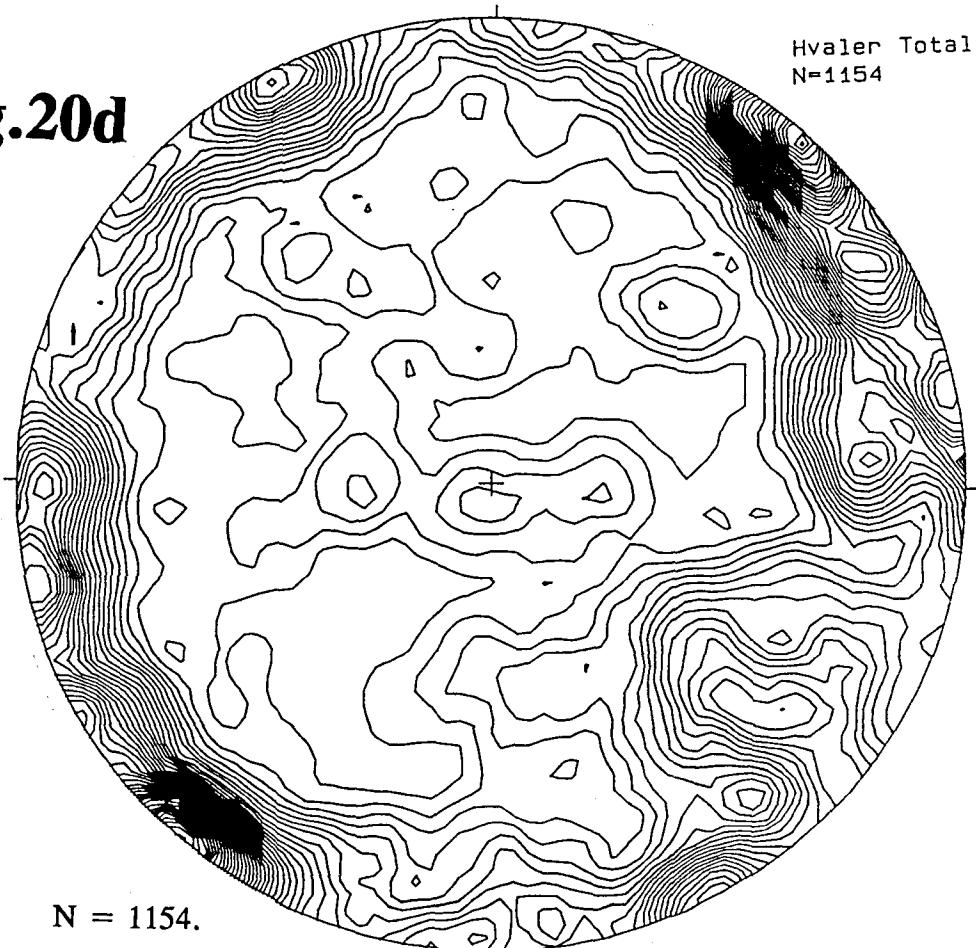
Stereonett - alle sprekker målt i felten. Sørlige delen av Kirkeøy.

Alle stereonetter er "nederst hemisfer"

Fig.20c

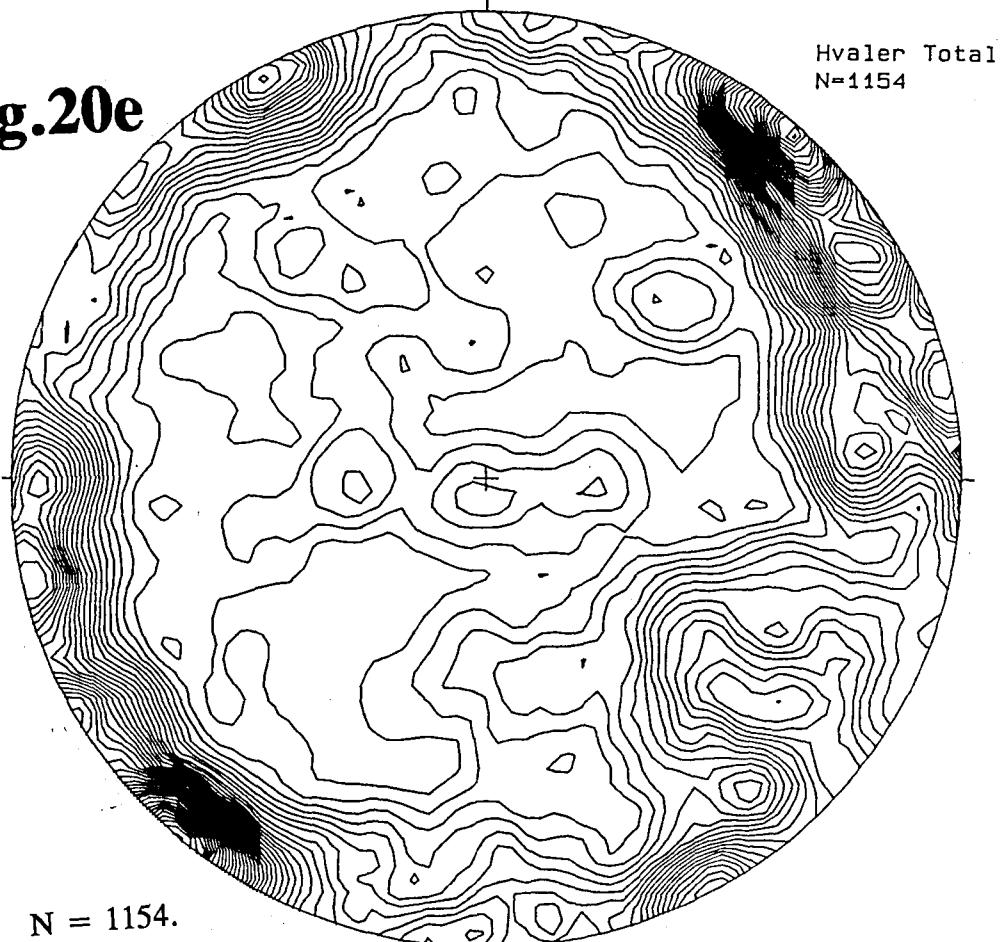
N = 769.

Stereonett - alle sprekker målt i felten. Nord-vestlige halvøya, Kirkeøy.

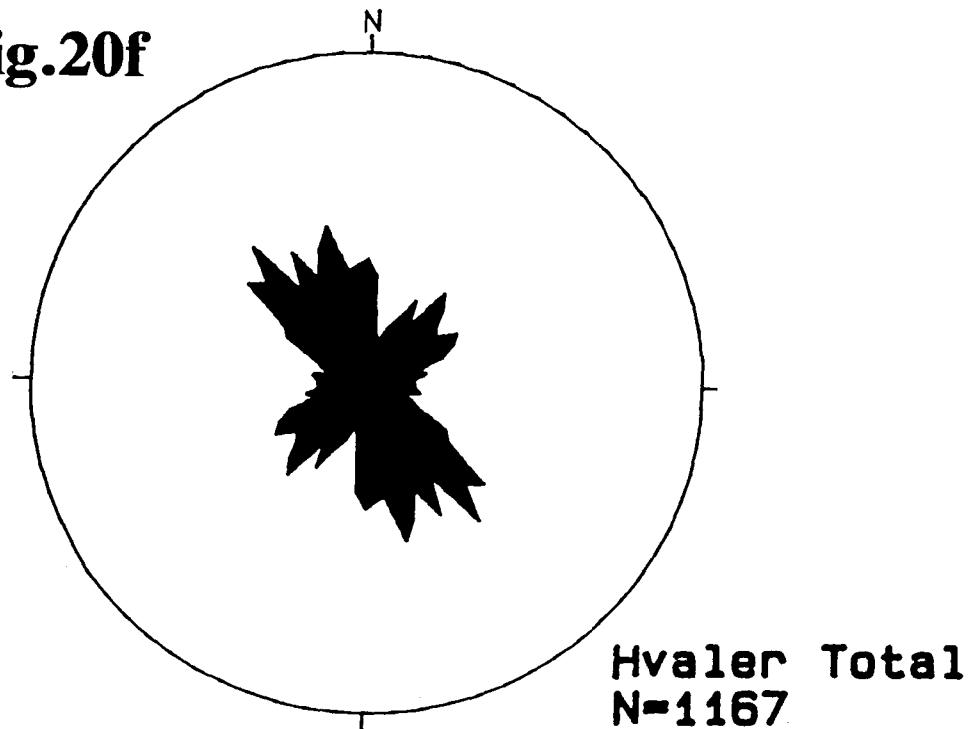
Fig.20d

N = 1154.

Stereonett - alle sprekker målt i felten. Kirkeøy, totalt.

Fig.20e

Stereonett - alle sprekker målt i felten. Kirkeøy, totalt.

Fig.20f

Rosediagram - alle sprekker med fall $\geq 45^\circ$. Kirkeøy, totalt.

N = 1167. (Omfatter flere sprekker enn Fig.20d pga. at det var mulig å måle retning på noen steile sprekker uten å kunne måle nøyaktig fall. Slike sprekker inkluderes ikke i stereonetet)

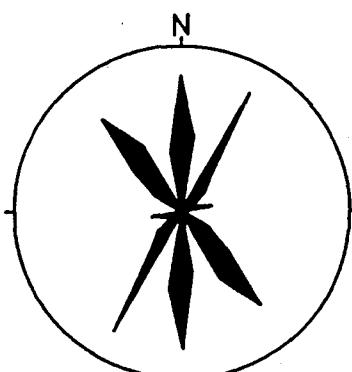
Alle stereonetter er "nederst hemisfer"

Fig.21

Fig.

Sprekker med mørkt/svart sprekkemineral

Rosediagram
(Fall > 45°)



Stereoprojeksjon:

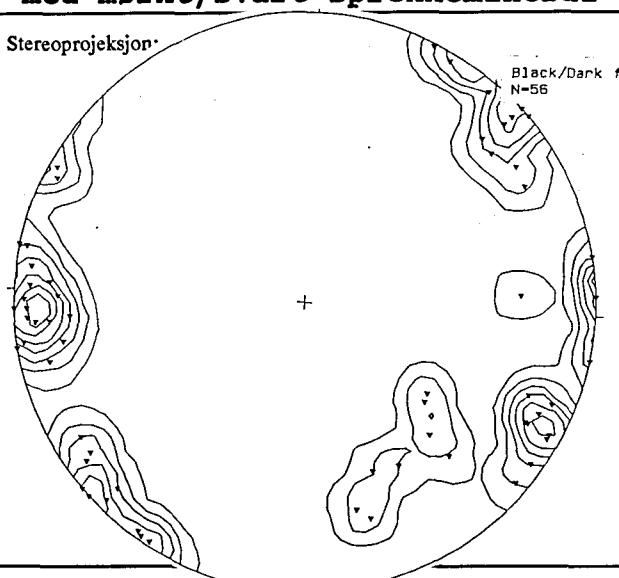
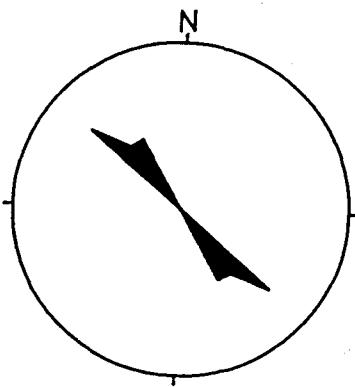


Fig.

Sprekker med kvarts som sprekkemineral

Rosediagram
(Fall > 45°)

Quartz
N=7
SKALA=30%



Stereoprojeksjon:

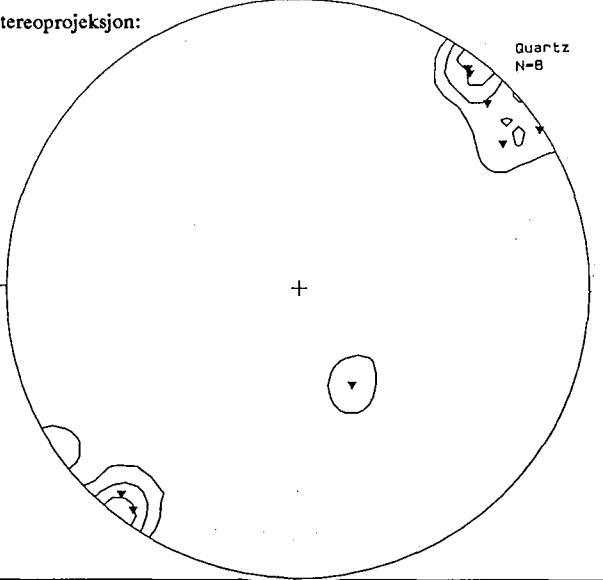
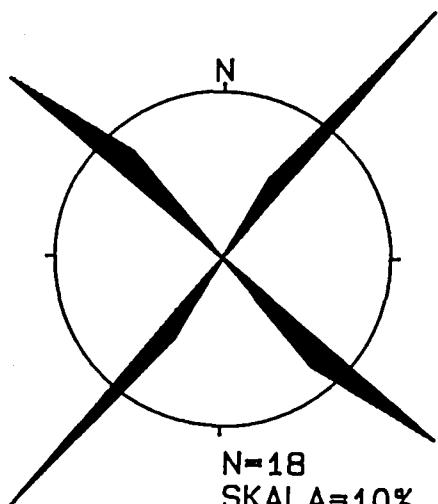


Fig.

Sprekker med epidot som sprekkemineral



N = 20

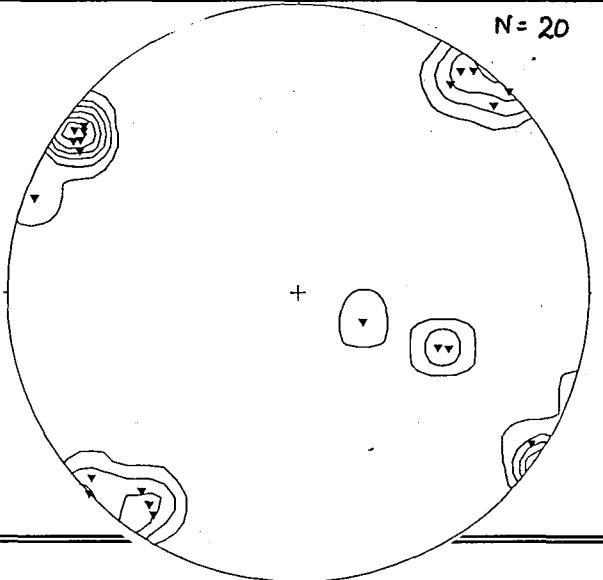
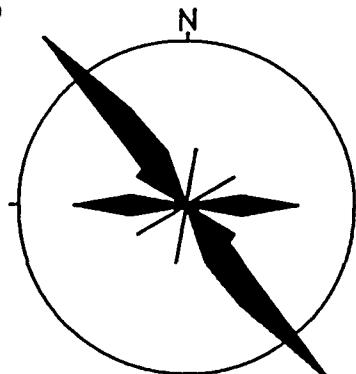


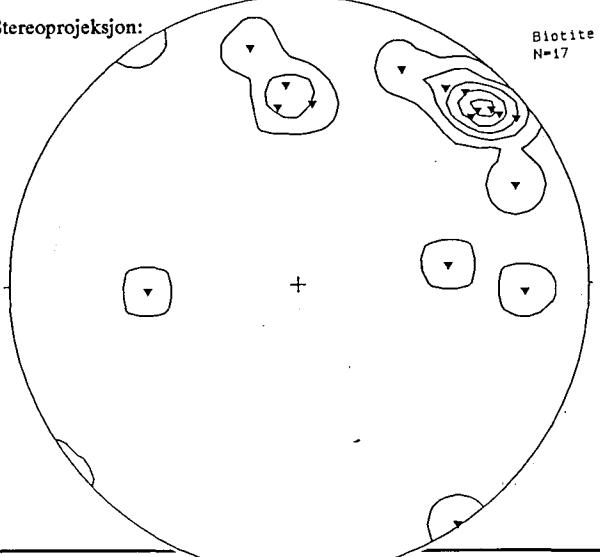
Fig.**Sprekker med biotitt som sprekke mineral**

Rosediagram
(Fall > 45°)



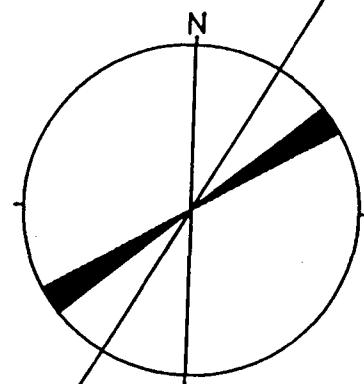
N=15
SKALA=10%

Stereoprojeksjon:

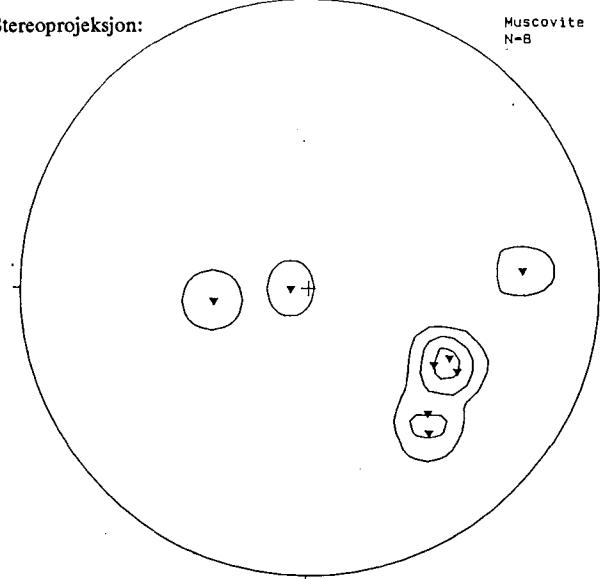
**Fig.****Sprekker med muskovitt som sprekke mineral**

Rosediagram
(Fall > 45°)

Muscovite
N=5
SKALA=10%



Stereoprojeksjon:

**Fig.****Sprekker med lysegrennt sprekke mineral**

Pale green
N=14
SKALA=10%

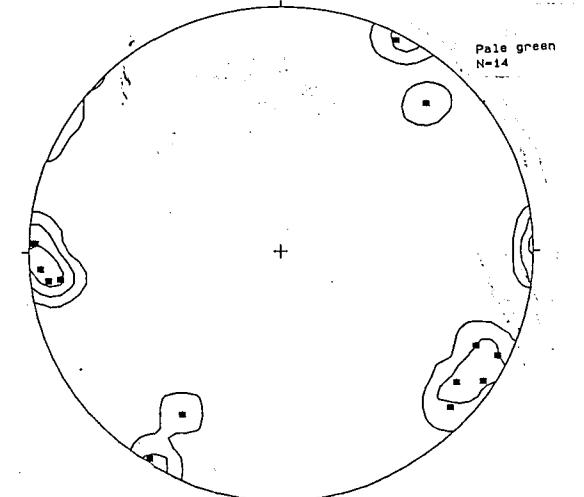
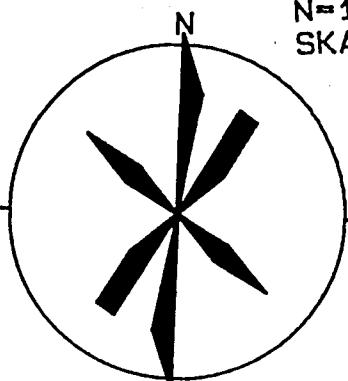
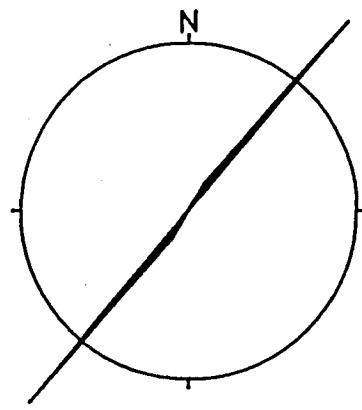


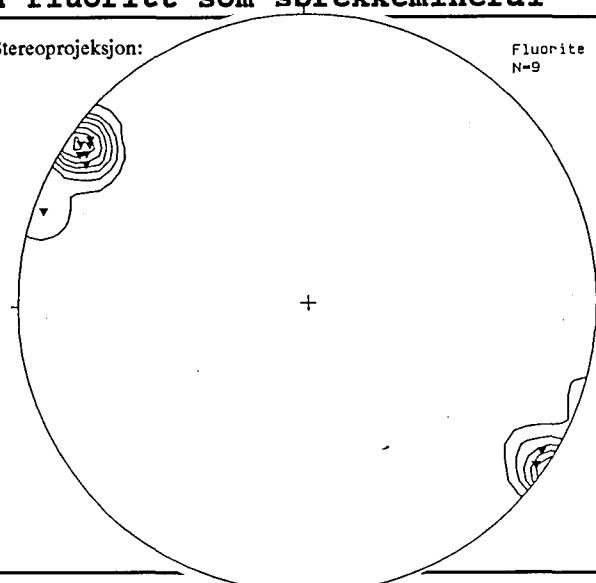
Fig.**Sprekker med fluoritt som sprekemineral**

Rosediagram
(Fall > 45°)

Fluorite
N=9
SKALA=30%

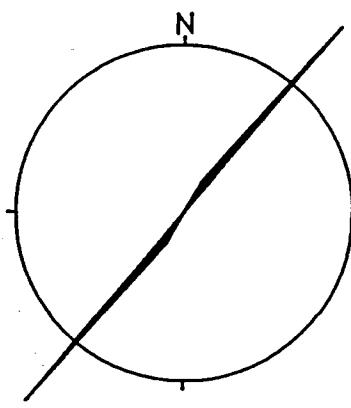


Stereoprojeksjon:

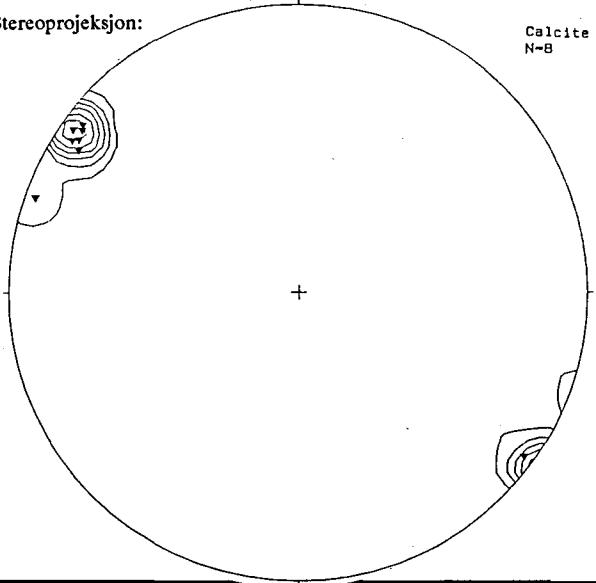
**Fig.****Sprekker med kalsitt som sprekemineral**

Rosediagram
(Fall > 45°)

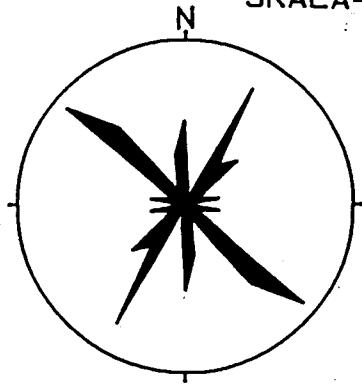
Calcite
N=8
SKALA=30%



Stereoprojeksjon:

**Fig.****Sprekker med orange/brunt sprekemineral**

Orange colour
N=49
SKALA=10%



Orange colour
N=52

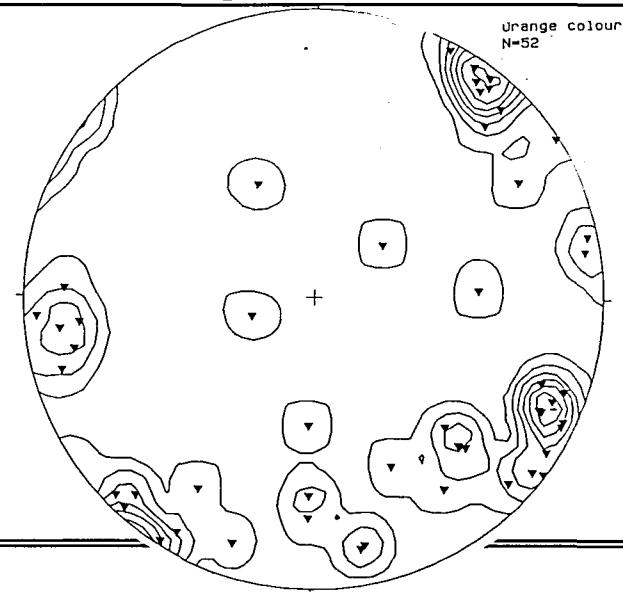
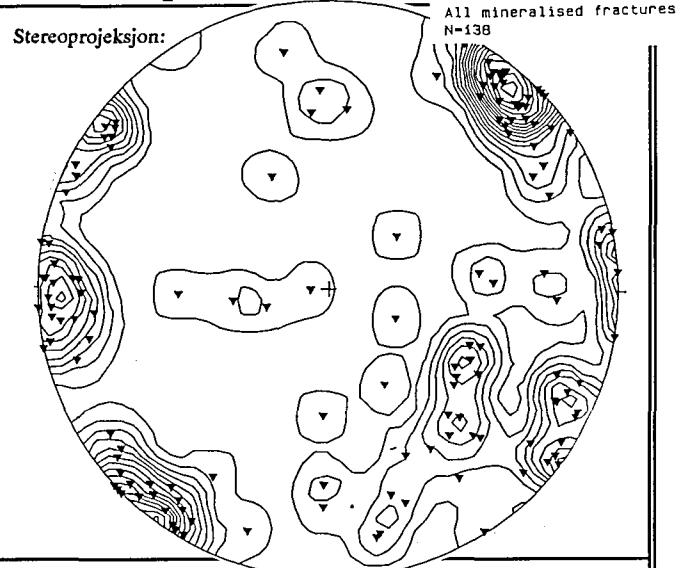
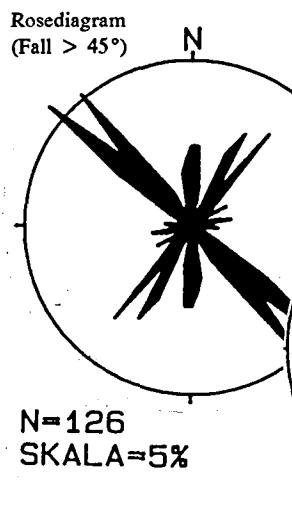
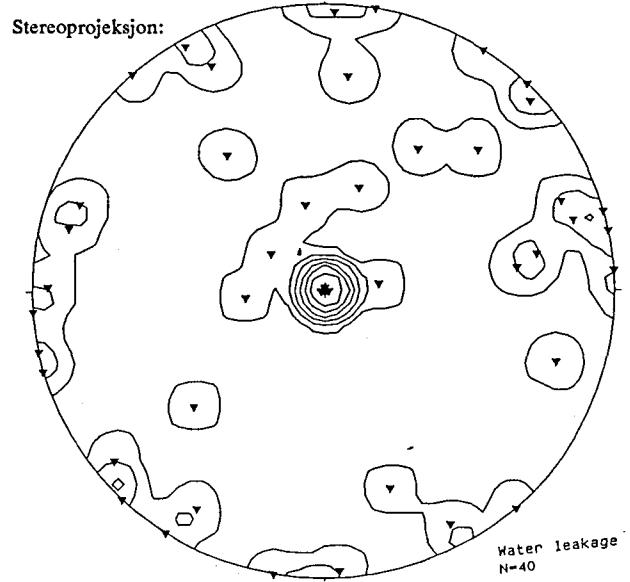
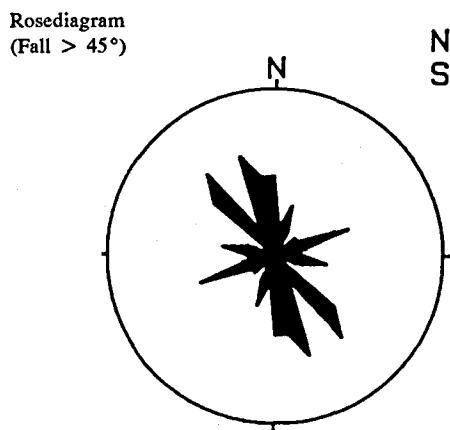
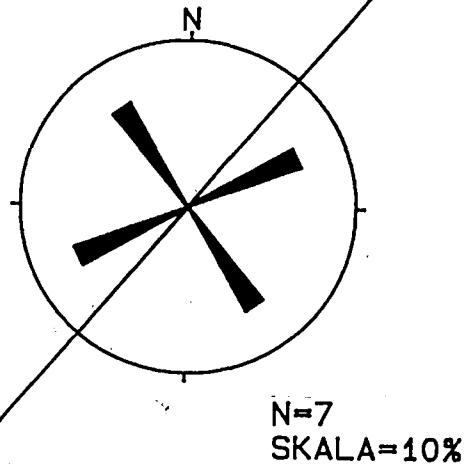
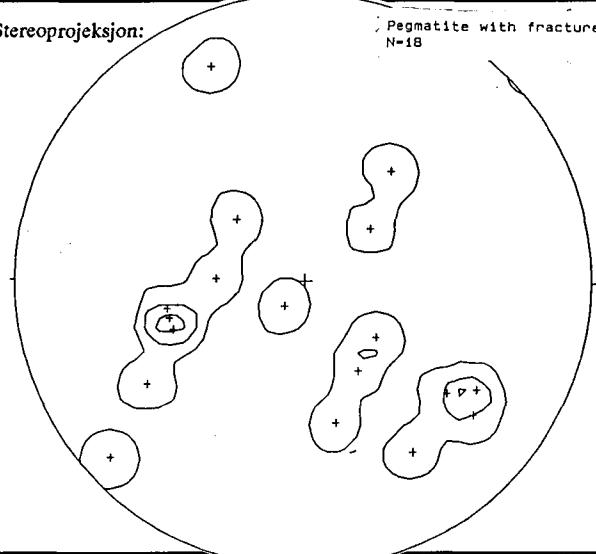
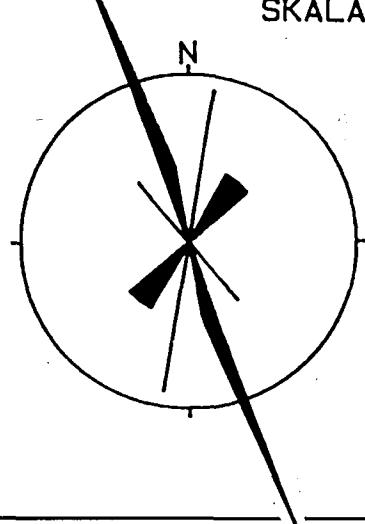


Fig.**Alle sprekker med sprekkemineral****Fig.22****Alle sprekker med observert vannsig**

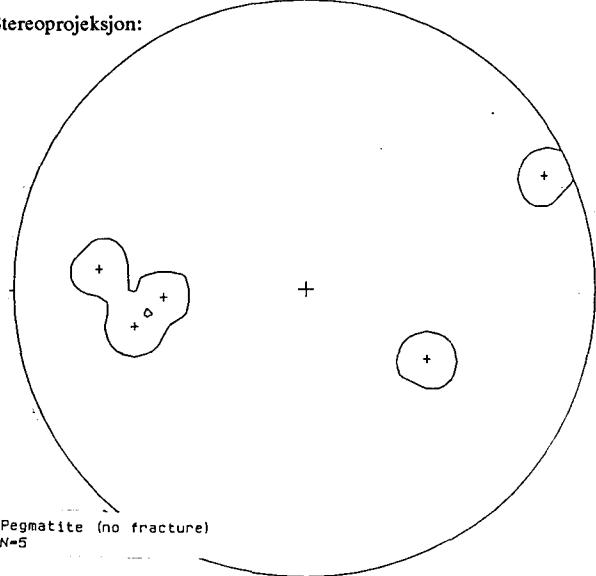
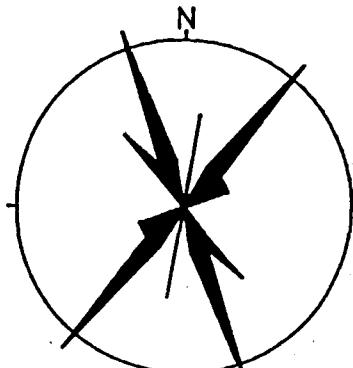
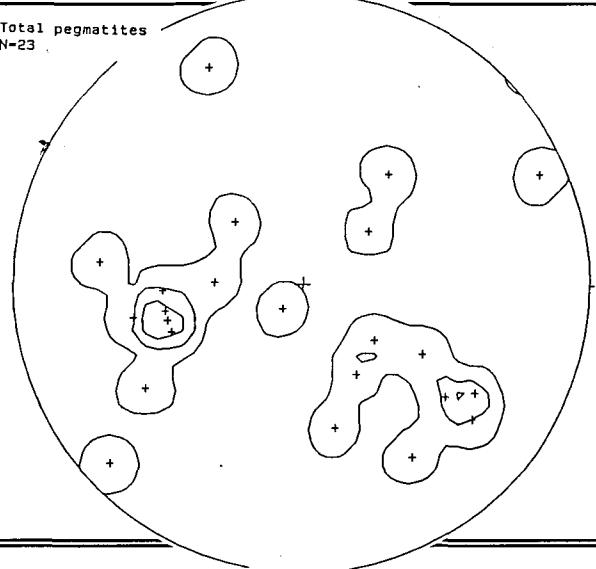
Alle stereonetter er "nederst hemisfer"

Fig.23**Fig.****Pegmatittganger med innvendig sprekk**Rosediagram
(Fall > 45°)

Stereoprojeksjon:

**Fig.****Pegmatittganger uten innvendig sprekk**Rosediagram
(Fall > 45°)

Stereoprojeksjon:

**Fig.****Pegmatittganger (alle)**Total pegmatites
N=18
SKALA=10%Total pegmatites
N=23

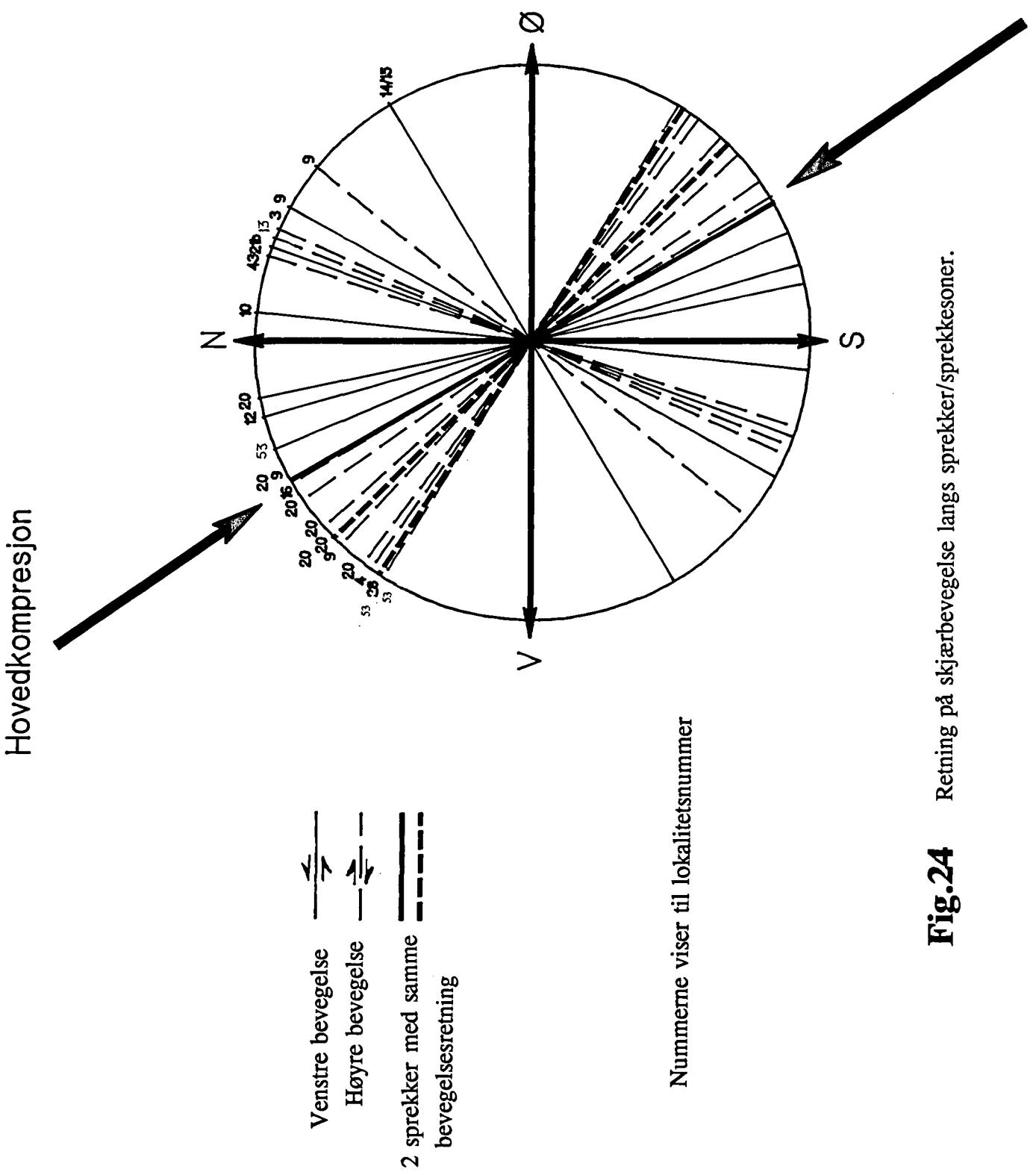
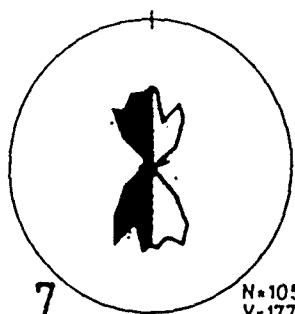
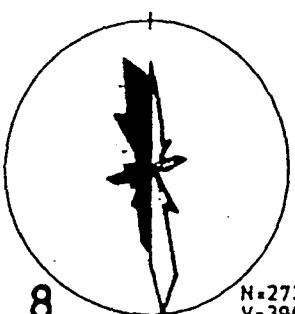


Fig.25

Sammenligning av sprekkeroser fra Landsat, topografiske kart, flyfotografier og feltmålinger.



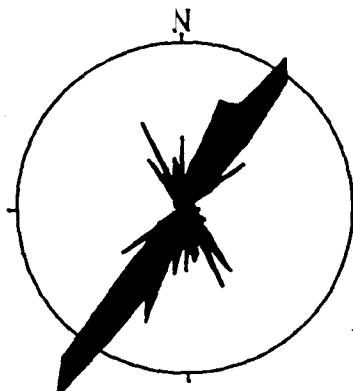
7

N=105
V=177.4

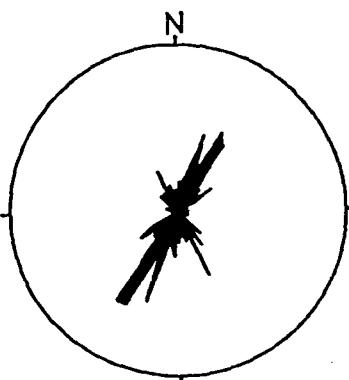
8

N=273
V=394.0

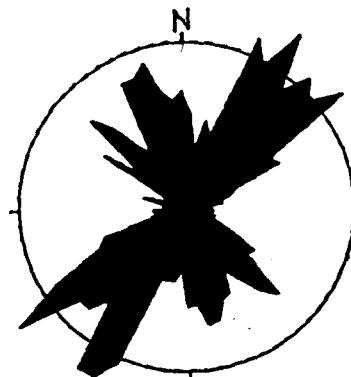
Landsat (etter Ramberg et al, 1977)
 7 = Prekambrium Ø for Oslograben
 8 = Permisk Oslograben



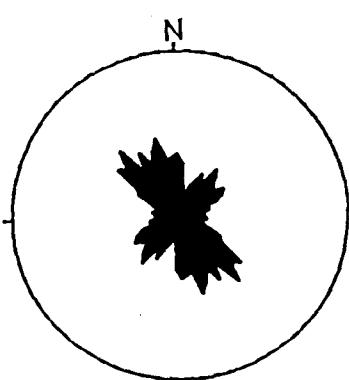
1:50 000 topografiske kart,
 hele Iddefjordgranitt-området.
 Høyresiden viser antall lineamenter,
 venstresiden viser deres totale lengde.
 Antall sprekker (N) = 341.
 Total lengde = 702 Km.



1:50 000 topografiske kart,
 Iddefjordgranitt i Hvaler kommune.
 Høyresiden viser antall lineamenter,
 venstresiden viser deres totale lengde.
 Antall sprekker (N) = 82.
 Total lengde = 148 Km.



Flyfotografier, Kirkeøy,
 total for området i Fig.18a.
 Antall sprekker (N) = 1647.
 Høyresiden viser antall lineamenter,
 venstresiden viser deres totale lengde.



Feltmålinger, Kirkeøy,
 total for delområder 9-45.
 Antall sprekker (N) = 1167.

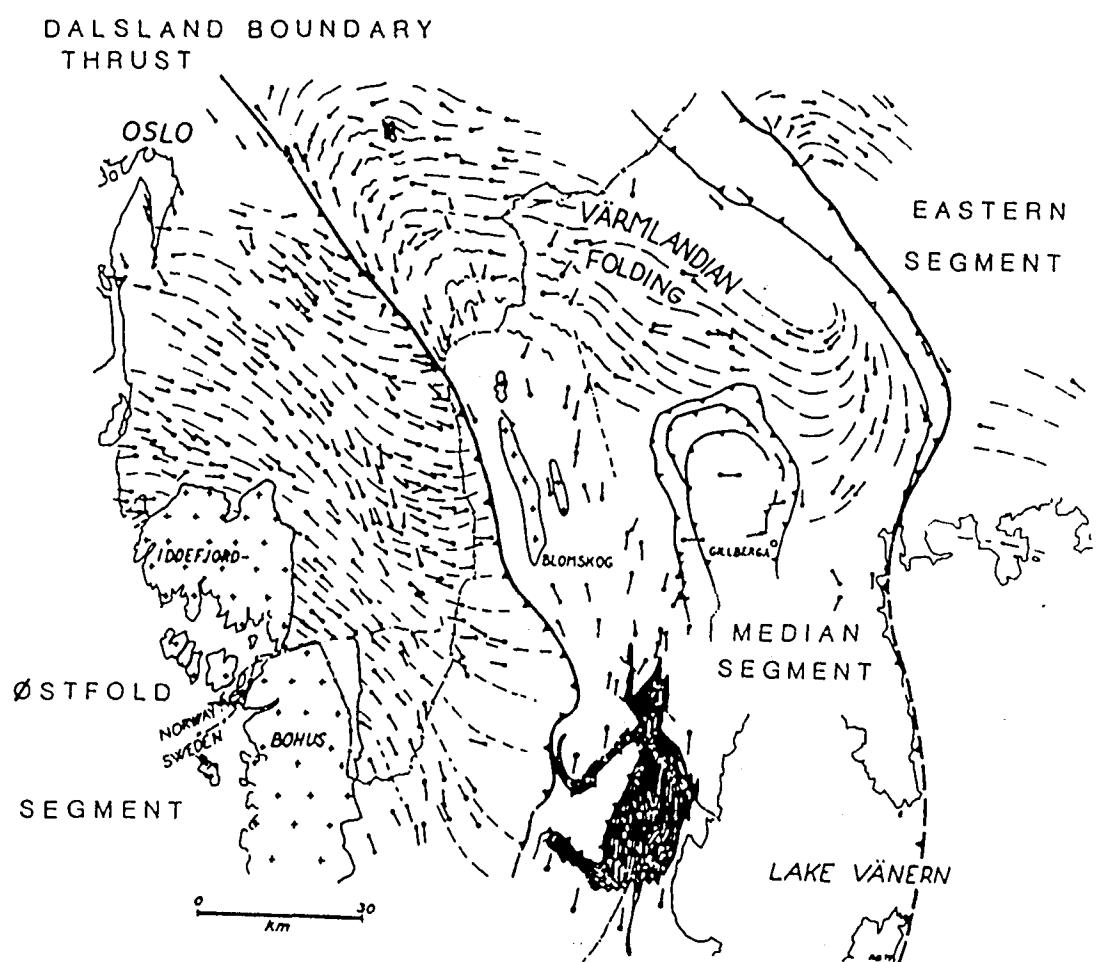


Fig.26 Forenklet tektoniske kart over Østfold, Median og Østlig segmentene i det sveconorvegiske beltet (etter Park, 1988).

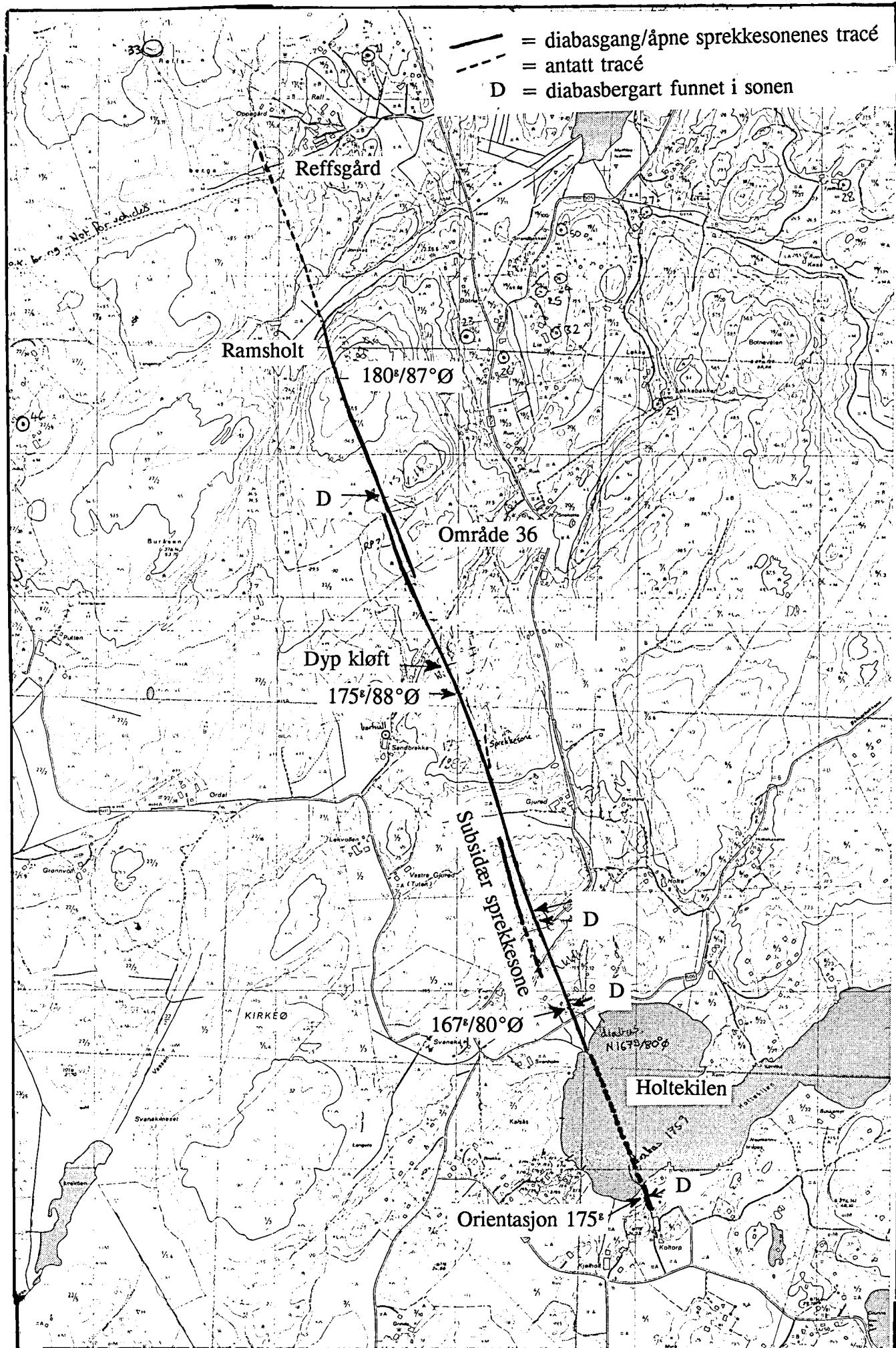


Fig. 27. Lokaliseringen av diabasgangen på Kirkeøy.

Vedlegg:

Vedlegg 1: XRD-pulverdiffraktogrammer for sprekkemateriale fra Hvaler-tunnelen

Vedlegg 2: XRD-pulverdiffraktogrammer for sprekkemineraler fra Kirkeøy, og deres kjemiske sammensetning

Vedlegg 3: Stereonett og sprekkeroser for områder 9-45, Kirkeøy

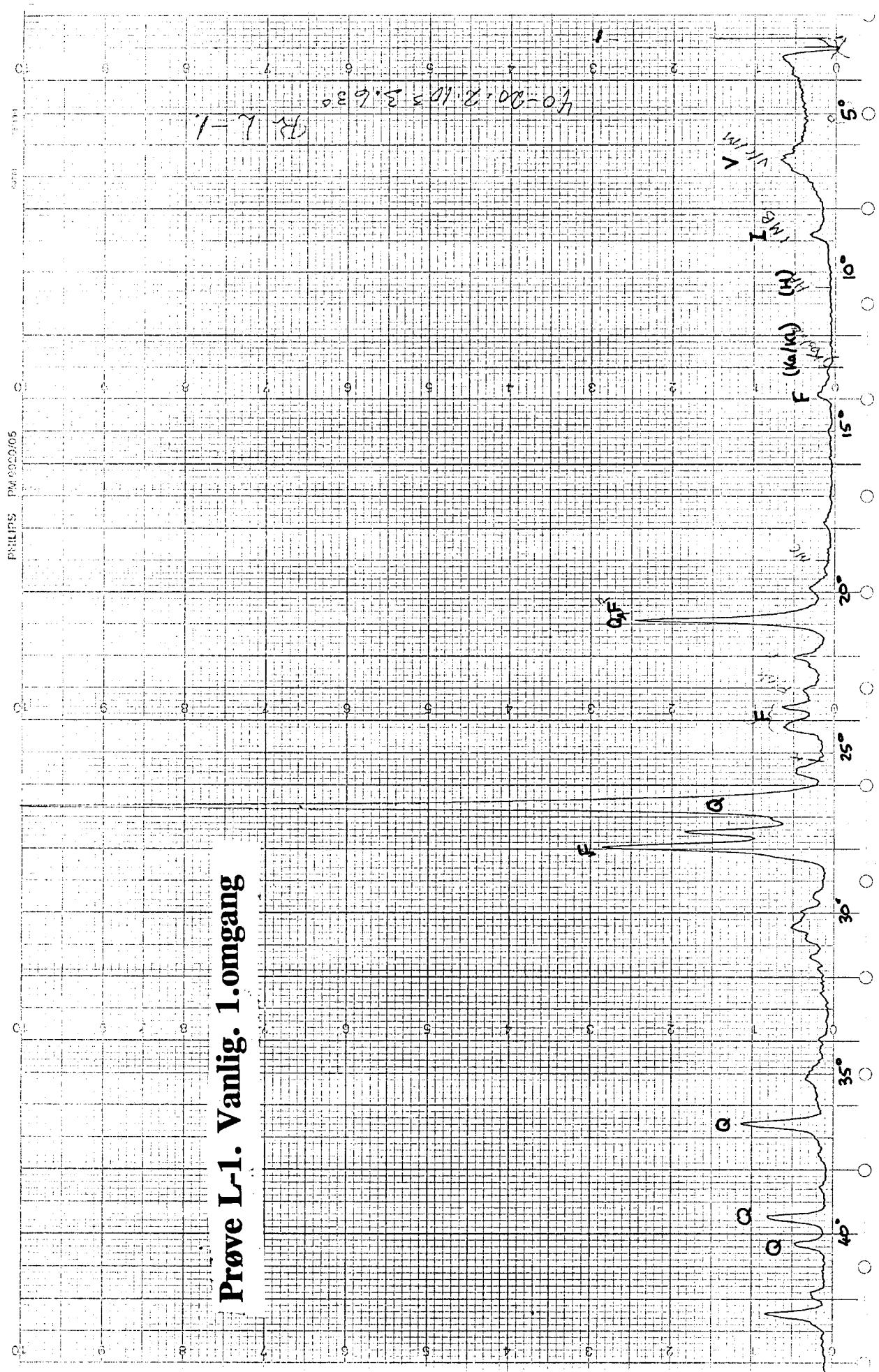
Vedlegg 4: Kart som viser lokaliseringen av områder 9-54 på Kirkeøy

Vedlegg 1: XRD-pulverdiffraktogrammer for sprekkemateriale fra Hvaler-tunnelen, og deres syreløselige kjemiske sammensetning

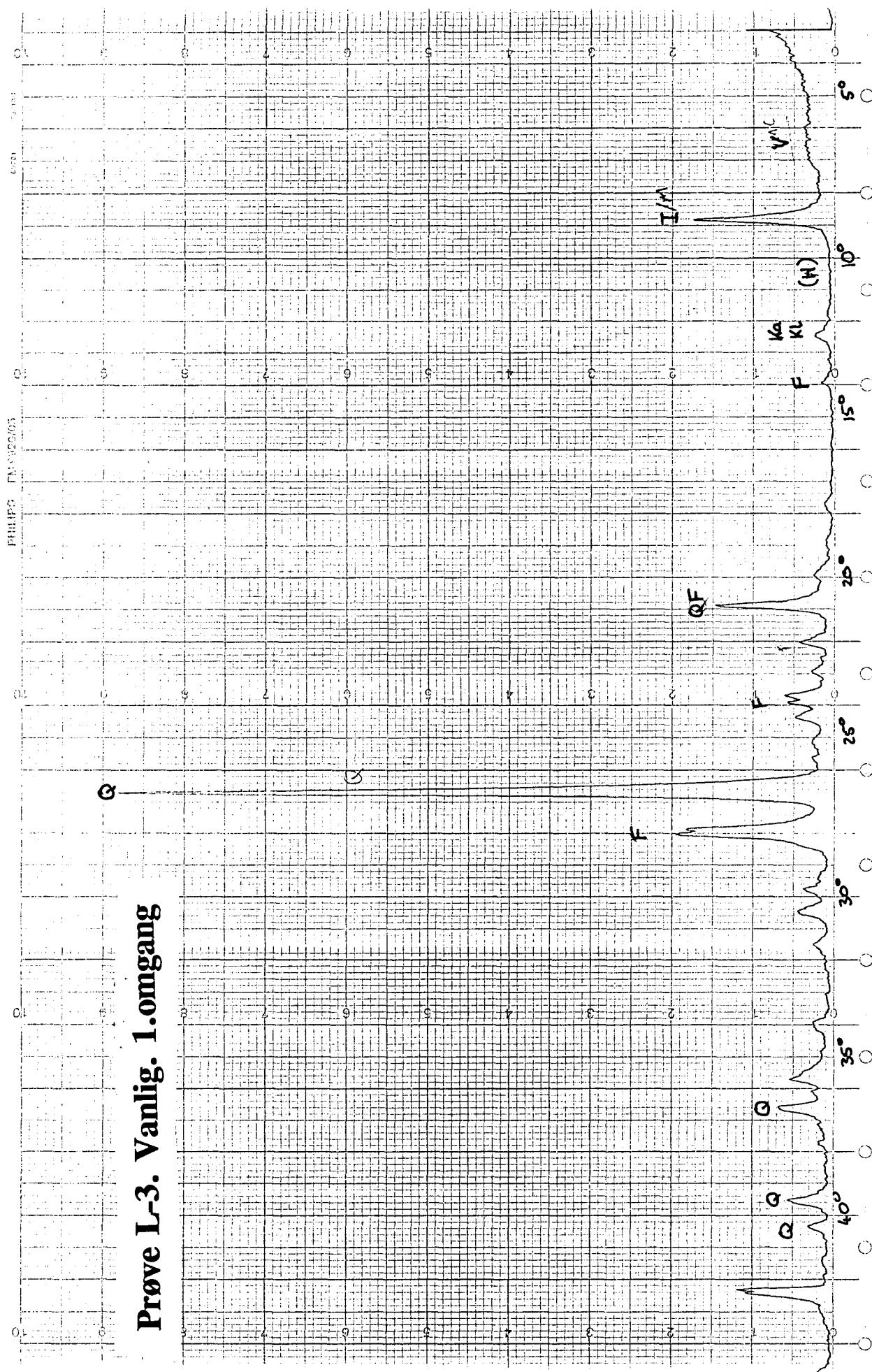
- L1 = Leirig, sandig sprekkefylling, med små stykker av granitt. Mindre omdannet enn L2. Lysegrønt/lysebrunt med noe mørkebrun farge. Fra en sprekk med retning $350^\circ/75^\circ \varnothing$, ved peilenummer ca.4520 i tunnelen. UTM = 61408 654562.
- L2 = Sprekkefylling av lysegrønn/lysebrun leire. Litt sandig. Fra en sprekk med retning $350^\circ/75^\circ \varnothing$ ved peilenummer ca.4520 i tunnelen. UTM = 61408 654562.
- L3 = Svært forvitret og omdannet svart/hvitt gneis. Veldig bløtt, men gneis-foliasjon er fremdeles veldig synlig. Fra haug av utgravet berg fra tunnelen.

A = Albitt
 Ca = Kalkspat
 E = Epidot
 F = Feldspat
 H = Hornblend/amfibol
 I = Illitt/Glimmer
 Ka = Kaolinitt
 Kl = Kloritt
 Q = Kvarts
 S = Smektitt
 V = Vermikulitt/Smektitt/Kloritt

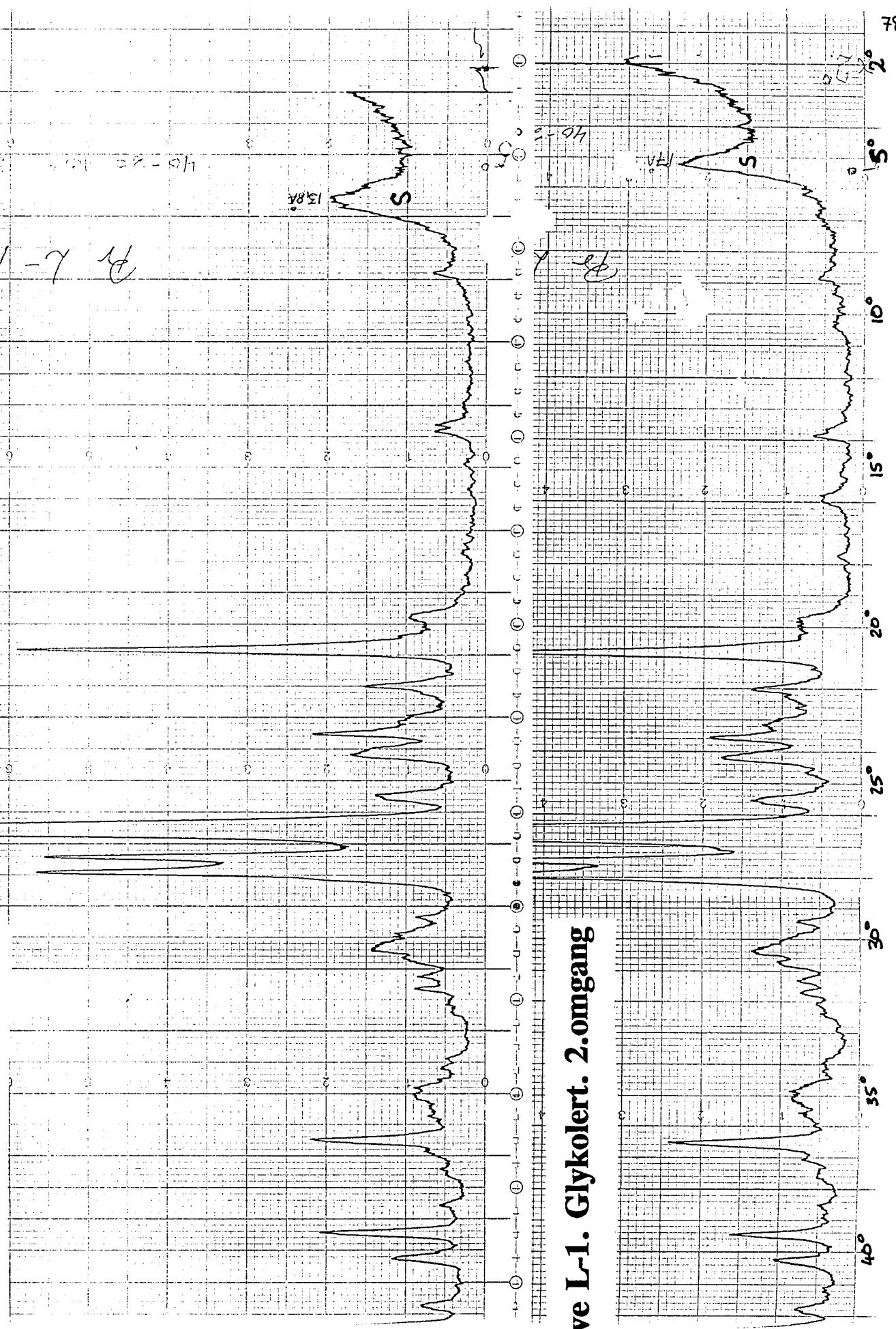
75



Prøve L-1. Vanlig. 1. omgang

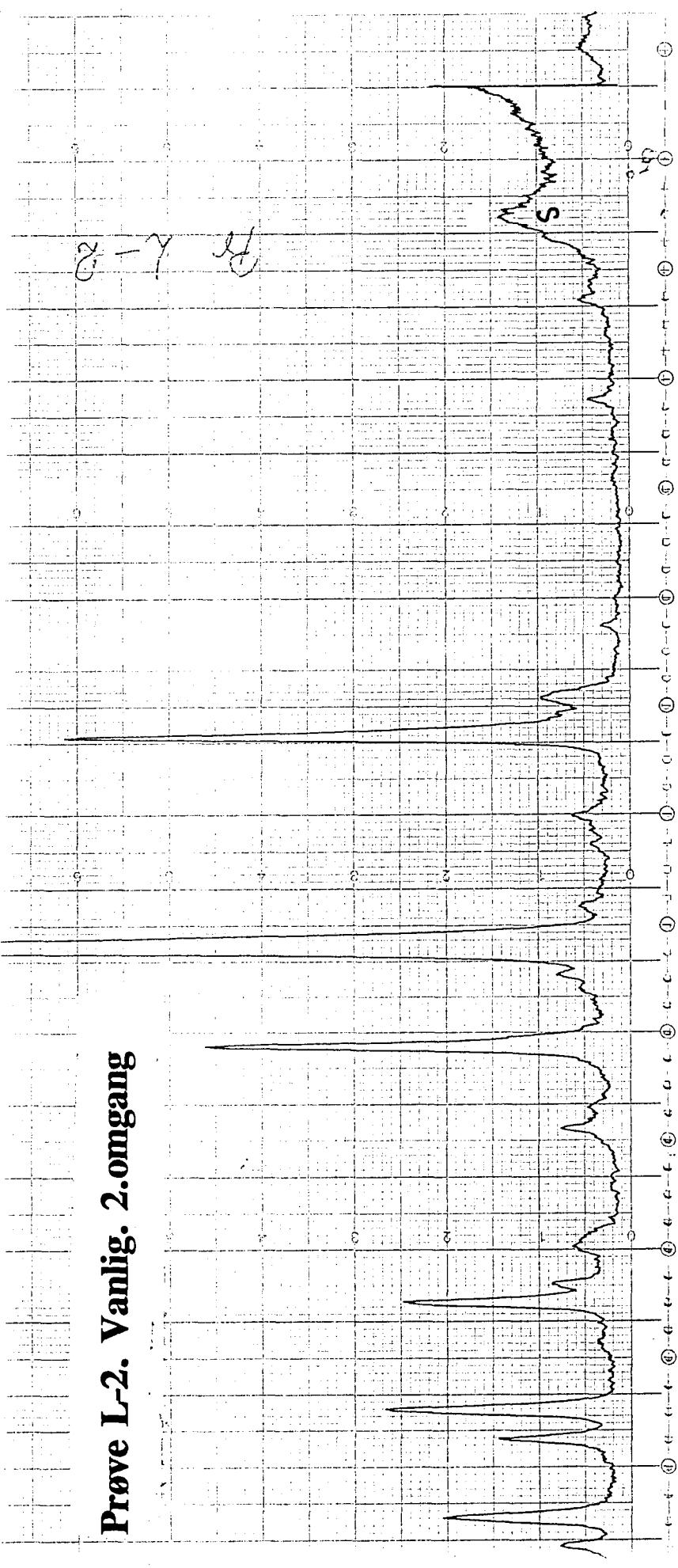


Prøve L-1. Vanlig. 2. omgang

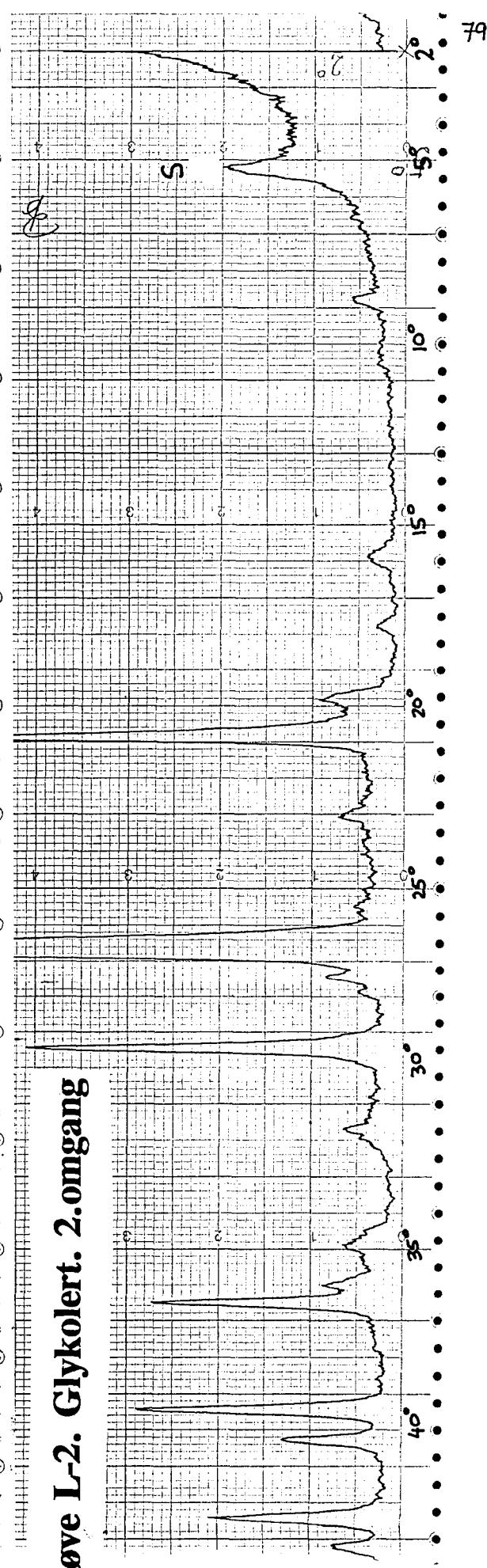


Prøve L-1. Glykolert. 2. omgang

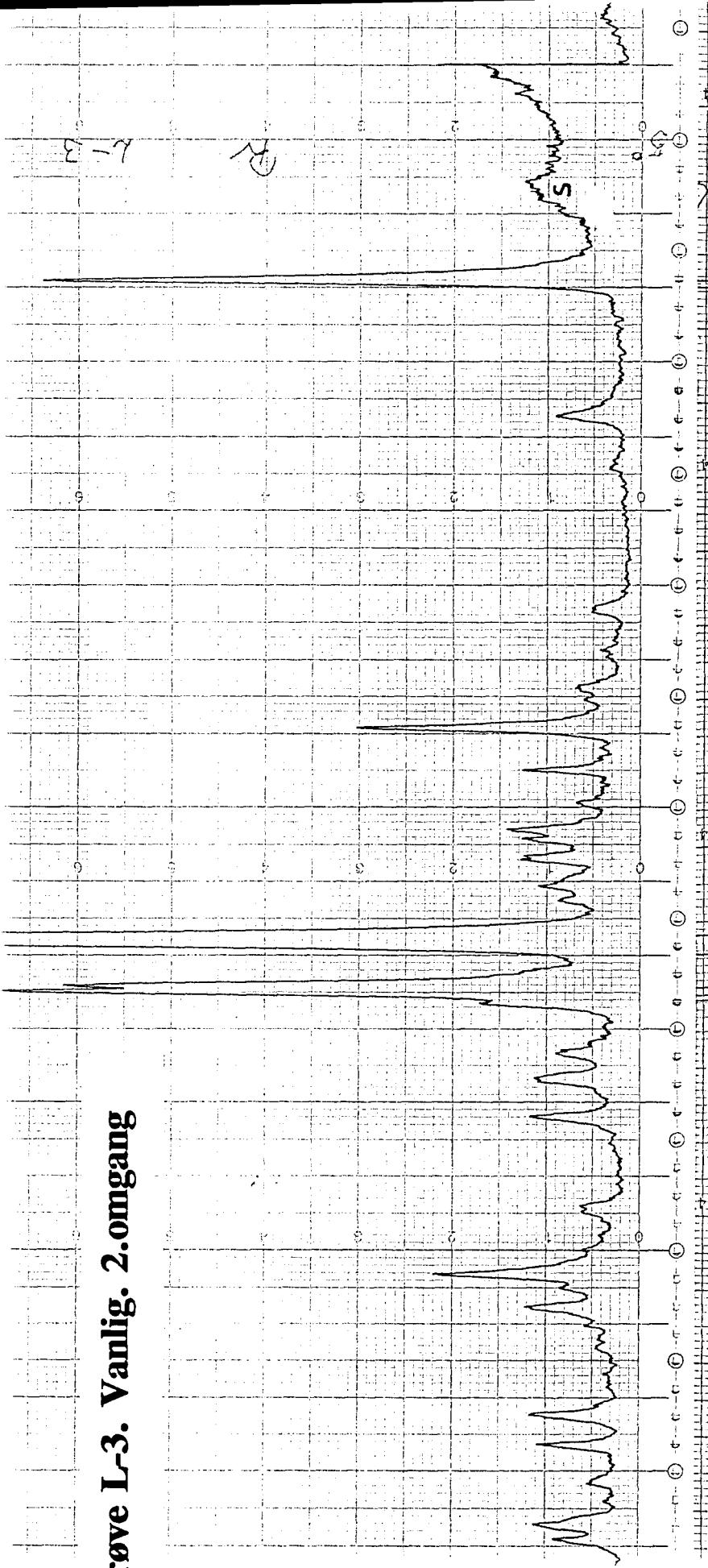
Prøve L-2. Vanlig. 2. omgang



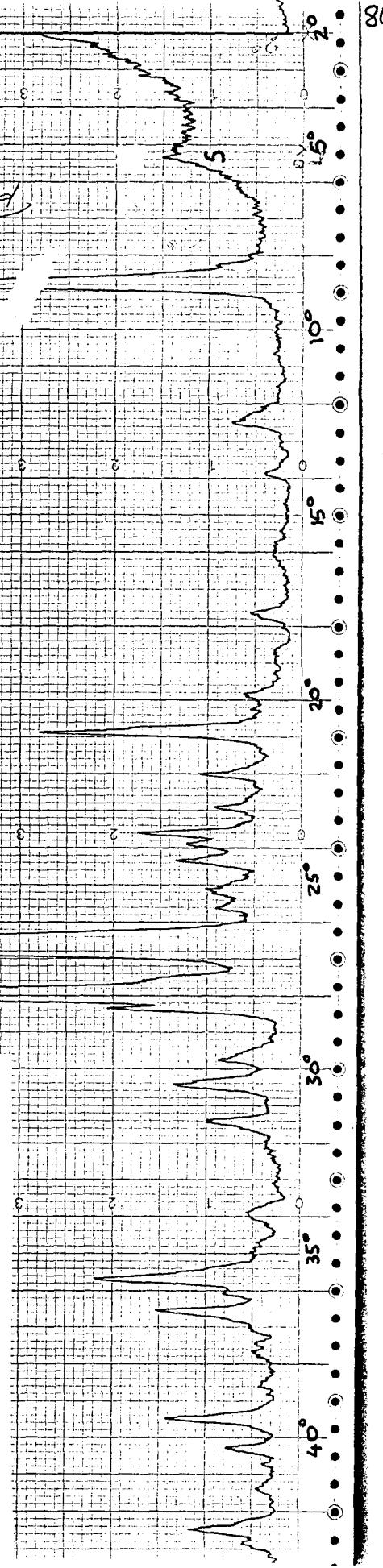
Prøve L-2. Glykolert. 2. omgang



Prøve L-3. Vanlig. 2.0mgang



Prøve L-3. Glykohert. 2.0mgang



Prosjektnr: 63.2462.00

Oppdragsnr: 58/90

	L-1	L-2	L-3
Si	278.6 ppm	357.7 ppm	305.6 ppm
Al	.78 %	2.09 %	1.90 %
Fe	.41 %	.45 %	1.05 %
Ti	12.5 ppm	6.7 ppm	583.7 ppm
Mg	.20 %	.44 %	.43 %
Ca	997.5 ppm	3.89 %	.41 %
Na	.30 %	.61 %	809.7 ppm
K	.13 %	.25 %	.38 %
Mn	54.7 ppm	808.6 ppm	155.2 ppm
P	83.6 ppm	119.9 ppm	299.7 ppm
Cu	5.4 ppm	5.4 ppm	6.6 ppm
Zn	16.5 ppm	15.9 ppm	29.1 ppm
Pb	12.0 ppm	11.6 ppm	< 5.0 ppm
Ni	2.2 ppm	< 2.0 ppm	4.0 ppm
Co	< 1.0 ppm	1.4 ppm	4.4 ppm
V	9.5 ppm	40.6 ppm	18.8 ppm
Mo	< 1.0 ppm	< 1.0 ppm	< 1.0 ppm
Cd	< 1.0 ppm	< 1.0 ppm	< 1.0 ppm
Cr	< 2.0 ppm	< 2.0 ppm	4.9 ppm
Ba	15.4 ppm	66.2 ppm	52.7 ppm
Sr	15.4 ppm	60.8 ppm	20.0 ppm
Zr	13.7 ppm	31.6 ppm	1.4 ppm
Ag	< .5 ppm	1.8 ppm	.8 ppm
B	2.2 ppm	3.3 ppm	1.5 ppm
Be	.8 ppm	2.0 ppm	1.7 ppm
Li	2.5 ppm	3.2 ppm	26.9 ppm
Sc	.9 ppm	7.3 ppm	2.7 ppm
Ce	41.5 ppm	629.1 ppm	22.1 ppm
La	21.3 ppm	385.3 ppm	12.1 ppm

Sprekkemineralenes kjemiske sammensetning - bestemt ved bruk av NGUs standardmetoder - dvs. 1g tørrstoff kokes i 5 ml 7N HNO₃ i 3 timer.

Vedlegg 2: XRD-pulverdiffaktogrammer for sprekkemineraler fra Kirkeøy.

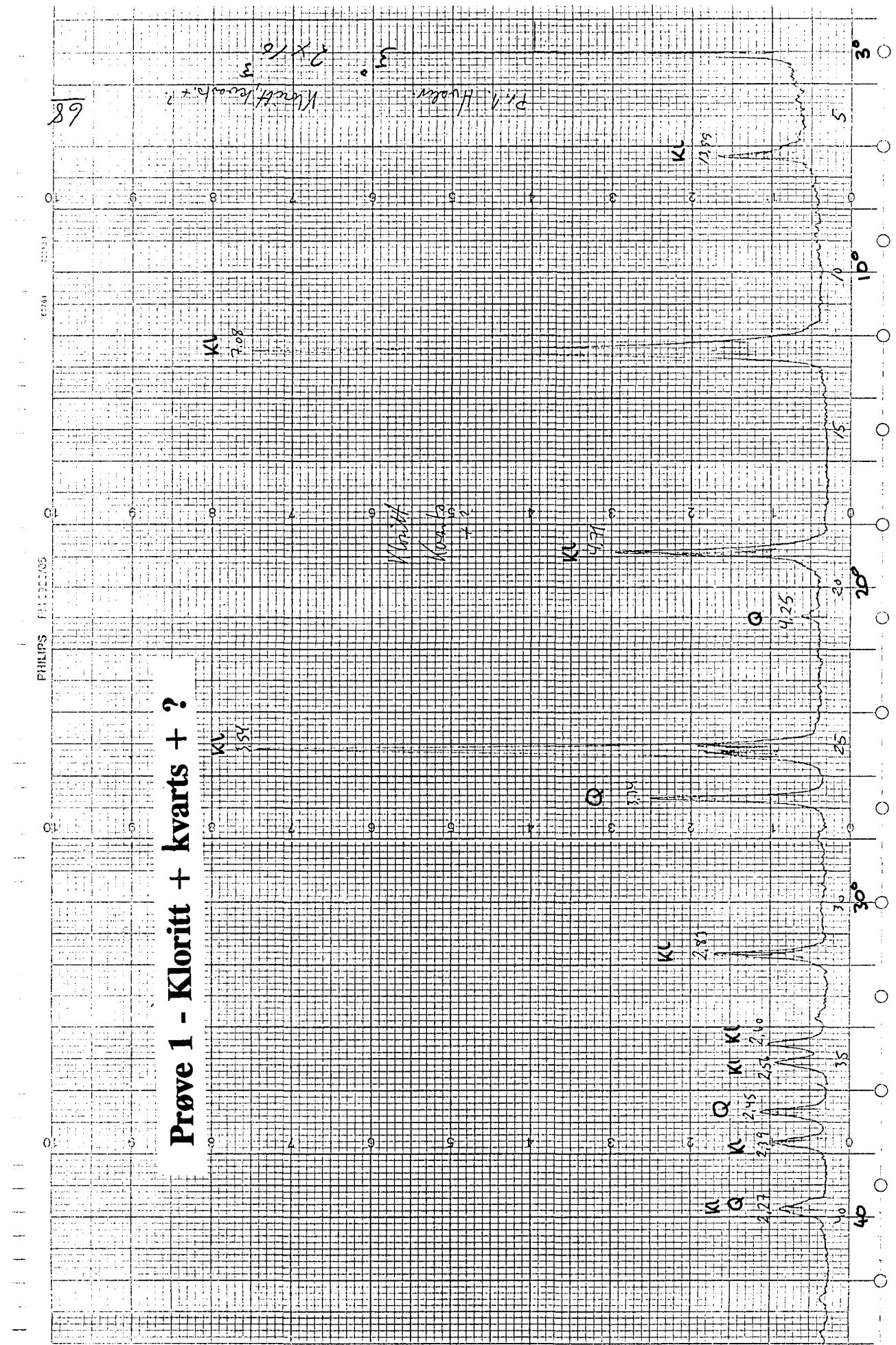
Sprekkemineraler - beskrivelser

Prøve	Beskrivelse	Lokalitet	Sprekkeorientasjon
1	Svart/mørkegrønt sprekkemineral	10	004°/84°Ø
2	Svart/mørkegrønt sprekkemineral med synlig pyritt	10	199°/90°
3	Mørkegrønt sprekkemineral m/ tilsynelatende feldspat	10	360°/80°NØ
4	Mørkegrønt sprekkemineral m/ kvarts, (?)feldspat og (?)jernoksyd*	14	biotitt-sone 267°/87°NV
5	Bløtt, hvitt sprekkemineral (funnet sammen med fluoritt)	15	ca.043°/81°SØ
6	Bløtt, hvitt sprekkemineral + metallaktig mineral (sammen med fluoritt)	15	ca.043°/81°SØ
7	Lys glimmer, ser ut som muskovitt	14	232°/45°NV
8	Bløtt, hvitt sprekkemineral (funnet sammen med fluoritt)	25a	243°/86°NV
9	Svart/mørkegrønt sprekkemineral	10	004°/76°Ø
11	Mørkegrønt sprekkemineral	45	169°/74°SV
12	Spor av gult sprekkemineral	45	390°/74°Ø
13	Veldig lysegrønt/lysegrått, finkornig sprekkemineral	45	
14	Grønt mineral, sannsynligvis epidot	10	226°/46°V

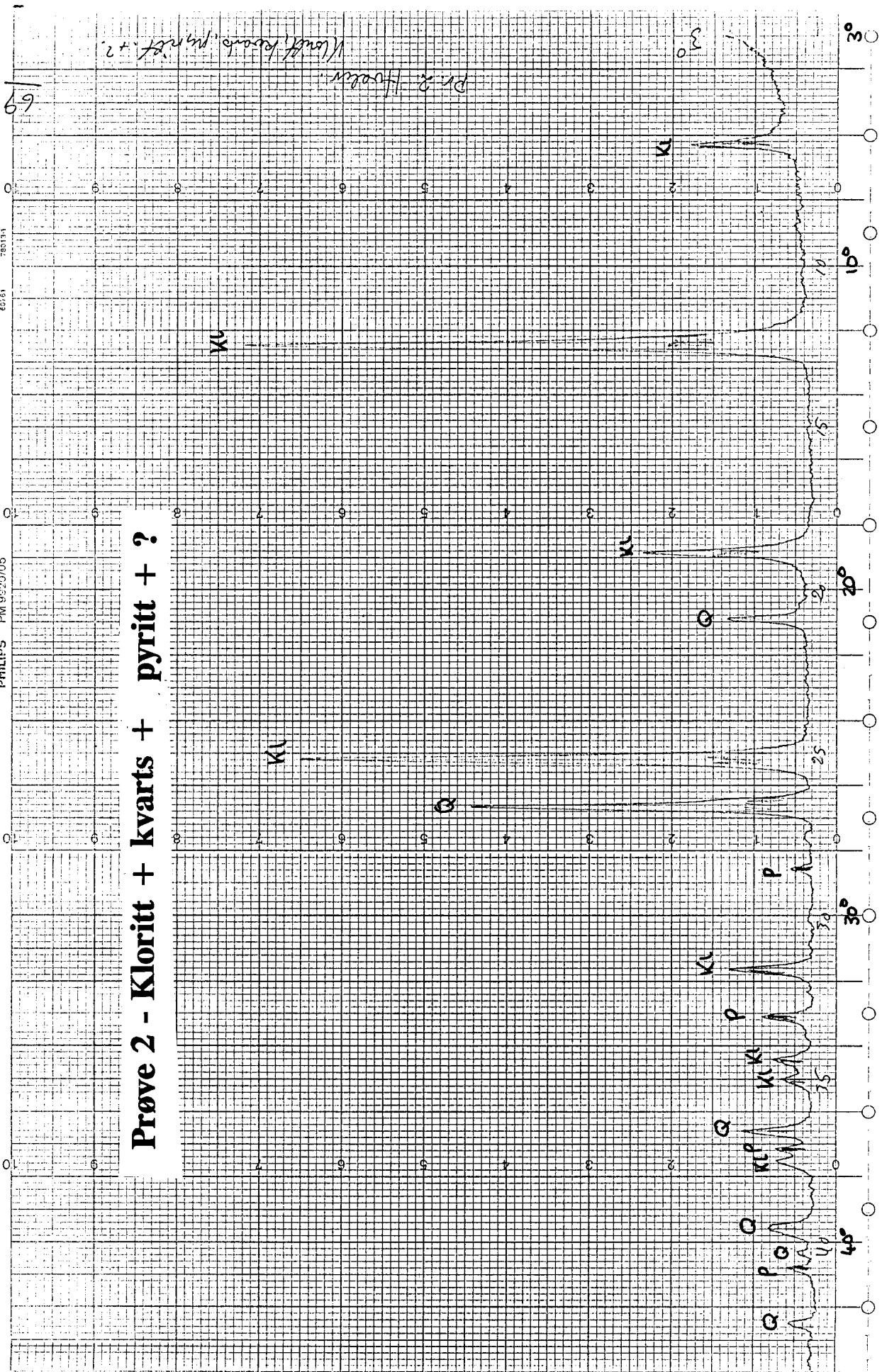
OBS! Sprekkeretninger oppgitt her er ikke korrigert. De er relative til magnetisk nord.

* = Dette sprekkmineralet ser ut til å være omdannet fra biotitt i en biotitt-sone i granitten.

Prove 1 - Kloritt + kvarts + ?

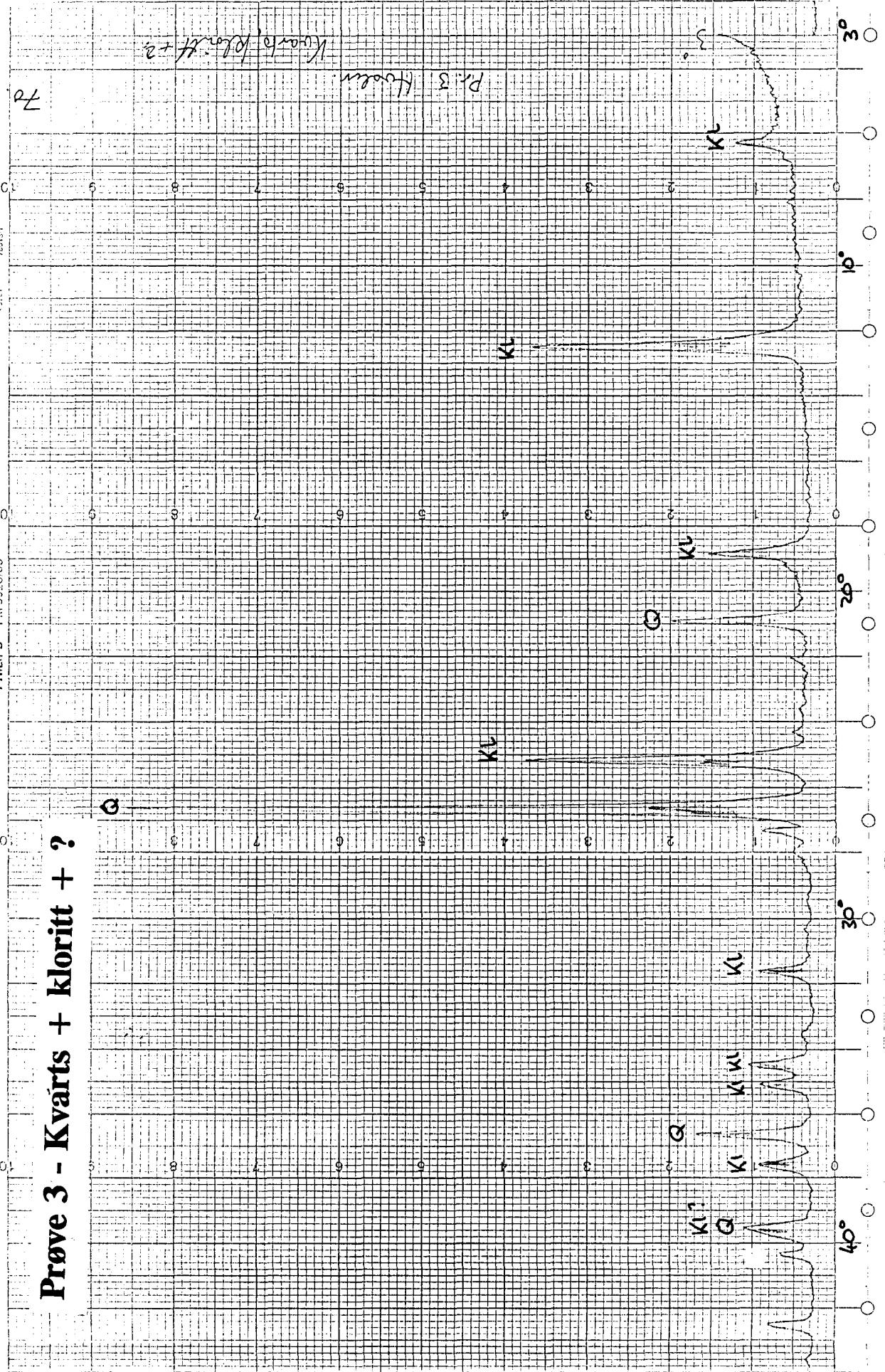


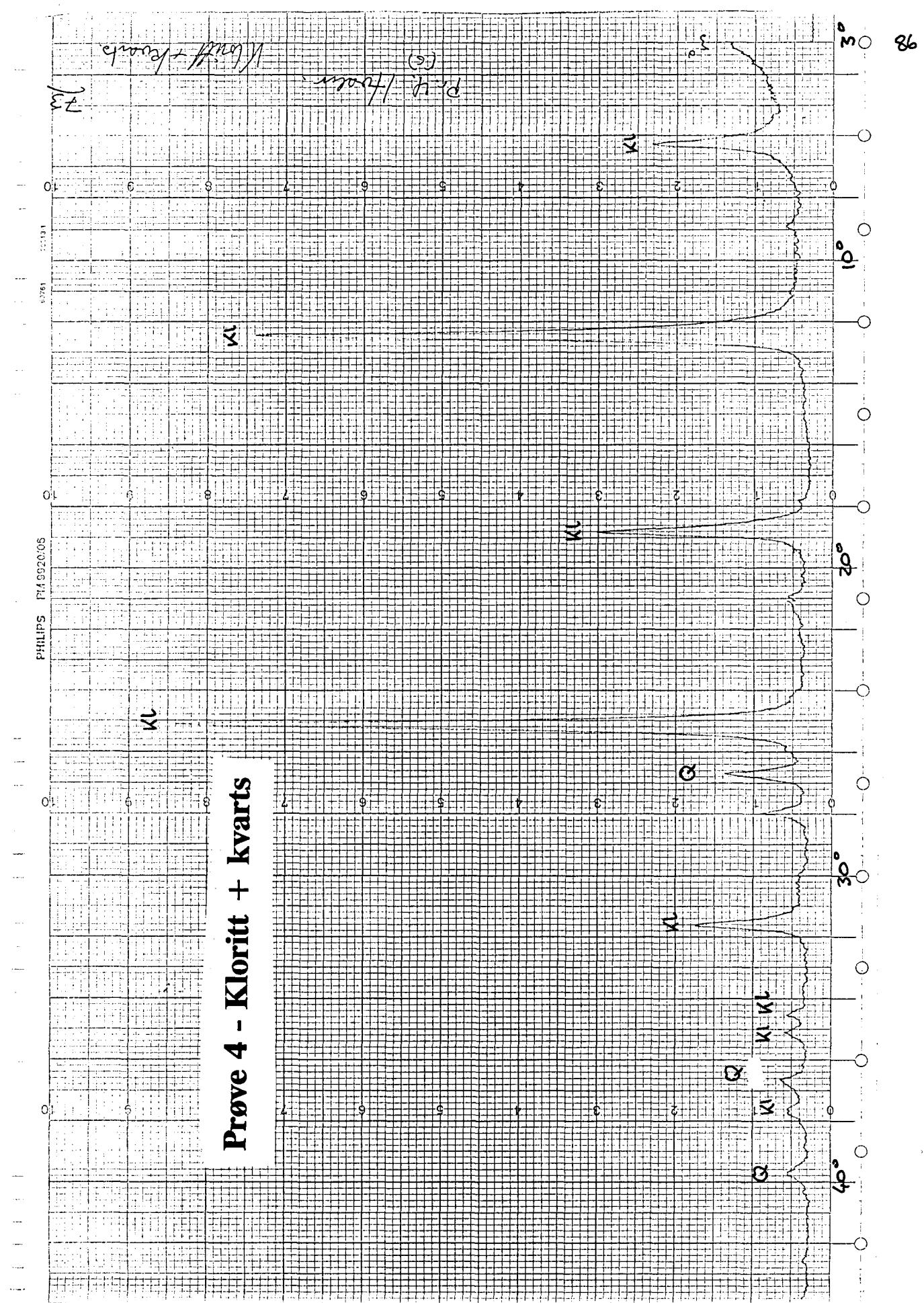
Prøve 2 - Kloritt + kvarts + pyritt + ?



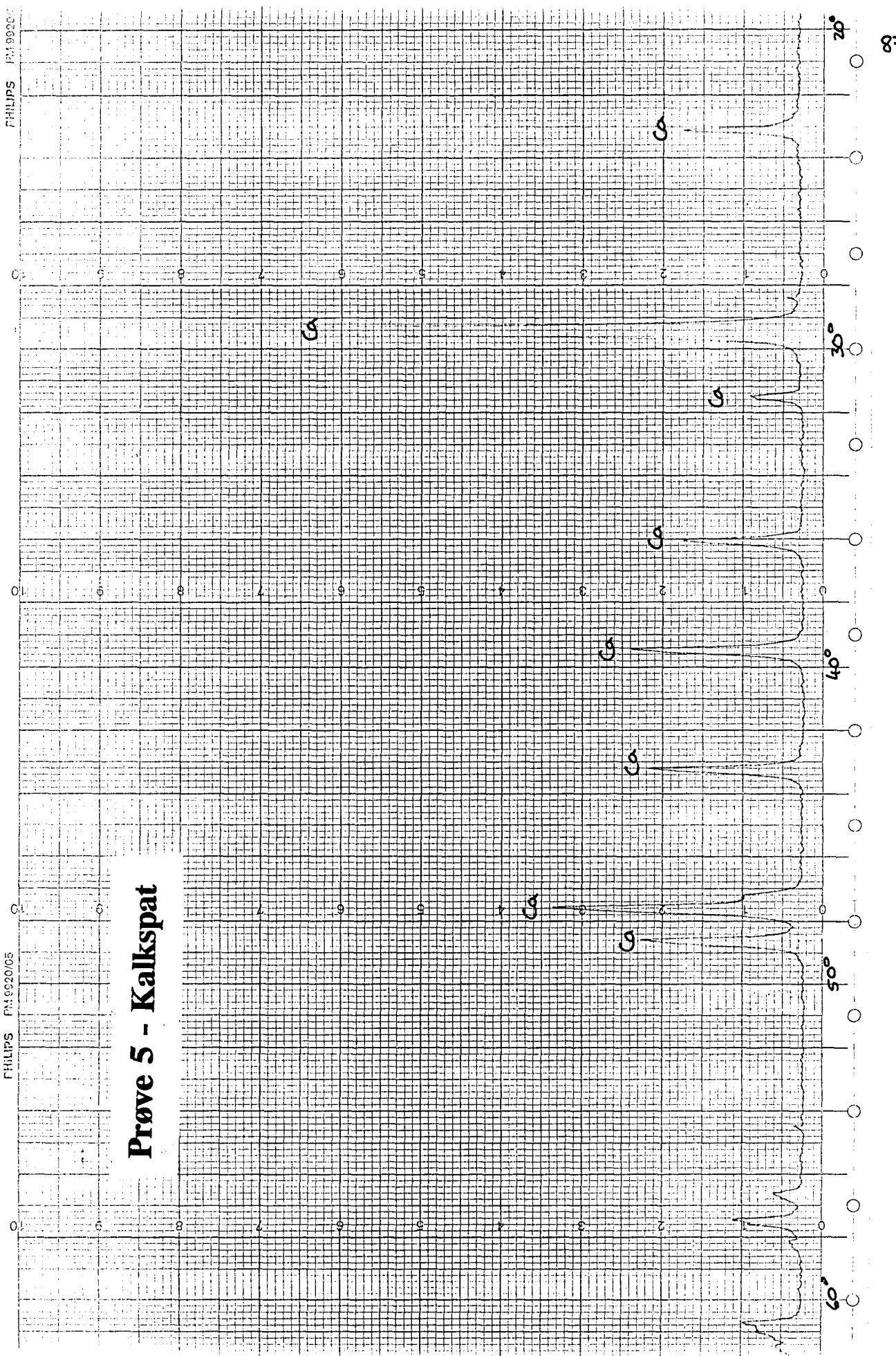
Prøve 3 - Kværts + kloritt + ?

Philips PI 9920/05





Prøve 4 - Kloritt + kvarts



Prøve 5 - Kalkspat

6

PHILIPS PM 9320/05

PHILIPS PM 9320/05

Prøve 6 - Kalkspat

Ca

Ca

Ca

Ca

Ca

Ca

Ca

Ca

20°

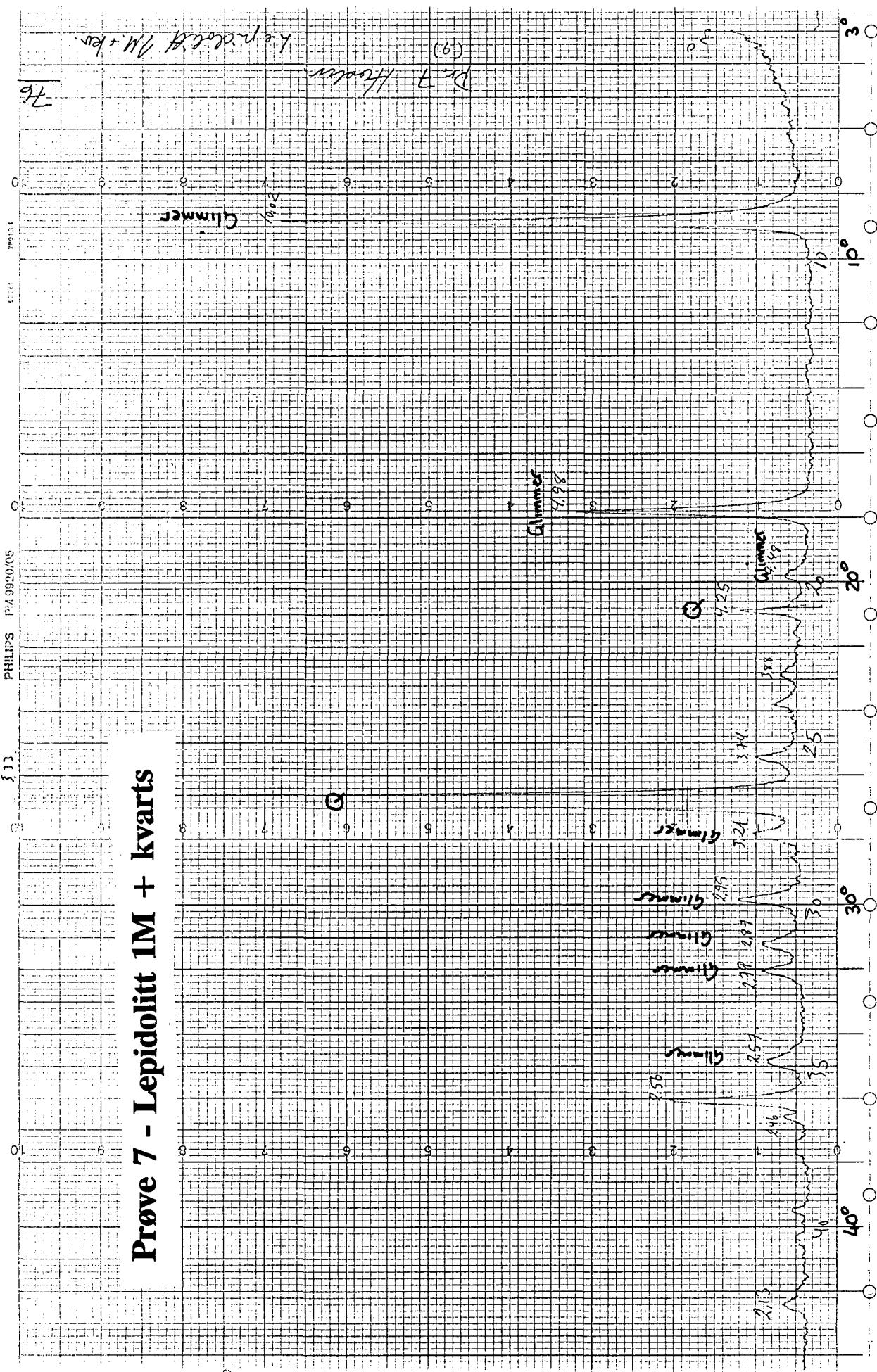
30°

40°

50°

Prøve 7 - Lepidolitt 1M + kvarts

The product of $M \times k$.



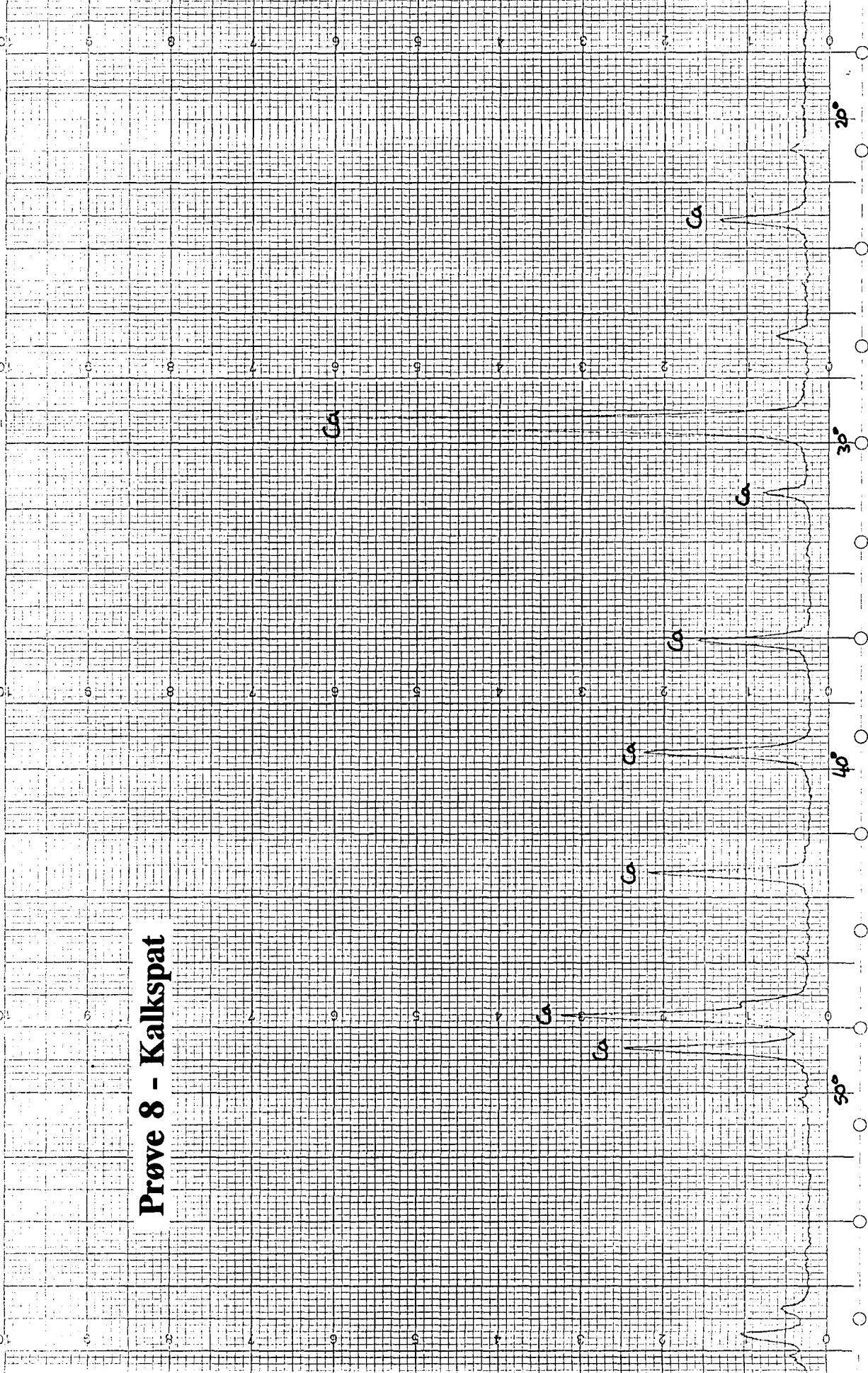
8?

PHILIPS EM1621/05

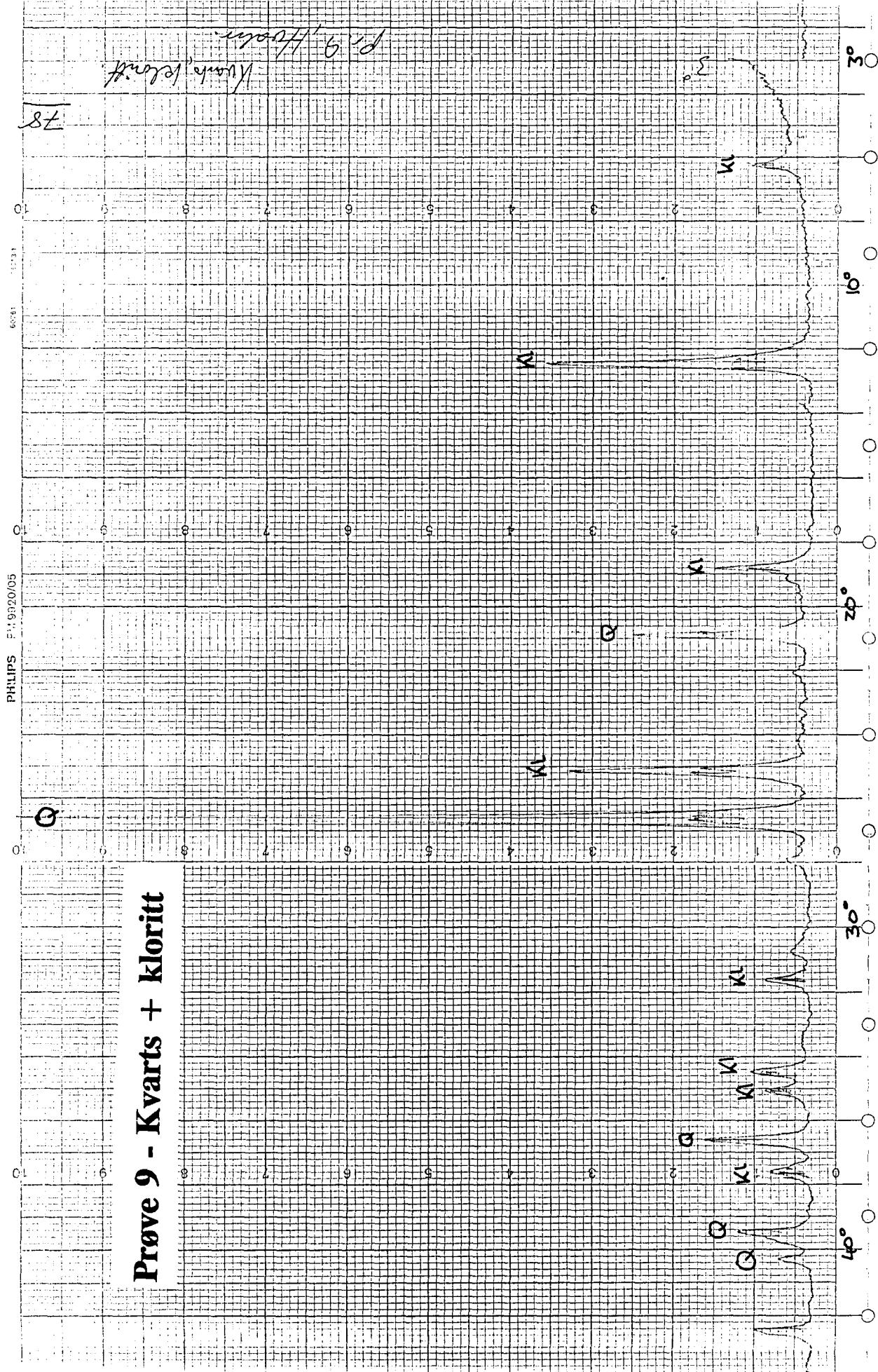
PHILIPS EM1621/05

Probe 8 - Kalkspat

90



Prøve 9 - Kvars + kloritt



Prøve 11 - Kloritt + kvarts

PHILIPS PM 9920/95

0.000
0.001
0.002
0.0030.000
0.001
0.002
0.0030.000
0.001
0.002
0.0030.000
0.001
0.002
0.0030.000
0.001
0.002
0.0030.000
0.001
0.002
0.0030.000
0.001
0.002
0.0030.000
0.001
0.002
0.0030.000
0.001
0.002
0.0030.000
0.001
0.002
0.0030.000
0.001
0.002
0.0030.000
0.001
0.002
0.003K_UK_SK_I

Q

K_C

C

30°

20°

30°

40°

50°

Naturf. leire

(S)

m. l. Holar.

22

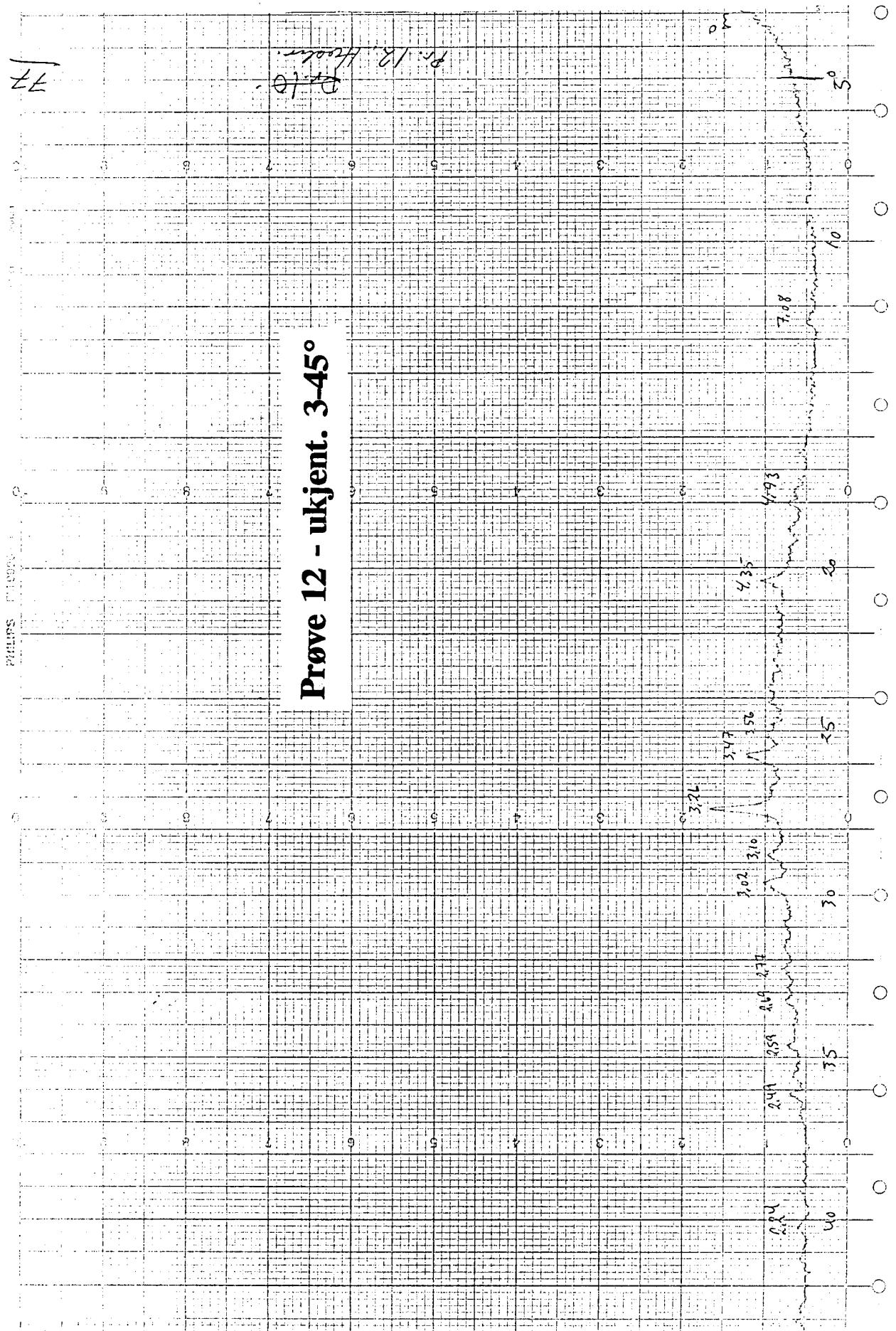
Naturf. leire

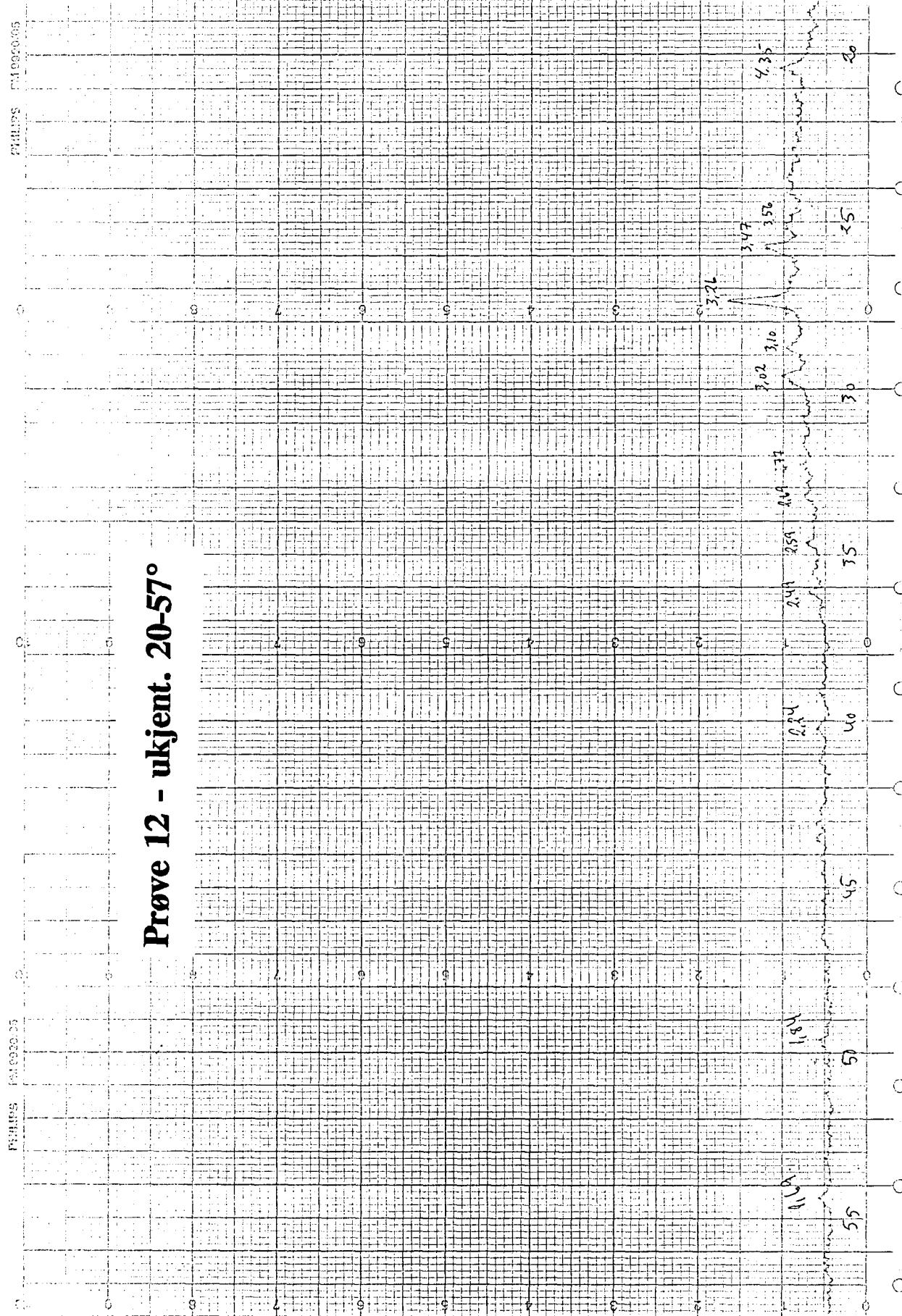
(S)

m. l. Holar.

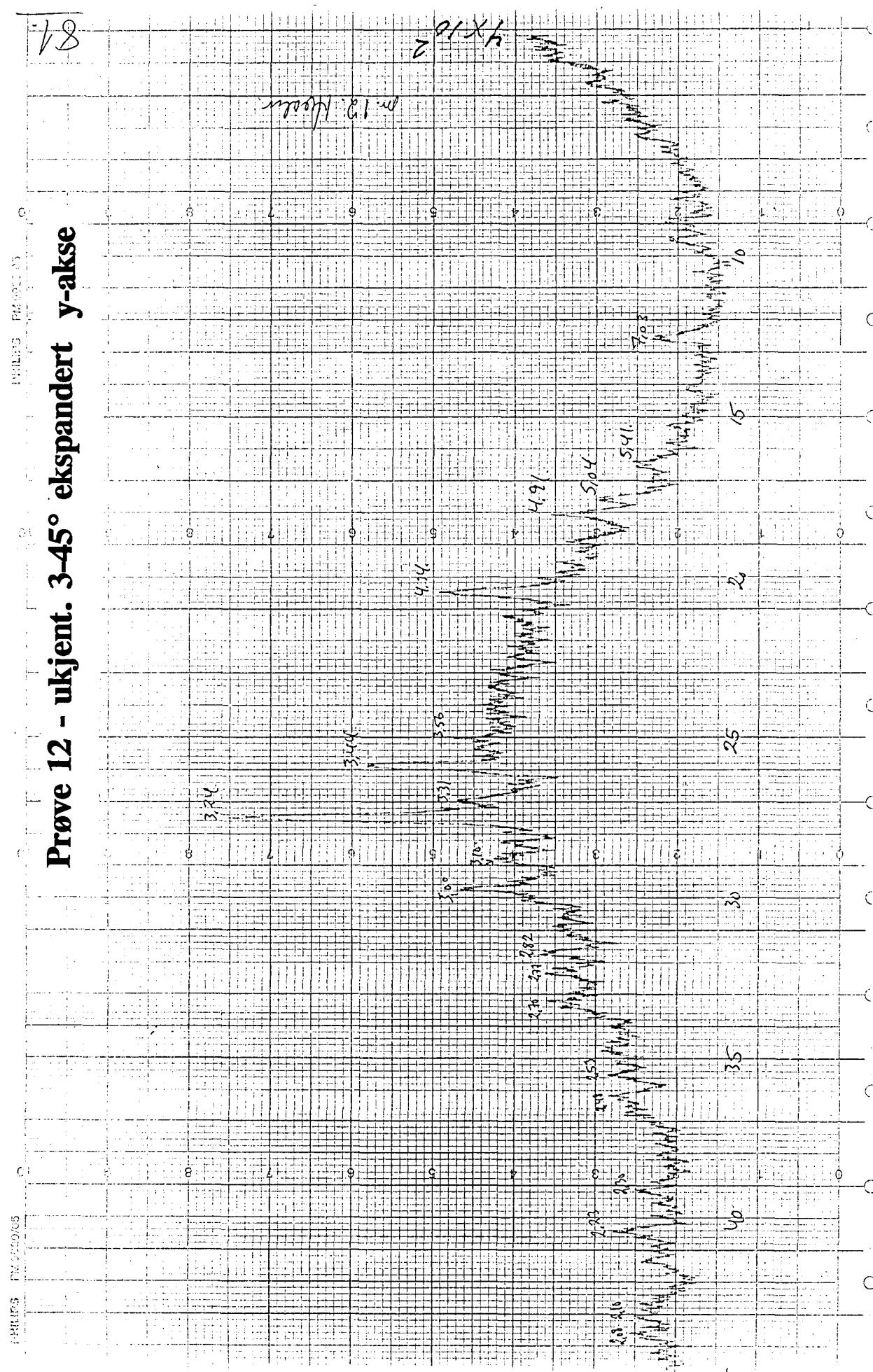
22

Prøve 12 - ukjent. 3-45°

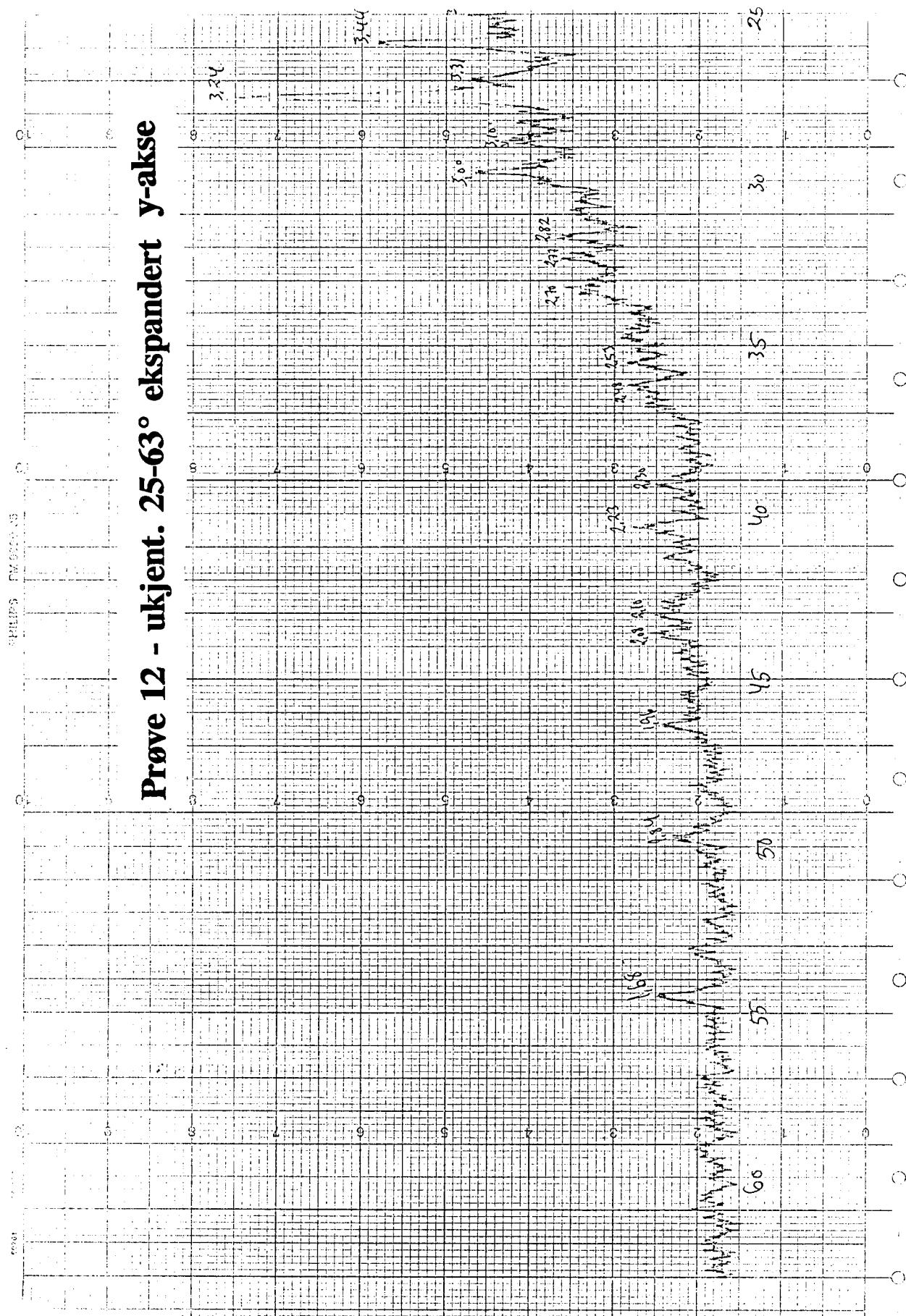




Prøve 12 - ukjent. $3-45^\circ$ eksplandert y-akse



Prøve 12 - ukjent. 25-63° eksplandert y-akse



Prøve 13 - Albit + epidot

卷之三

Prøve 13 - Albit + epidot

Prøve 14 - Epidot + kvarts

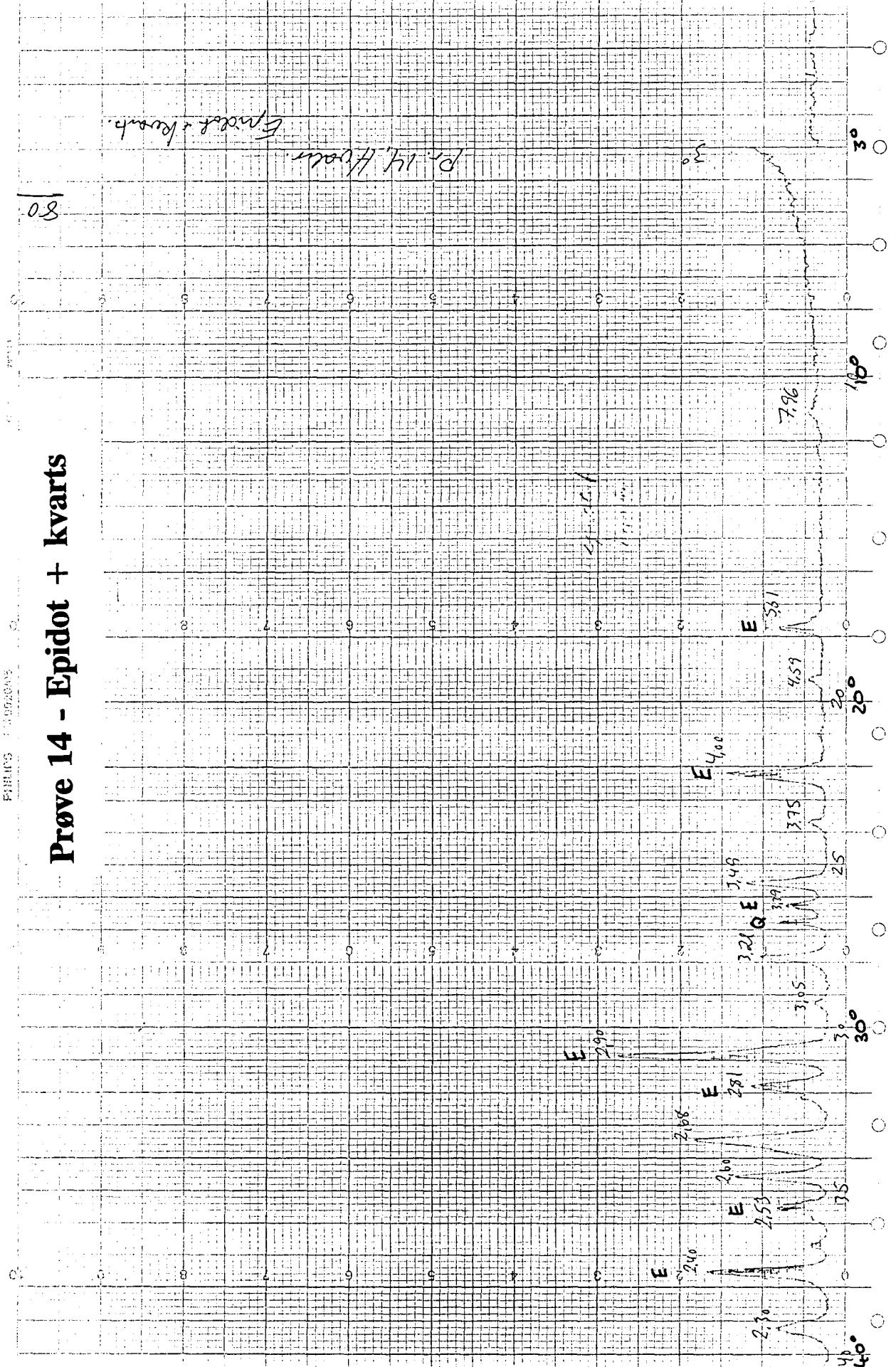
卷之三

10

more & less.

Dr. H. H. Holt

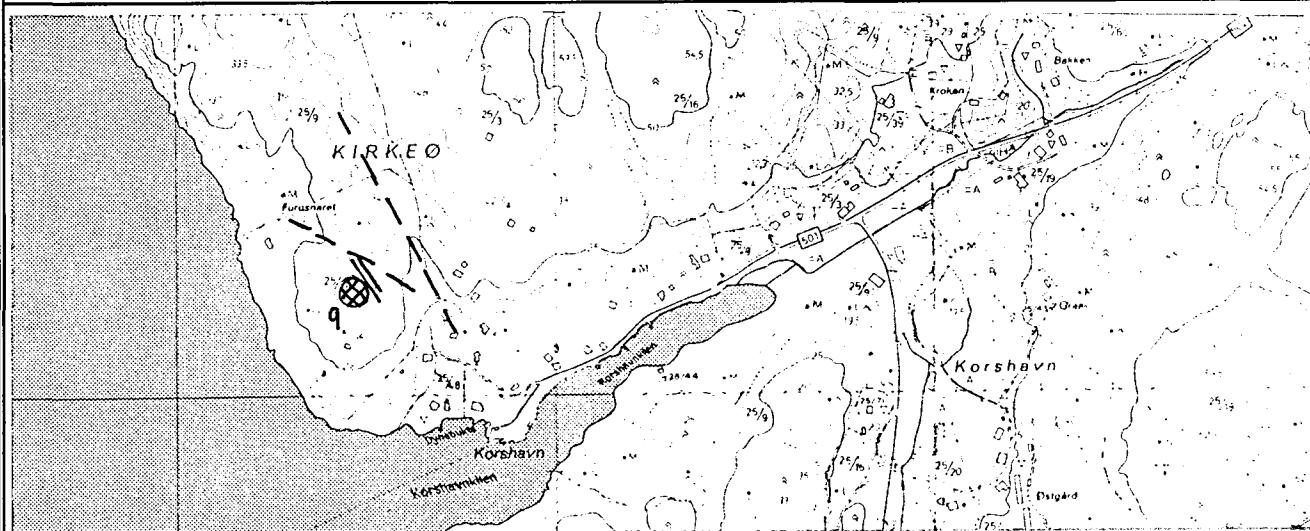
-08-



Vedlegg 3: Stereonett og sprekkeroser for områder 9-45, Kirkeøy

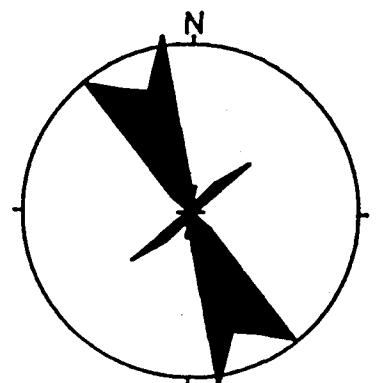
Alle stereonett er nedre hemisfer projeksjon av poler til sprekkeoverflaten. Det er kun plottet sprekker hvor det har vært mulig å innsamle informasjon om sprekkenes 3-D orientering.

Rosediagrammene viser kun sprekker som har fall $\geq 45^\circ$.

Kartutsnitt:**Område: 9****Område: 9****Delområde:**

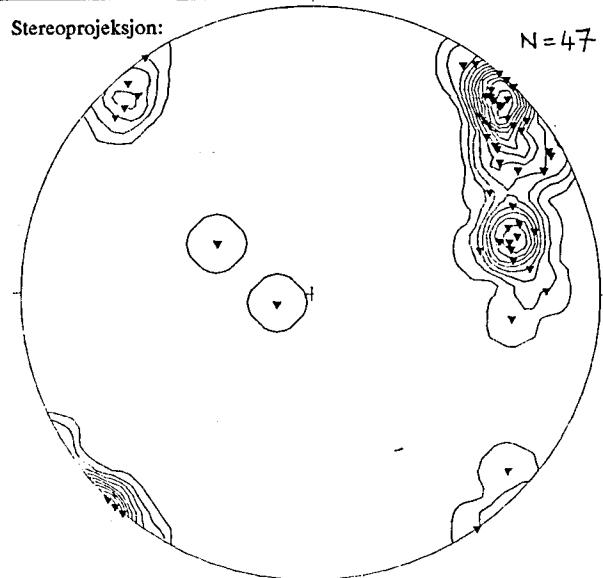
Rosediagram
(Fall > 45°)

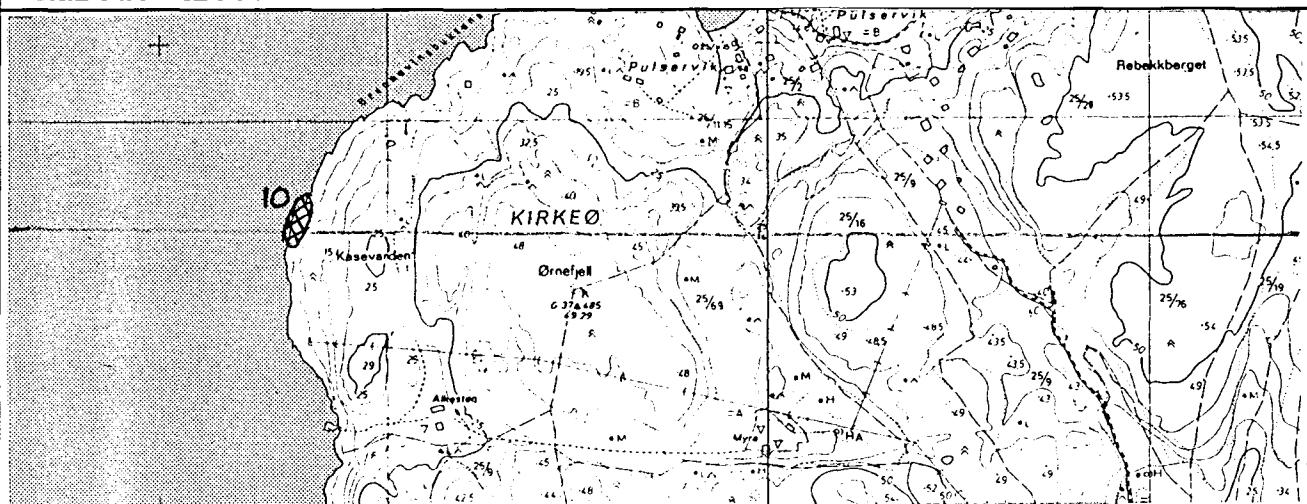
N = 66



Stereoprojeksjon:

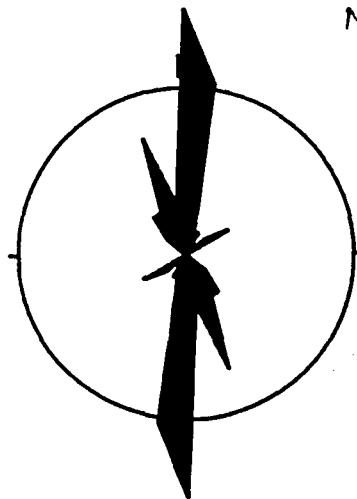
N = 47

**Kommentarer:**

Kartutsnitt:**Område: 10****Område: 10****Delområde: 10 nord**

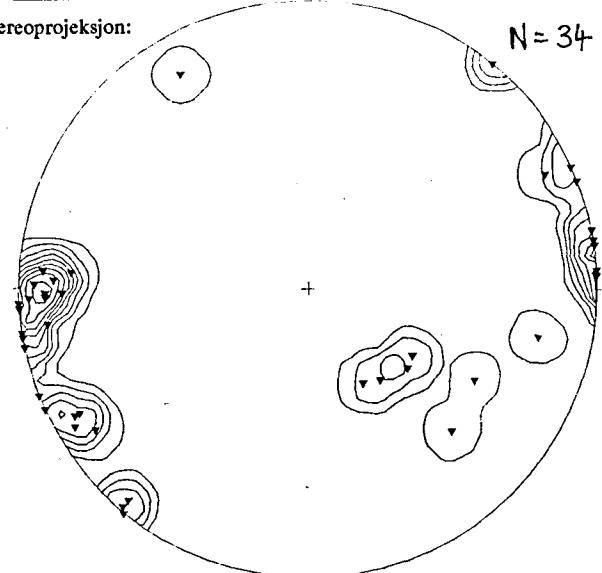
Rosediagram
(Fall > 45°)

N = 34



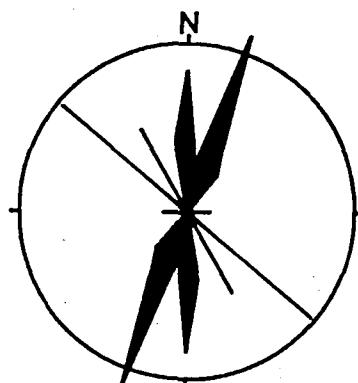
Stereoprojeksjon:

N = 34

**Område: 10****Delområde: 10 sør**

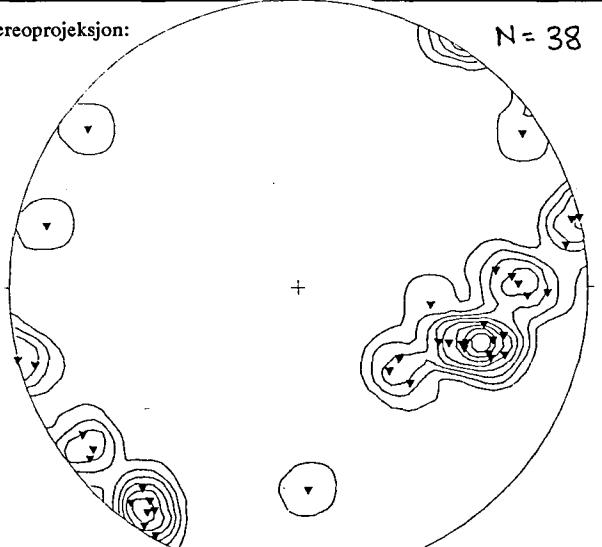
Rosediagram
(Fall > 45°)

N = 36



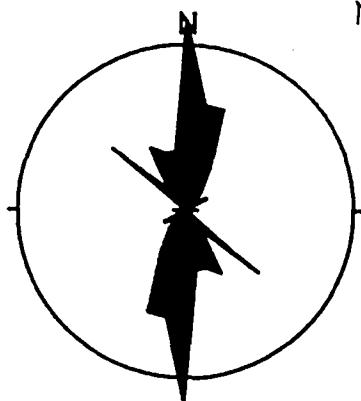
Stereoprojeksjon:

N = 38

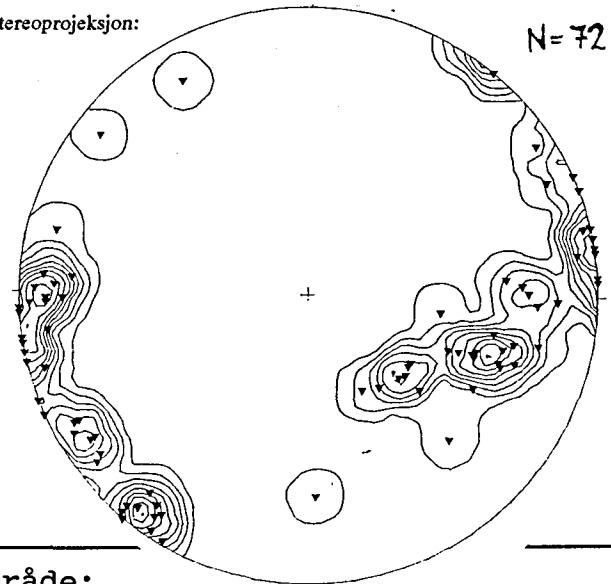


Område: 10

Delområde: 10 hele

Rosediagram
(Fall > 45°)

Stereoprojeksjon:



Område:

Delområde:

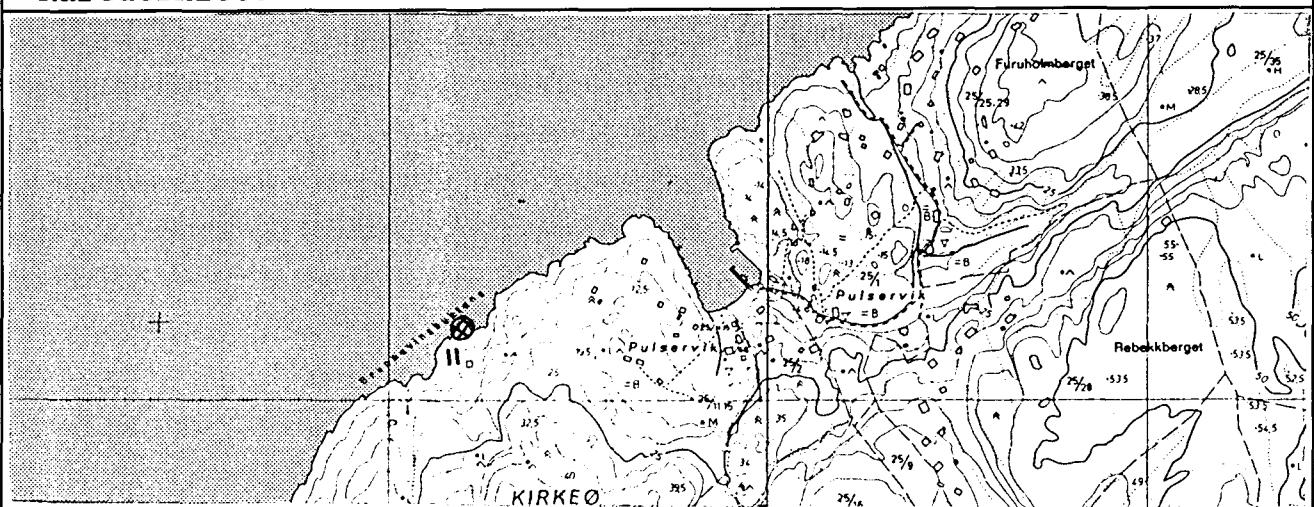
Rosediagram
(Fall > 45°)

Stereoprojeksjon:

Kommentarer:

Kartutsnitt:

Område: 11

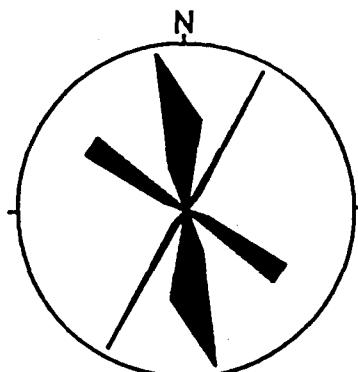


Område: 11

Delområde: 11a

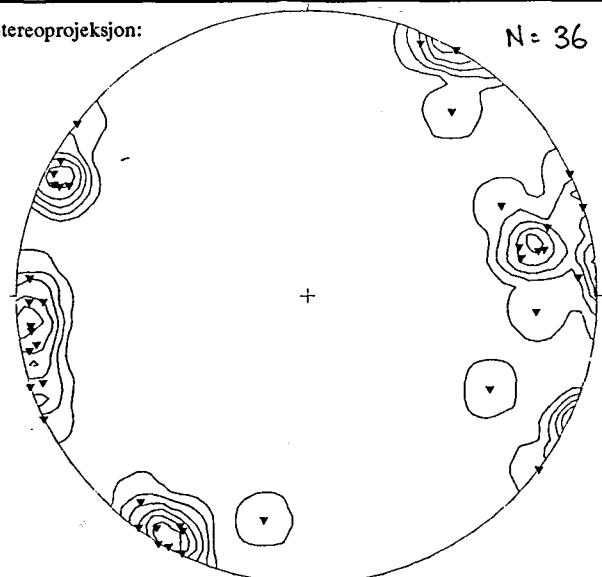
Rosediagram
(Fall > 45°)

N = 37



Stereoprojeksjon:

N = 36

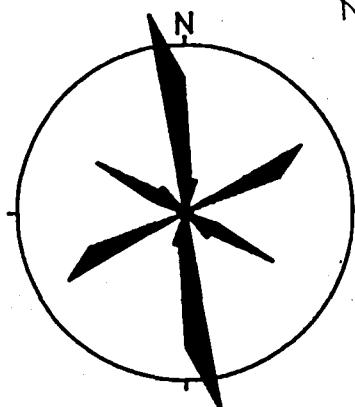


Område: 11

Delområde: 11b

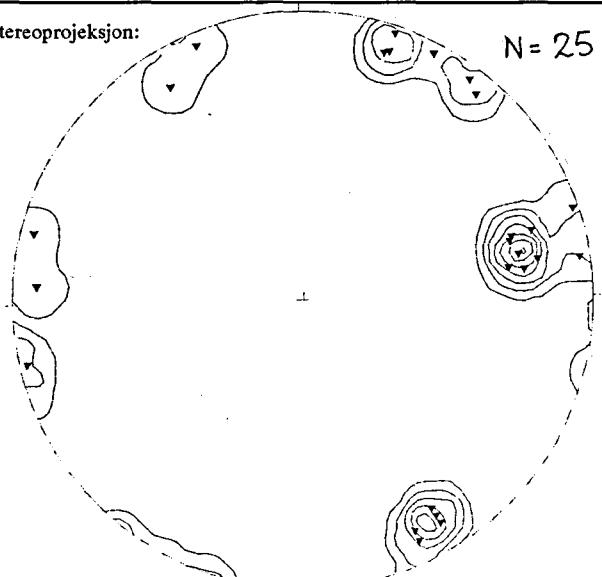
Rosediagram
(Fall > 45°)

N = 25



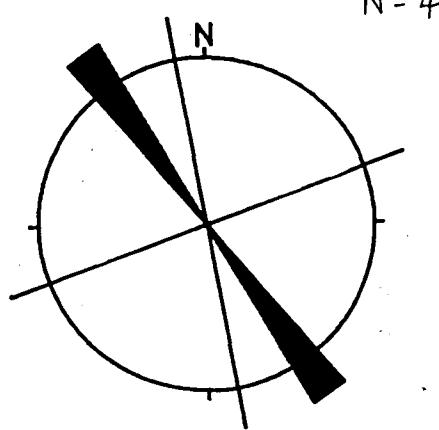
Stereoprojeksjon:

N = 25



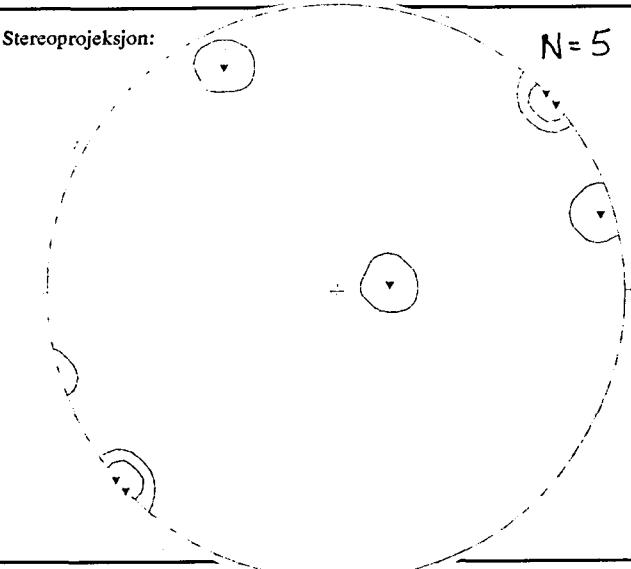
Område: 11

Delområde: 11 andre sprekker

Rosediagram
(Fall > 45°)

N = 4

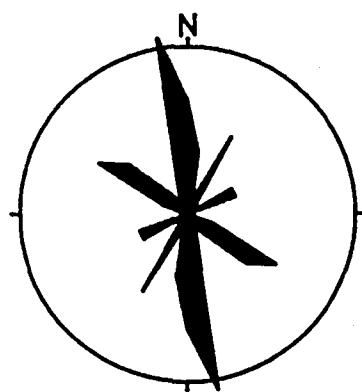
Stereoprojeksjon:



N = 5

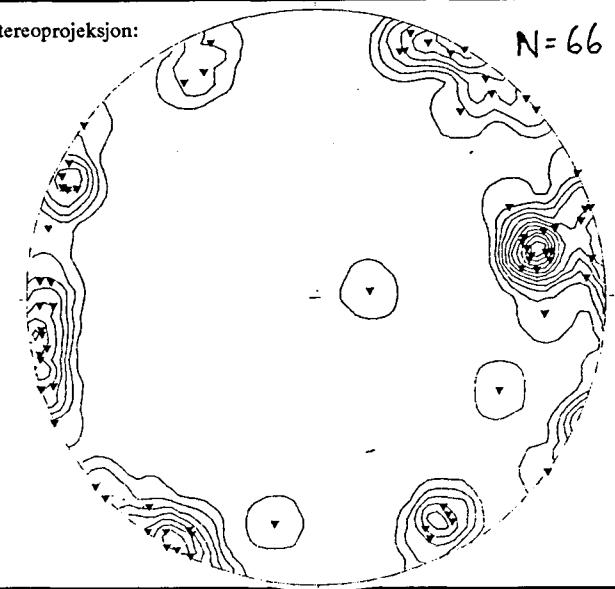
Område: 11

Delområde: 11 hele

Rosediagram
(Fall > 45°)

N = 66

Stereoprojeksjon:

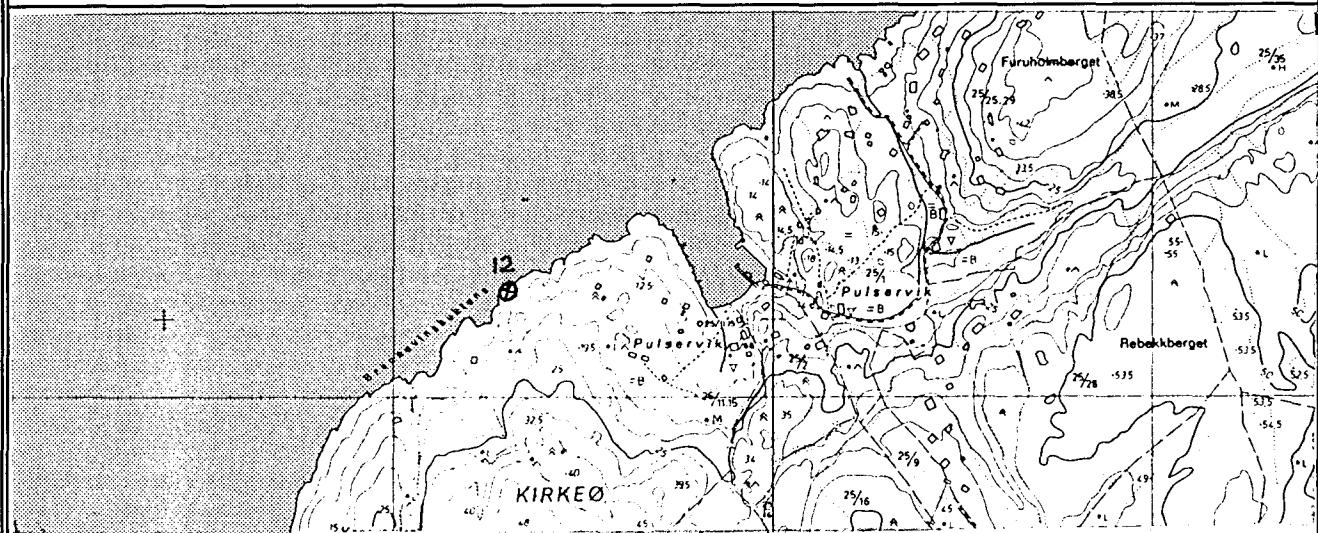


N = 66

Kommentarer:

Kartutsnitt:

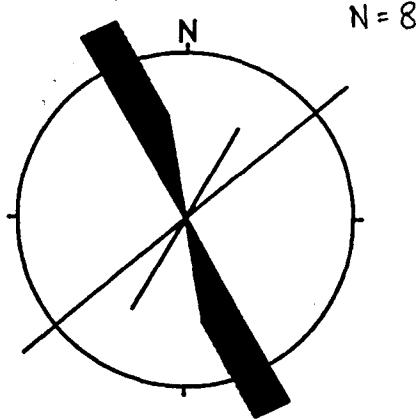
Område: 12



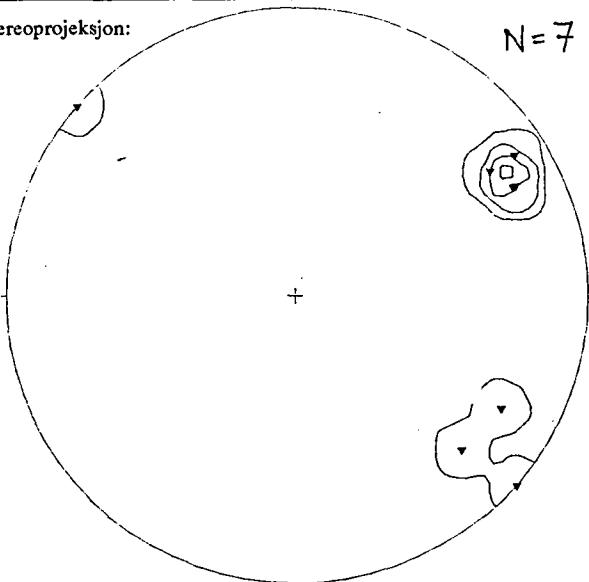
Område: 12

Delområde:

Rosediagram
(Fall > 45°)



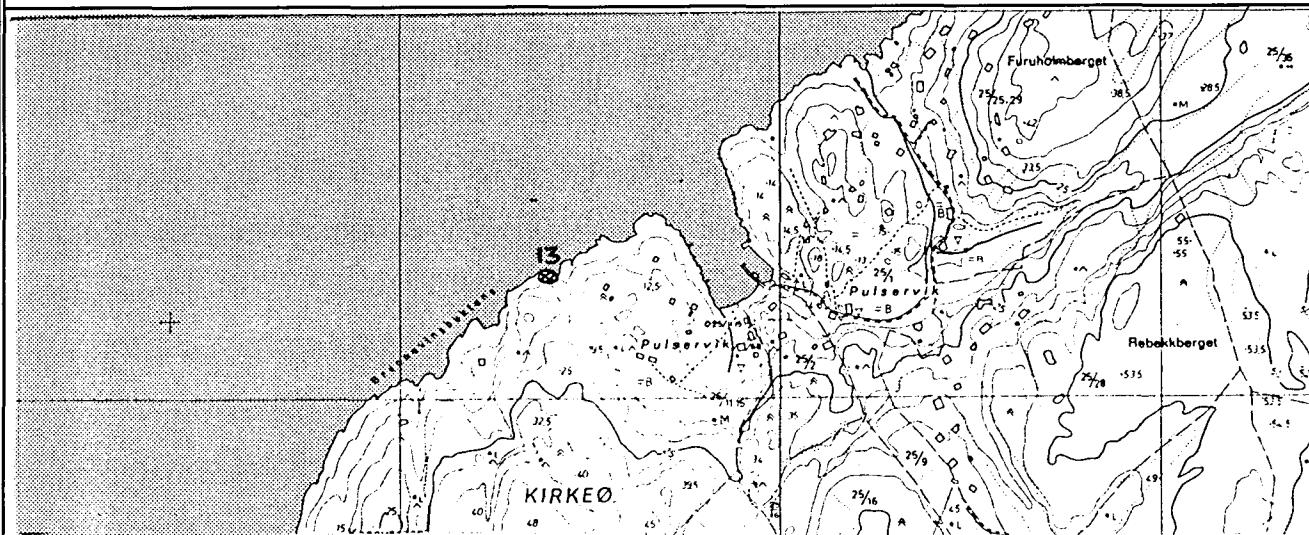
Stereoprojeksjon:



Kommentarer:

Kartutsnitt:

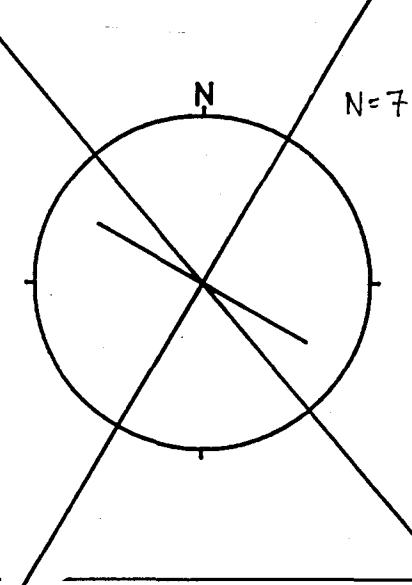
Område: 13



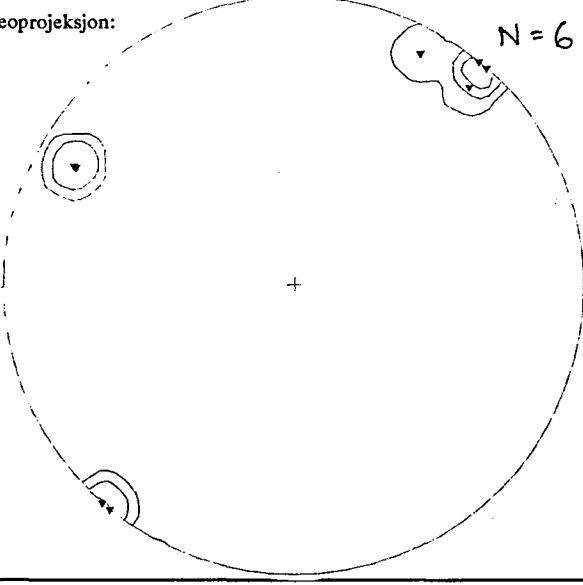
Område: 13

Delområde:

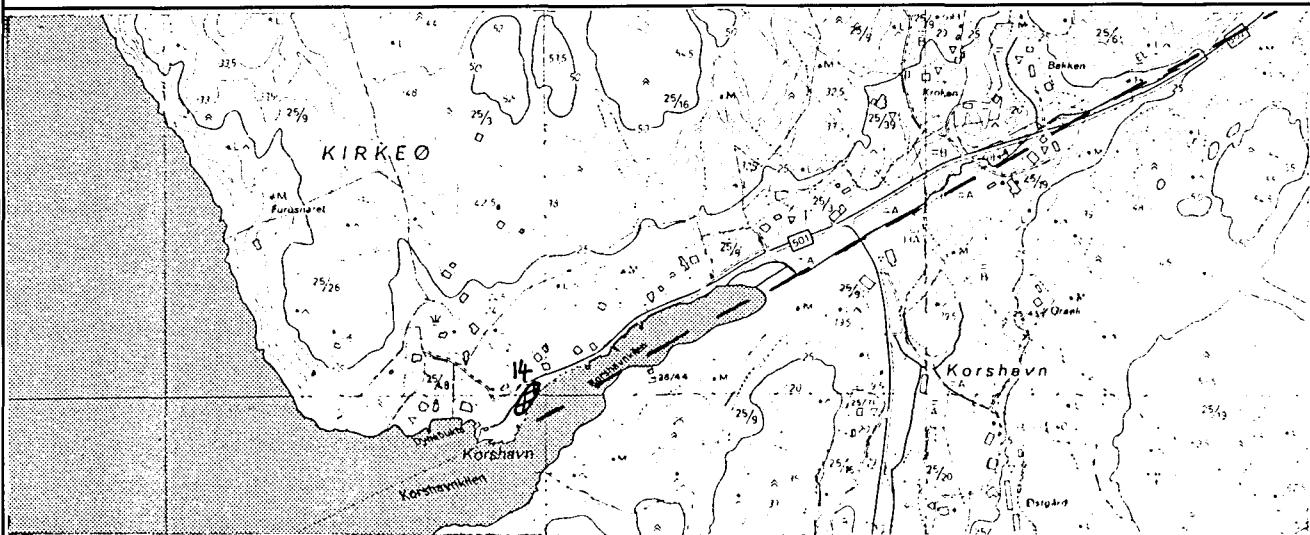
Rosediagram
(Fall > 45°)



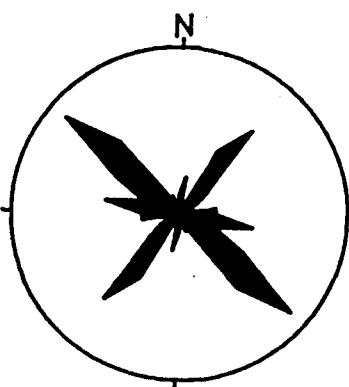
Stereoprojeksjon:



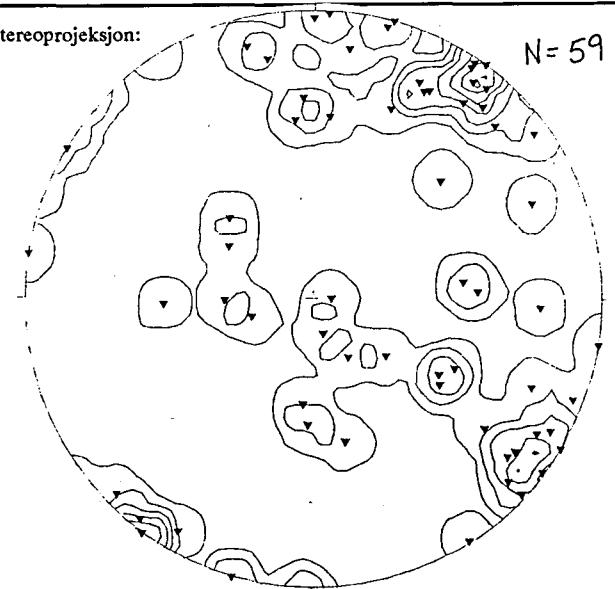
Kommentarer:

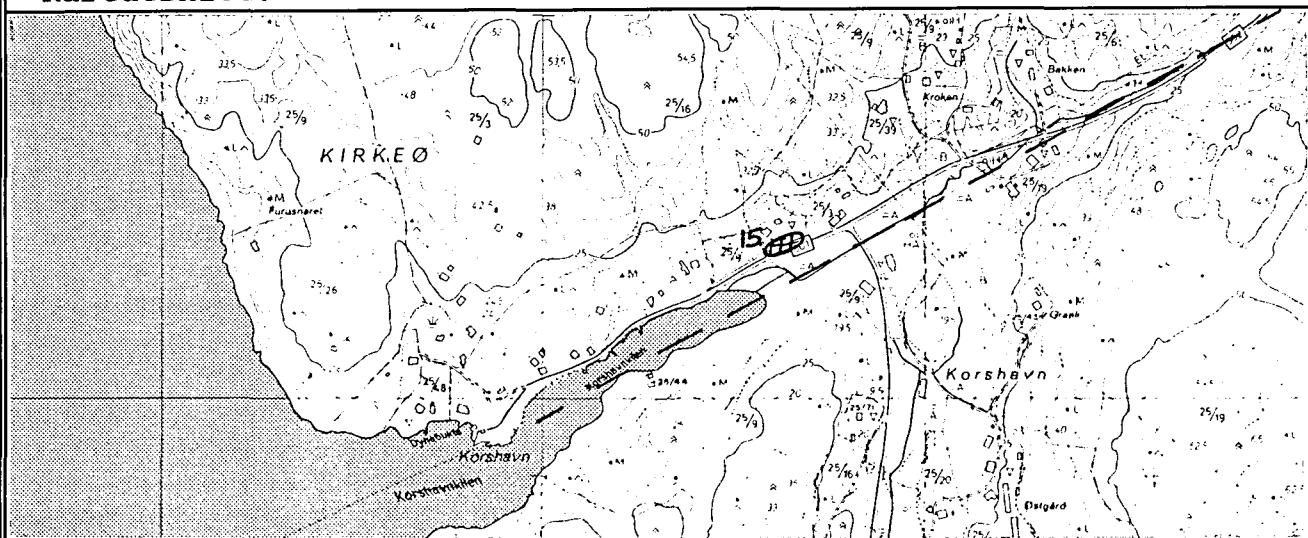
Kartutsnitt:**Område: 14****Område: 14****Delområde:**

Rosediagram
(Fall > 45°)



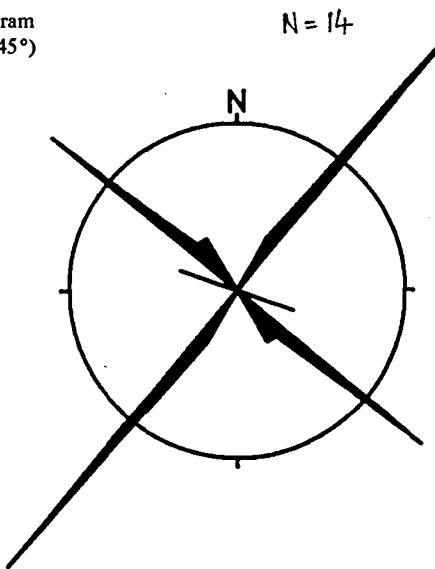
Stereoprojeksjon:

**Kommentarer:**

Kartutsnitt:**Område: 15****Område: 15****Delområde:**

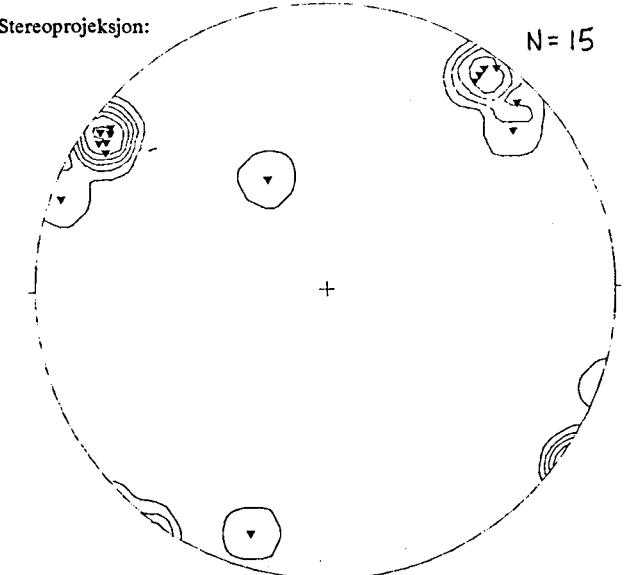
Rosediagram
(Fall > 45°)

N = 14



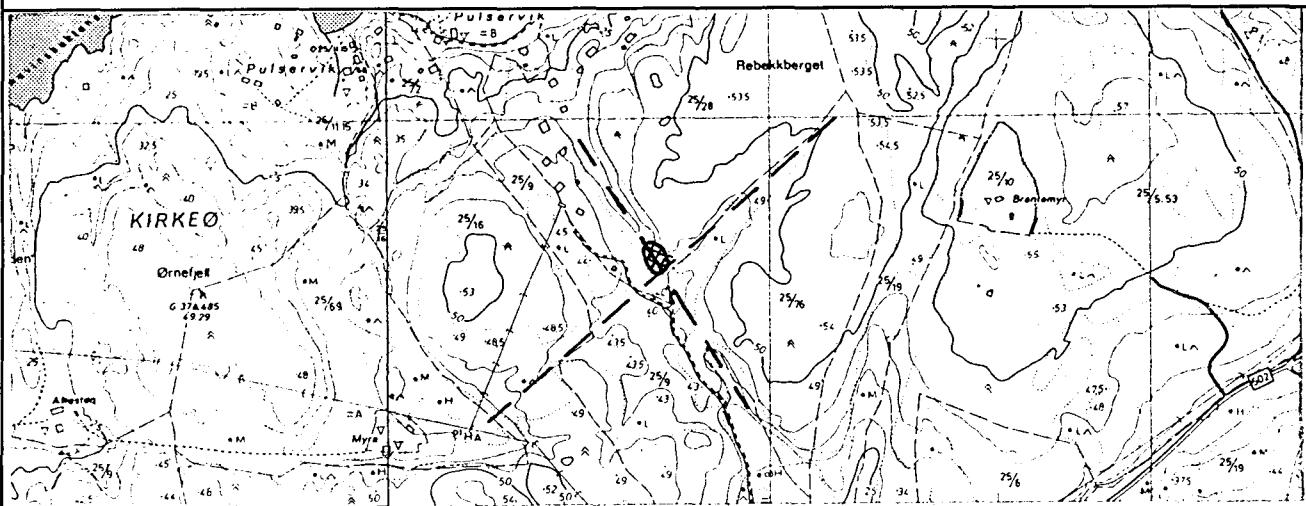
Stereoprojeksjon:

N = 15

**Kommentarer:**

Kartutsnitt:

Område: 16

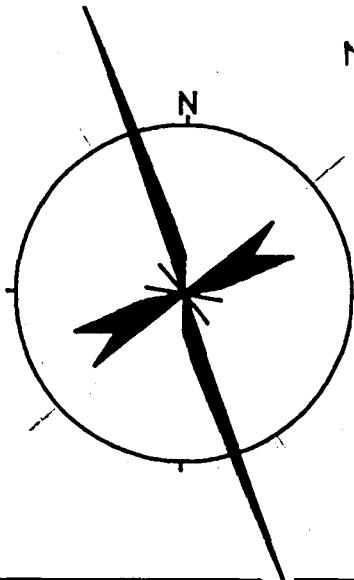


Område: 16

Delområde: 16 østsiden

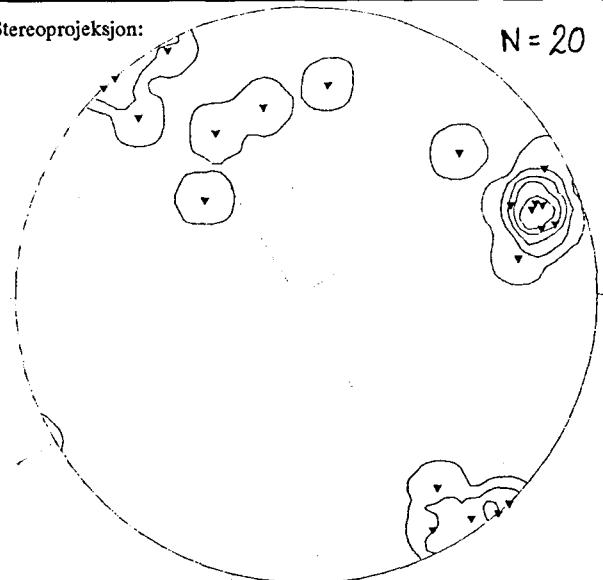
Rosediagram
(Fall > 45°)

N = 22



Stereoprojeksjon:

N = 20

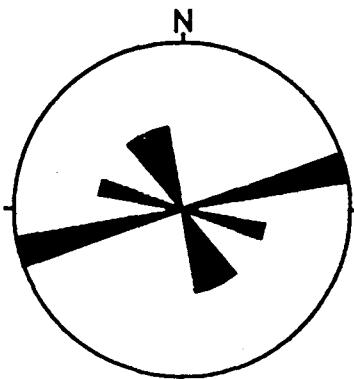


Område: 16

Delområde: 16 vestsiden

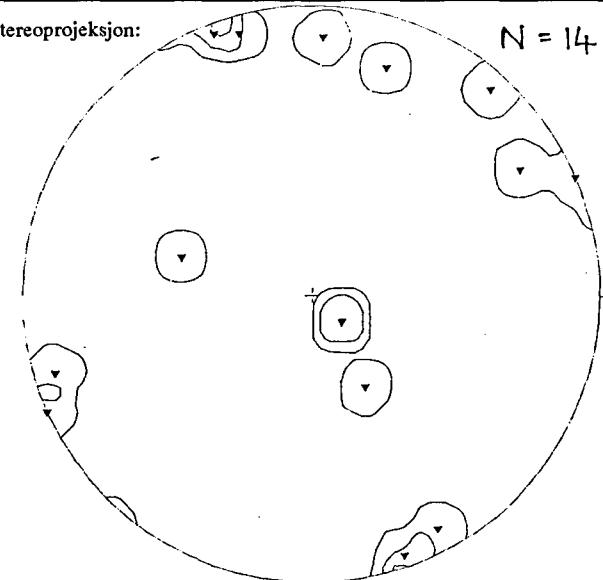
Rosediagram
(Fall > 45°)

N = 10



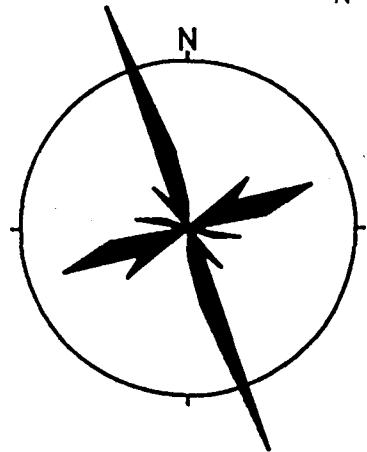
Stereoprojeksjon:

N = 14



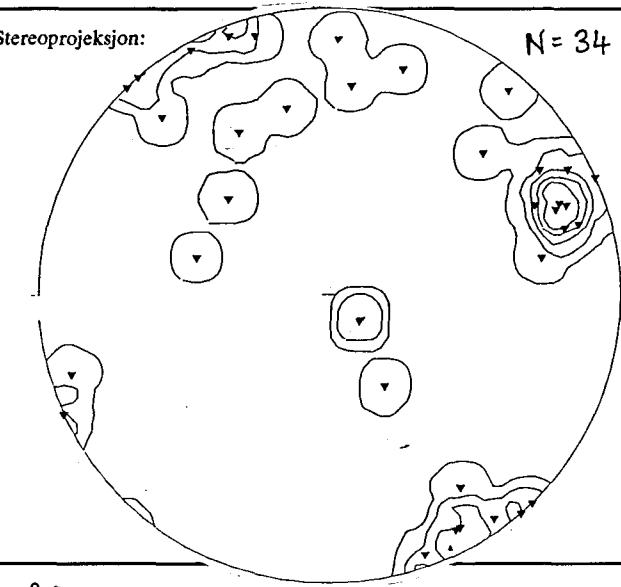
Område: 16

Delområde: 16 hele

Rosediagram
(Fall > 45°)

N = 32

Stereoprojeksjon:



N = 34

Område:

Delområde:

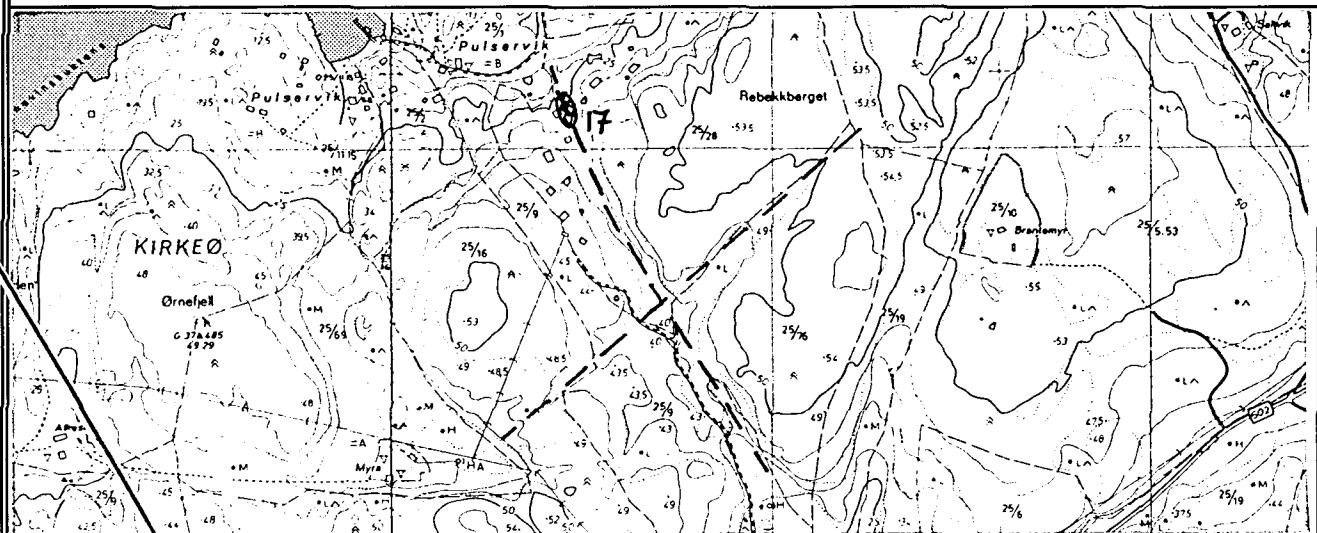
Rosediagram
(Fall > 45°)

Stereoprojeksjon:

Kommentarer:

Kartutsnitt:

Område: 17



Område. 17

Delområde:

Rosediagram
(Fall > 45°)

Stereoprojeksjon:

N=4

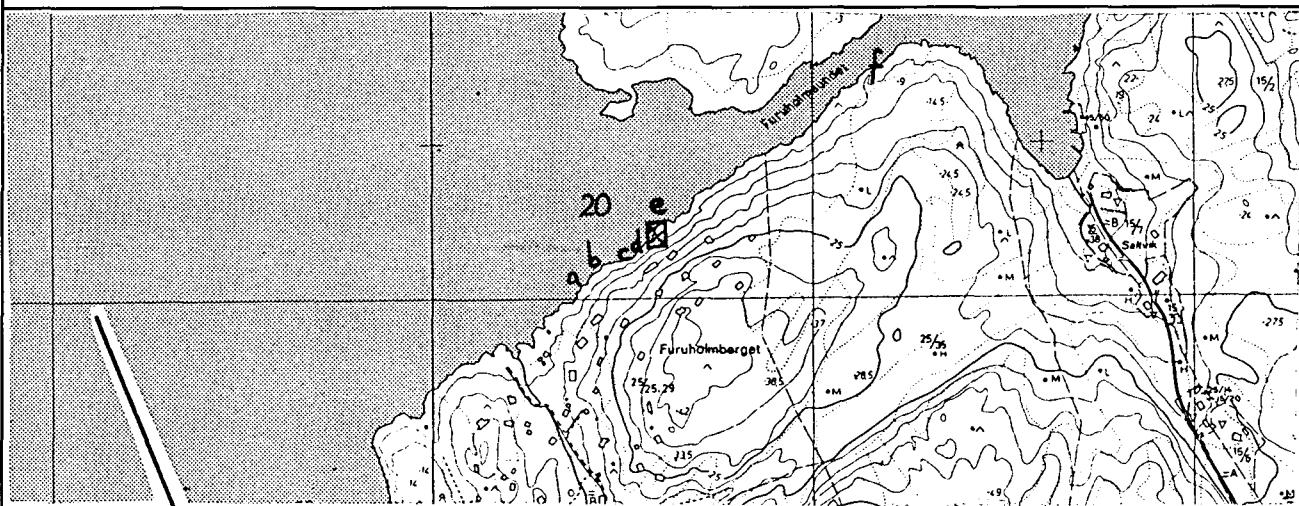
N=2

N

Kommentarer:

Kartutsnitt:

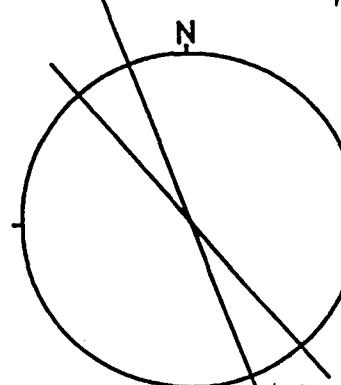
Område: 20



Område: 20

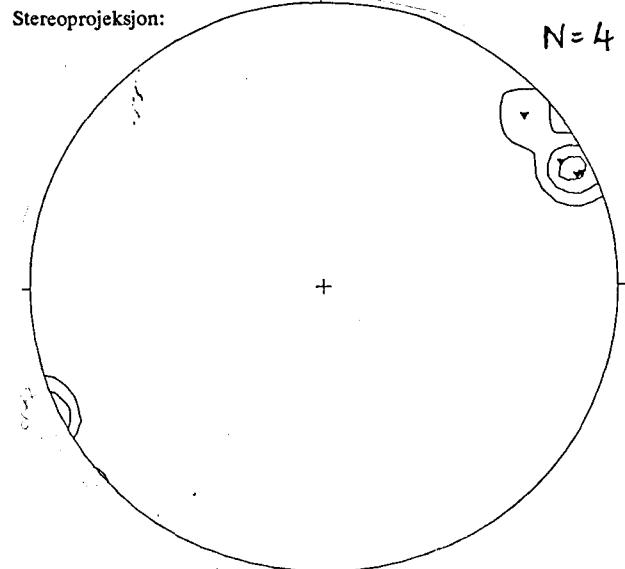
Delområde: 20 a-d

Rosediagram
(Fall > 45°)



N=4

Stereoprojeksjon:

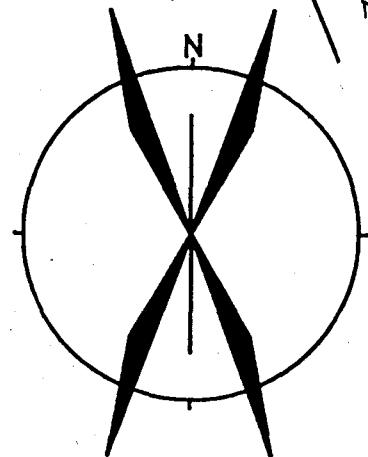


N=4

Område: 20

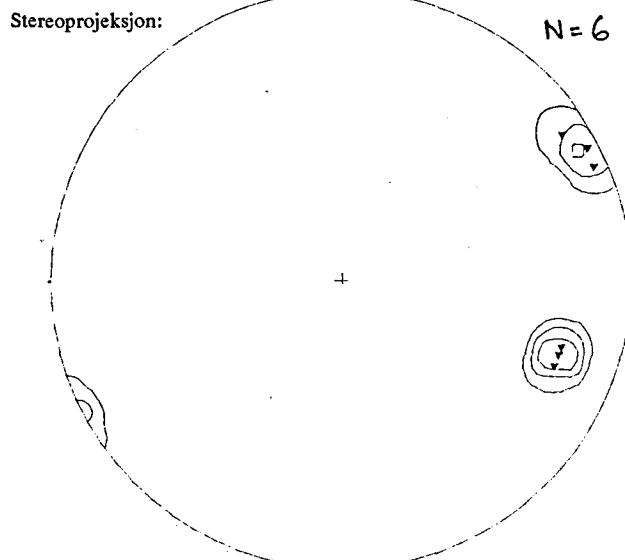
Delområde: 20e skvulpe

Rosediagram
(Fall > 45°)

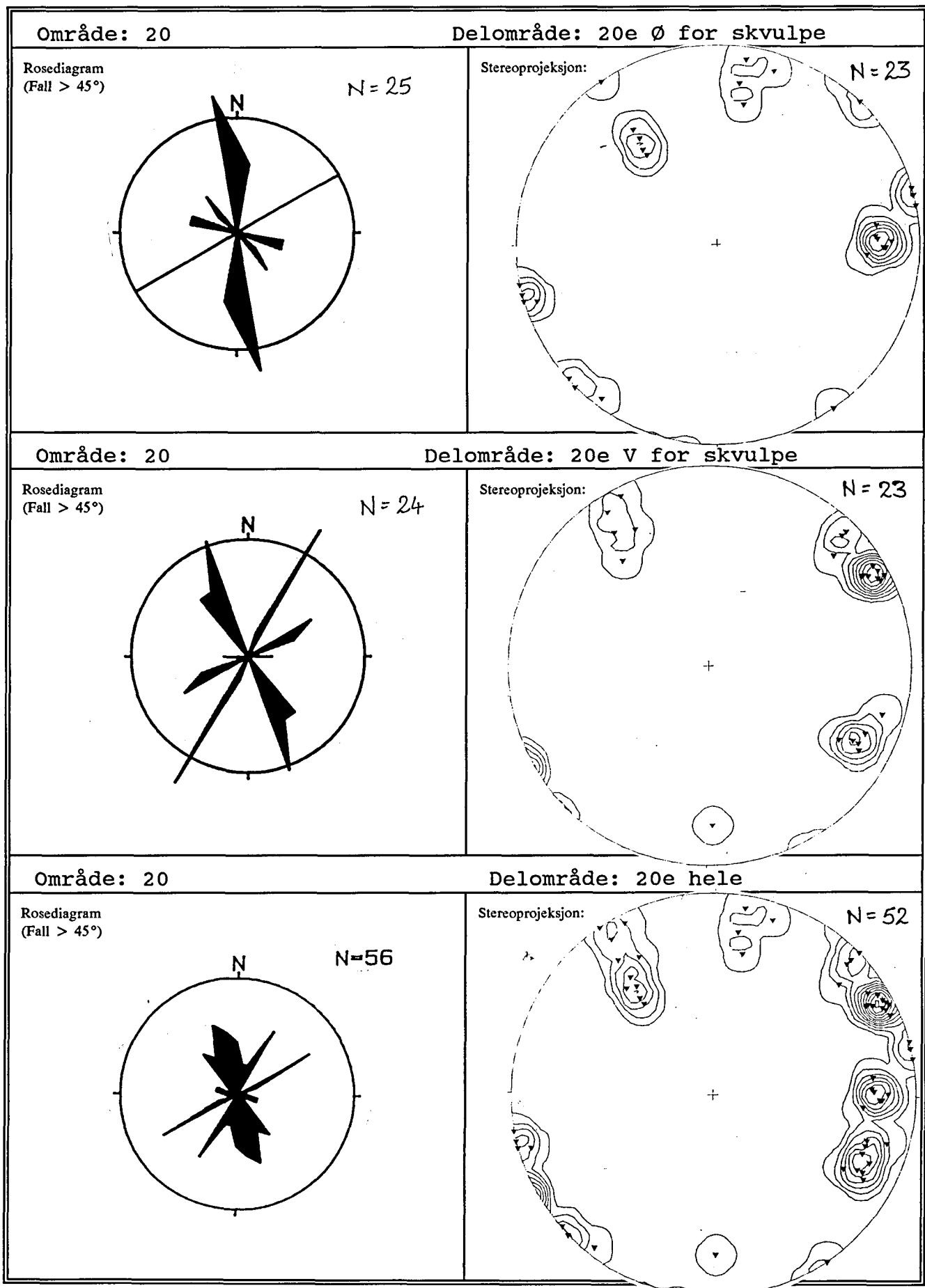


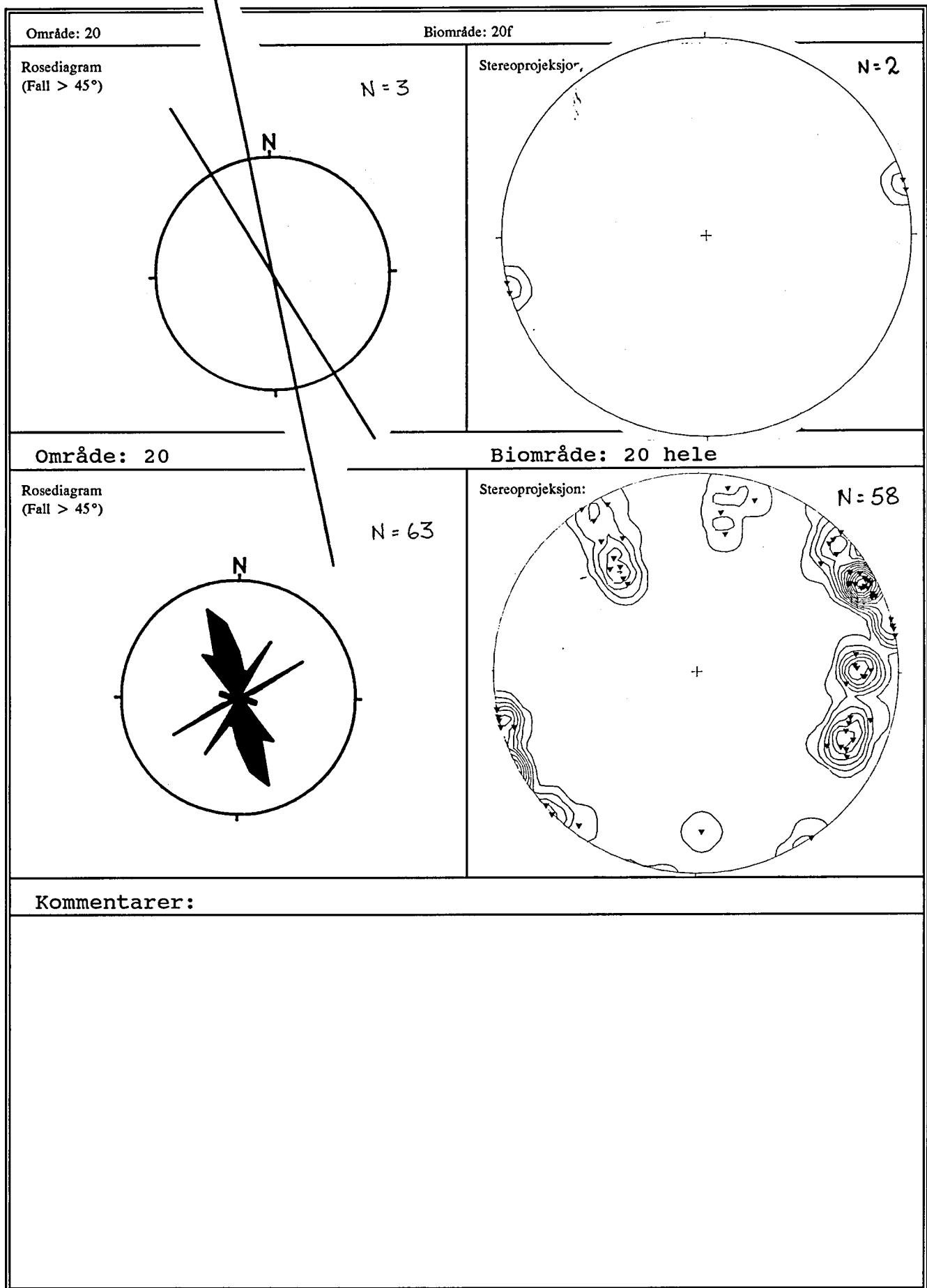
N = 7

Stereoprojeksjon:



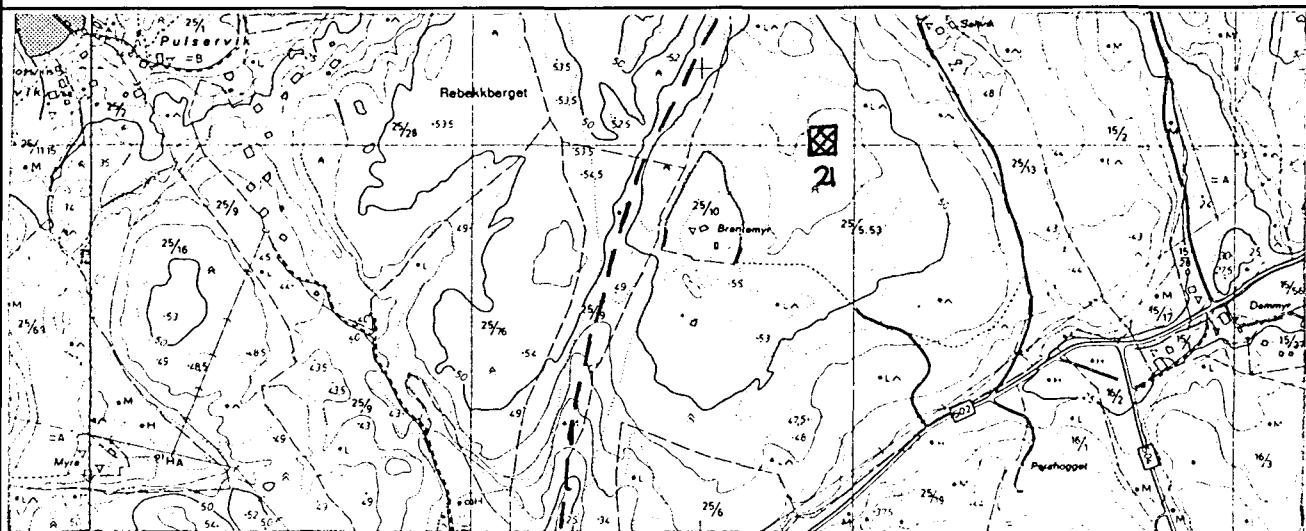
N=6





Kartutsnitt:

Område: 21

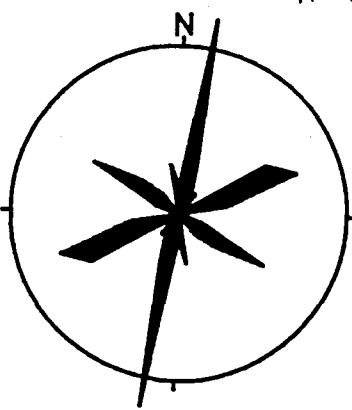


Område: 21

Delområde:

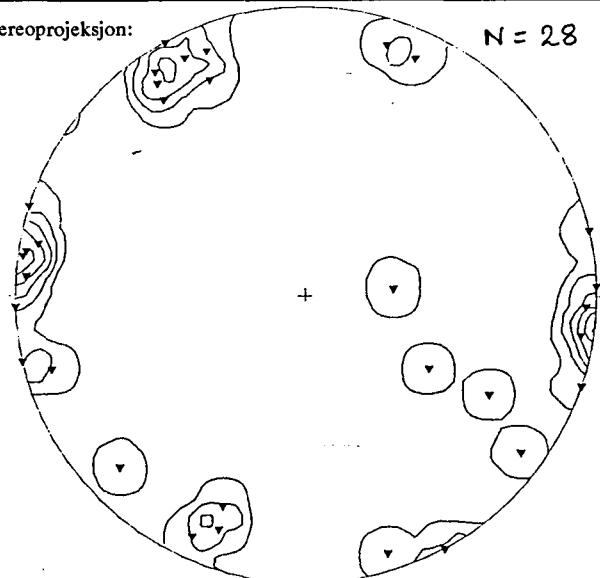
Rosediagram
(Fall > 45°)

N = 34



Stereoprojeksjon:

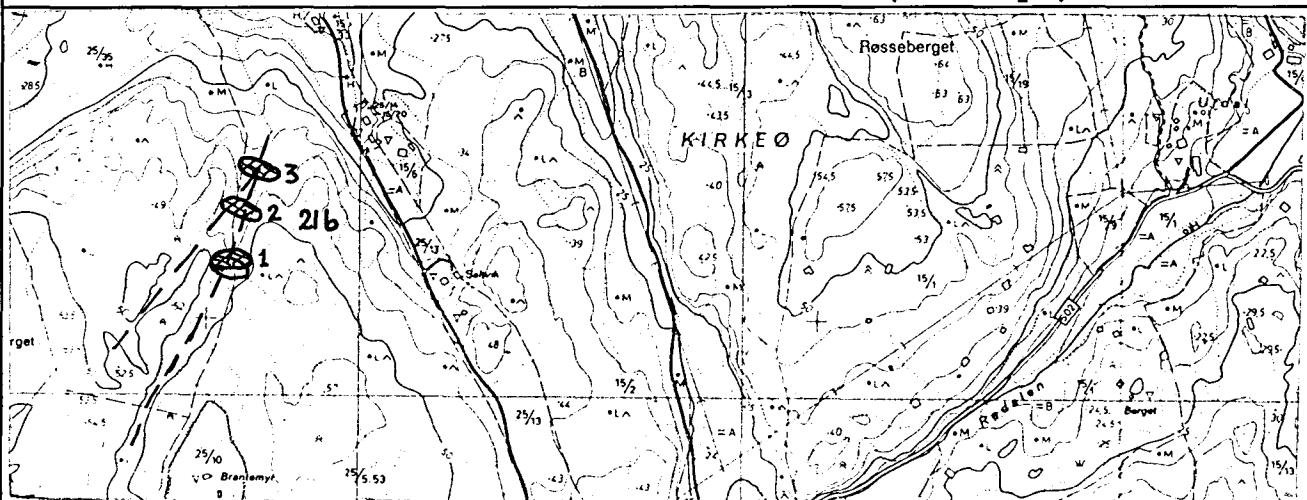
N = 28



Kommentarer:

Kartutsnitt:

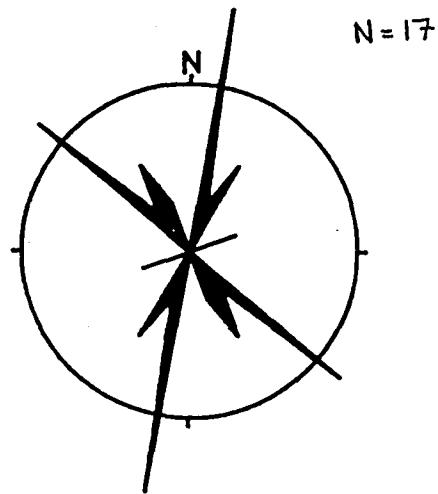
Område: 21 b (Brantmyr)



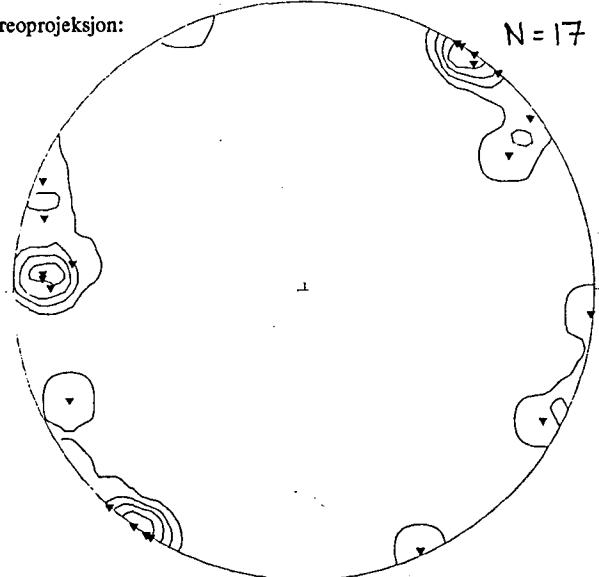
Område: 21b

Delområde: 21b sted 1

Rosediagram
(Fall > 45°)



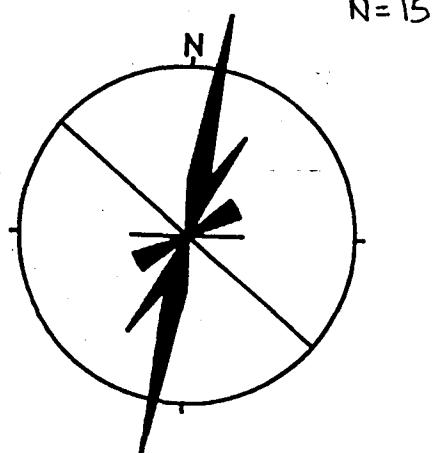
Stereoprojeksjon:



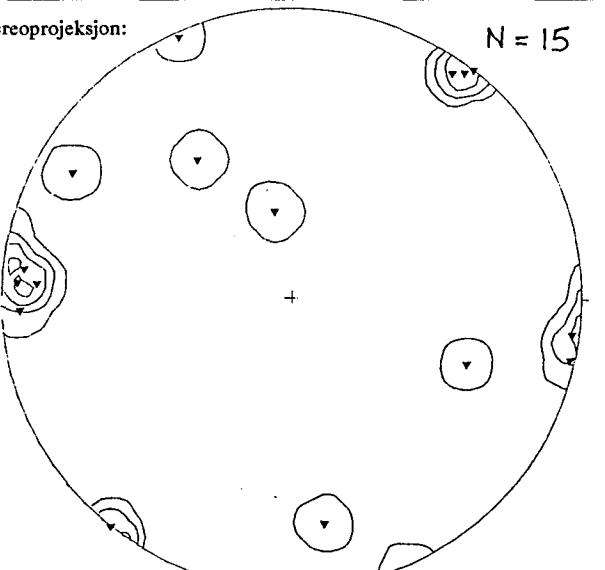
Område: 21b

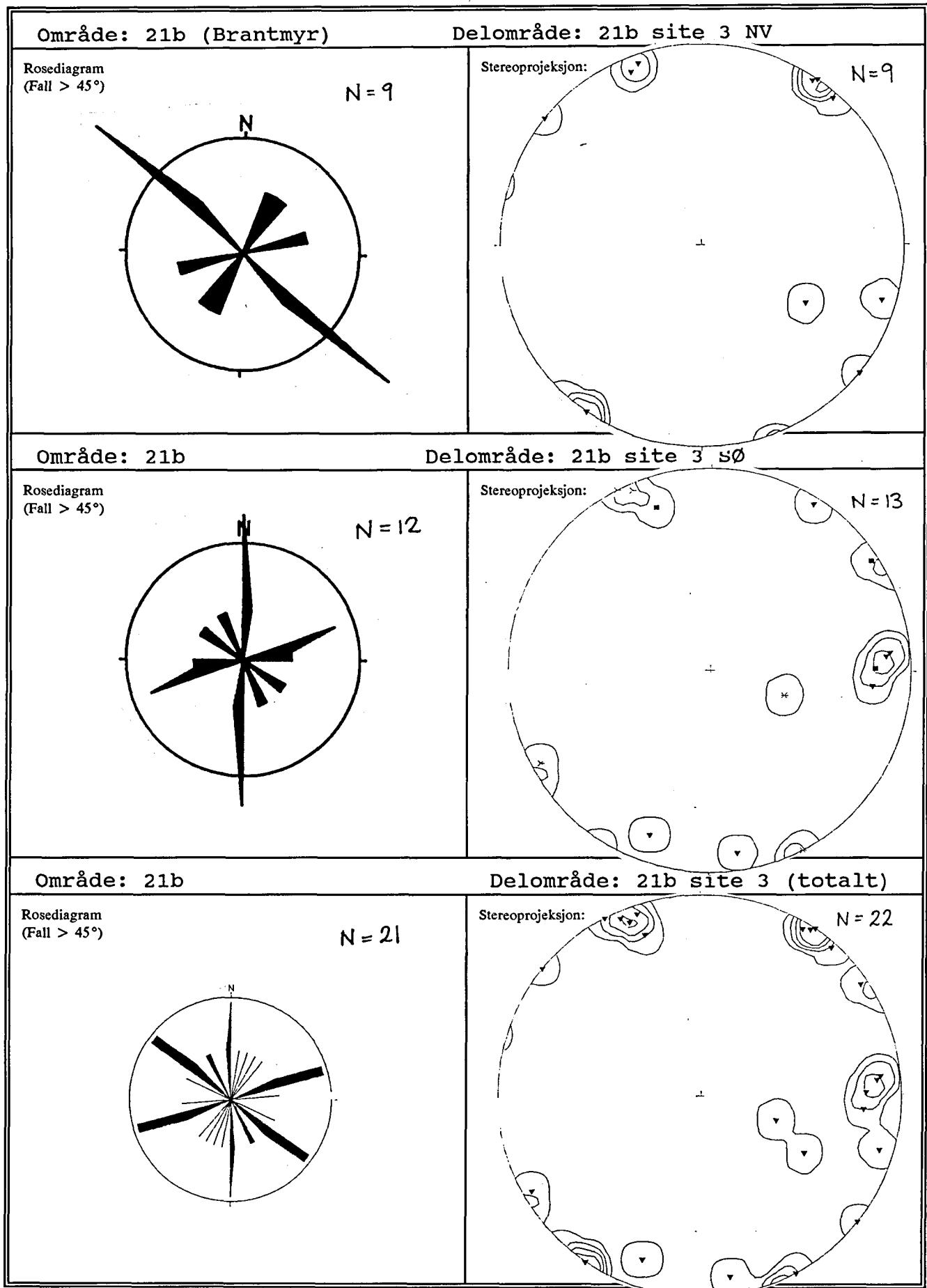
Delområde: 21b sted 2

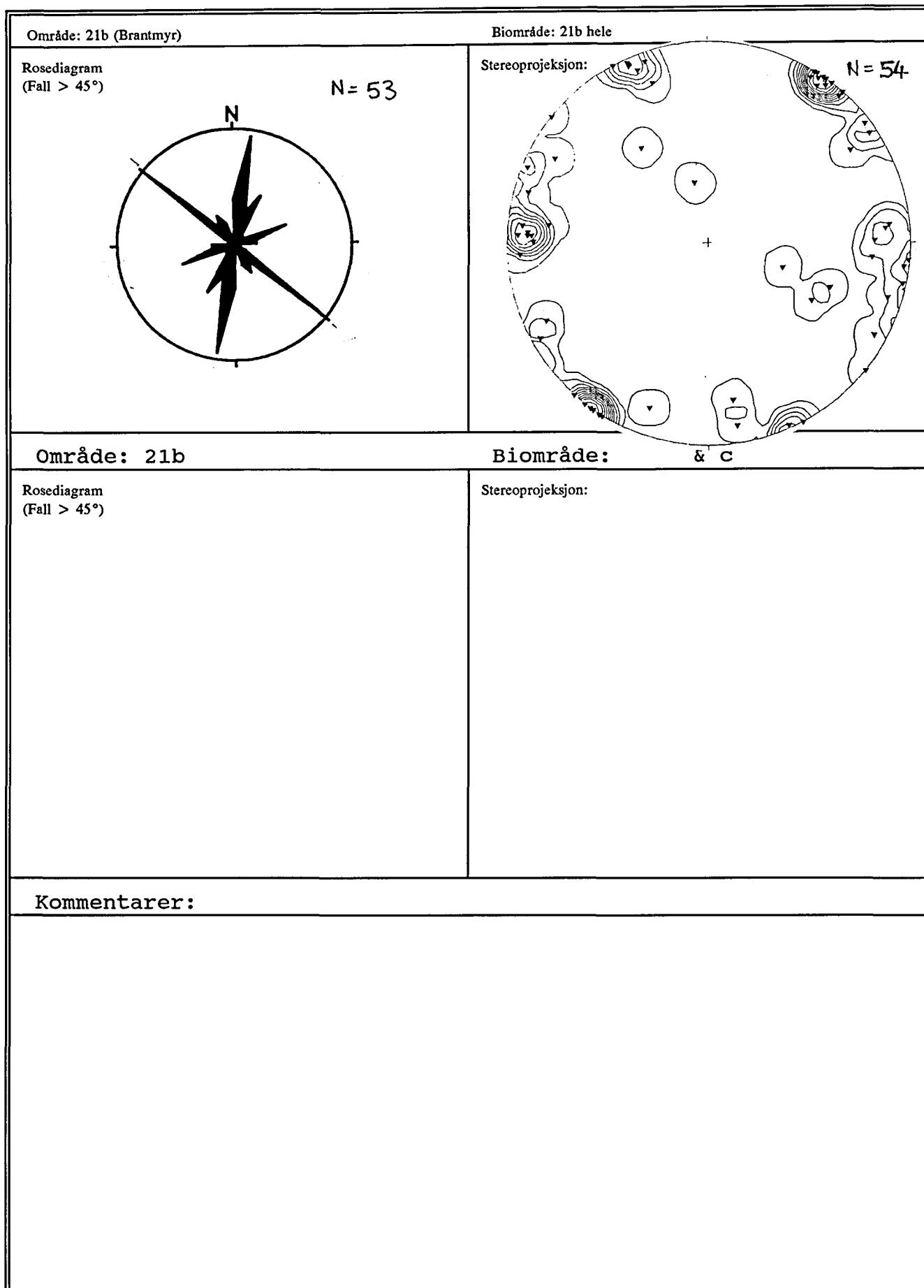
Rosediagram
(Fall > 45°)

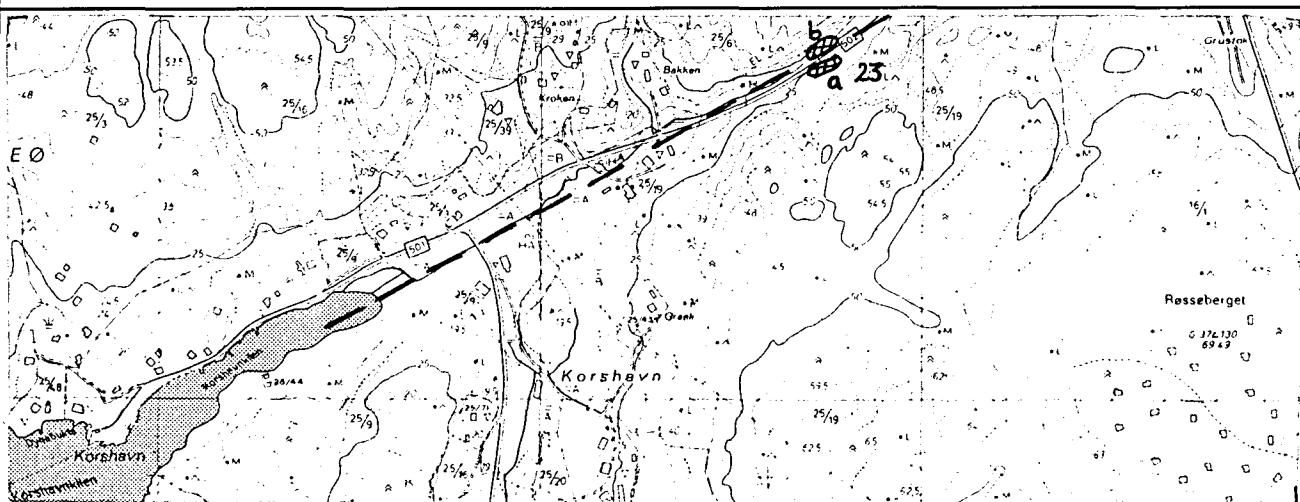


Stereoprojeksjon:

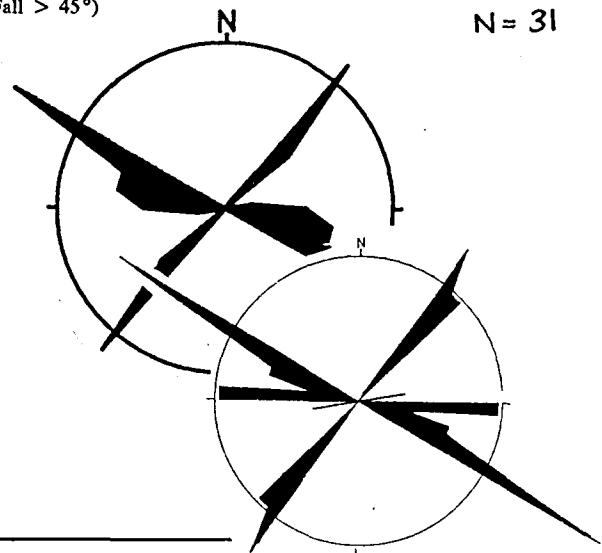




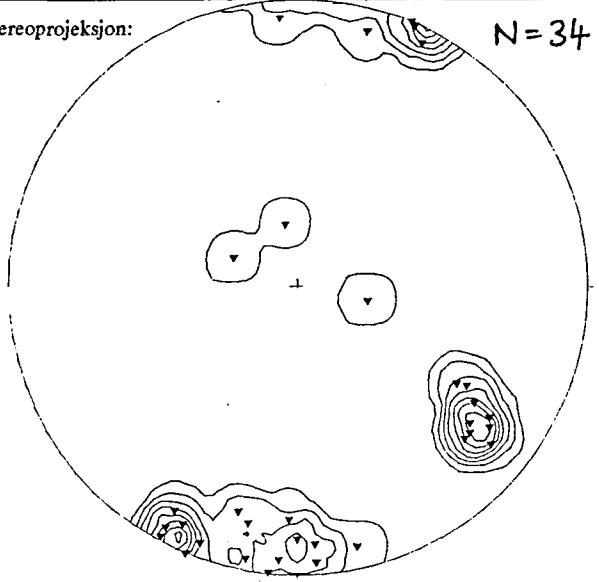


Kartutsnitt:**Område: 23****Område: 23****Delområde: 23a**

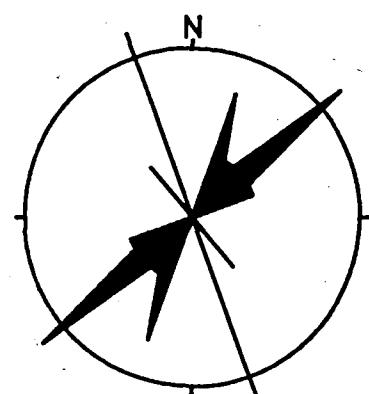
Rosediagram
(Fall > 45°)



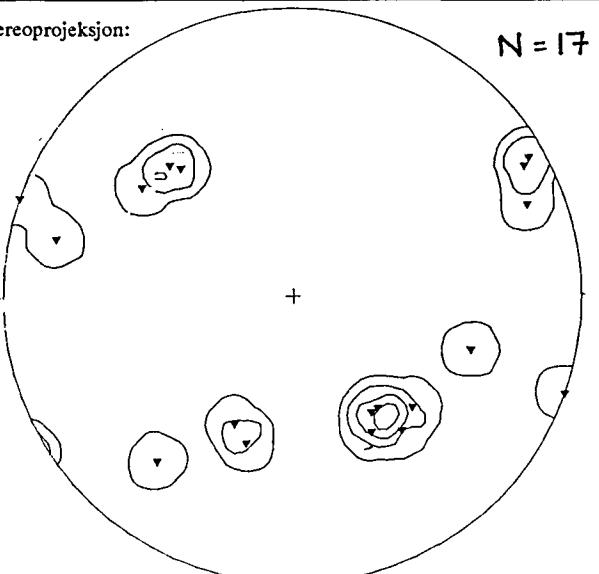
Stereoprojeksjon:

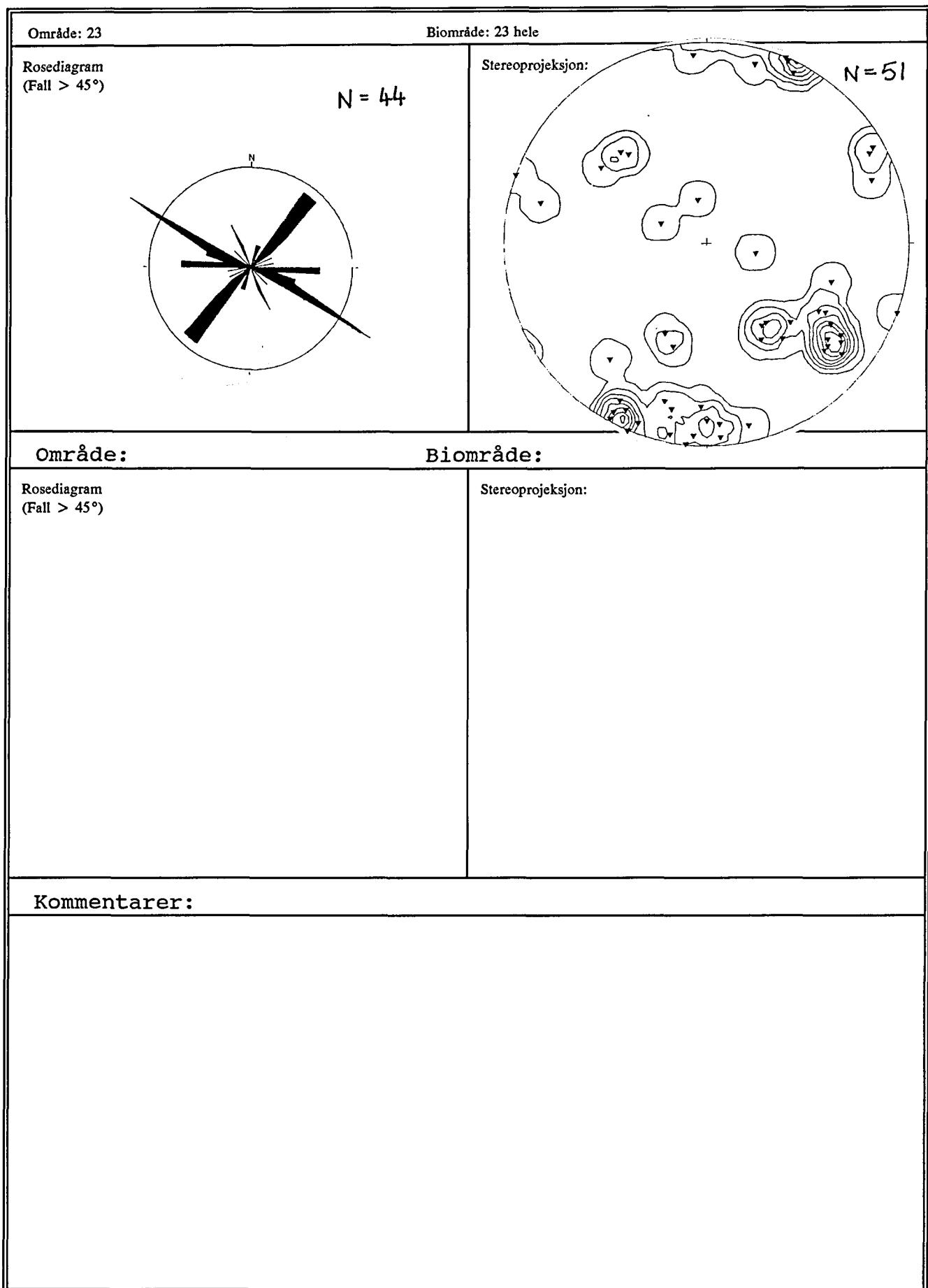
**Område: 23****Delområde: 23b**

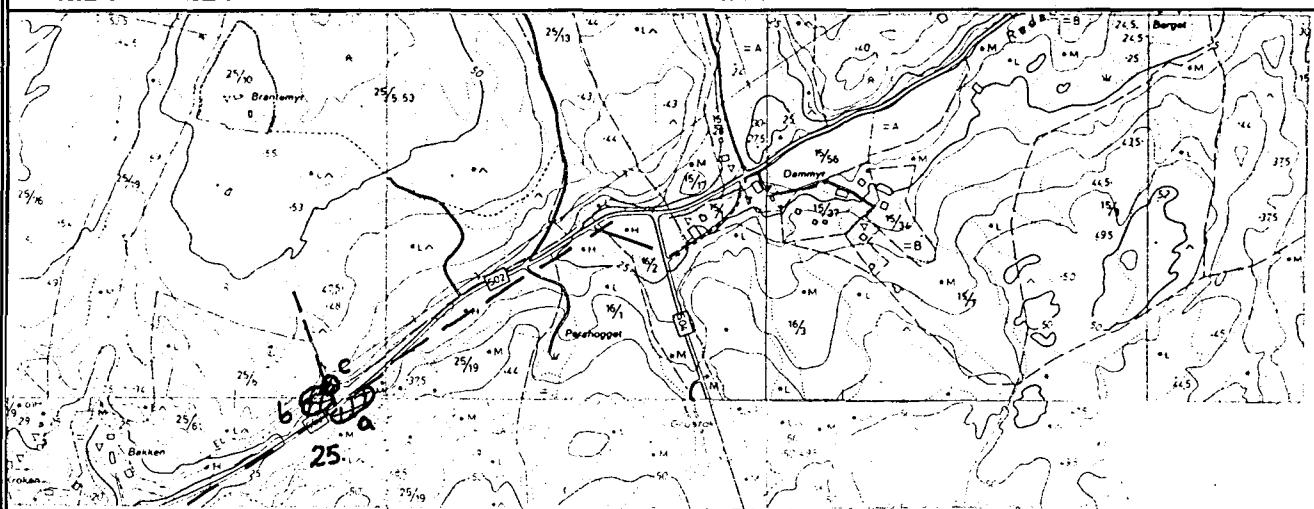
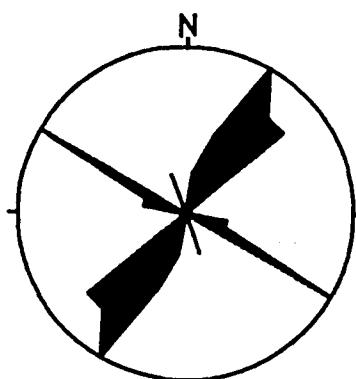
Rosediagram
(Fall > 45°)



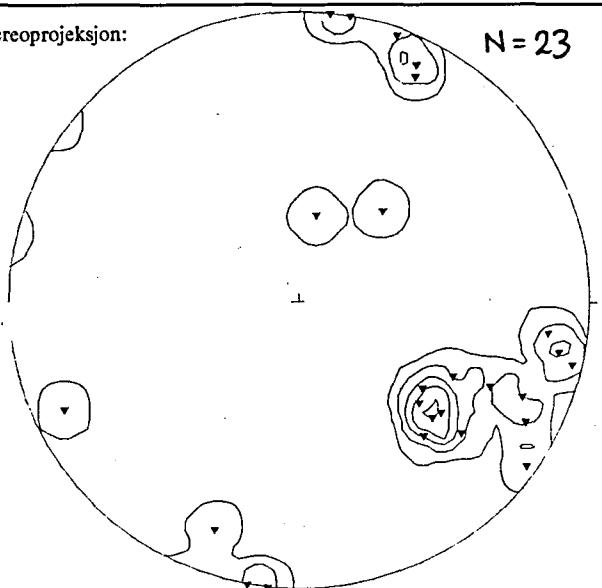
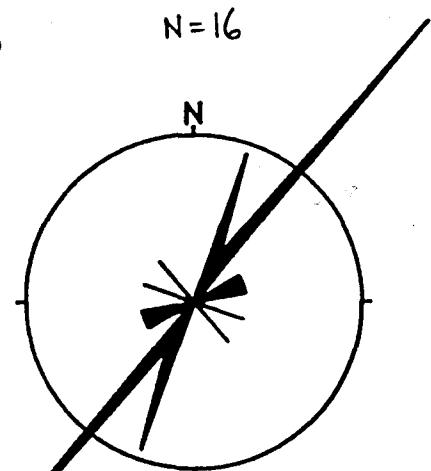
Stereoprojeksjon:



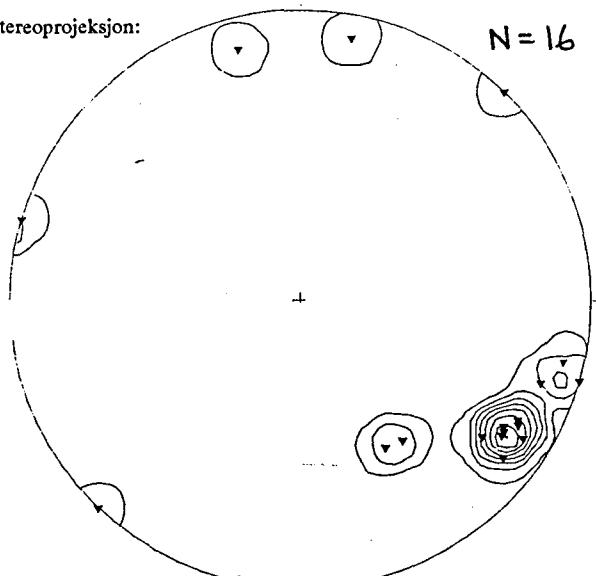


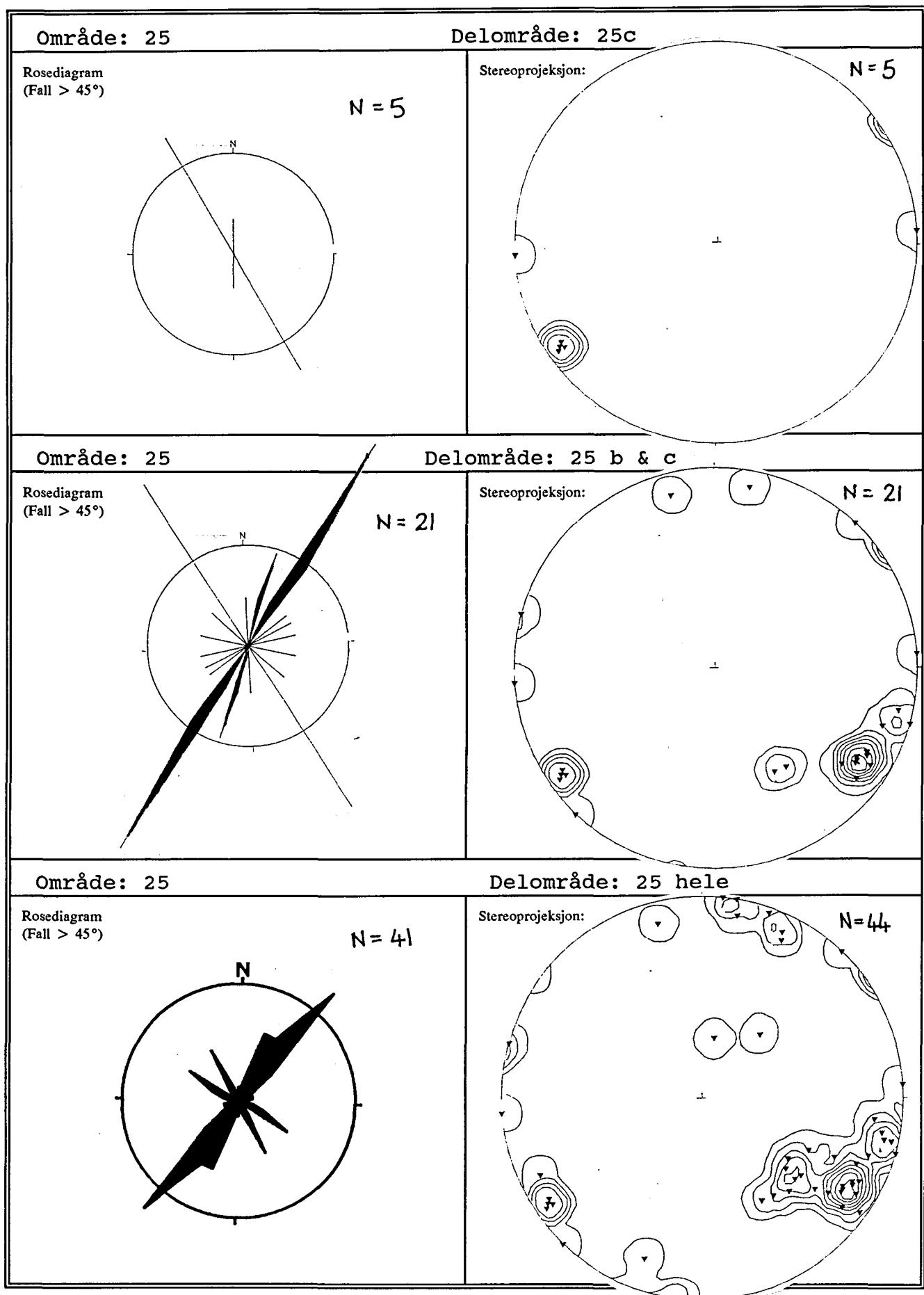
Kartutsnitt:**Område: 25****Område: 25****Delområde: 25a**Rosediagram
(Fall > 45°)**N = 20**

Stereoprojeksjon:

N = 23**Område: 25****Delområde: 25b**Rosediagram
(Fall > 45°)**N = 16**

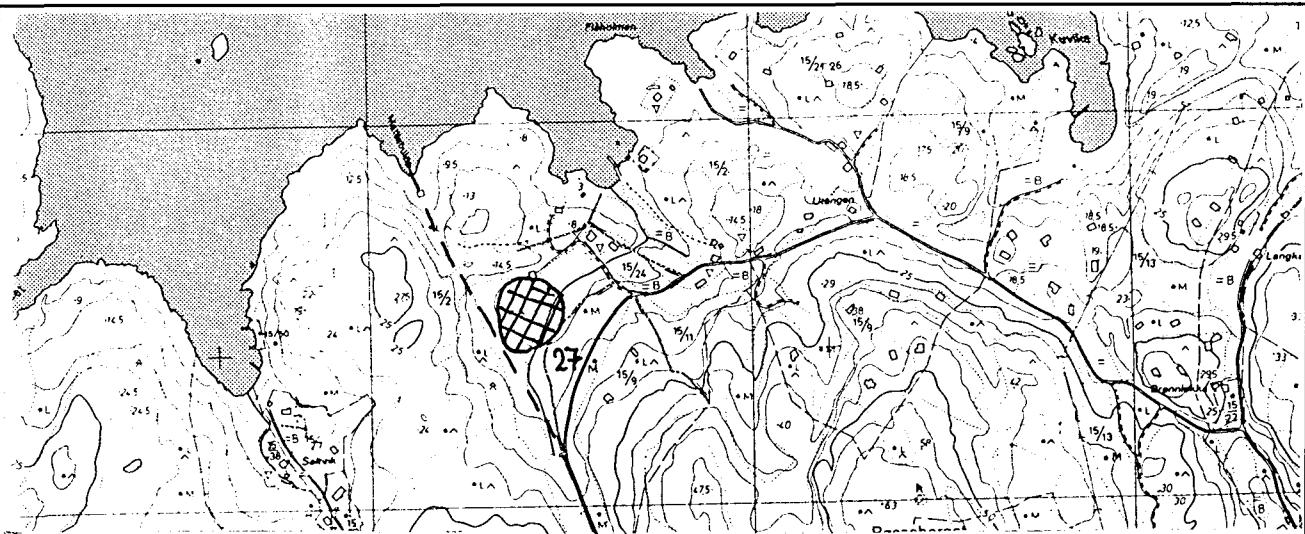
Stereoprojeksjon:

N = 16



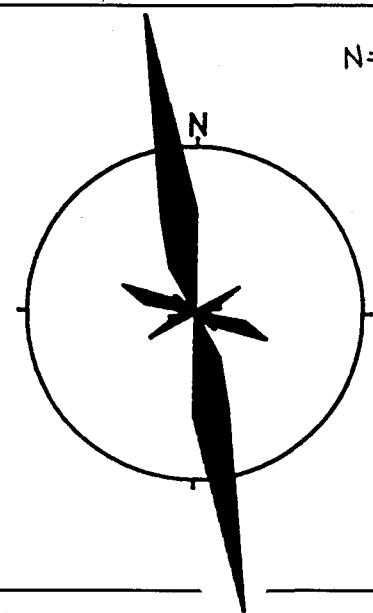
Kartutsnitt:

Område: 27



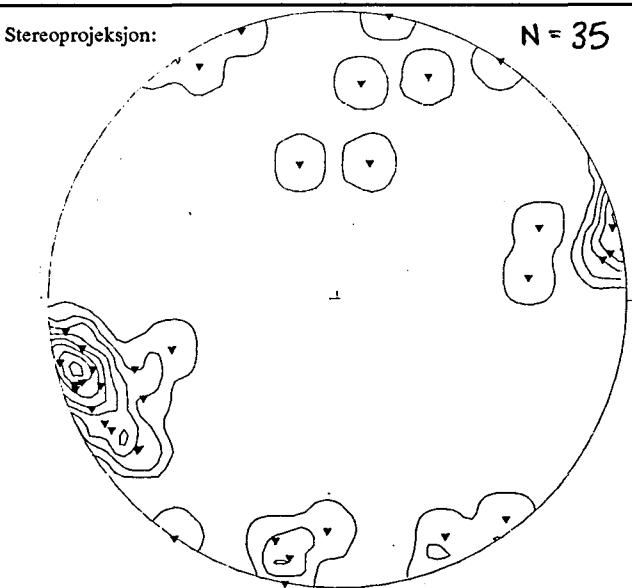
Område: 27

Rosediagram (Fall > 45°)



N=33

Delområde:

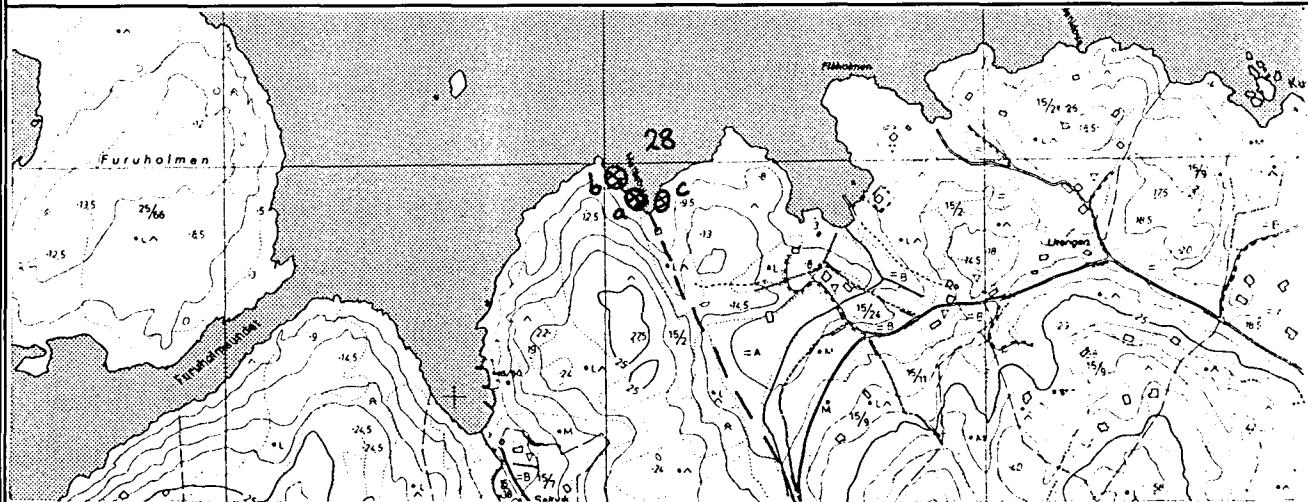


N = 35

Kommentarer:

Kartutsnitt:

Område: 28

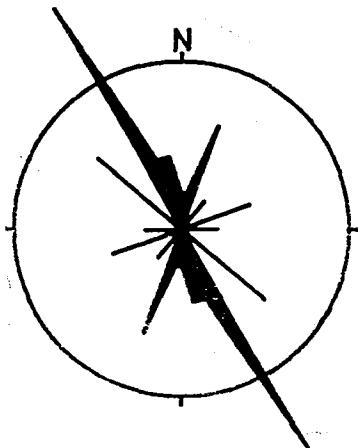


Område: 28

Delområde: 28a

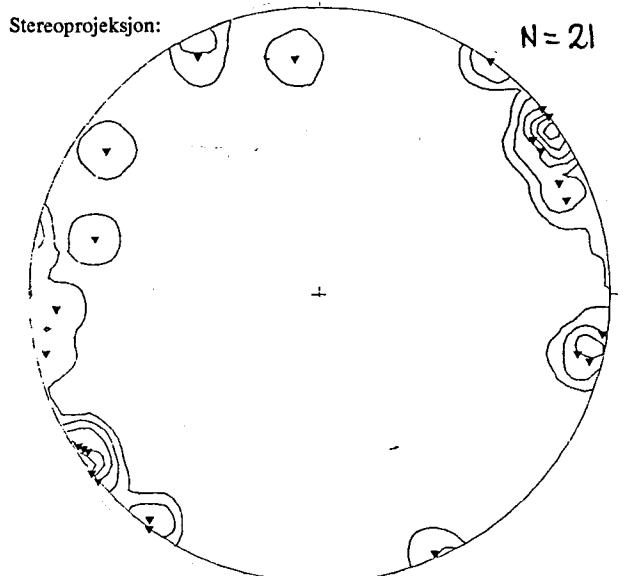
Rosediagram
(Fall > 45°)

N = 23



Stereoprojeksjon:

N = 21

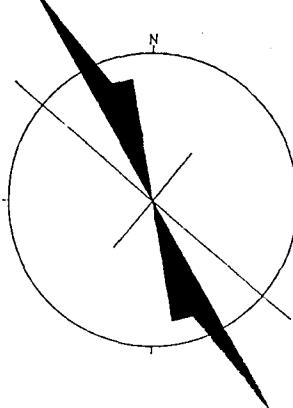


Område: 28

Delområde: 28b

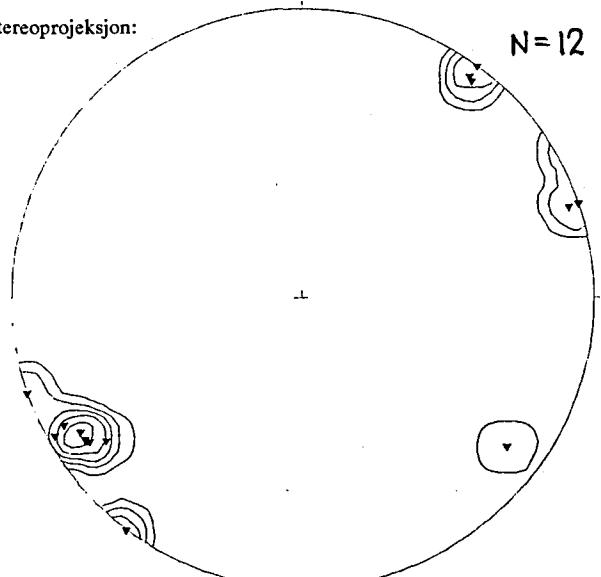
Rosediagram
(Fall > 45°)

N = 12



Stereoprojeksjon:

N = 12



Område: 28

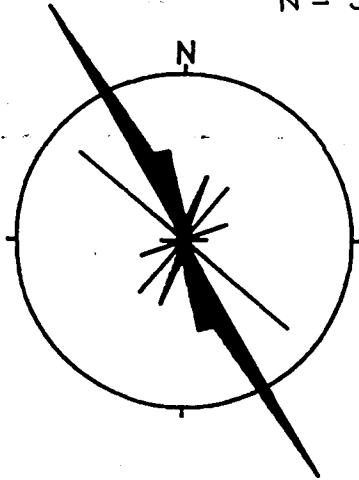
Biområde: 28c

Rosediagram
(Fall > 45°)

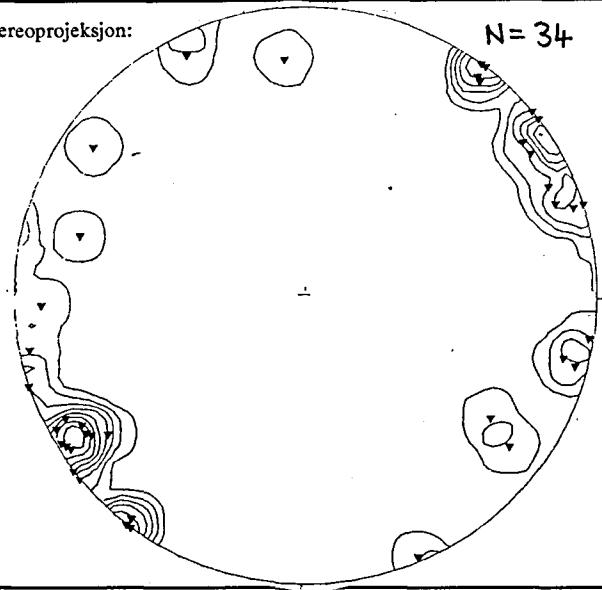
Stereoprojeksjon:

Område: 28

Biområde: 28 hele

Rosediagram
(Fall > 45°) $N = 37$ 

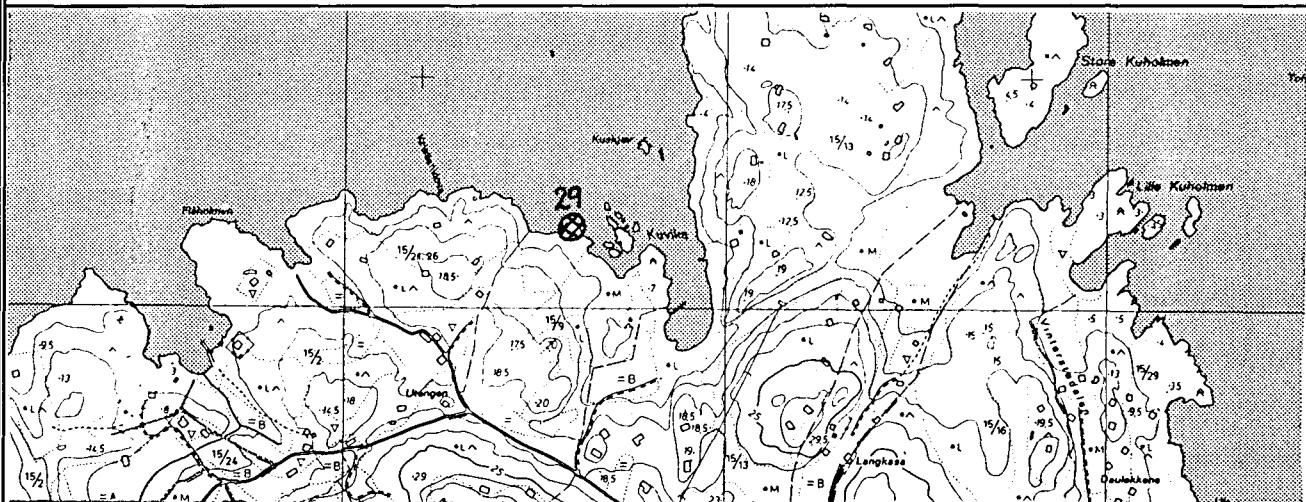
Stereoprojeksjon:

 $N = 34$ 

Kommentarer:

Kartutsnitt:

Område: 29

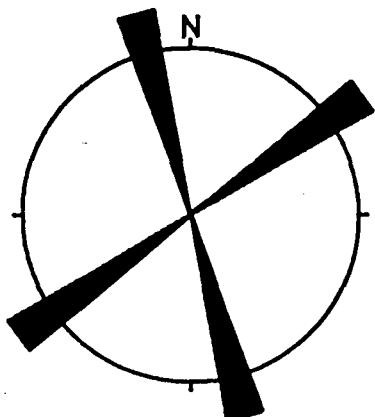


Område: 29

Delområde: 29 i gangen

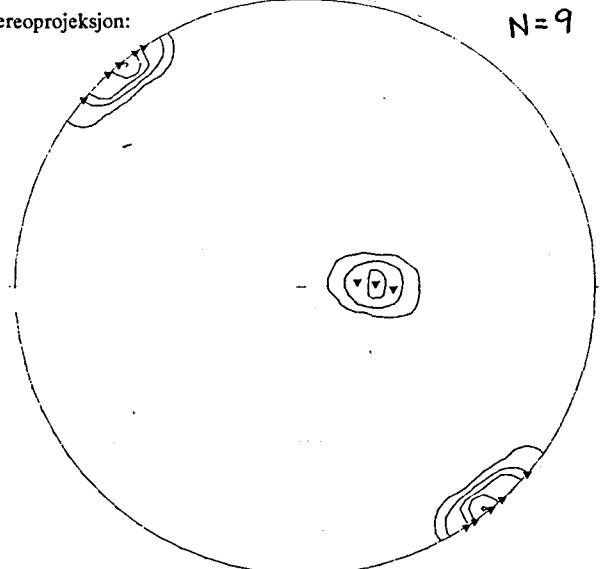
Rosediagram
(Fall > 45°)

N=12



Stereoprojeksjon:

N=9

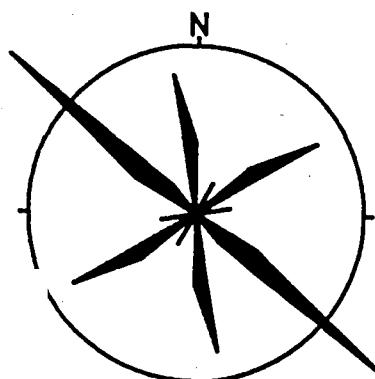


Område: 29

Delområde: 29 utenfor gangen (andre sprekker)

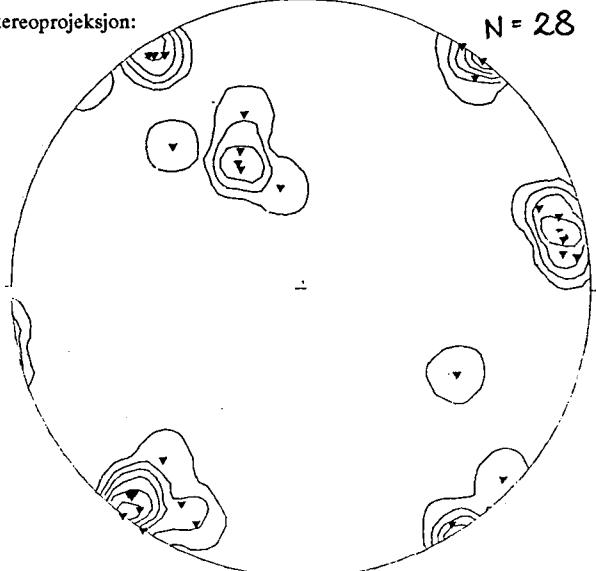
Rosediagram
(Fall > 45°)

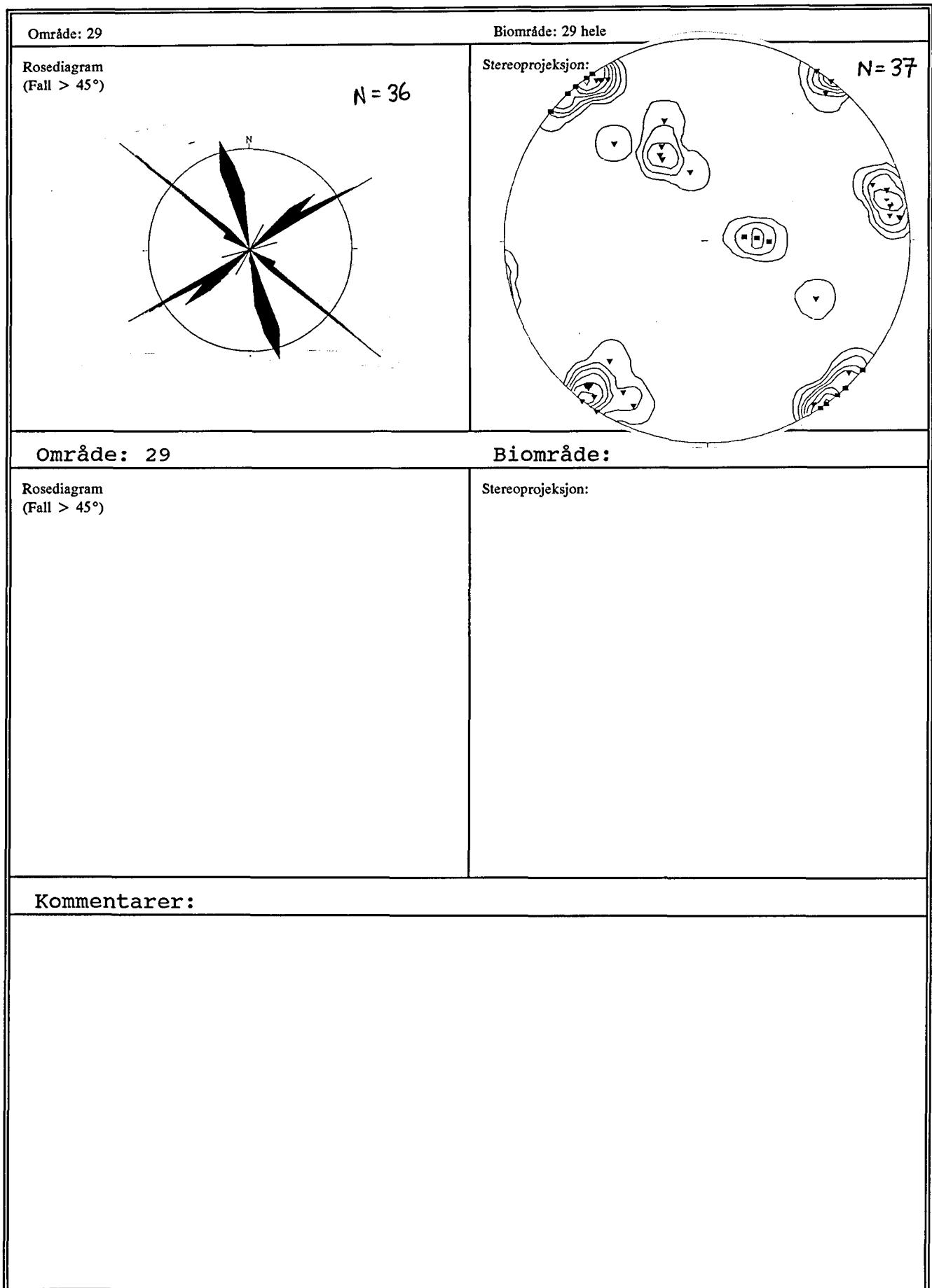
N=24



Stereoprojeksjon:

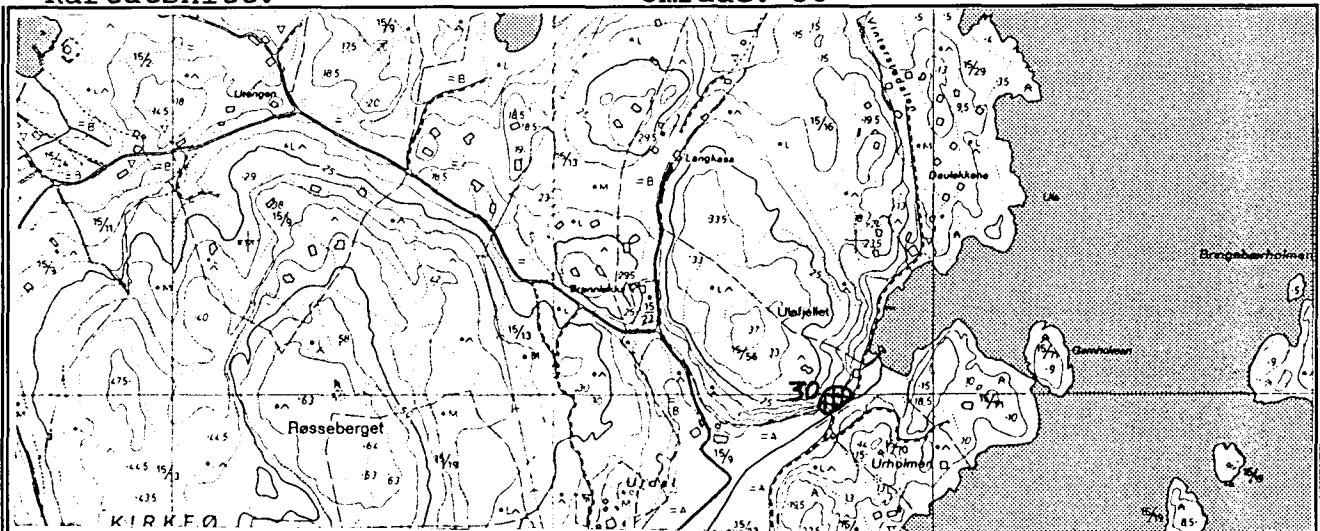
N=28





Kartutsnitt:

Område: 30

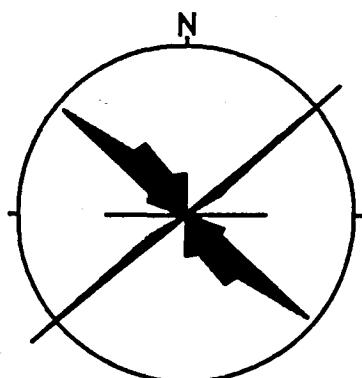


Område: 30

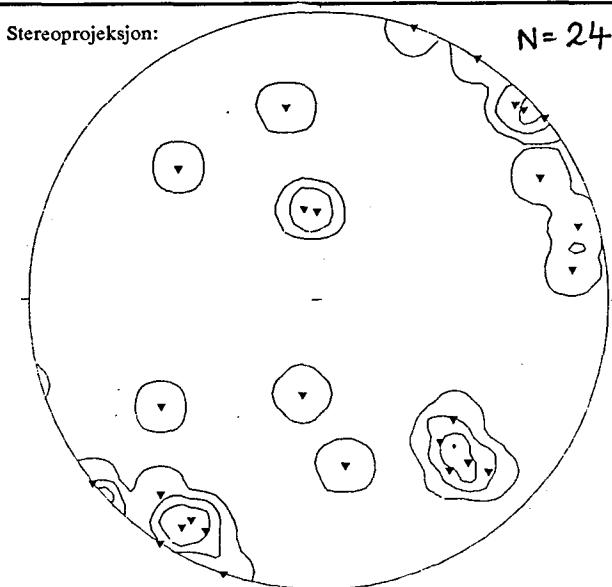
Delområde:

Rosediagram (Fall > 45°)

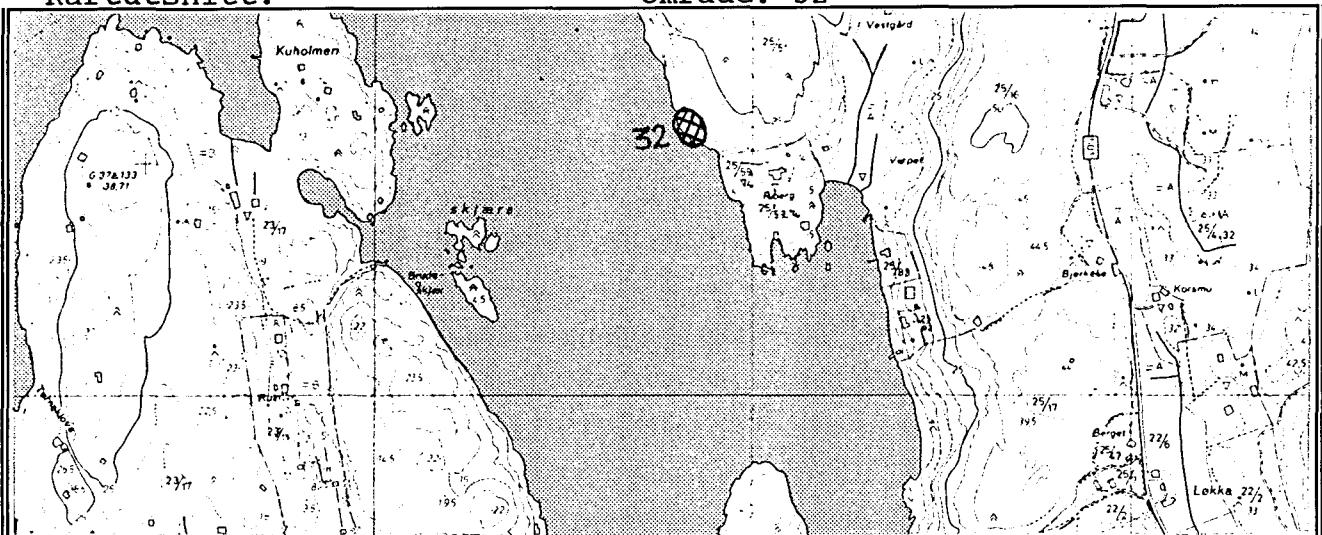
$$N = 21$$



N= 24

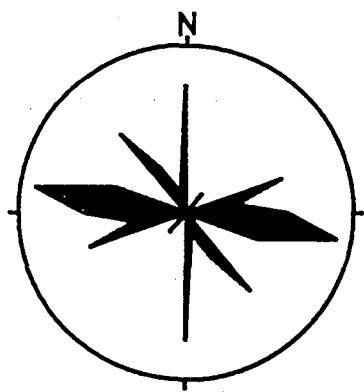


Kommentarer:

Kartutsnitt:**Område: 32****Område: 32**

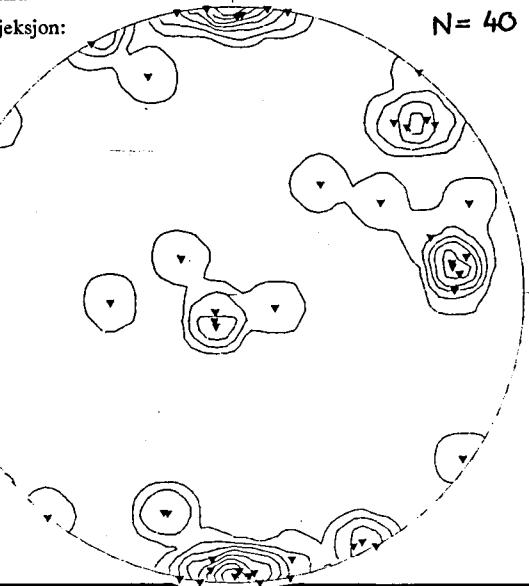
Rosediagram
(Fall > 45°)

N = 33

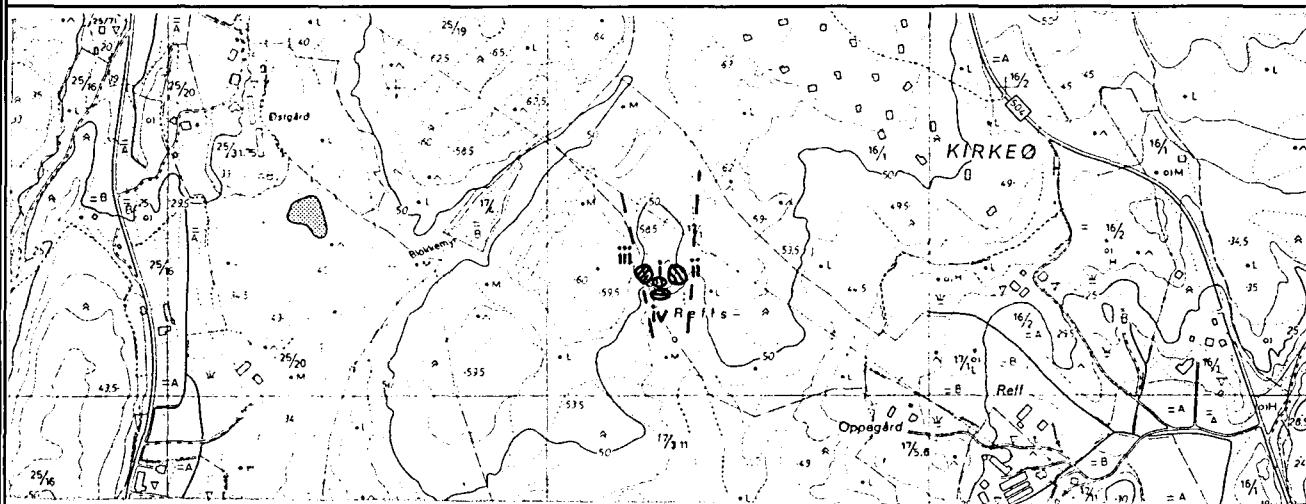
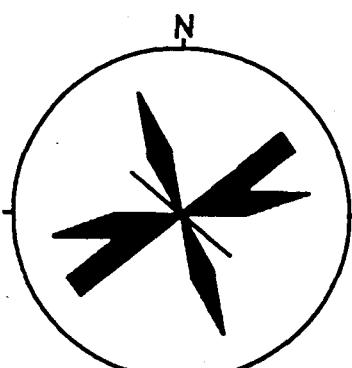
**Delområde:**

Stereoprojeksjon:

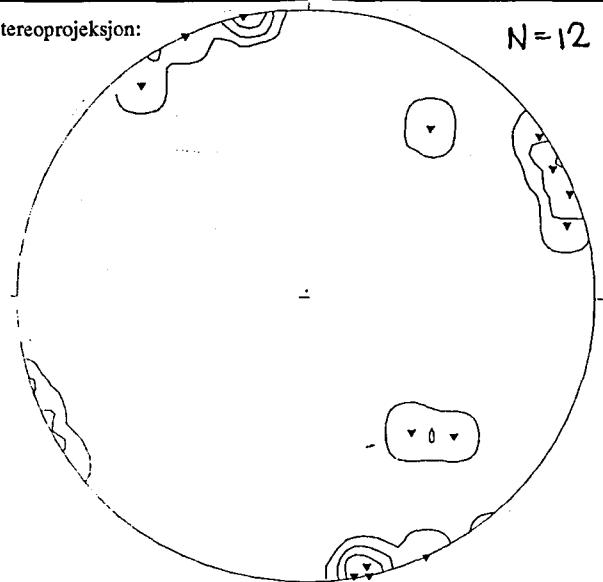
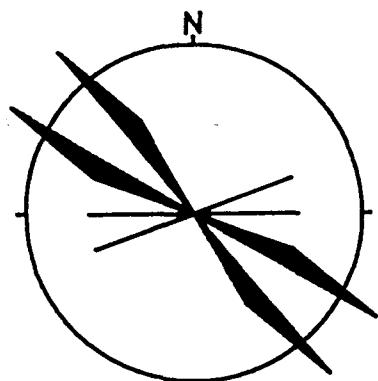
N = 40

**Kommentarer:**

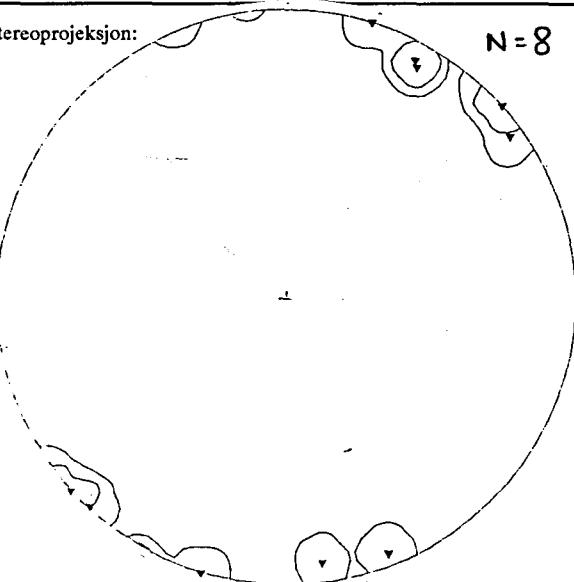
A large, empty rectangular box intended for comments or additional information.

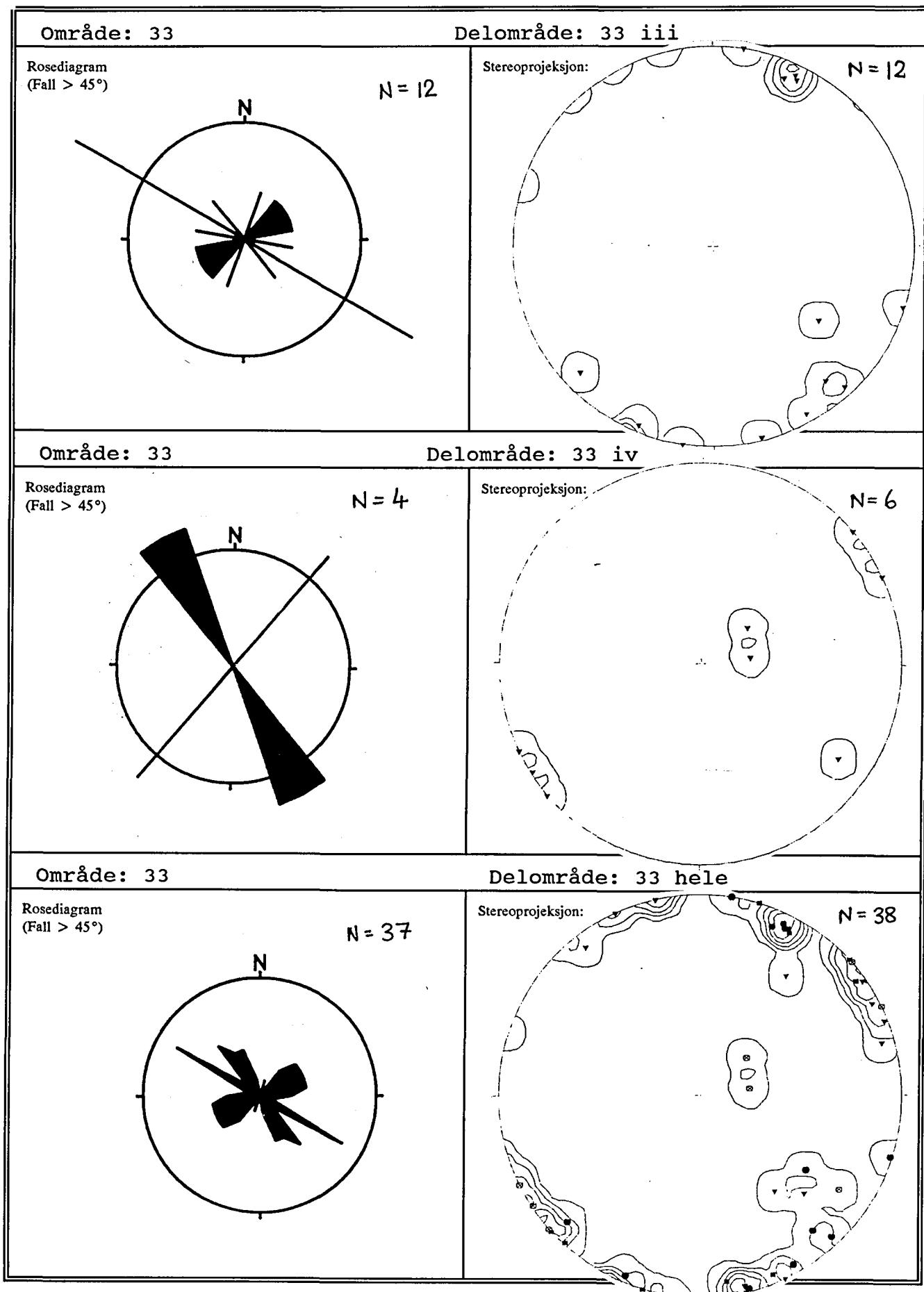
Kartutsnitt:**Område: 33****Område: 33****Delområde: 33 i**Rosediagram
(Fall > 45°)**N = 13**

Stereoprojeksjon:

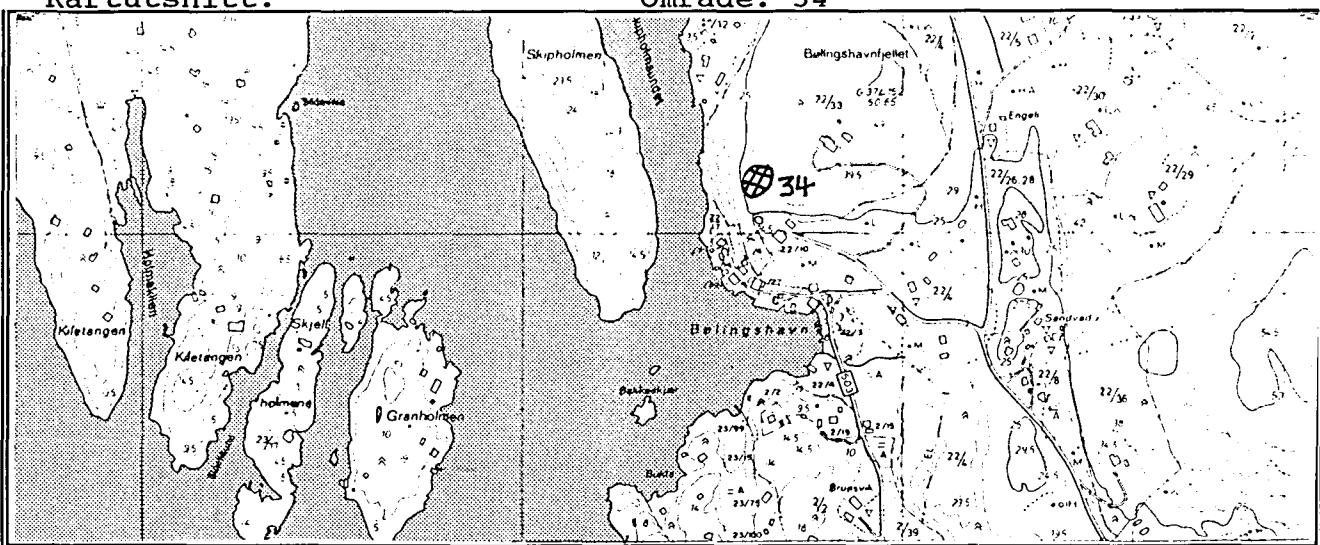
N = 12**Område: 33****Delområde: 33 ii**Rosediagram
(Fall > 45°)**N = 8**

Stereoprojeksjon:

N = 8



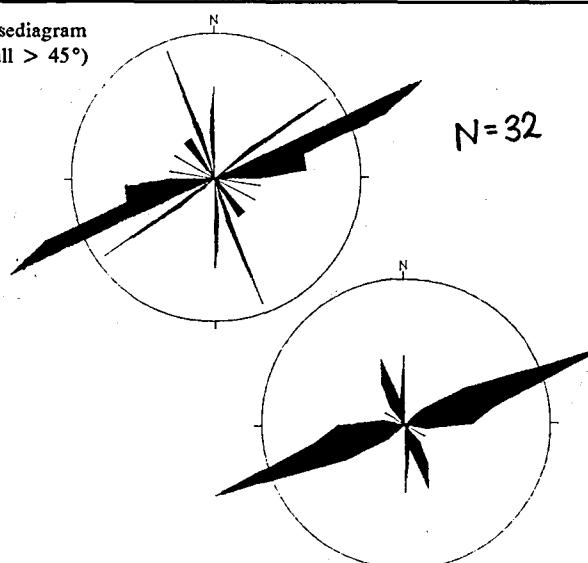
Kartutsnitt:



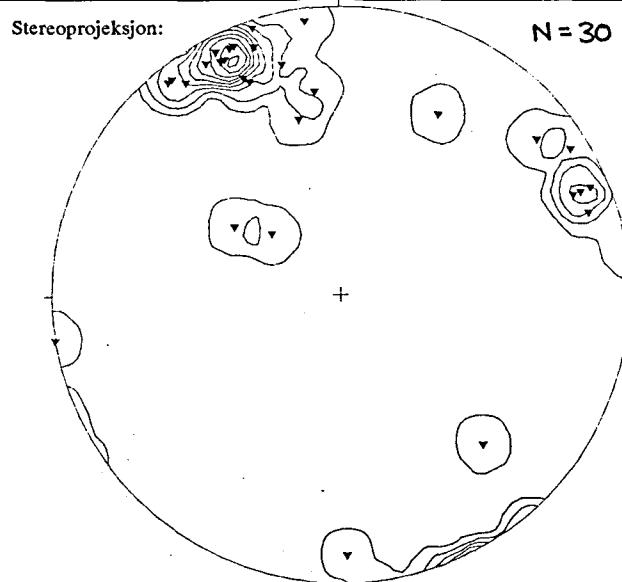
Område: 34

Område: 34

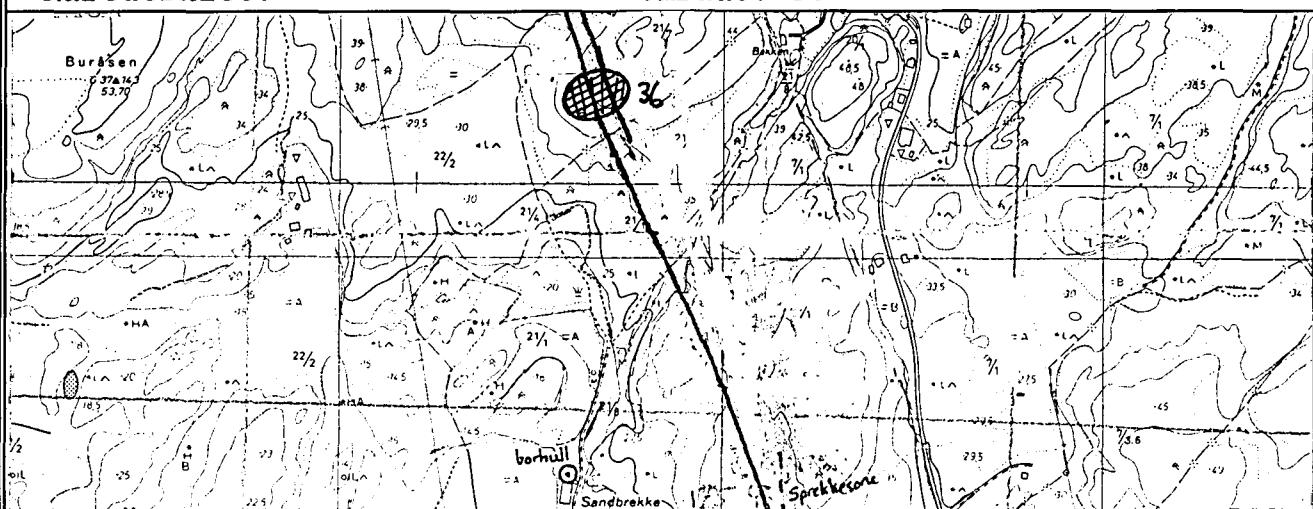
Rosediagram
(Fall > 45°)



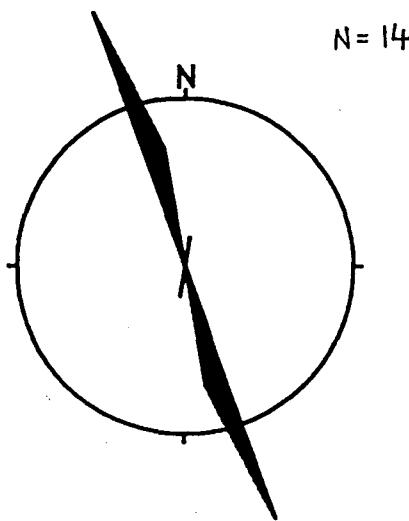
Delområde:



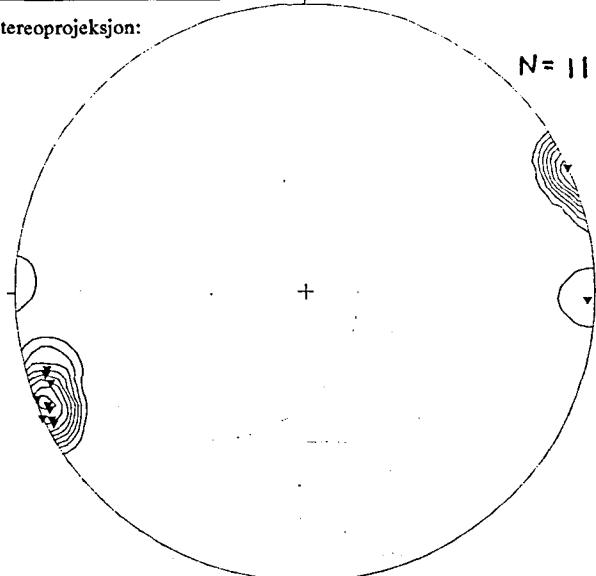
Kommentarer:

Kartutsnitt:**Område: 36****Område: 36****Delområde: 36 innenfor sprekkesonene**

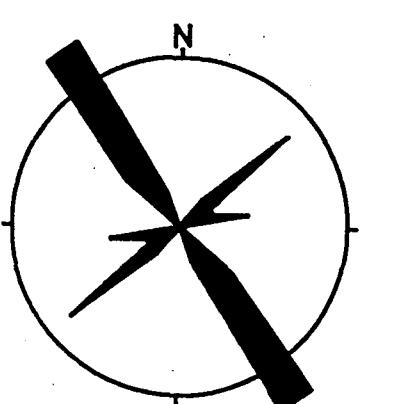
Rosediagram
(Fall > 45°)



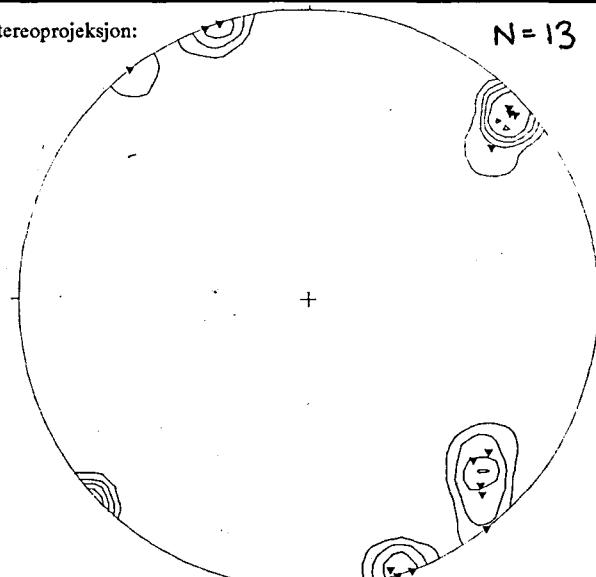
Stereoprojeksjon:

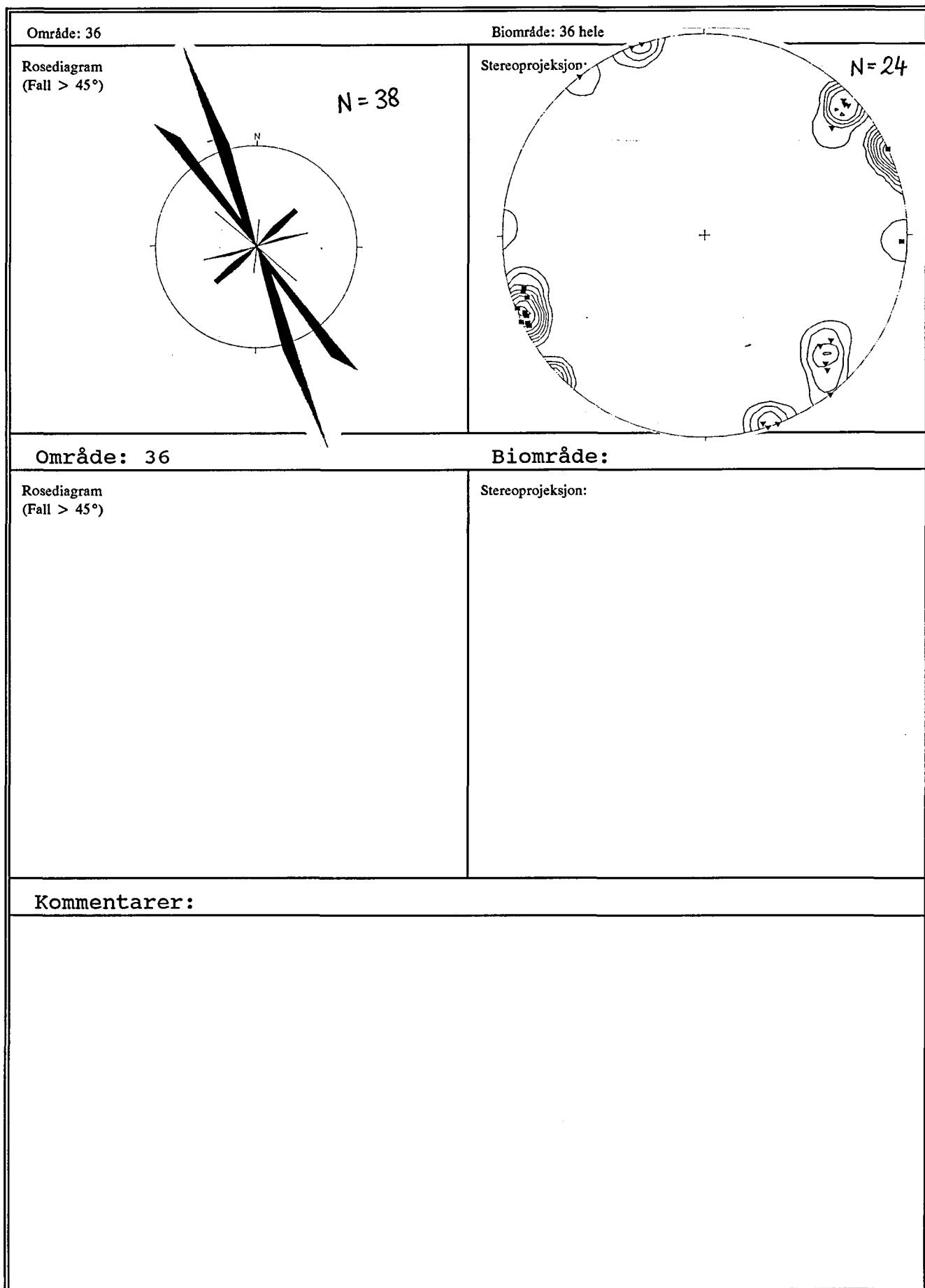
**Område: 36****Delområde: 36 utenfor sprekkesonene**

Rosediagram
(Fall > 45°)



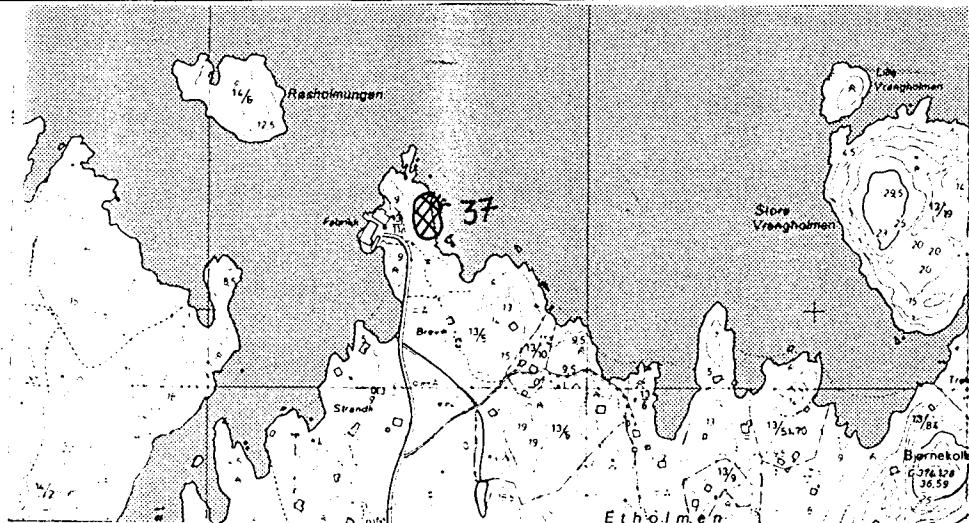
Stereoprojeksjon:





Kartutsnitt:

Område: 37

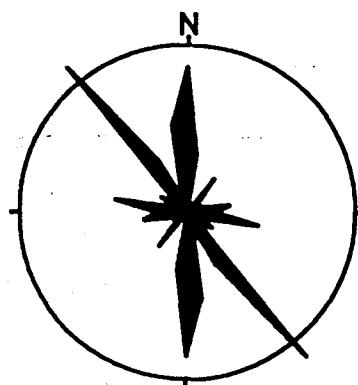


Område: 37

Delområde:

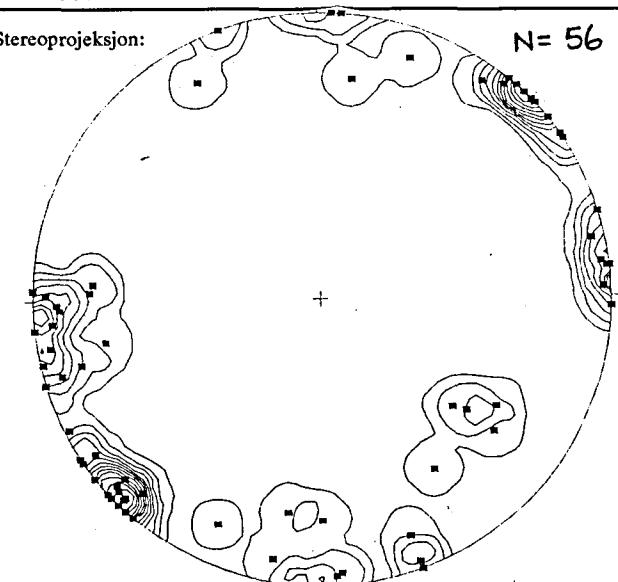
Rosediagram
(Fall > 45°)

N = 58



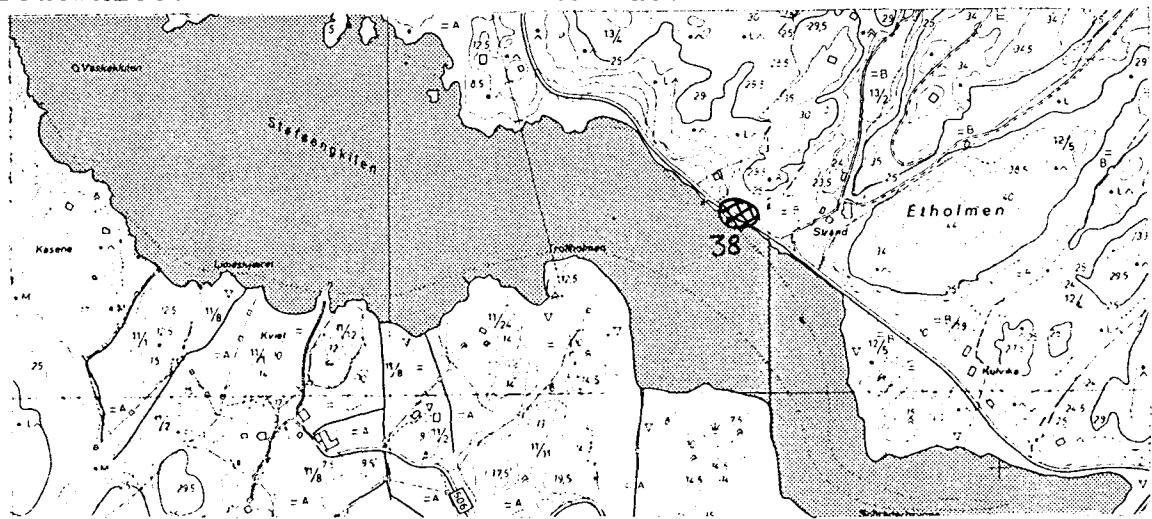
Stereoprojeksjon:

N = 56



Kommentarer:

Kartutsnitt:

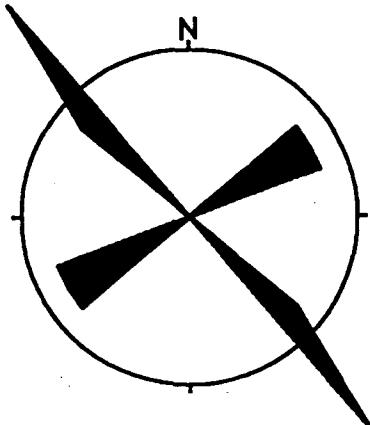


Område: 38

Område: 38

Rosediagram
(Fall > 45°)

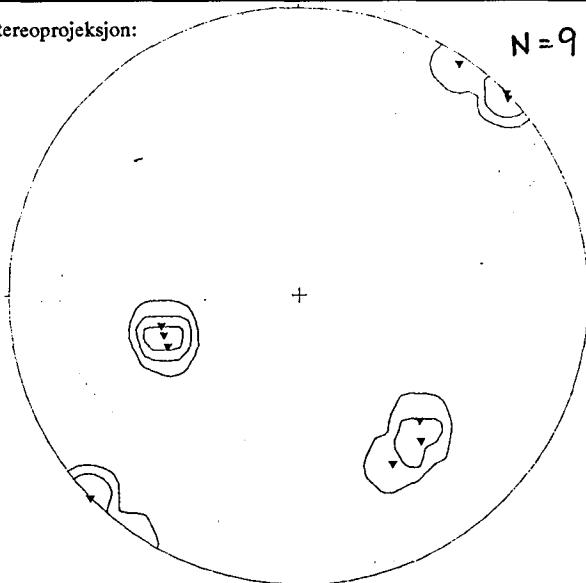
N = 6



Delområde:

Stereoprojeksjon:

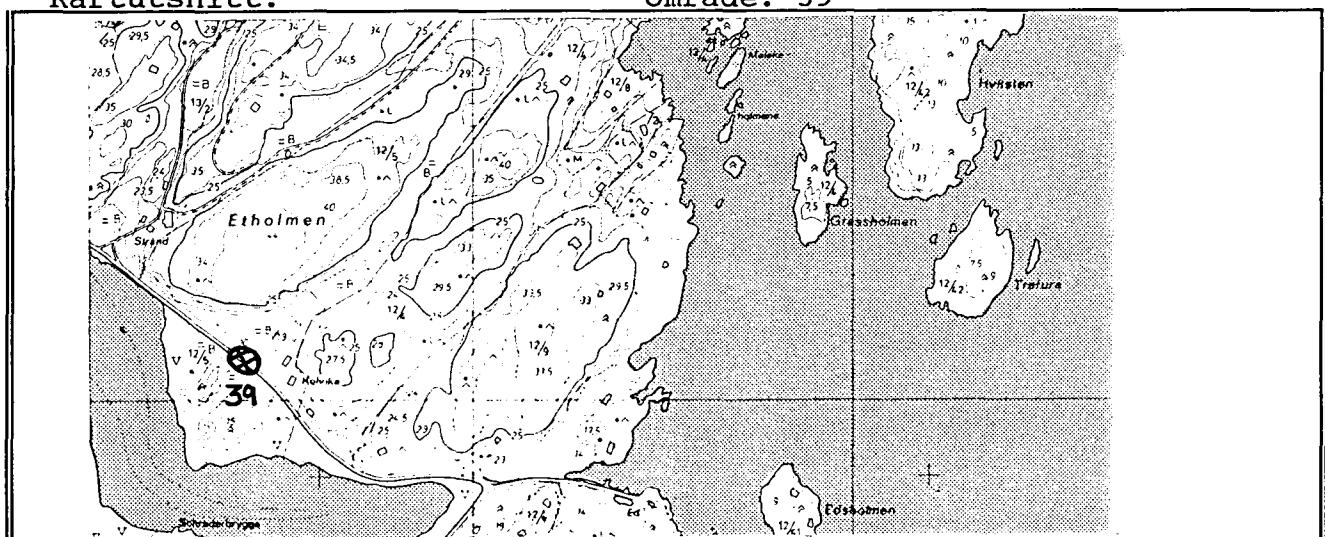
N = 9



Kommentarer:

Kartutsnitt:

Område: 39



Område: 39

Delområde:

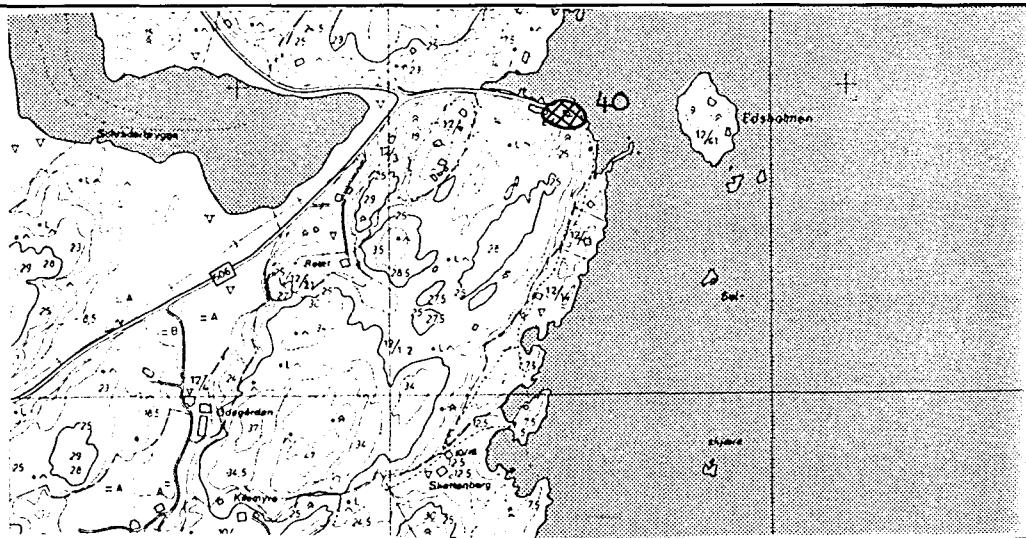
Rosediagram
(Fall > 45°)

Stereoprojeksjon:

Kommentarer:

Kartutsnitt:

Område: 40

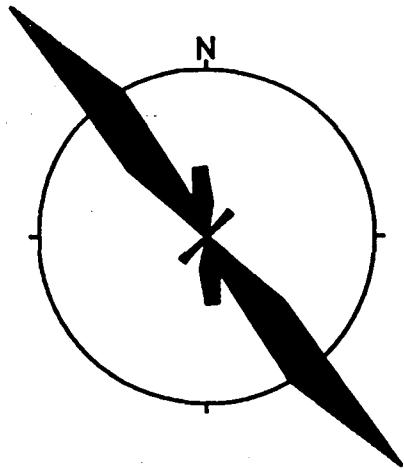


Område: 40

Delområde:

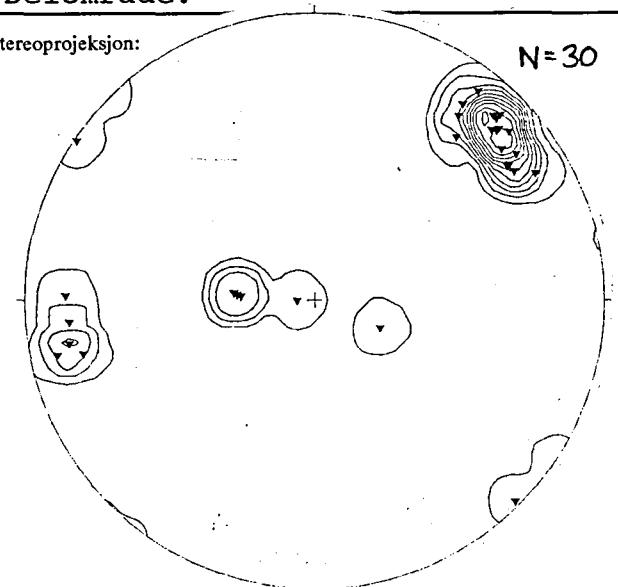
Rosediagram
(Fall > 45°)

N=25



Stereoprojeksjon:

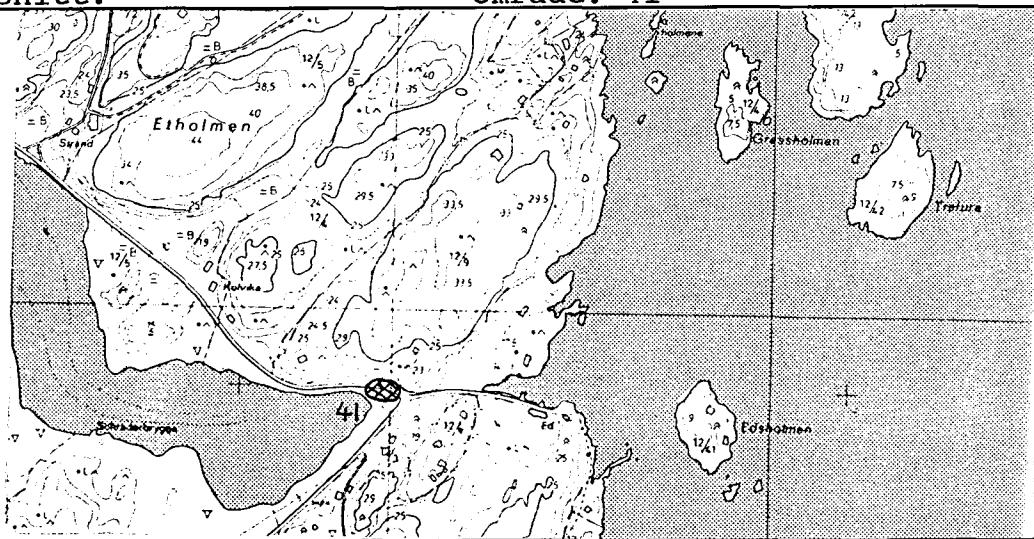
N=30



Kommentarer:

Kartutsnitt:

Område: 41

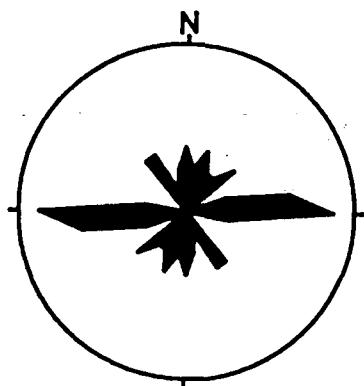


Område: 41

Delområde:

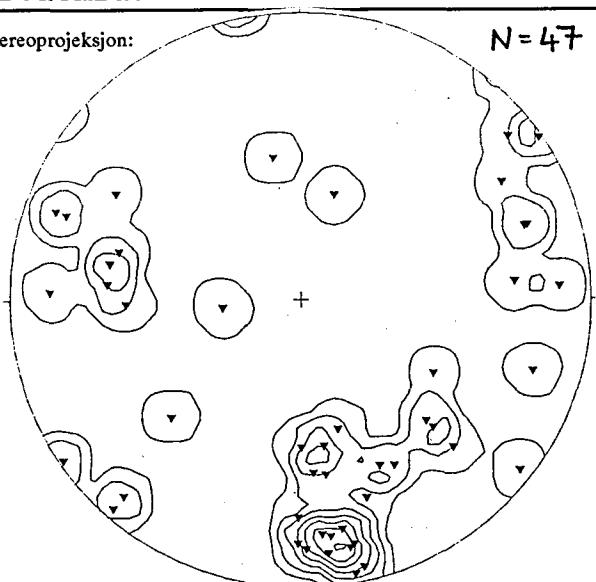
Rosediagram
(Fall > 45°)

N = 40



Stereoprojeksjon:

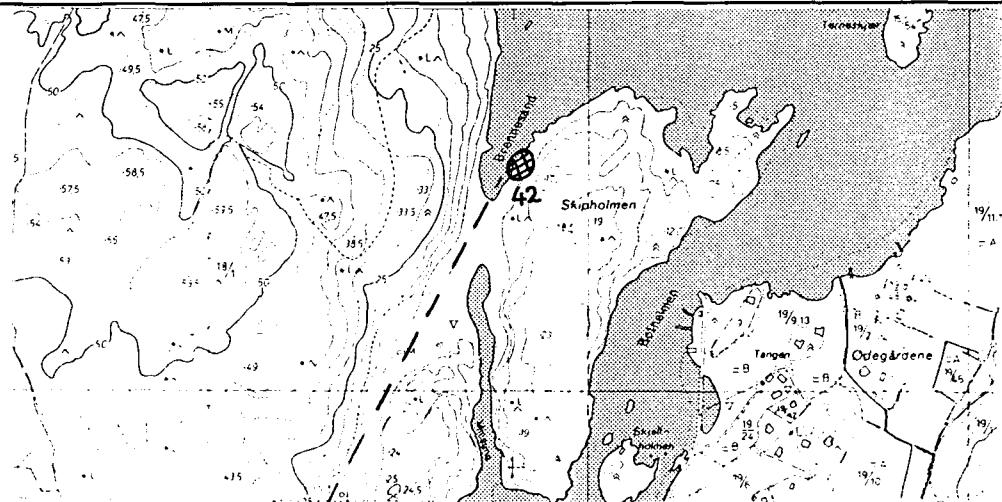
N = 47



Kommentarer:

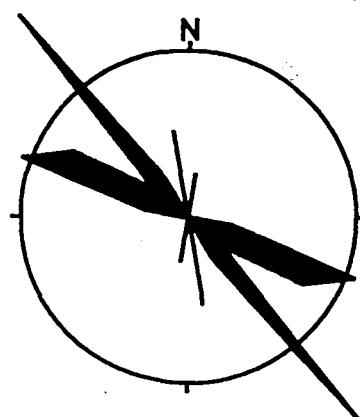
Kartutsnitt:

Område: 42

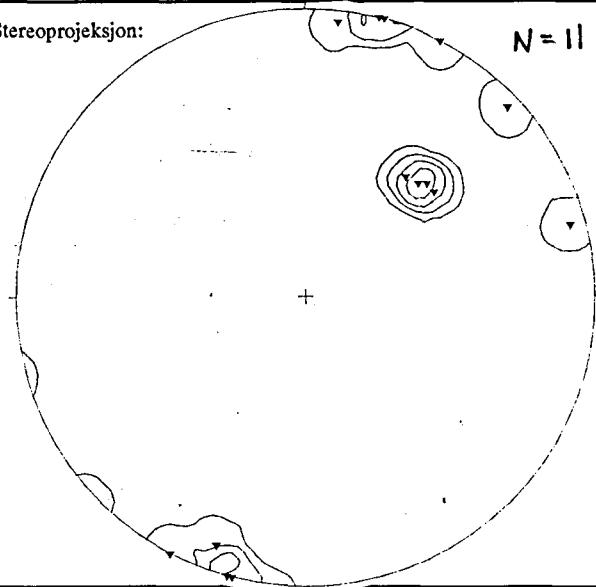


Område: 42

Delområde: 42 strand

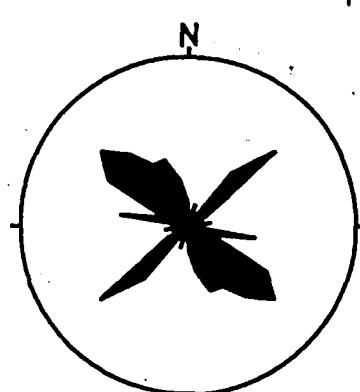
Rosediagram
(Fall > 45°)

Stereoprojeksjon:

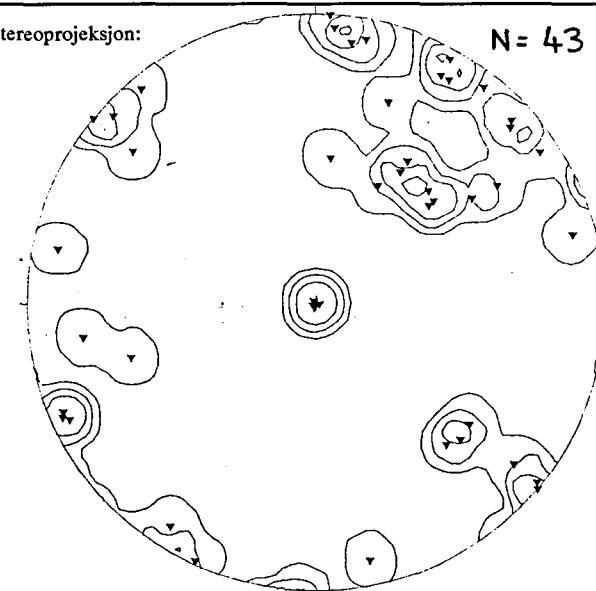


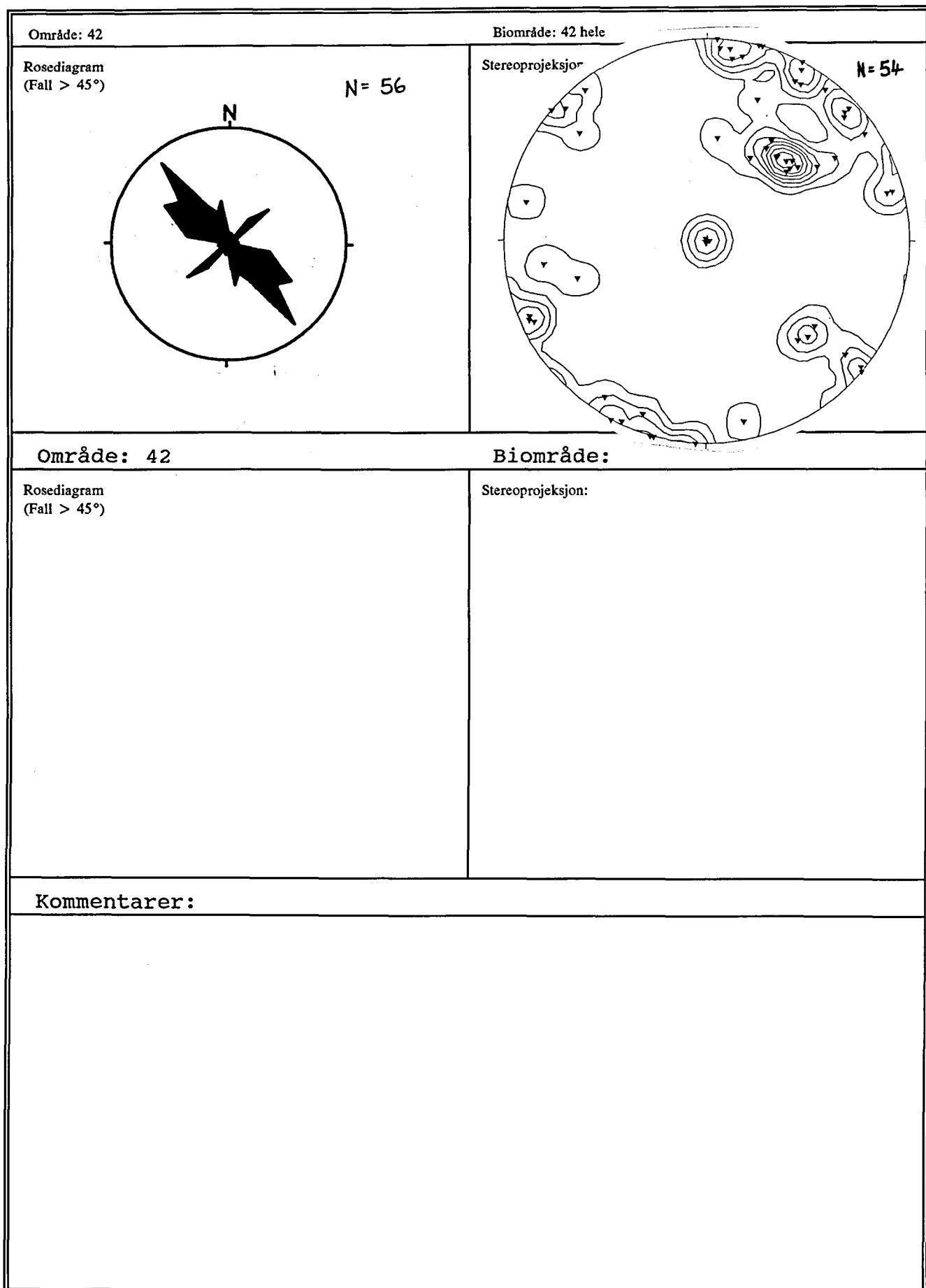
Område: 42

Delområde: 42 fjellskrent

Rosediagram
(Fall > 45°)

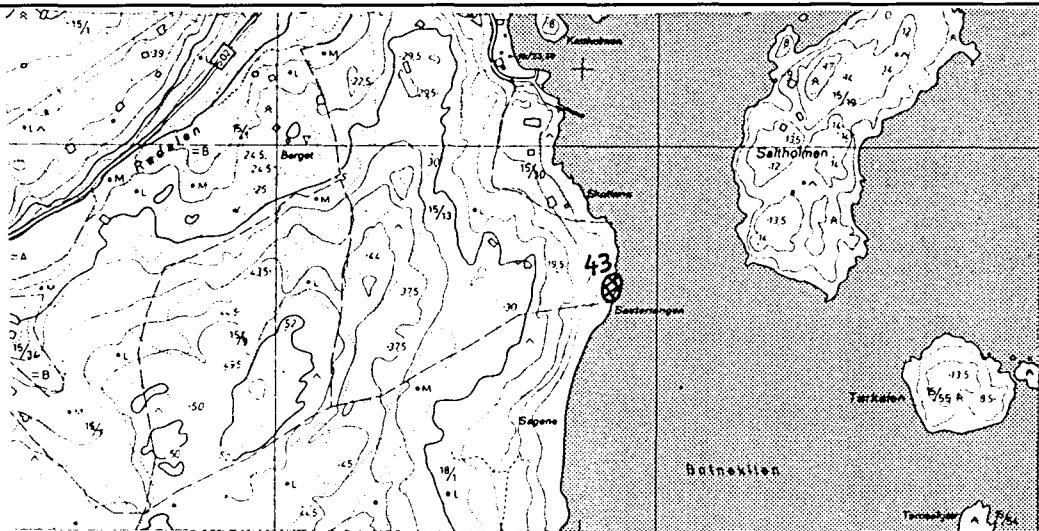
Stereoprojeksjon:





Kartutsnitt:

Område: 43

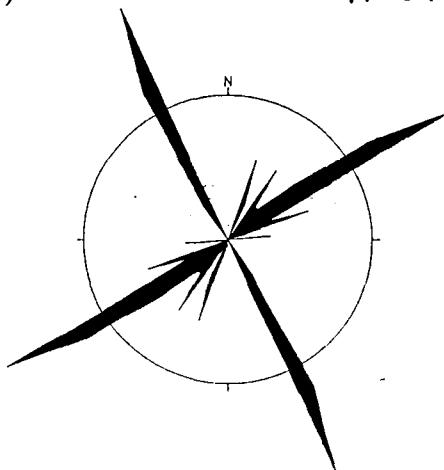


Område: 43

Delområde:

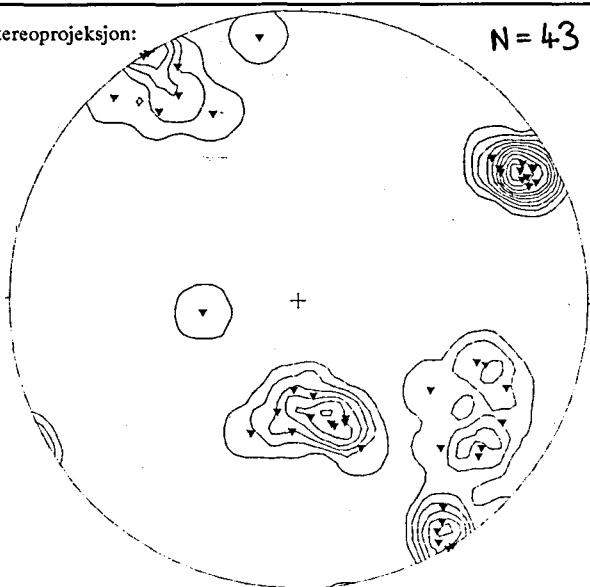
Rosediagram
(Fall > 45°)

N = 34



Stereoprojeksjon:

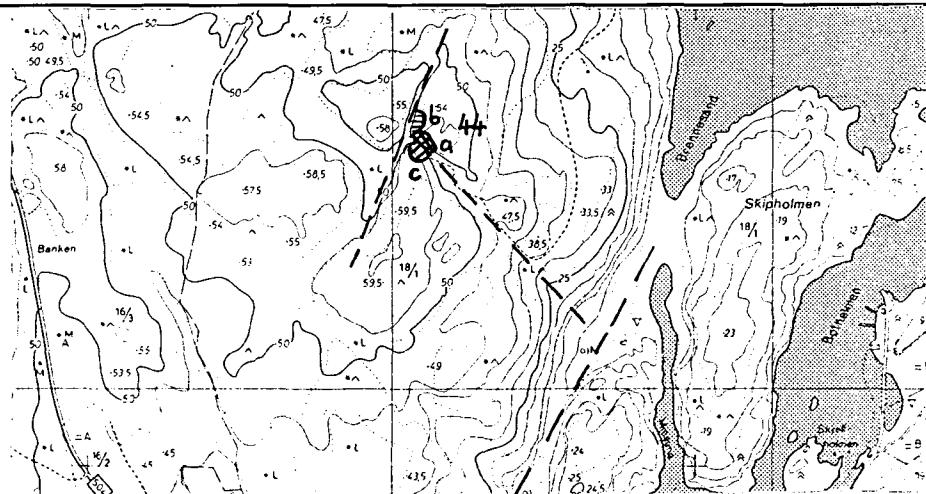
N = 43



Kommentarer:

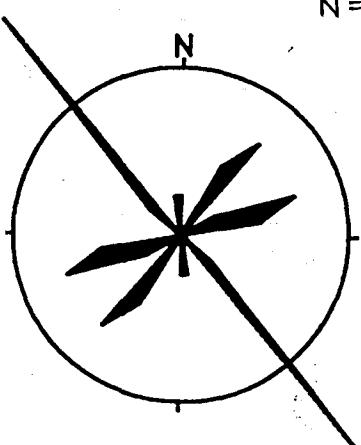
Kartutsnitt:

Område: 44

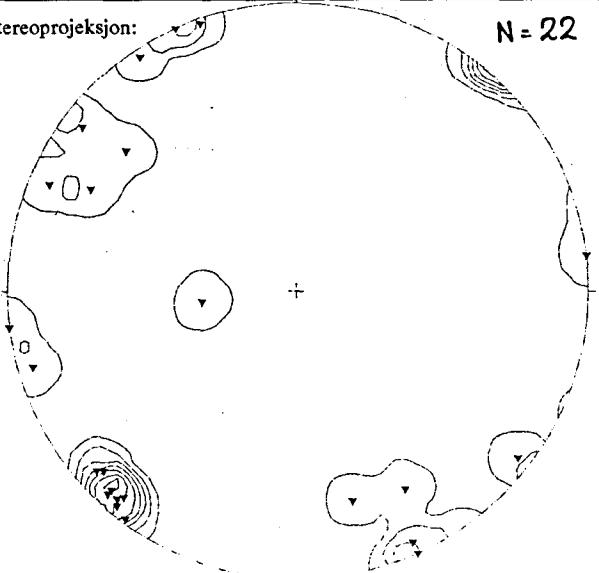


Område: 44

Delområde: 44 a

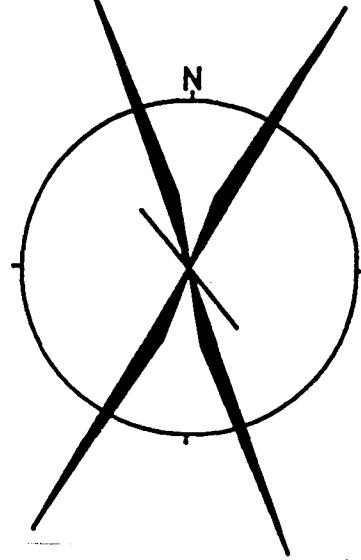
Rosediagram
(Fall > 45°)

Stereoprojeksjon:

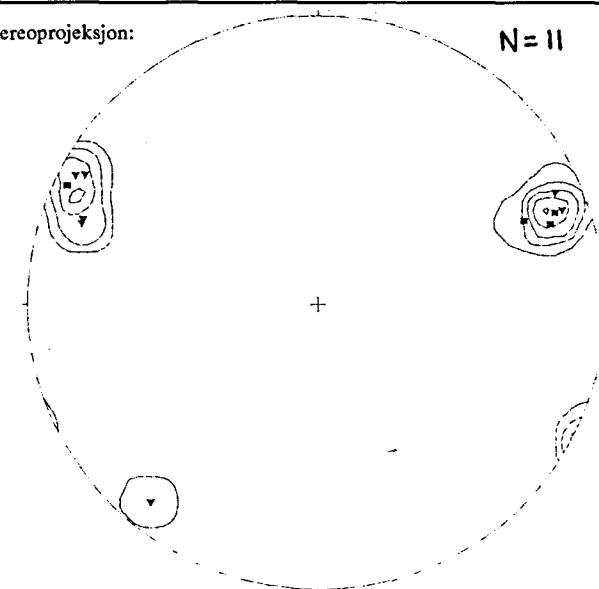


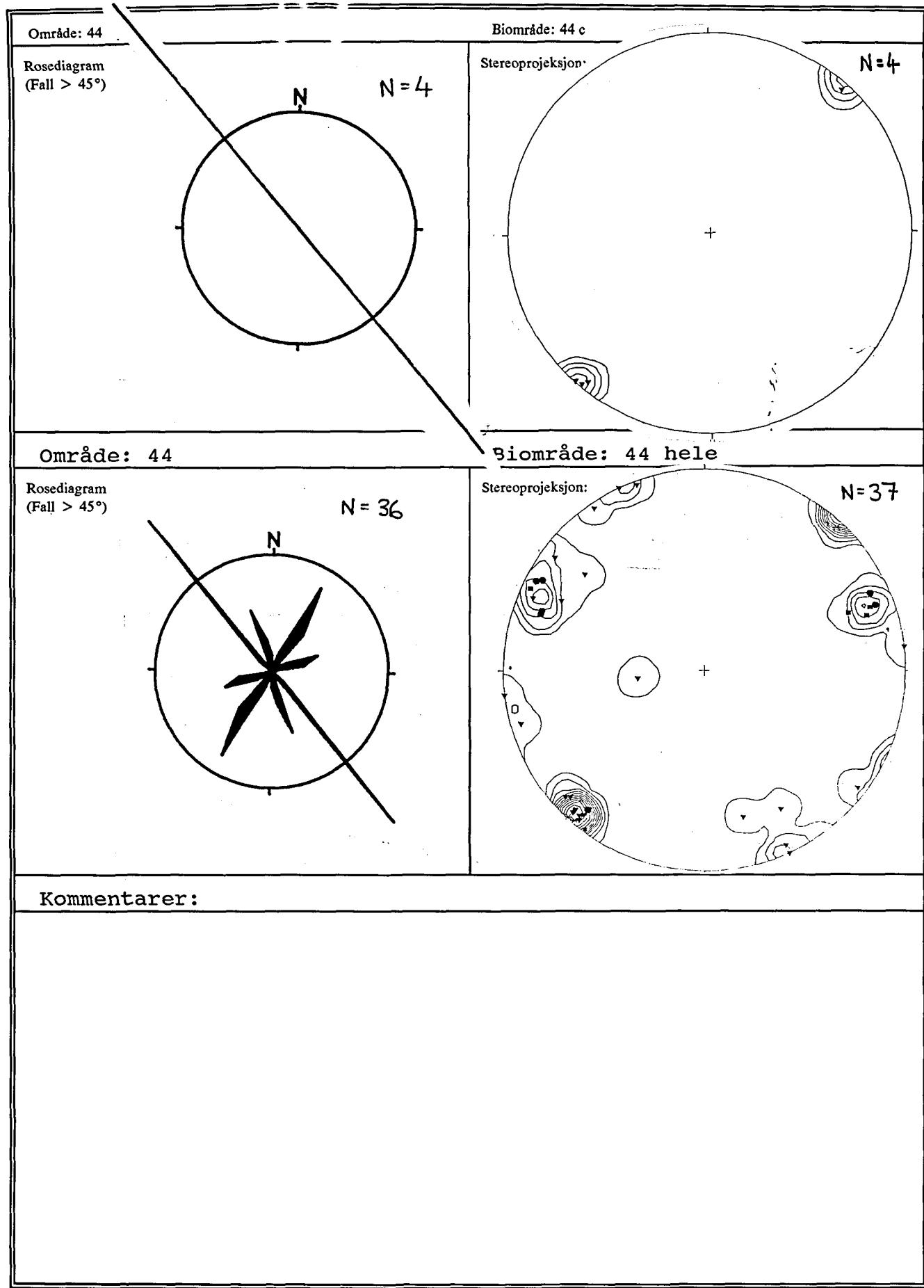
Område: 44

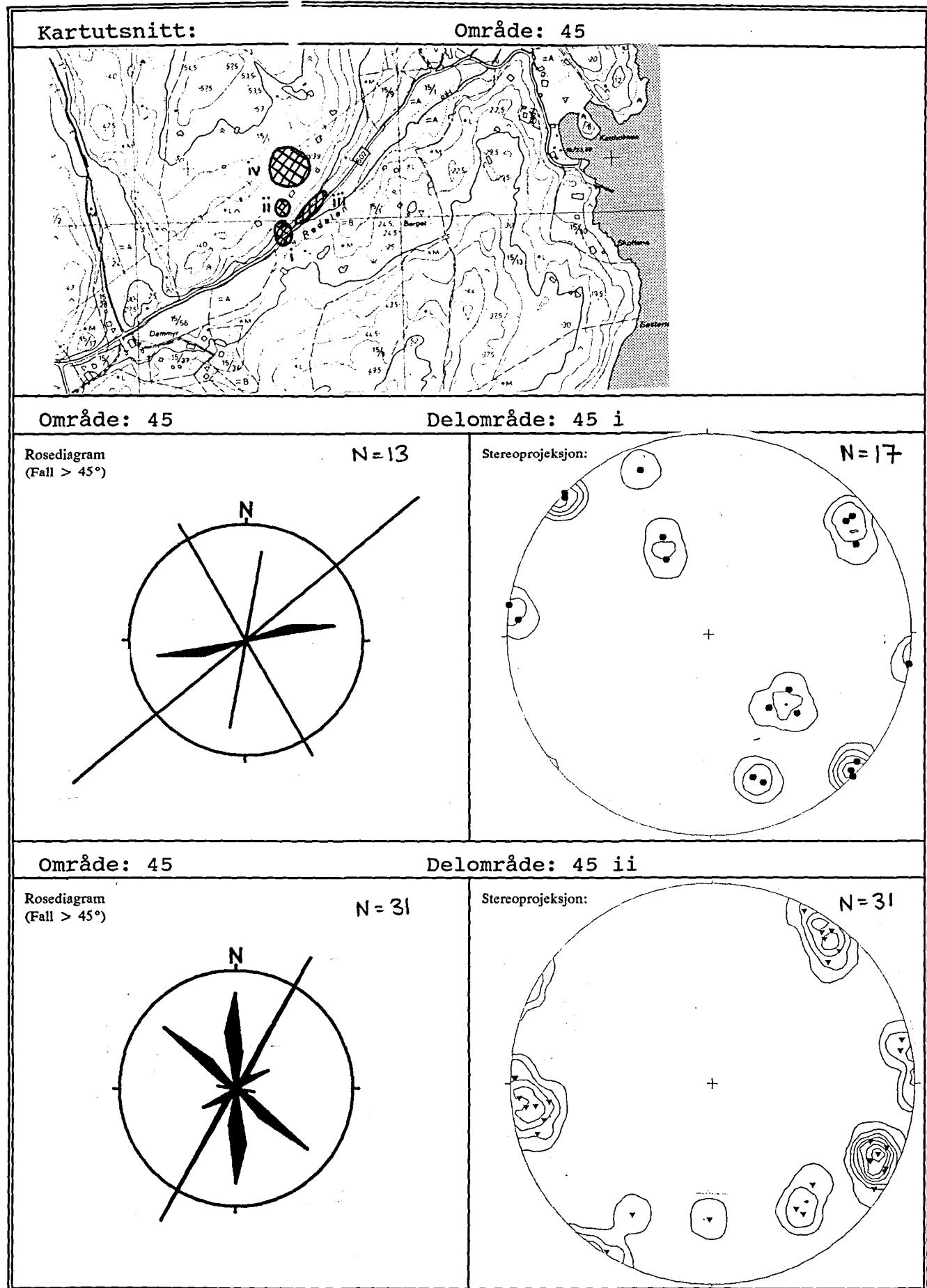
Delområde: 44 b

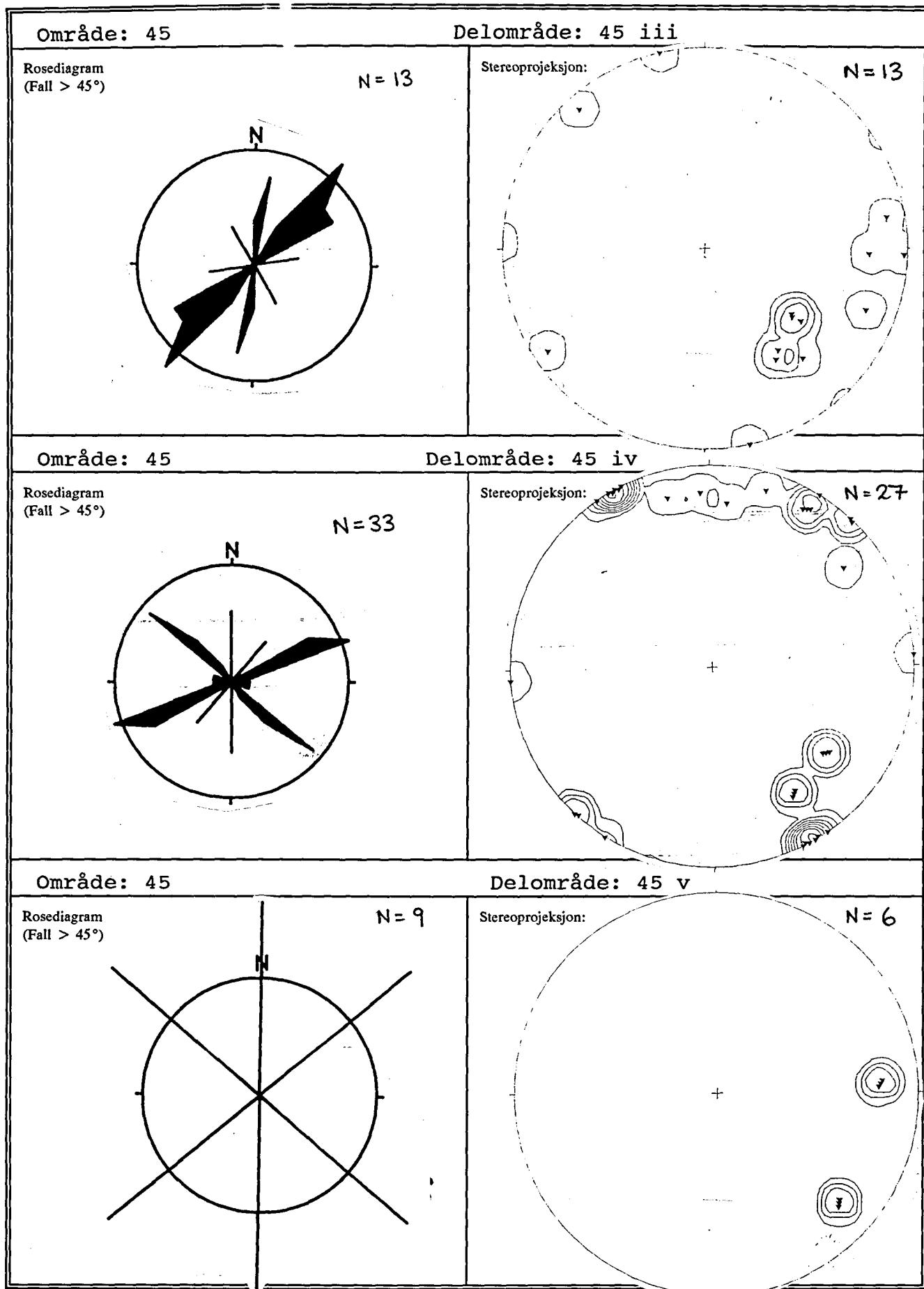
Rosediagram
(Fall > 45°)

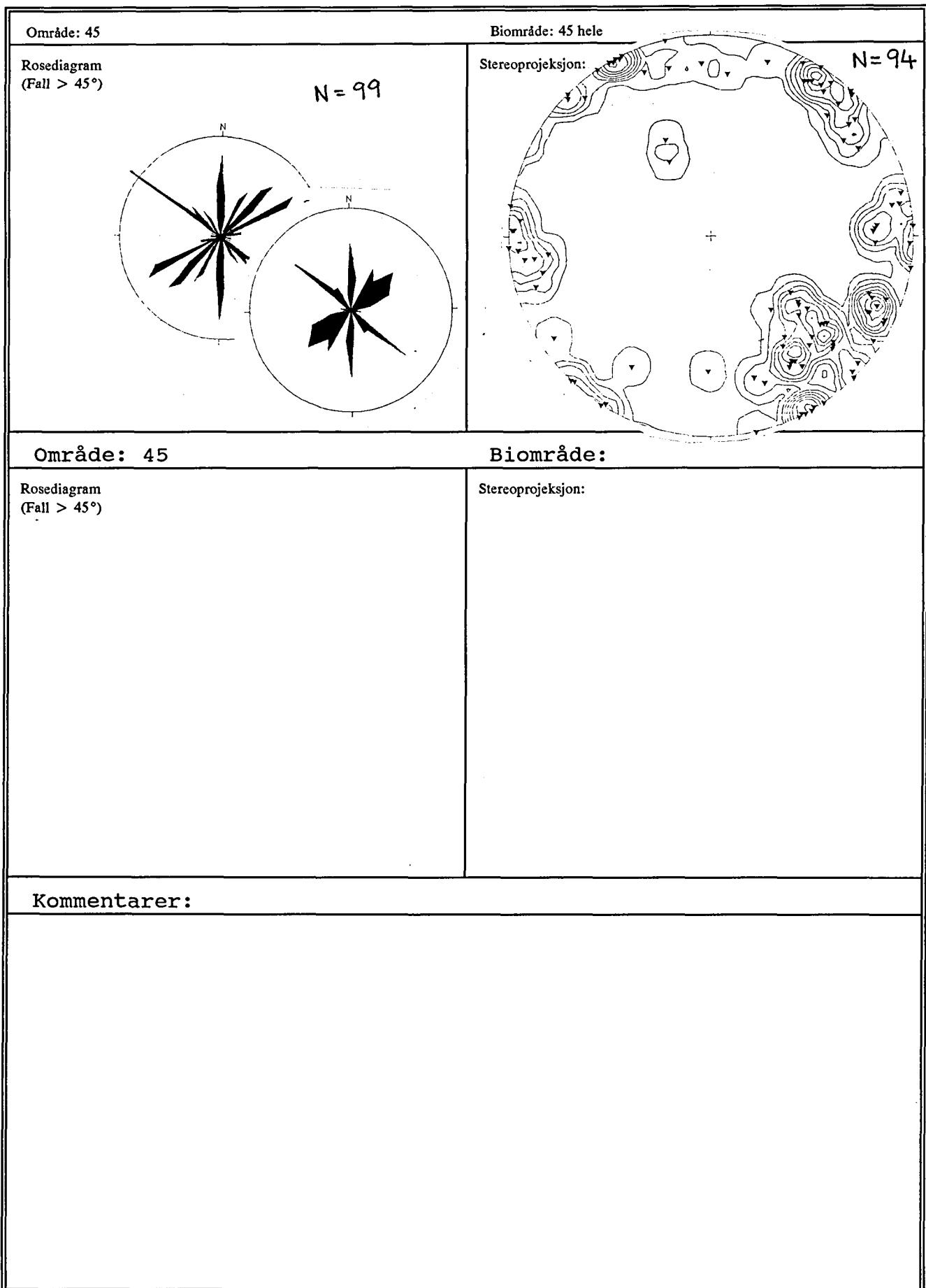
Stereoprojeksjon:











Vedlegg 4: Kart som viser lokaliseringen av områder 9-54 på Kirkeøy

Sirkler viser lokaliteter hvor sprekkemålinger inngår i denne rapporten (Vedlegg 3).

Stjerner viser andre nevnte lokaliteter.

