

NGU-rapport 85.229.
Landsat TM-data anvendt innenfor
geologisk strukturkartlegging.



Norges geologiske undersøkelse

Leiv Eirikssons vei 39, Postboks 3006, 7001 Trondheim - Tlf. (07) 92 16 11
Oslokontor, Drammensveien 230, Oslo 2 - Tlf. (02) 55 31 65

Rapport nr. 85.229	ISSN 0800-3416	Åpen/Fortryk	
Tittel: Landsat TM-data anvendt innenfor geologisk strukturkartlegging			
Forfatter: Bjørn Rindstad Arne Grønlie Victor Nielsen		Oppdragsgiver:	
Fylke: Sør-Trøndelag/ Nord-Trøndelag		Kommune:	
Kartbladnavn (M. 1:250 000) Namsos, Trondheim		Kartbladnr. og -navn (M. 1:50 000)	
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 27	Pris: kr. 70,-
		Kartbilag:	
Feltarbeid utført: Juni 1985	Rapportdato: 17. des. 1985	Prosjektnr.: 5322.02	Prosjektleder: Bjørn Rindstad
Sammendrag: <p>Rapporten omtaler et samarbeidsprosjekt mellom NGU og Tromsø Telemetristasjon innen satellittfjernmåling. Data fra Thematic Mapper (TM) instrumentet ombord på Landsat 5 er anvendt i en lineamentstudie av to områder på Fosen-halvøya samt et område ved Verdal.</p> <p>Prosjektet har lagt stor vekt på å nyttiggjøre seg dataene fullt ut gjennom behandling på et større anlegg for digital bildebehandling, IIS modell 75, ved Tromsø Telemetristasjon. Forskjellige metoder er testet og en standard prosedyre foreslås. Tolkningen av lineære strukturer har skjedd fra grafisk skjerm. Videre behandling av lineamentene er gjort v.h.a. et programsystem utviklet ved NGU. Retningsdiagram er fremstilt og knyttet til berggrunnsgeologien.</p>			
Emneord	EDB	Strukturgeologi	
	Fjernanalyse	Rapport	

Hydrogeologiske rapporter kan lånes eller kjøpes fra Oslokontoret, mens de øvrige rapportene kan lånes eller kjøpes fra NGU, Trondheim.

INNHold

1.	Innledning	side	4
2.	Landsat og Thematic Mapper	"	6
2.1	Generelt	"	6
2.2	TM-instrumentet	"	6
2.3	Vurdering av TM-kanalene	"	7
3.	Digital bildebehandling	"	8
3.1	Tromsø Telemetristasjon	"	8
3.2	Datakvalitet	"	9
3.3	Digital bildebehandling	"	9
3.4	Resultater	"	11
4.	Strukturgeologi	"	11
4.1	Innledning	"	11
4.2	Vikna-området	"	12
4.3	Roan-området	"	13
4.4	Verdal-området	"	14
4.5	Resultater	"	15
5.	Konklusjon	"	16
6.	Referanser	"	18

VE D L E G G

I:	Liste over fargelysbilder
II:	Prosedyre for bruk av I2S-systemet.
III A:	Lineamentkart over Vikna-området.
III B:	Lineamentkart over Roan-området.
III C:	Lineamentkart over Verdal-området.
IV:	Retningsdiagram
V:	Lineamentkart over Fosen-halvøya (MSS)
VI:	Fargekompositter fra Vikna, Roan og Verdal.

1. INNLEDNING

Hensikten med dette prosjektet har vært å undersøke nytteverdien av TM-data innenfor geologisk strukturkartlegging. Av spesiell interesse har det vært å finne ut av hvor mye mere informasjon TM gir i forhold til MSS, samt hvilken rolle digital bearbeiding av dataene spiller når det gjelder å trekke informasjon fra datene (TM/MSS -> se nedenfor).

Prosjektet er realisert som et samarbeid mellom Norges geologiske undersøkelse (NGU) og Forskningsstiftelsen ved Universitetet i Tromsø (FORUT).

I prosjektet er to områder langs kysten av Nord-Trøndelag undersøkt. Dessuten er et typisk innlandsområde valgt for også å kunne vurdere områder med tykt løsmassedekke, dyrket mark og skogområder. De tre områdene fremgår av fig. 1 og ligger alle innenfor TM-scene 50204-10063, et av de få tilgjengelige opptak da prosjektet startet opp.

En av fordelene med satellittfjernmåling er at billedataene dekker et stort geografisk område på samme tid, og derved gir raske oversikter over store arealer.

Også nye bilder kan bli tatt opp med relativt korte mellomrom, selvsagt med forbehold om vær-situasjonen (for de "passive" sensorene).

Disse digitale bildene gir også mulighet for oppfølging av endringer, samt overvåkning av tilstand.

Videre kan bildene tilpasses annet kartmateriale etter geometriske transformasjoner.

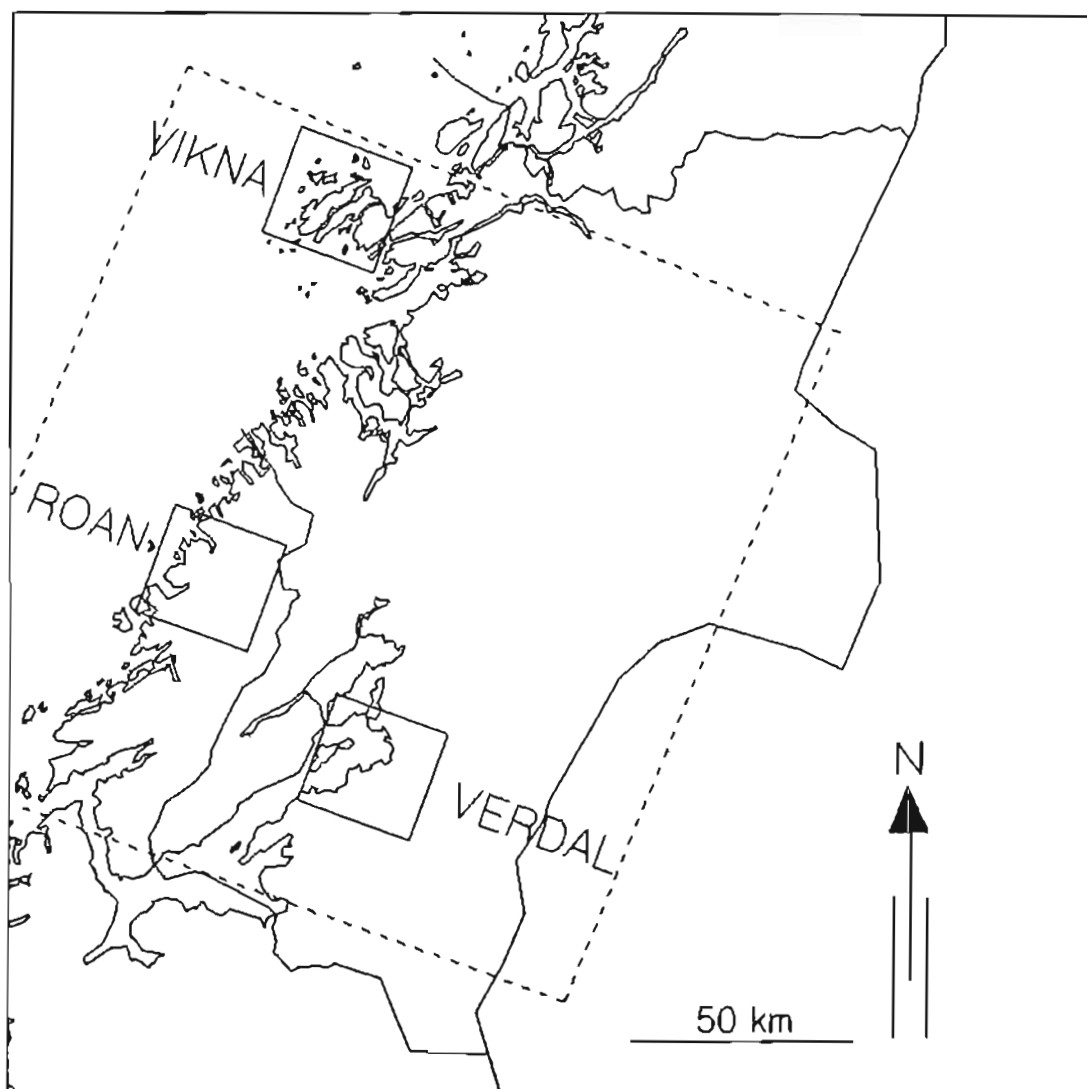
Bildene egner seg også meget godt som inputdata til et data-maskinbasert informasjonssystem.

Av høyoppløselige operative systemer i dag finnes Landsat-4 (når det gjelder Multi Spectral Scanner, MSS) og Landsat-5 med MSS og TM (Thematic Mapper). MSS har en romlig oppløsning på ca. 60m x 80m, mens TM har 30m x 30m.

Digitale billedata fra disse to sensorene som dekker det meste av vårt land forefinnes ved mottakssenteret i Kiruna. Fotografiske produkter og digital tape kan bestilles gjennom det nasjonale kontaktpunkt (NPOC) i Norge; Tromsø Telemetri-stasjon.

FORUT har bidratt med faglig veiledning og operatør assistanse under den digital bildebearbeidningen.

NGU har bidratt med geologisk ekspertise innen området, i tillegg til kunnskap om fjernanalyse og digital bildebearbeidning.



Figur 1: Oversikt over de tre delområdene som ble plukket ut for nærmere analyse. Dekningsområdet for TM-scene 50204-10063 er vist. Denne scenen har koordinater 199-15 i Landsat-systemet og er tatt 21/09/84 kl.10.06 GMT. Solvinkelen er på 24 grader.

Den digitale bildebehandlingen (DBB) har foregått ved Tromsø Telemetristasjon, hvor en har leid tid ved DBB-laboratoriet i en uke. DBB-delen omfatter digital behandling av TM-data, avfotografering av skjerm og fremstilling av film på Optronix filmskriver.

Videre bearbeiding av de tolkede dataene har så skjedd ved NGU, blant annet v.h.a. en programpakket utviklet på NGU (Rindstad og Follestad, 1980).

2. LANDSAT OG THEMATIC MAPPER

2.1 Generelt

TM er et av instrumentene ombord på den amerikanske Landsat-serien av satellitter. Det første TM-instrumentet fantes ombord på Landsat-4 som ble skutt opp i 1982, men denne var fullt operativ i bare 1 år.

I mars 1984 ble Landsat-5/TM skutt opp, og denne leverer i dag data på full operativ basis, dvs. ca. 150 scener pr. dag. Som navnet tilsier, er Landsat-serien utviklet for observasjoner av landområdene på jorda. Beregnet levetid for Landsat-5 er 2 år, og den vil bli etterfulgt av flere satellitter i samme serie med tilsvarende instrumentering.

Landsat-5 er plassert i en solsynkron, nesten polar bane med inklinasjon på 98.2 grader og høyde 705 km. Ekvatorkryssing (fra nord til syd) er kl 0945 lokal soltid. Satellittens bevegelse er valgt slik at den har en repetisjons-syklus på 16 dager.

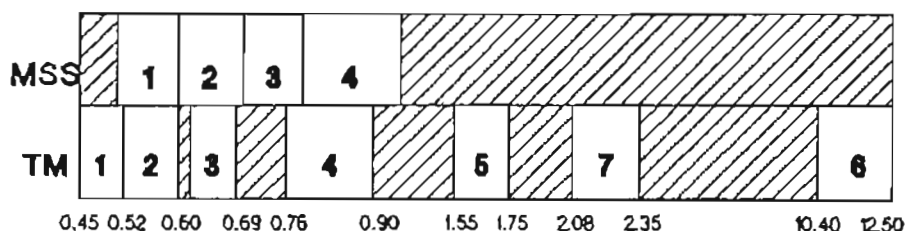
Informasjonsmengden fra TM har økt vesentlig sammenliknet med dens "forgjenger" MSS. Datamengden er vokst både pga. økt antall spektralbånd (fra 4 til 7), økt radiometrisk oppløsning (til 256 nivåer) og ikke minst økt geometrisk oppløsning (fra 80 m til 30 m).

TM er utformet først og fremst for vegetasjonsanalyser; undersøkelse og overvåking av ulike vekster/vekstforhold, samt for kartlegging av jord- og bergarter. I tillegg er dataene også velegnet til vannkvalitetsstudier.

2.2 TM-instrumentet

TM er andre generasjons sensorsystem utviklet for multispektral overvåking av jordoverflata. Sammenlignet med tidligere systemer, har TM forbedret romlig oppløsning, flere kanaler lokalisert til nye deler av det elektromagnetiske spektret, samt forbedret radiometrisk følsomhet.

TM har 7 kanaler i den synlige-, nær-infrarøde-, midlere-infrarøde-, og termisk infrarøde delen av spektret. Størrelsen på bildeelementene for de seks reflektive kanalene (TM1-TM5 og TM7) er 30x30 meter, mens den termiske kanalen (TM6) har bildeelement på 120x120 meter. Den spektrale lokaliseringen av kanalene er vist i fig. 2.



Figur 2: Thematic Mappers spektrale bånd sammenlignet med MSS. Lengdeenhet i mikrometer.

TM avspørker jordoverflata gjennom et 15.4 grader stort synsfelt (+/-7.7 grader omkring nadir). Dette tilsvarer et 185 km bredt område på jordoverflata.

Mottaker-stasjon for TM-data fra våre områder finnes i Kiruna. En TM-scene dekker omlag 185 x 185 km, og prisen pr. scene (7 kanaler) er omlag 4300 dollar.

2.3 Vurdering av TM-kanalene

Lokaliseringen og bredden av kanalene er valgt ut i fra ønsket om størst mulig følsomhet for naturlige objekter/fenomener, samt minst mulig påvirkning fra atmosfæren.

- TM 1: Egnert til kystsonkartlegging som f.eks. vannkvalitetsstudier og batymetri p.g.a. gjennomtrengningsevne i vann. Denne kanalen er også følsom for klorofyll- og karotenkonsentrasjoner, og kan derfor brukes til å skille mellom bar jord og vegetasjon, samt mellom løvskog og barskog. Imidlertid er denne kanalen mest påvirket av atmosfærisk dis sammenlignet med de andre kanalene.
- TM 2: Lokalisert nær det lokale maksimum i signaturene for vegetasjon, og derfor følsom for synlig grønn refleksjon fra frisk vegetasjon. Også brukbar i vannstudier.
- TM 3: Maksimal følsomhet nær klorofyllabsorpsjonsbåndet. Egnert til differensiering mellom vegetasjon og ikke-vegetasjon, mellom ulike typer vegetasjon, samt vegetasjon i ulike stadier (f.eks. grunnet skader).
- TM 4: Nær-infrarød kanal. Følsom for nær-infrarød refleksjon fra frisk vegetasjon. Anvendbar til vegetasjons- og biomassestudier, samt til avgrensning vann/land.
- TM 5: Midlere-infrarød kanal. Interessant m.h.p. jord- og bergartsstudier siden viktige absorpsjonsbånd fins i dette spektralområdet. Velegnet til differensiering mellom skyer og snø/is.
- TM 6: Kanalen ligger i den termisk infrarøde delen av spektret, og egner seg godt til kartlegging av overflatetemperaturer.

Også enkelte geologiske anvendelsesmuligheter; f.eks. kan overflatetemperaturer indikere geologiske foldninger og -foldemønstre.

TM 7: Som TM 5 lokalisert til midlere infrarøde området. Derfor er også denne kanalen velegnet til jord- og berg artsstudier, samt til differensiering skyer - snø/is. Også velegnet til kartlegging av hydrotermal omvandling.

3. DIGITAL BILDEBEHANDLING

Data fra en TM-scene fyller 7 store magnetbånd (1600 BPI) og mye av tiden går med til å administrere denne datamengden. Spesielt tidkrevende er innlesing av data fra magnetbånd til disk.

3.1 Tromsø Telemetristasjon

Det digitale bildebehandlingsanlegget ved Tromsø Telemetristasjon (TTS) er bygd opp gjennom de siste 4-5 årene.

NTNFR anskaffet i 1979 en Model-70 bildeprosessor fra I2S (International Imaging Systems) som ble koblet mot Nord-10 som vertsmaskin. Samtidig ble en Optronics C-4300 fargefilm-skriver innkjøpt.

Universitetet i Tromsø (UiTø) anskaffet System-500 programvare til Model 70.

Våren 1983 kjøpte NTNFR en ny vertsmaskin VAX-11/730 fra DEC og senere samme høst et nytt I2S - Model-75 bildeprosessor.

UiTø fulgte opp med innkjøp av ny programvare, System-575 og sommeren 1984 med en enhet for videodigitalisering. Våren 1984 kjøpte NTNFR inn en ny og større disk, og om høsten en "floating point accelerator".

Universitetet gikk videre til anskaffelse av en enhet for video-output av type Honeywell Matrix-3000, som nå er installert, med opsjoner 35 mm film eller 8*10 toms polaroid.

Dette er det samlede utstyret som nå danner grunnlaget i laboratoriet for bildebearbeidning ved TTS (DBB-laboratoriet).

Kapasiteten til vertsmaskinen er 3 Mbyte primærhukommelse, og en total diskkapasitet på 456 + 121 + 10 (utskiftbar) Mb.

Programvaren er relativt fleksibel som et interaktivt verktøy i bearbeidning av digitale billeddata.

Men de større, CPU-orienterte programmene er mer trege og har ikke en tilfredsstillende kapasitet i forhold til en operasjonell utnyttelse. Systemet må først og fremst betraktes som

et system for å demonstrere og ta frem mer små, dedikerte eksempler som senere realiseres på større "talknuser".

Programmene innenfor System-500 kan foreta flytting av bilder mellom forskjellige medier, eksaminere bilder, beregne statistiske parametre, klassifisere billedinformasjonen, forbedre billedkvaliteten, foreta transformasjoner, m.m. .

Verken NTNFR eller UiTø har noen fast ansatte med ansvar for laboratoriet. UiTø har en forsker på engasjement i sin virksomhet omkring DBB/SFM, FORUT har ansatt en forsker med virkefelt SFM/DBB, og TTS har en systemprogrammerer som deltar i dette feltet. TTS har også en fotograf som benyttes i arbeidet omkring DBB-laboratoriet. UiTø har i øyeblikket to studenter som benytter DBB-laboratoriet i sine cand.scient-oppgaver.

Forskningsstiftelsen ved UiTø ønsker nå å dra nytte av den hardware og kompetanse som eksisterer ved TTS og UiTø, til å realisere endel konkrete prosjekter.

3.2 Datakvalitet

Dataene har en forholdsvis lav radiometrisk oppløselighet, noe som skyldes den lave solvinkelen under opptaket (21.september 1984). Dette er spesielt tydelig på kanal 6, den termiske kanalen, og denne kanalen er derfor ikke benyttet under den videre bearbeidingen. Best oppløselighet har kanal 4 og 5, deretter kommer kanal 1 og 7, mens kanal 2 og 3 viser minst spredning i pikselverdiene. Til geologiske formål ble kanal 4 funnet best, men også kanal 3, 5 og 7 var meget bra. Bånding finnes ikke på noen av kanalene.

Den NØ-lige delen av TM-scenen er dekket av skyer. Den vestlige halvpart har spesielt god kvalitet med få skyer.

3.3 Digital bildebehandling

Resultatene fra de forskjellige behandlingsteknikkene er dokumentert v.h.a. fargelysbilder (se vedlegg I) og de mest anvendte kommandoer er listet i vedlegg II.

Under den digitale bildebehandlingen ble flere teknikker prøvd. Felles for disse var at de baserte seg på et skjerm-bilde bestående av 512 x 512 piksler.

For å dekke et så stort område som mulig, ble annen hver piksel sløffet i de originale dataene. Dette gjorde at et fire ganger så stort område kunne behandles uten at vesentlig informasjon om geologiske strukturer gikk tapt.

Opptil 8 histogram kunne tegnes ut samtidig på skjermen v.h.a. kommandoen HISTO, og gav derved en første oversikt over data-kvaliteten. Den radiometiske oppløseligheten øker med økende standardavvik for histogrammene, noe som sees lett på denne måten.

Forholdet mellom to kanaler kunne undersøkes v.h.a. SCATTER som plottet ut tokantdiagrammer. Graden av korrelasjon sees lett, og diagrammet gir og en enkel klassifikasjon.

Pikselverdien mellom to punkter på skjermen kunne tegnes ut som et profil v.h.a. kommandoen PROFIL. På denne måten kunne man få opplysninger om bånding og/eller støy i dataene ved å se på homogene områder som vann.

Strekking av en-kanalsbilder viste seg nyttig for å få mest mulig informasjon ut av dataene og ble gjort som første skritt i all behandling. Strekking av trekanalsbilder (fargebilder) var også mulig ved å strekke en og en kanal etter at bildet var kommet opp på skjermen.

Filtrering av en-kanalsbilder ble forsøkt uten at det ble lagt ned noe særlig arbeid i dette. Resultatet var imidlertid lite lovende for forsøk med filtre på 15x15 og 33x33 piksler. Erfaringer fra andre arbeider har imidlertid vist at det er mye å vinne på å anvende spesielt tilpassede filtre.

Fargekomposittbilder på grunnlag av tre kanaler (DISPLAY) var en enkel måte å få frem et bilde med mye informasjon på, og var den teknikken som ble mest benyttet. Bildet kodes i RGB-systemet. RGB betyr at de tre kanalene kodes i rødt, grønt og blått med 256 nivåer for hver farge.

Fargekomposittbilder på grunnlag av fire kanaler (RATIO) gav også mye informasjon, men for lineamenttolkning var teknikken mindre egnet enn DISPLAY. Dette fordi ratio-teknikker fjerner mye av de topografiske effekter og nettopp disse effekter er nyttige ved lineamenttolkning. Ved å spesifisere kanal 2, 3, 4 og 7 ble de tre bildeplanene i fargeskjermen kodet på følgende måte: $R=2/3$, $G=3/4$ og $B=4/7$.

En fargekompositt på skjermen kunne endres v.h.a. kommandoen MATRIX, og dette viste seg nyttig i noen tilfeller. Dette fordi visse fargekombinasjoner var lettere å oppfatte enn andre og fordi visse tema ble fremhevet ved bruk av spesielle fargeskalaer.

Tolkningen av dataene startet når disse var optimalt behandlet og foregikk ved at operatøren tolket visuelt fra skjermen og plottet dette på et basiskart. Trådkorset på skjermen kunne benyttes til å digitalisere endepunktene på lineamentene. Denne kommandoen (LINEAR) medførte at lineamentene ble lengdeberegnet og fikk et nummer skrevet ut på skjermen.

I løpet av kort tid ble derfor skjermen overfylt med tekst, og metoden ble derfor oppgitt.

3.4 Resultater

Etter endel eksperimentering med behandling av TM-data på bildebehandlingssystemet ved Tromsø Telemetristasjon ble følgende prosedyre funnet gunstig og fulgt i det videre opplegget.

- For lineamenttolkning kunne man kutte ut 2. hver piksel i x- og y-retning, slik at et område kunne behandles ved å ta for seg bare en fjerdedel av datamengden.
- På fargeskjermen fremstilles fargekompositbilder (FCC) som tolkes på tradisjonell måte. Opptil fire forskjellige kombinasjoner av TM-kanaler ble funnet å ha så høy informasjonsgrad at de burde tolkes separat. Disse kombinasjonene inneholder alle kanal 4 og har følgende sammensetning: 1/4/7, 2/3/4, 3/4/7 og 4/5/7.
- Fargekompositene avfotograferes v.h.a. en Honeywell Matrix-3000 fotoenhet på Ektachrome fargediasfilm. Flere fargekombinasjoner utprøves v.h.a. kommandoen MATRIX.
- Resultatene fra tolkningen tegnes inn på et S/H satellittbilde (basiskart) for videre behandling ved NGU.

Dette er en enkel måte å behandle dataene på, men opplegget er tidseffektivt og gir tilfredsstillende resultater.

En TM-scene koster ca 40 000 kr og dekker et område på 185x185 km², dvs. en kvadratkilometerpris på noe over en krone (1.20 kr/km²). Den digitale bearbeidningen og tolkningen for et kartblad i målestokk 1:50 000 gjennomføres i løpet av en dag.

4. STRUKTURGEOLOGI

To av testområdene er valgt i den hensikt å få opplysninger om geologiske strukturer i områder som er dårlig kartlagt, mens det tredje området er et innlandsområde som ble valgt for å ha en referanse.

I forbindelse med aktiviteten på Haltenbanken er Vikna et av de områder som kan være aktuelle i forbindelse med ilandføring av gass. Dette sammen med det faktum at geologien i området har vært relativt lite kjent, motiverte utvelgelsen av dette delområdet.

4.1 Innledning

Berggrunnen i det aktuelle området, som omfatter Nord-Trøndelag og Fosen, deles geologisk i:

- 1) Dekkebergarter. Metasedimenter og vulkanitter overskjøvet i tidsrommet for omlag 4-500 mill. år siden under dannelsen av den kaledonske fjellkjede, over et underlag av
- 2) Grunnfjell. Eldre bergarter tilhørende det Baltiske skjold.

Dekkebergartene opptrer i to hovedområder:

- 1) Nordlige del av Trondheimsfeltet, som strekker seg sydover fra Snåsa til Rissa ved Trondheimsfjorden og i øst til Feren-Kjølhøgan.
- 2) Deler av Grongfeltet og Bindalsmassivet nord for linjen Kolvereid-Kongsmoen-Grong-Sanddøla. I tillegg kommer synklinaler og nedforkastede soner av dekkebergarter i grunnfjellsgneisene, bl.a. Fosdalssynklinalen med jernmalforekomstene i Malm.

Grunnfjellet er blottet i et stort felt - Namsosområdet (Vikna - Kongsmoen - Grong - Bjugn). Grunnfjellsbergartene er i hovedsak mer eller mindre deformerte sure og intermediære gneiser (Sigmond et al. 1984). Den SV-lige del av dette grunnfjellsområdet er karakterisert ved en homogen SV-NØ lineær strøkkretning, parallelt eller nært parallelt med hovedretningen for Møre-Trøndelag forkastningssonen (Oftedahl 1975, Ramberg et al. 1977). Den NØ-lige del av nevnte grunnfjellsområde har ikke den samme strukturelle stil idet det er karakterisert ved storstilte foldinger og domstrukturer (Offield et al. 1982). Grunnfjellet sydvest for Namsos har også et annet aeromagnetisk anomalimønster enn området i nordøst (Boyd 1985).

Andre grunnfjellsområder er:

- A) En antiklinalstruktur fra Rissa til Beitstadfjorden
- B) Tømmeråsantiklinalen
- C) Grong-Olden antiklinalen

4.2 Vikna-området

Viknaområdet omfatter et stort antall øyer vest for Nærøysundet i nordlige deler av Nord-Trøndelag. Hovedøyene Indre, Mellom og Ytre Vikna består i hovedsak av prekambriske granodiorittiske gneiser og migmatitter, i varierende deformasjonsgrad med et mindre innfoldet kambro-silur område på Mellom-Vikna (Lysøya).

I NV ligger de to øyene Borgan og Kalvøya (vestligst), adskilt av et meget smalt sund som knapt er synlig på Landsatbildet. Kalvøya består av kambro-silurbergarter, mens Borgan er en fortsettelse av gneisene lengre øst. I nord ligger Raudøya og Kvaløya som deler av en granittpluton. Sundet mellom sistnevnte øyer og Ytre Vikna antas å utgjøre en viktig tektonisk bruddsone (Vedlegg VIA).

Bergartsstrukturen domineres av storstilte tette til isoklinale folder som danner anti- og synformer der sjenklene har retning 40-70°, d.v.s. generelt NØ-lig retning.

En av hovedsprekkeretningene i området er tilnærmet parallell med foliasjonen, og på Landsatbildet er det tydelig at de fleste større fjorder og sund følger denne retningen.

To andre hovedsprekkeretninger er NNØ, som også har hatt stor innflytelse på utformingen av fjorder og sund, samt underordnet NNV (se vedlegg IIIA og IV).

Når det gjelder foldinger så ser man disse best i kambrosilurbergartene på Kalvøya, men også ombøyningen i gneisen på Borgan og særligst på Mellom-Vikna er godt synlig på TM-bildet. Foliasjonsretningen i gneisene kommer tydelig fram, men det kan være vanskelig å skille denne fra den nært foliasjonsparallele oppsprekningen.

Fargekompositten (Rødt=kanal 2, grønt=kanal 3 og blått=kanal 4) viser vegetasjonsfordelingen, og er dermed indirekte en litologisk indikator. De tetteste vegeterte områdene som omfatter daler og andre lave områder kommer frem i klar blåfarge p.g.a. responsen i refl. IR kanalen. De granodiorittiske gneisene er gule på bare knauser og lysegrønne der de er svakt vegeterte (mose og spredt lyng). Kambrosilurbergartene på Lysøya og Kalvøya og mer basiske partier i gneisene er tettere vegetert og trer frem som mørke grønne partier (se vedlegg VI).

Granitten på Kvaløya viser en respons nokså lik granodioritt, men den lavereliggende Raudøya er mye sterkere vegetert og trer dermed frem i blått.

4.3 Roan-området

Området ligger på Fosenhalvøya, og omfatter et område med både grunnfjellsbergarter og dekkebergarter. Grunnfjellsbergartene er en nokså heterogen serie med diorittiske til granodiorittiske og granittiske gneiser og migmatitter. Dekkebergartene omfatter i hovedsak biotittgneiser/skifre, kalk og amfibolgneiser.

Grunnfjellet kan deles i to enheter, der den vestligste, omfattende Roanhalvøya og Harbaken, er karakterisert ved en markert magnetisk og gravimetrisk anomali. Denne markante anomalien følger ellers kysten, men går her og i Lofoten/Vesterålen inn på land. Man har på Roanhalvøya granulittbergarter omgitt av amfibolittfacies bergarter. Retrograderingen er omfattende, men uregelmessig (Møller, pers.komm. 1985). Fosenhalvøya er dominert av mose og lyngvegetasjon samt store myrrealer i høyereliggende strøk. Jordbruk og skogområder er begrenset til de større dalførene.

Iøynefallende er dekkebergarter i en stor synformstruktur som går diagonalt fra nedre venstre til øvre høyre hjørne. Strukturen skjæres av et markant buet lineament som kan følges sørover helt til Skaudalsforkastningen. Det er helt tydelig fra Landsatbildet at det ikke er kontinuitet i bergartsstrukturen over det brede lineamentet og at det her har skjedd en eller flere forkastningsbevegelser (se vedlegg IIIB og VI).

Bildet domineres ellers av markante NV-gående lineamenter som fjordene delvis er erodert ut etter. Disse NV-gående lineamentene er godt utviklet også ellers på Fosenhalvøya, faktisk helt fra Bjugn til Namsenfjorden.

Andre markerte lineamentretninger er tilnærmet Ø-V og N-S. Strukturelt er den østlige delen av bildet preget av en monoton NØ-lig strøkretning med steilt fall. N for Brandsfjorden er bildet mer sammensatt med kompliserte foldebevegelser. Denne provinsen fortsetter helt nordover til Namsenfjorden (se vedlegg IIIB og IV).

I vest, på Roanhalvøya, synes det som om man her har mer åpne folder med ØV-lig akse, og det er mulig at lineamentet mellom Skjørafjorden og Brandsfjorden utgjør en skyvesone. Magnetiske susceptibilitetsmålinger (Olesen, pers.komm. 1985) viser at det er lavmagnetiske bergarter både i dette linamentet og i lineamentet Ø for Harbaken, noe som kan tyde på omvandling i skyvesonen.

Fargekomposittbildet (Rødt=kanal 3, grønt=kanal 4, blått=kanal 7) skiller godt mellom forskjellige vegetasjonstyper og mellom vegetasjon og bart fjell, noe som kunne ventes ut fra denne kanalkombinasjonen, men gir så godt som ingen litologisk informasjon (se vedlegg VI).

4.4 Verdal-området

Verdalsområdet er nesten 100 % vegetasjonsdekket, med jordbruk under den marine grense og tett granskog over. Under den marine grense domineres dalførene av leire. I området som omfattes av fargekompositten og lineamenttolkningen er det kambro-siluriske dekkeenheter. Like NØ for bildeutsnittet ligger Tømmeråsantiformen med prekambriske metavulkanitter. Innen bildeutsnittet forekommer enheter fra midtre og øvre dekkekompleks, Leksdalsdekket, Skjøtingendekket, Levangerdekket og Størendekket (Wolff 1984). Litologien er dominert av metasandstein, amfibolitt og grønnstein.

Bergartene rundt indre Trondheimsfjord er hyppig gjennomslått av hydrotermale omvandlingssoner som ofte er thorium- og flusspatførende. Disse representerer en sen hendelse i dannelsen av Trondheimsfjorden og de gjennomsetter intrusivbergartene i området.

Flere markerte lineamentretninger gjør seg gjeldende innen bildeutsnittet. En på NNØ, en med buede lineamenter i NØ-lig retning og en trend ØNØ. Utformingen av fjordgeometrien og fjordarmen Børgin samt Leksdalsvatnet er delvis styrt av disse lineamentretningene (se vedlegg IIIC og IV).

Hydrotermale soner er for tynne til å vises direkte på Landsat TM bildet, men flere av de brede NØ gående lineamentene korresponderer med viktige hydrotermale soner. Det samme gjelder for de N-S og NØ-SV gående lineamentene på Ytterøy og Inderøy. Flere av de utstikkende nesene på nordspissen av Ytterøy er stivet opp av kvartsrrike hydrotermale løsninger (Hembre og Grønlie, 1985).

Landsatbildet sier mindre om bergartsstrukturene enn de foregående eksemplene, men avslører relativt flattliggende bergarter i nord og bergarter med en NØ-SV-lig strøkkretning på Ytterøy og SØ for Levanger.

Litologisk sier oppsprekningen av bergartene mer enn vegetasjonstypen. Metasandsteiner på Inderøy har et mye mer markert sprekkemønster enn grønnsteinen på Ytterøy.

Fargekomposittbildet (Rødt= kanal 4, grønt= kanal 3, blått= kanal 2) skiller ypperlig mellom vegetasjonstyper som åker, eng og skog, men det er ikke grunnlag for å trekke ut litologiske enheter på bakgrunn av vegetasjonsklassifisering i dette området (se vedlegg VI).

4.5 Resultater

Den teoretiske overlegenhet for TM vis a vis MSS viser seg å holde stikk i praksis, særlig når det gjelder informasjon vedrørende bergartsstruktur. Vedlegg V viser en lineamenttolkning på grunnlag av et 1 kanals MSS bilde. Ved sammenligning med TM tolkningen (Roan) er det uten videre klart at TM bildet gir en mye større mulighet for klassifisering av lineamenter enn MSS bildet. Det er på TM bildet mulig å ta bergartenes foliasjonsretning og studere foldemønstret i adskillig detalj. MSS bildet har så dårlig oppløsning at det ikke er mulig å skille f.eks. daler langs foliasjonsretningen fra daler utviklet langs sprekkesoner eller forkastninger. Det er altså helt klart at TM gir mye større informasjon om bergartsstrukturer kontra forkastninger og oppsprekking enn MSS p.g.a. den kraftige forbedringen i romlig oppløsning. Dette går også klart fram av Verdal-scenen.

Når det gjelder radiometrisk oppløsning kommer forstyrrende trekk som solhøyde inn i bildet. TM scenen er et opptak fra september og har derfor vesentlig lavere solhøyde enn MSS scenen fra begynnelsen av juli. P.g.a. TM's korte funksjonstid er det store områder av Norge som ennå ikke har en tilfredsstillende dekningsgrad p.g.a. skydekket. Dette problemet er også aktuelt her i og med at den NØ-lige kvadrant av "vår" TM-scene var for skydekt.

Det faktum at TM har større antall spektralbånd enn MSS må forventes å få heller liten betydning i Norge. Kanal 7, som hovedsakelig er beregnet til kartlegging av hydrotermal omvandling i forbindelse med dannelsen av porfyrtype malmer har vært brukt med en viss suksess i ørkenstrøk i USA. Porfyr-type malforekomster er p.g.a. sin omfattende omvandling av OH-typen og sin størrelse, langt den gunstigste malmtypen for deteksjon ved fjernanalyse. Anvendelsen i Norge må ventelig hemmes av vegetasjonsdekke, glasiasjonseffekt og klima.

5. KONKLUSJON

Digitale data fra Thematic Mapper (TM) instrumentet ombord på Lansat 5 har vist seg meget godt egnet til lineamenttolkninger.

Digital bearbeiding og presentasjon av satellittfjernmåledata på et større bildebehandlingssystem har vist seg å gi flere fordeler fremfor tradisjonell tolkning på standard S/H fotografiske produkter.

Fremfor alt er det viktig at systemet er i stand til å presentere såkalte falske fargebilder (FCC) for fullt ut å nyttiggjøre seg den informasjonen som finnes i dataene. En enkel prosedyre for behandling av Landsat Thematic Mapper data er skissert i 3.4.

Sammenlignet med høytflyvnings fargebilder gir TM like mye informasjon om lineamenter større enn 1 km.

Sammenlignet med MSS gir TM betydelig mere informasjon om lineamenter i størrelseorden 1 - 10 km og har dessuten bedre bildegeometri.

Sammenlignet med tolkninger på S/H enkanals TM-bilder er forbedringen størst for lineamenter i overdekket område samt for lineamenter parallellt med solretningen.

Å lineamenttolke et kartblad i målestokk 1:50 000 etter prosedyrer som beskrevet i denne rapporten vil koste ca 3000 kr, forutsatt at kostnadene ved de digitale dataene ikke bare avskrives på et kartblad.

6. REFERANSER

- Boyd R. 1985. Plan for et samordnet geologisk undersøkelsesprogram for Nord-Trøndelag og Fosenhalvøya, 1985-94. NGU-rapport 85.014. 60 sider. 4 kartbilag.
- Hembre O.S. og Grønlie A. 1985. Ny malmgeologisk provins i Nord-Trøndelag? BVLII Malmgeologisk Symposium. "Nye malmtyper i Norge".
- Offield T W, Miller G B og Petterson. 1982. Regional setting and uranium occurrences, Olden-Hotagen district of Sweden and adjacent Norway. Preliminary Landsat interpretation. Unpublished USGS-rapport.
- Oftedahl C. 1975. Middle Jurassic graben tectonics in Mid-Norway. Proceedings Jurassic North Sea Symp. Stavanger.
- Ramberg I, Gabrielsen R H, Larsen B og Solli A. 1977. Analysis of fracture patterns in southern Norway. Geologie en mijnbouw. Vol 56(4)., p.295-310.
- Rindstad B og Follestad B. 1980. Digitale metoder for behandling av lineamenter med eksempel fra Finnmark. NGU-rapport nr. 1561-02.
- Sigmond E, Gustavson M og Roberts D. 1984. Berggrunnskart over Norge. 1:1 mill. NGU.
- Wolff F C. 1984. Regional geophysics of the central Norwegian Caledonides. NGU-bull. 397, 1-27.

V E D L E G G I

Liste over fargeslides tatt av skjermbildet v.h.a. en MATRIX-fotoboks. Dette instrumentet sikrer et bilde uten de geometriske forvrengninger som en grafisk skjerm vil gi (se kap. 3). Angitt er lysbilde nr., område, behandlingstype og om det finnes ekstra kopi av bildet. 1/4 etter området betyr at en kvadrant av bildet er behandlet med full oppløselighet.

1.	VIKNA	RATIO	
2.	"	r=5/2,g=2/7,b=7/4	dublett
3.	"	histogram 2,4,5,7	
4.	"	col.comp. 1,4,7	dublett
5.	"	col.comp. 2,3,4	dublett
6.	"	---"----- 3,4,7	dublett
7.	"	---"----- 4,5,7	dublett
8.	"	-----"-----,matrix	dublett
9.	VIKNA 1/4	col.comp. 4,5,7	
10.	"	---"----- 2,3,4	
11.	"	---"----- 1,4,7	dublett
12.	"	---"----- 1,4,3	
13.	"	---"----- 3,4,7	dublett
14.	"	lahe. 33x33, ch.4	
15.	ROAN	ratio	dublett
16.	"	histogram 1-7	
17.	"	ratio	dublett
18.	ROAN 1/4	"	dublett
19.	"	"	
20.	"	ratio, strekk, matrix	dublett
21.	"	ch. 5	dublett
22.	ROAN	lahe. 15x15, ch.3	dublett
23.	"	lahe.,15x15, ch.5	dublett
24.	"	scatter, ch.3,ch.5	
25.	ROAN 1/4	cluster	
26.	"	cluster, median filter	
27.	ROAN	col.comp. 1,4,7	dublett
28.	"	---"----- 2,3,4	dublett
29.	"	---"----- 3,4,7	dublett
30.	"	---"----- 7,4,5	dublett
31.	"	---"----- 4/1,5/2,7/1	
32.	VERDAL	col.comp. 1,4,7	dublett
33.	"	---"----- 4,3,2	dublett
34.	"	---"----- 3,4,7	dublett
35.	"	---"----- 4,5,7	dublett
36.	"	histogram 1-7	

Nr. 5, 29 og 33 finnes i rapporten i format 13x18 cm (se vedlegg VI).

Prosedyre for pålogging av VAX-systemet samt de mest vanlige kommandoer på I2S-systemet.

```

USERNAME: FUT           -logger på VAX
PASSWORD: FORUTO
DCL > SET DEF (.NGU)    -definerer hvilken disk som skal brukes
DCL > CI75              -starter opp I2S-systemet

1) ØACQUIRE            -tilordner fargeskjermen
2) ØLIST LONG           -lister navn på bildefiler
3) TMQ1'CH5(1 1 2000 2945 6 6)ØDISPØ$A -spesifiserer bilde-
    -fil, utsnitt, presentasjon og kaller dette $A
4) $AØMATRIX ??        -fargetransformasjoner; tast Cr,Cr,00,Cr,T
5) $AØCONVO            -konvolusjon
6) $AØTLM              -lineær strekking
7) $AØROAM             -sveiper over et 1024x1024 bilde
8) ØFEEDØ$B           -tar vare på skjermbildet
9) ØDISPLAY            -laster et bilde opp på skjermen
10)ØRELEASE            -frigir fargeskjermen
11)ØREDO CO=X         -utfører kommando nr x.
12)$AØPROFIL           -profilet bestemmes v.h.a. trådkorset
13)$CØSAVEØTMQ1'CH8   -legger skjermbildet ut på fil
14)ØSESSION            -lister alle kommandoer gitt inn tidligere
15)$AØLINEAR           -digitalisering av lineamenter
16) $A $B $D $EØRATIOØ$RA - A/B B/C C/D som fargekompositt
17) $RAØTLM            -strekker fargekompositen kanal for kanal
18) $AØLAHE ??Ø$E     -?? => med opsjoner
19) $A $B $C $D $EØSEL -velger ut 5 bildefiler
20) $A $B $C $D $EØHIST -tegner 5 histogram
21) ØQUIT              avslutter I2S-systemet

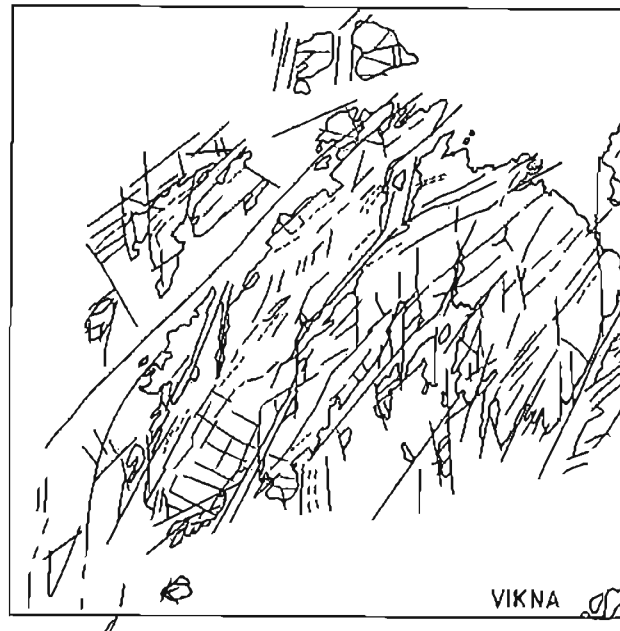
DCL > RENAME           -flytter en fil fra en bruker til en annen
    from > IO1156.DAT
    to > (.NGU)*.*

DCL > DIR              -lister filer
DCL > UTS              -leser inn et utsnitt av et bilde
DCL > HIST            -plotter histogram på grafisk printer
DCL > LOG              -logger av VAX

```

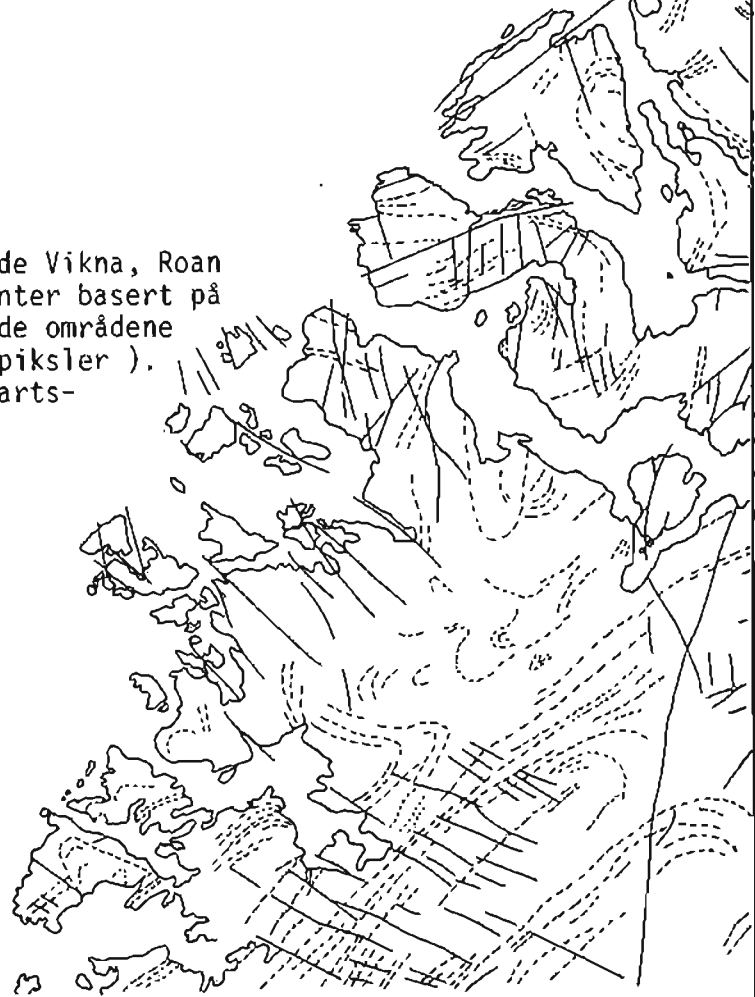
Alle kommandoer som gies inn til system 70 (I2S) nummereres fortløpende og logges på en egen fil slik at man hele tiden kan sjekke hvilke kommandoer som er gitt inn tidligere i samme kjøring.

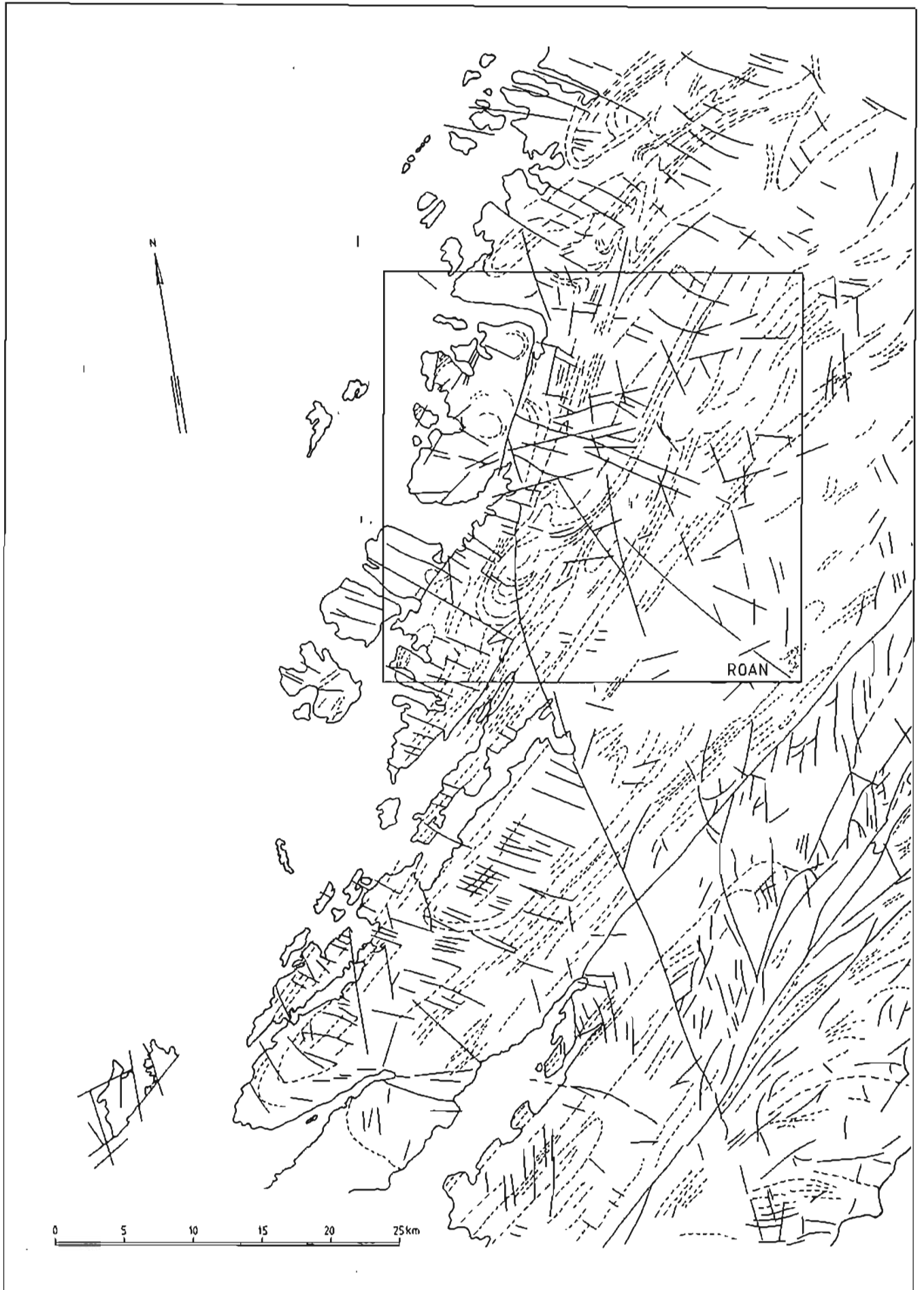
?? etter en kommando medfører at man får spørsmål om opsjoner.

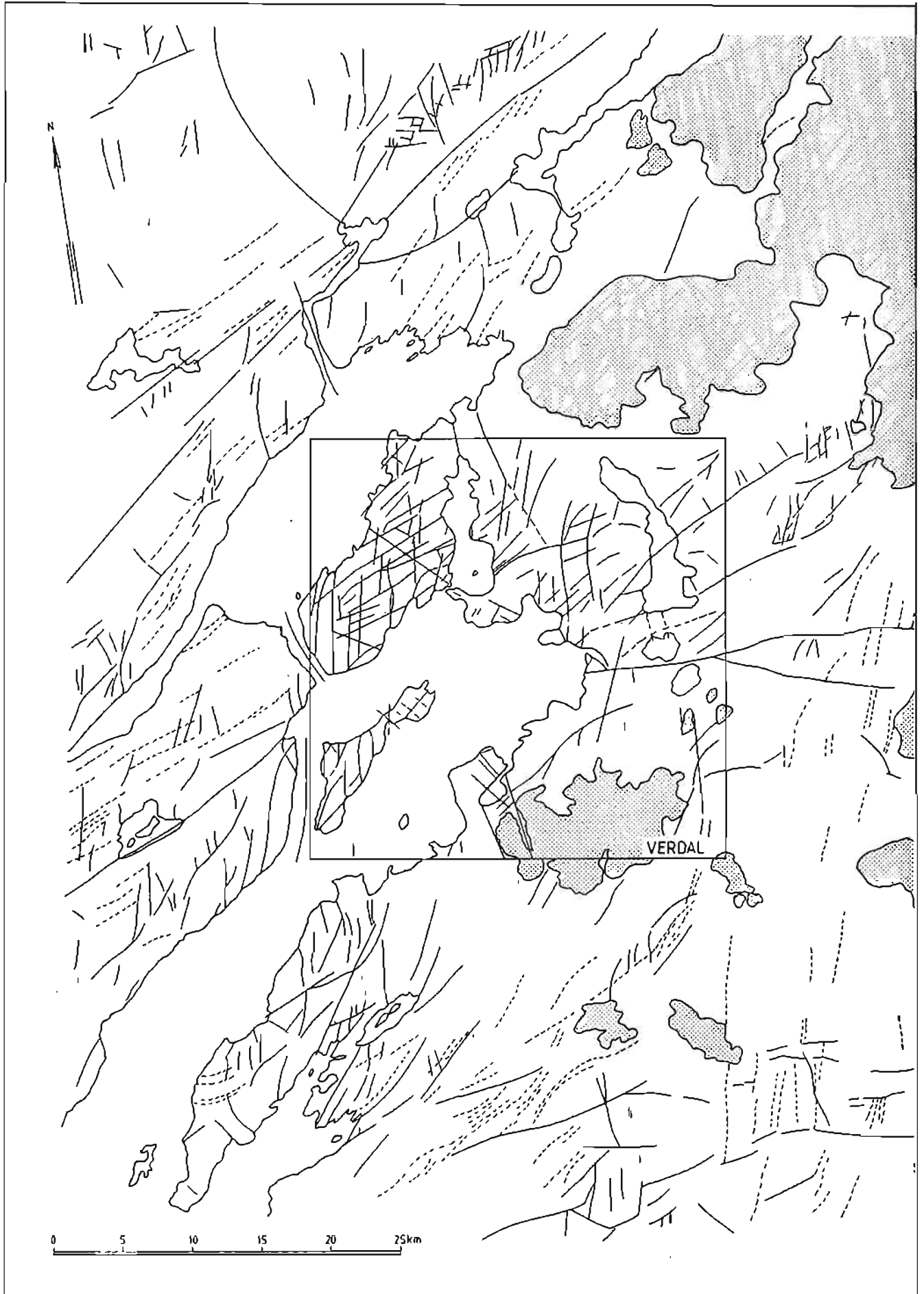


VEDLEGG III

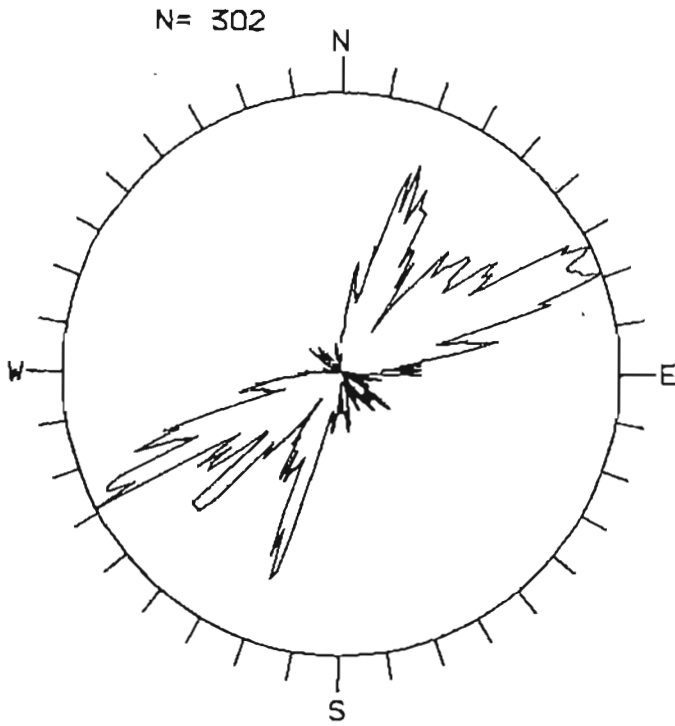
Vedlegg IIIA-C viser delområde Vikna, Roan og Verdal og tolkede lineamenter basert på Landsat TM-data. De inrammede områdene er ca. 30*30 km² (1024*1024 piksler). Stiplede linjer antyder bergartsfoliasjon.





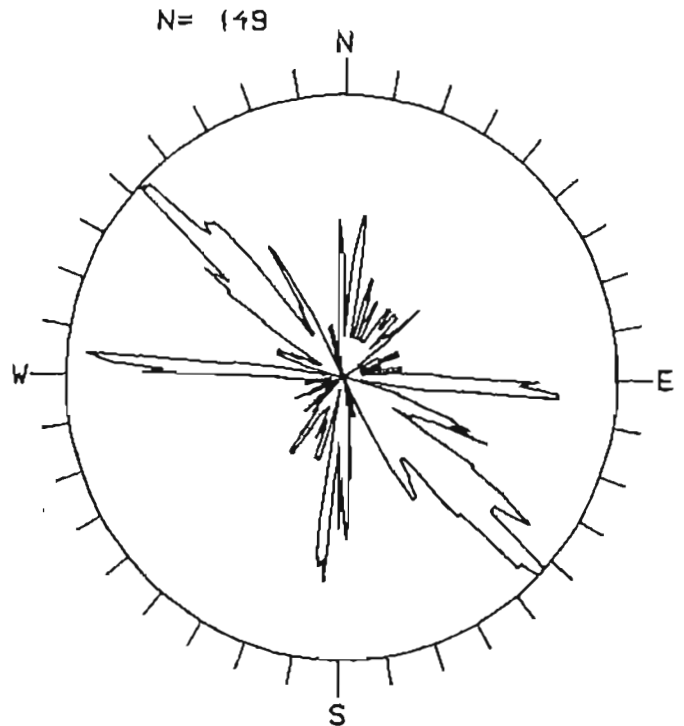


VEDLEGG IV



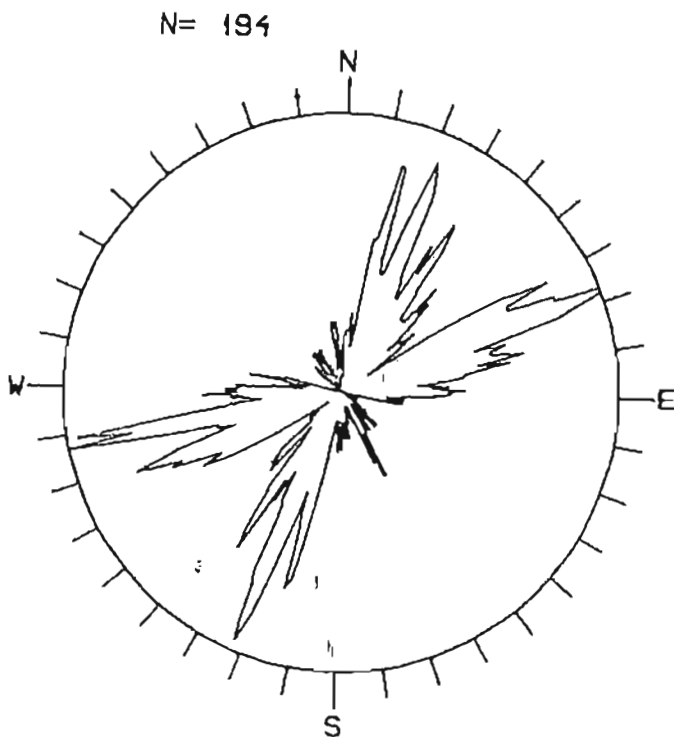
L= 639 MAX= 28/ 78 SECTOR= 5°

A) VIKNA



L= 395 MAX= 14/ 43 SECTOR= 5°

B) ROAN



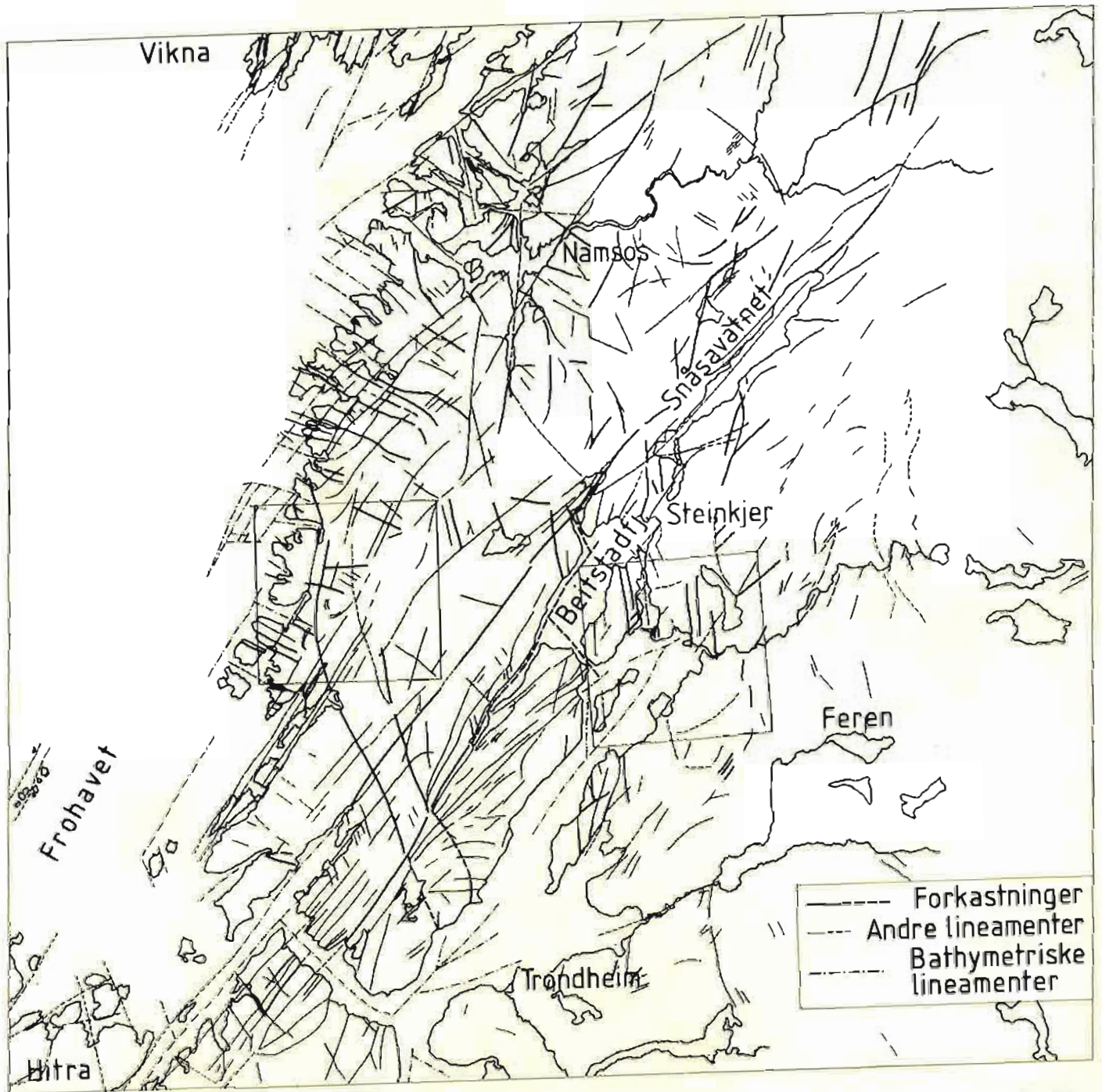
L= 469 MAX= 18/ 48 SECTOR= 5°

C) VERDAL

VEDLEGG IV

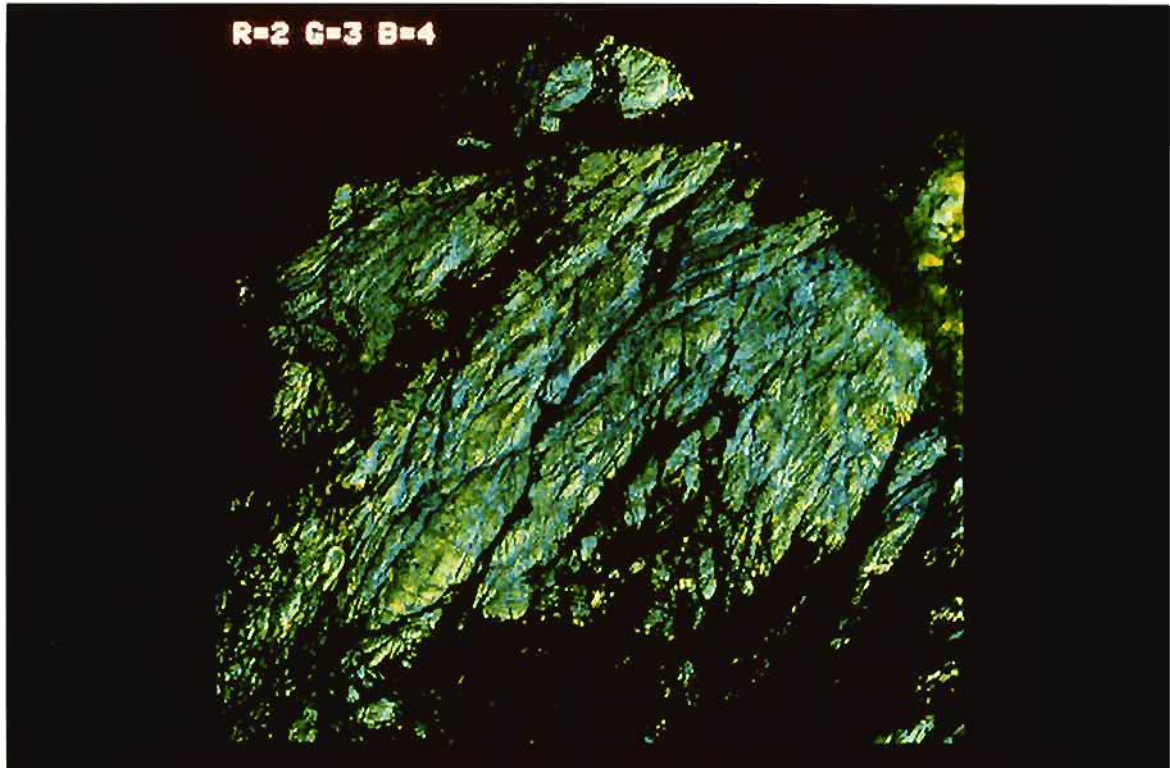
Retningsdiagrammer for heltrukne lineamenter i de tre delområdene Vikna, Roan og Verdalen. Høyre halvdel angir frekvens og venstre halvdel angir lineamentlengder.

N= antall lineamenter
L= antall km lineamenter
MAX= størrelse på radius
SECTOR= størrelse på filteret



VEDLEGG V

En lineamenttolkning basert på Landsat MSS data (kanal 5). Fordi Vikna faller delvis utenfor bildet og at det er svært få lineamenter er ingen retningsdiagrammer fremstilt.



VEDLEGG VI

Vedlegg VI A-C viser tre forskjellige kombinasjoner for fremstilling av fargekompositter for de tre delområdene Vikna, Verdal og Roan. De anvendte bånd kan sees øverst til venstre på bildene(Se vedlegg I).

