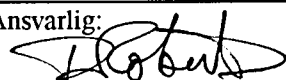


NGU Rapport 95.163

Anvendelse av et ERS-1 SAR satellittbilde til
strukturstudier på Varangerhalvøya, og
sammenligning med Landsat-TM; en foreløpig
rapport

Rapport nr.: 95.163		ISSN 0800-3416	Gradering: Åpen	
Tittel: Anvendelse av et ERS-1 SAR satellittbilde til strukturstudier på Varangerhalvøya, og sammenligning med Landsat-TM; en foreløpig rapport				
Forfatter: Roberts, D. & Karpuz, M.R.		Oppdragsgiver: NGU		
Fylke: Finnmark		Kommune: Flere		
Kartblad (M=1:250.000) Vadsø		Kartbladnr. og -navn (M=1:50.000) Flere		
Forekomstens navn og koordinater:		Sidetall: 14	Pris: 70,-	
Feltarbeid utført: 1991-93		Rapportdato: 29.12.95	Prosjektnr.: 61.1886.09	Ansvarlig: 
Sammendrag: <p>Som en del av et fjernanalyseprosjekt innenfor det samarbeidsprogrammet mellom Norges geologiske undersøkelse og det tidligere sovjetiske (nå russiske) vitenskapsakademiet ble det ervervet digitale radardataer (SAR - Synthetic Aperture Radar) fra Varangerhalvøya, Finnmark, generert av en sensor ombord den europeiske fjernanalysesatellitten ERS-1. I rapporten blir noen få bilder, eller forstørrede delbilder presentert og en sammenligning gjort med det eksisterende berggrunngesologiske kartet og med falskfargete kompositte Landsat TM-bilder tatt fra samme områder på Varangerhalvøya.</p> <p>Selv om radarbildene som er vist i denne rapporten er kopier av kopier, og derfor er av dårligere kvalitet enn de originale dataene, kan man se at SAR-bildene er å foretrekke når det gjelder de tektoniske strukturene i berggrunnen. Landsat TM og ERS-1 SAR scenene komplimenterer faktisk hverandre. Mens det multispektralt Landsat-bildet er bedre tilegnet kartlegging av de litologiske forskjellene, viser SAR-radarbildene derimot de topografisk definerte strukturelle og kvartære geomorfologiske trekk mye tydeligere enn TM.</p>				
Emneord: Fjernanalyse/radar		Varangerhalvøya		
Berggrunn		Strukturgeologi		

INNHold

1	INNLEDNING.....	4
2	LANDSAT-5 THEMATIC MAPPER DATA.....	5
3	ERS-1 SAR DATA.....	5
4	TEST OMRÅDE; SAMMENLIGNING MED LANDSAT-TM.....	6
4.1	Berlevåg-Leirpollen området.....	6
5	AVSLUTTENDE BEMERKNINGER.....	7
6	LITTERATUR.....	8

INNLEDNING

Varangerhalvøya i nordøstlige Finnmark har i de siste tre tiår vist seg å ha hatt en usedvanlig høy tiltrekningskraft, særlig når det gjelder berggrunnskartlegging og strukturgeologi. Etter det grunnleggende arbeidet til Siedlecka & Siedlecki (1967) har systematisk kartlegging innen de senproterozoiske til tidligpaleozoiske lagrekkene gått hånd i hånd med forskjellige studier i fagfeltene geokjemi, lavgrads metamorfose, geokronologi, mikropaleontologi og paleomagnetisme.

Mye oppmerksomhet ble henledet på betydningen av den viktige VNV-ØSØ-gående Trollfjord-Komagelvsforkastningssonen (TKFS) (Roberts 1972, Kjøde et al. 1978, Rice et al. 1989) som deler halvøya omtrent på midten (Fig. 1). Diskusjonen som fremdeles fortsetter på dette strukturelle emne og beslektede emner er ikke av direkte relevans for nettopp denne redigjøreelse. Den interesserte leser er henvist til artikler av bl.a. Siedlecka & Roberts (1992), Karpuz et al.(1993) og Roberts (1995), i tillegg til de som ble sitert ovenfor.

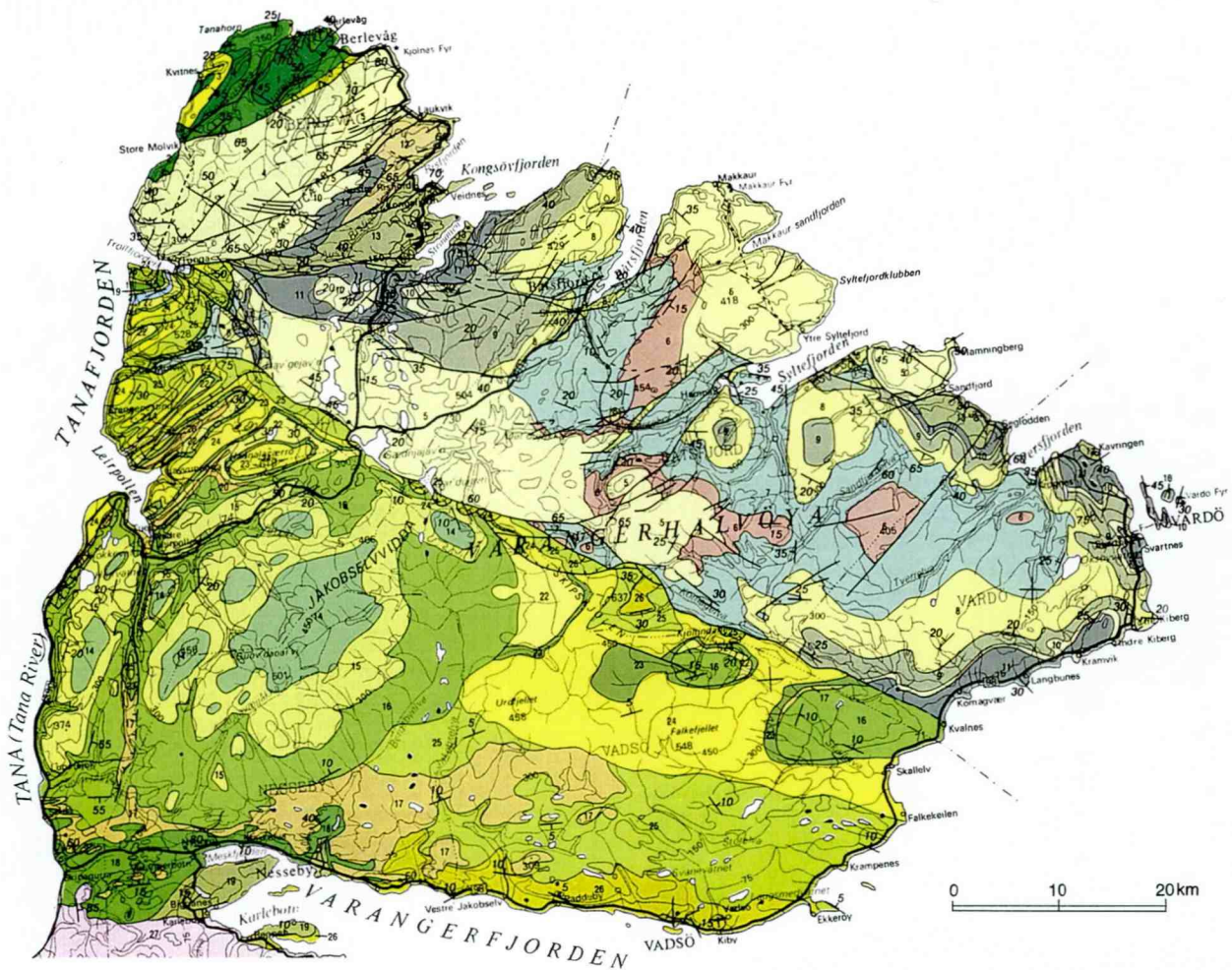
En spennende ny vri på forskningsaktivitetene på Varangerhalvøya ble innledet i 1989 da et samarbeidsprogram kom igang mellom Norges geologiske undersøkelse (NGU) og det tidligere sovjetiske (nå russiske) vitenskapsakademiet. Ett av flere prosjekter i dette samarbeidsprogrammet gjaldt en analyse av lineament- og forkastningssystemer i NØ Finnmark og den vestlige Kolahalvøya i Russland, med anvendelse av satellitt fjernanalysemetoder.

Prosjektarbeidet, som ble finansiert stort sett av Norges Forskningsrådet (NFR) men også delvis av Norsk Hydro a.s. (Norsk Hydro Forskningscenter i Bergen), ble hovedsakelig basert på bruk av digitalt forbedret Landsat-5 TM bilder. En viktig komponent i denne analysen ble integrasjonen av andre datasett, bl.a. aeromagnetiske og gravimetrisk data og en digital terrengmodell. Feltarbeide, analyse av mesoskopiske strukturer, og tynnslip undersøkelser var også viktige ingredienser mot målet for å oppnå en detaljerte vurdering av lineamentsystemene i regionen. Selve bildebehandlingen og analysen ble utført av M.R.K., tildels som et dr.ing.studium finansiert av NFR og registrert ved univ.i Bergen, men samtidig i en stipendiatstilling med arbeidsplass på NGU og med D.R. som prosjektleder.

Til prosjektarbeidet i sitt helhet ble 3 fulle overlappende Landsat-5 TM (Thematic Mapper) scener i digital format kjøpt inn. Disse dekker et område av c.70 000 km². Hovedresultatene av lineamentanalysen ble nylig publisert (Karpuz et al. 1995). En av Landsat-TM scenene dekker Varangerhalvøya, og en strukturell undersøkelse over halvøya basert på nettopp dette bilde, i 1:250 000 målestokk, med støtte fra felt- og mikroskopundersøkelser er omtalt i Karpuz et al.(1993).

I en nokså sen fase av prosjektets levetid ble også kjøpt inn filmen til en radar scene som dekker godt over halvparten av Varangerhalvøya. Dette bildet ble generert av en sensor ombord den europeiske fjernanalysetsatellitten ERS-1 (European Remote Sensing Satellite - No.1), som ble skutt opp i juli 1991. Målet her ble å sammenligne strukturene og andre trekk på dette radarbildet med de som vises på det falskfargete kompositte Landsat-TM bildet.

Selv om arbeidssituasjonen innenfor prosjektet på dette sene tidspunktet innebar at svært lite analytisk arbeide ble gjort på de digitale radardataene, presenterer vi i denne rapporten noen få bilder eller forstørrede delbilder, og Landsatbilder fra akkurat de samme traktene, for å vise omfanget og potensialet av ERS-1 SAR radarbilder i tektonisk-strukturelle undersøkelser. Presentasjonen er med hensikt kortfattet, men vil forhåpentligvis gi en interessant innføring i et



BARENTS SEA REGION

Berlevåg Formation (Tanahorn Nappe)

1	Phyllite
2	Metasandstone and phyllite
3	Metasandstone

Løkvikfjellet Group

4	Sandstone and mudstone
5	Feldspathic sandstone

Barents Sea Group

6	Tyvjøfjellet Formation
7	Båtsfjord Formation
8	
9	Båsnæringen Formation
10	
11	
12	Kongsfjord Formation
13	

TANAFJORDEN-VARANGERFJORDEN REGION

Vestertana Group

14	Brevika Formation
15	Stappogiedde Formation
16	
17	Mortensnes Formation
18	Nyborg Formation
19	Smalfjord Formation
20	Mudstone, sandstone and tillite, undifferentiated

Tanafjorden Group

21	Grasdalen Formation
22	Hanglečærro Formation
23	Vagge Formation
24	Gamasfjellet Formation
25	Dakkovarre, Stanges and Grønneset Formation
26	Vadsø Group
27	Proterozoic and Archaean crystalline basement

Figur 1. Berggrunnsgeologien over Varangerhalvøya, forenklet fra 1:250 000 målestokk. Fra Siedlecka & Roberts (1992).

fjernanalyse redskap som kanskje kan bli en viktig bi-metode i strukturelt orienterte studier for fremtiden. Før beskrivelsen av radarinstrumentet gir vi en kort orientering om dataene produsert av TM-sensoren ombord i Landsat-5 satellitten.

2 LANDSAT-5 THEMATIC MAPPER DATA

Landsat serien av satellitter er forholdsvis godt kjent, fra de tidligere versjoner med MSS (Multispectral Scanner) sensoren ombord, til de som bærer TM-instrumentet. Bildet som vi har benyttet i dette studium på Varangerhalvøya (Fig. 2) ble tatt opp av TM-sensoren i juli 1987. Bakkeløseligheten er 30 m.

Til samarbeidsprosjektet vårt ble bildene prosessert interaktivt og digitalt for å fremheve de geologiske strukturene (Karpuz 1990), og deretter tatt opp som en positiv transparent og senere fremkalt som en såkalt "hard copy". Strukturene på bakken ble fremhevet ved bruk av visse romfrekvens filterteknikker. Komposittbilder i falske farger ble produsert til analysen og tegningen av lineamentene, hovedsakelig med en kombinasjon av bånd (kanaler) 4,5 og 3 (i rødt, grønt og blått) eller 4,5 og 7 (rødt, grønt, blått). (Her snakker vi om bånd eller kanaler innen det elektromagnetiske spektrum).

Lineamentkartleggingen ble utført i to trinn, nemlig en regional syntese i målestokk 1:250 000 på både falskfargekompositter og svart-hvite fotokopier; og i tillegg, mer detaljerte studier i visse områder som ble gjort på skjermen til bildebehandlingssystemet. Det sistnevnte ble gjort i målestokk opp mot 1:100 000, som er ganske nær grensen til hva bakkeoppløsningen kan tolererer, dvs, før de individuelle pixlene blir synlige.

Andre datasett, for eksempel aeromagnetiske, gravimetrisk og digitale topografiske data, ble også integrert gjennom disse arbeidsstasjonene, både ved NGU, Trondheim, og ved Norsk Hydro sitt forskningssenter i Bergen.

3 ERS-1 SAR DATA

Satellitten tilhørende "the European Space Agency", ERS-1, veier over 2 tonn og går i en bane 780 km over jordens overflaten. Et helt omløp tar c.100 minutter, og data blir overført i en hastighet av 120 megabits pr.sekund.

Hoved instrumentet ombord, AMI (Active Microwave Instrument), som også er det største, produserer svært detaljerte SAR (Synthetic Aperture Radar) bilder som dekker et område på 100 km x 100 km.

Bildeoppløsningen varierer fra 15 til 30 m, avhengig av produkt typen. Bildet som vi har brukt, en ERS-1 SAR.PRI (Precision Image) (Fig. 3), har en oppløsningen på 25 m i "ground range" og 22 m azimutt, med en pixel størrelse på 12,5 x 12,5 m.

Fordelen med ERS-1 SAR, som med alle radar instrumenter, er at det i motsetning til optiske sensorer kan "se" gjennom skydekket og opererer både dag og natt. På denne måten er SAR et utmerket instrument i polare strøk, også i mørketiden.

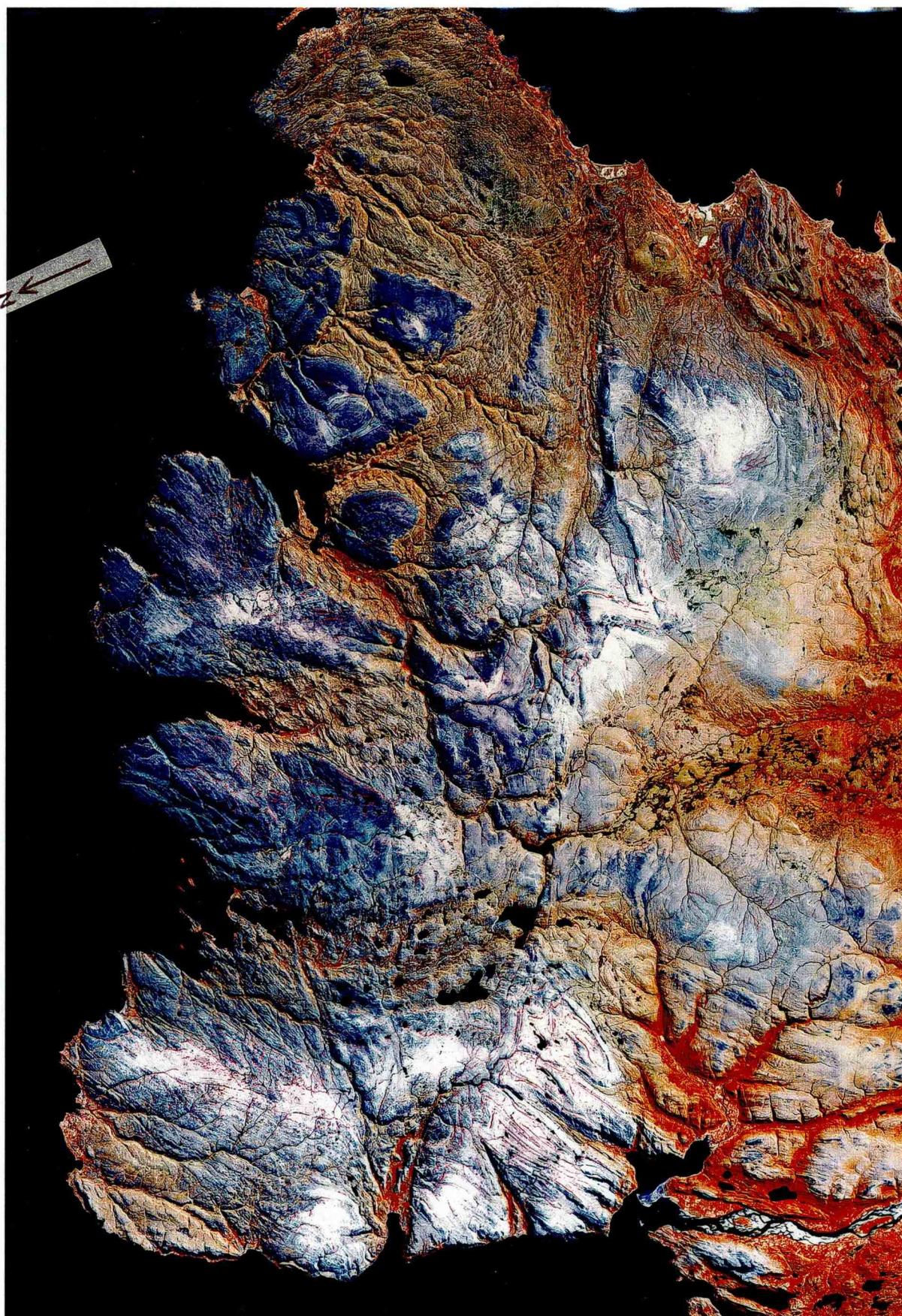


Fig. 2. Landsat TM-5 komposittbilde i falske farger over størstedelen av Varangerhalvøya med bånd (kanaler) 4,5 og 3 i rødt, grønt og blått. Denne del av scenen dekker et område av c. 110 km x 60 km.

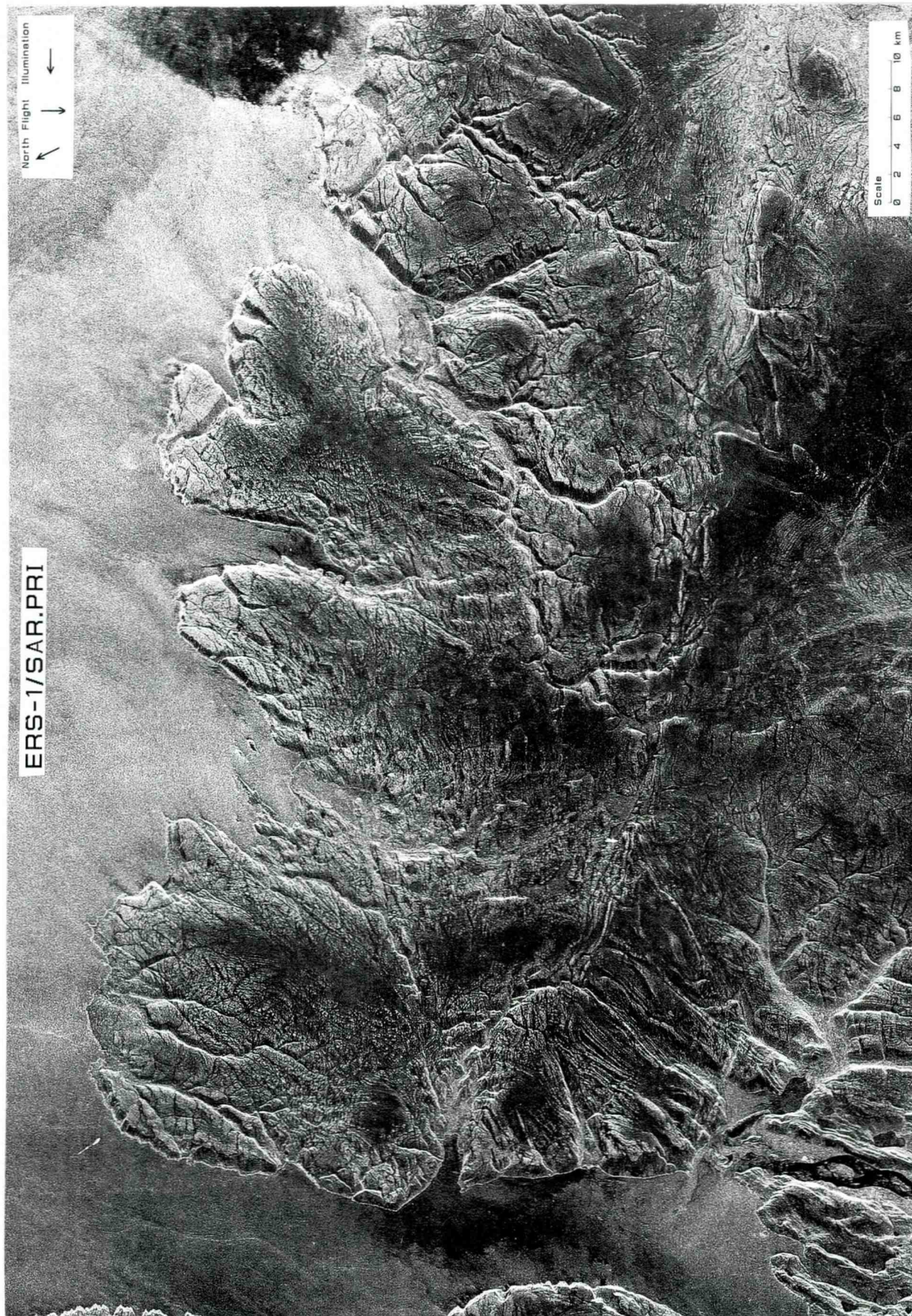


Fig. 3. ERS-1 SAR.PRI bilde over de nordvestligste og midterste delene av Varangerhalvøya, med belsningen rettet mot nordvest. Det opprinnelige bildet dekker et område av c. 150 km x 95 km, men havområdet er kappet av i denne figuren. Målestokk c. 1: 400 000.

En viktig anvendelse er ved "monitoring" av isbevegelser på havet og for å åpne nye skipsruter i polare og subpolare strøk. ERS-1 SAR, og andre radarsatellitter, danner faktisk et viktig navigasjons redskap siden skip kan nå mottar "is kart" fra bakkestasjonene i løpet av få timer etter at dataene ble tatt opp av satellittsensoren, og deretter navigere forholdsvis trygt gjennom isbelagt farvann.

SAR.PRI-bildet fra den nordvestlige delen av Varangerhalvøya (Fig. 3) ble ervervet den 20 mai 1992, kl.09.37, og dataene tatt opp av mottakerstasjonen i Tromsø (Tromsø Satellittstasjon). Selve bildet ("hard copy") ble produsert den 24 februar 1993. Av andre tekniske spesifikasjoner kan det nevnes: flygebanen i retning mot 206°; mid-swath incidence angle 23°. På bildet er belysningen rettet mot nordvest.

4 TEST OMRÅDE; SAMMENLIGNING MED LANDSAT-TM

Den foreløpige prosesseringen av SAR scenen ble utført ved Norsk Hydros Forskningscenter, og på Geologisk Institutt, Universitetet i Bergen. Prosesseringen tok sikte på å redusere en høyfrekvent lyd som kalles for "speckle", og samtidig å forsterke de geologiske strukturene. En karakteristikk av SAR sensoren og bilder er at de forsterker de teksturelle og fuktighetstrekk av bergartene. I tillegg ble N-S til NØ-SV strukturelle trender fremhevet pga den SV-rettede ERS-1 banen og den NV-lige belyningsretninger. På grunn av den forholdsvis rolige topografien på Varangerhalvøya ble det ikke observert noen betydningsfulle fordreininger på bildene.

På grunn av at Varangerhalvøya har en nesten fullstendig dekning av berggrunnsgeologiske kart (foreløpige utgaver) i målestokk 1:50 000, og i tillegg er dekket av det fargetrykte 1:250 000 kartblad 'Vadsø' (Siedlecki 1980), egner halvøya seg meget bra som et testområde for anvendelse av SAR.PRI "imagery". Andre fordeler er at det finnes en ganske bra flyfoto dekning over halvøya og, som kjent, også en Landsat-TM kompositt i falske farger.

I denne foreløpige rapporten har vi valgt ut et testområde på Varangerhalvøya for å fremheve mangesidigheten av radarbildene som et redskap i strukturelle undersøkelser. Dette området dekker den nordvestligste delen av halvøya, i en 15-20 km bred NNØ-SSV korridor som strekker seg fra Berlevåg på Barentshavkysten forbi Trollfjorden til Leirpollen i syd. Dette kaller vi for *Berlevåg-Leirpollen* området (Fig. 4).

4.1 Berlevåg-Leirpollenområdet

Dette langstrakte området er delt i to av Trollfjord-Komagelvsforkastningssonen, langs dalen som strekker seg sørøstover fra Trollfjorden.

Geologien nord for TKFS (Fig. 4a) er dominert av to hovedenheter, Løkvikfjellgruppen og Berlevågformasjonen. De ligger i tektonisk kontakt med hverandre langs en NV-hellende skyveforkastning, med Berlevågformasjonen øverst (Levell & Roberts 1977) som eget dekke; Tanahorndekket (Siedlecka & Roberts 1992). Mens Løkvikfjellgruppens bergarter består hovedsakelig av fluviale, til dels tykklagdelte sandsteiner, karakteriseres Berlevågformasjonen for det meste av laminerte og tynnlagdelte fyllittiske bergarter.

Forskjellen mellom disse bergartsenheter er gjenkjennelig på Landsat-TM scenen (Fig. 4b), pga kontraster i falskefarger mellom de godt blottede sandsteiner i Løkvikfjellgruppen, og de bløtere, til dels overdekkede bergarter i Tanahorndekket. På ERS-SAR bildet (Fig. 4c) kommer strukturen enda tydeligere fram, og Tanahorndekkets knivskarpe basale skyveforkastning er lett å kjenne.

Geologien og strukturen sør for TKFS er nokså forskjellig fra de som finnes i Berlevåg-Trollfjordtrakten. Den hovedenheten, tilhørende Gaissadekkekomplekset, består av vekslende sandsteins- og leirskiferformasjoner som tilsammen danner mesteparten av Tanafjordgruppen og en del av Vestertanagruppen.

I nettopp dette tilfellet ser vi at ERS-SAR bildet er å foretrekke når det gjelder den tektoniske strukturen. Hovedstrukturen i denne delen av Gaissadekkekomplekset er en serie med NØ-SV-gående antiklinaler og synklinaler (Fig. 4a & 5), dels med noen foldparallele reverse- og normale forkastninger, et mønster som ble først kartlagt i noe detalje av Siedlecka & Siedlecki (1971). Selv om strukturene kan forsåvidt sees på Landsat-TM, kommer alle de individuelle foldene sterkt frem på ERS-SAR bildet (Fig. 4c & 5), stedvis med så mye detaljer at man kan lure på om det geologiske kartet trenger bittesmå justeringer her og der.

I Manjunnas-Av'gajåkkaområdet, kjent fra en nyere artikkel av Rice (1994), er forskjellen i strøket av lagningen i Båtsfjordformasjonen og i den overliggende Ekkerøyformasjonen lett å observere (Fig. 5). Kontakten mellom disse to formasjonene ble først betraktet som primær (Siedlecka & Siedlecki 1971), men senere omtolket som tektonisk av Johnson et al. (1978) og tegnet som slik av Siedlecki (1980). Ut fra kontaktens karakter sett på SAR-bildet er det høyst tvilsomt å betrakte den som en viktig tektonisk linje. En befaring i 1991 av norske (NGU) og russiske geologer støttet tolkningen som en primær kontakt, en inkonformitet, med svært lite bevis for tektonisering (Figs. 6 & 7), og Rice (1994) er også av samme formening.

5 AVSLUTTENDE BEMERKNINGER

I denne foreløpige rapporten har vi presentert de aller første "synthetic aperture" radar (SAR) bilder fra Varangerhalvøya generert av et instrument ombord den europeiske fjernanalysetsatellitten ERS-1. Radardataene som er opprinnelig i digital form ble prosessert på en slik måte ved å redusere den høyfrekvente lyden ("speckle") og samtidig ved å forsterke de geologiske strukturene som er godt utviklet, særlig i den vestligste delen av halvøya.

Bildene som blir vist i denne rapporten er kopiert fra en middelskvalitets "hard copy"-versjon av SAR-scenen, og er derfor av mye dårligere kvalitet enn de som produseres direkte fra skjermen. Ut fra en sammenligning med den berggrunnsgeologiske kartet og det falskfargete kompositte Landsat-TM-bildet kan man ikke desto mindre se at ERS-1 SAR-bildene er å foretrekke når det gjelder de detaljerte tektoniske strukturene i berggrunnen.

Sammenligningen av SAR og Landsat-scenene indikerer at begge datasett komplimenterer hverandre. Mens Landsat-TM, pga dets multispektrale karakter er bedre tilegnet kartleggingen av de litologiske forskjellen, viser SAR derimot de topografisk definerte strukturelle og kvartære geomorfologiske trekk mye tydeligere enn TM komposittbildene.



Fig. 5. En forstørrelse av en del av SAR radarbildet som viser Manjunna-Av'gajåkkaområdet (SSØ for Trollfjorden) og fjellplatået sør for den markert Ø-V dalen Storelvdalen. Flere SØ-SV-gående antiklinaler og synklinaler er lett synlige sør for Storelvdalen. Nord for denne dalen, i Manjunna-Av'gajåkkaområdet kan man se vinkeldiskordansen mellom Båtsfjord- og Ekkerøyformasjonene (krf. berggrunnsgeologisk kart (Fig. 4 a), og fig. 3 i artikkelen til Rice (1994)). A- Av'gajåkka; M - Manjunna; S - Storelvdalen.



Figur 6. Bekken Av'gajåkka, Manjunnasområdet, her precis langs kontakten mellom Båtsfjordformasjonen (til høyre) og den flatere liggende Ekkerøyformasjonen; sett mot nordøst. Map-sheet 2336 III, Trollfjorden, UTM c.624 365. Foto: D.R., august 1991.



Figur 7. De samme to formasjonene, like ved lokaliteten i Fig. 6, for å vise den vinkel-inkonformiteten mellom Båtsfjordformasjonen, nederst, og Ekkerøyformasjonen, med en c.15° forskjell i fall. Den ujevne inkonformitetsflaten er også lett synlig; sett mot nordnordvest. Foto, D.R., august 1991.

LITTERATUR

- Johnson,H.D., Levell,B.K. & Siedlecki,S. 1978: Late Precambrian sedimentary rocks in East Finnmark, north Norway and their relationship to the Trollfjord-Komagelv fault. *J.Geol.Soc.London* 135, 517-533.
- Karpuz,M.R., Roberts,D., Olesen,O., Gabrielsen,R.H. & Herrevold,T. 1993: Application of multiple datasets to structural studies on Varanger Peninsula, northern Norway. *Int.Jour.Remote Sensing* 14, 979-1003.
- Karpuz,M.R., Roberts,D., Moralev,V.M. & Terekhov,E. 1995: Regional lineaments of eastern Finnmark, Norway, and the western Kola Peninsula, Russia. *Nor.geol.unders.Special Publ.* 7, 121-135.
- Kjøde,J., Støretvedt,K.M., Roberts,D. & Giskehaug,A. 1978: Palaeomagnetic evidence for large-scale dextral movement along the Trollfjord-Komagelv Fault, North Norway. *Phys.Earth Planet.Inter.* 16, 132-144.
- Levell,B.K. & Roberts,D. 1977: A re-investigation of the geology of north-west Varanger Peninsula, Finnmark, North Norway. *Nor.geol.unders.* 334, 83-90.
- Rice,A.H.N. 1994: Stratigraphic overlap of the Late Proterozoic Vadsø and Barents Sea Groups and correlation across the Trollfjorden-Komagelva Fault, Finnmark, North Norway. *Nor.Geol.Tidsskr.* 74, 48-57.
- Rice,A.H.N., Gayer,R.A.,Robinson,D. & Bevins,R.E. 1989: Strike-slip restoration of the Barents Sea Caledonides terrane, Finnmark, North Norway. *Tectonics* 8, 247-264.
- Roberts,D. 1972: Tectonic deformation in the Barents Sea Region of Varanger Peninsula, Finnmark. *Nor.geol.unders.* 272, 39s.
- Roberts,D. 1995: Principal features of the structural geology of Rybachi and Sredni peninsulas, Northwest Russia, and some comparisons with Varanger Peninsula, North Norway. *Nor.geol.unders.Special Publ.* 7, 247-258.
- Siedlecka,A. & Siedlecki,S. 1967: Some new aspects of the geology of Varanger Peninsula (Northern Norway). *Nor.geol.unders.* 247, 288-306.
- Siedlecka,A. & Siedlecki,S. 1971: Late Precambrian sedimentary rocks of the Tanafjord-Varangerfjord region of Varanger Peninsula, northern Norway. *Nor.geol.unders.* 269, 246-294.
- Siedlecka,A. & Roberts,D. 1992: The bedrock geology of Varanger Peninsula, Finnmark, North Norway: an excursion guide. *Nor.geol.unders.Special Publ.* 5, 45s.
- Siedlecki,S. 1980: Geologisk kart over Norge, berggrunnskart Vadsø - M 1:250 000. *Nor.geol.unders.*