

# **FFI RAPPORT**

## **VURDERING AV ENVISAT ASAR FOR SKIPSDETEKSJON**

ARNESEN Tonje Nanette, OLSEN Richard B

**FFI/RAPPORT-2004/02121**



**VURDERING AV ENVISAT ASAR FOR  
SKIPSETEKSJON**

ARNESEN Tonje Nanette, OLSEN Richard B

FFI/RAPPORT-2004/02121

**FORSVARETS FORSKNING SINSTITUTT**  
**Norwegian Defence Research Establishment**  
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge



**FORSVARETS FORSKNING SINSTITUTT (FFI)**  
**Norwegian Defence Research Establishment**

**UNCLASSIFIED**

P O BOX 25  
 NO-2027 KJELLER, NORWAY  
**REPORT DOCUMENTATION PAGE**

**SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE**  
 (when data entered)

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2004/02121 1a) PROJECT REFERENCE FFI-III/839/170	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	3) NUMBER OF PAGES 77		
4) TITLE VURDERING AV ENVISAT ASAR FOR SKIPSDETEKSJON  EVALUATION OF ENVISAT ASAR FOR SHIP DETECTION				
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) ARNESEN Tonje Nanette, OLSEN Richard B				
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)				
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: <table style="width: 100%; border: none;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;">           a) <u>Synthetic Aperture Radar</u>            b) <u>Vessel detection</u>            c) <u>Ocean backscatter</u>            d) <u>ENVISAT</u>            e) _____         </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;">           IN NORWEGIAN:            a) <u>Syntetisk apertur radar</u>            b) <u>Skipsdeteksjon</u>            c) <u>Radarspredning fra havoverflate</u>            d) <u>ENVISAT</u>            e) _____         </td> </tr> </table>			a) <u>Synthetic Aperture Radar</u> b) <u>Vessel detection</u> c) <u>Ocean backscatter</u> d) <u>ENVISAT</u> e) _____	IN NORWEGIAN: a) <u>Syntetisk apertur radar</u> b) <u>Skipsdeteksjon</u> c) <u>Radarspredning fra havoverflate</u> d) <u>ENVISAT</u> e) _____
a) <u>Synthetic Aperture Radar</u> b) <u>Vessel detection</u> c) <u>Ocean backscatter</u> d) <u>ENVISAT</u> e) _____	IN NORWEGIAN: a) <u>Syntetisk apertur radar</u> b) <u>Skipsdeteksjon</u> c) <u>Radarspredning fra havoverflate</u> d) <u>ENVISAT</u> e) _____			
THESAURUS REFERENCE: 8) ABSTRACT <p>Ship detection and monitoring has become one of the first operational services from civilian spaceborne Synthetic Aperture Radar. The Norwegian Coast Guard presently uses such data to support fisheries monitoring in Northern waters. The dual-polarised AP mode of the Advanced Synthetic Aperture Radar deployed on ENVISAT provides a novel capability to extend the range of useful incidence angles for ship detection. At steep incidence angles, cross-polarised images provide much improved ship to sea contrast ratios, compared to conventional co-polarised images. Using cross-polarised data in one channel and co-polarised data in the second, one may also obtain combinations of high contrast ship images in one channel as well as useful images of ship wakes in the second channel.</p>				
9) DATE 2004-07-21	AUTHORIZED BY This page only Johnny Bardal	POSITION Director		

ISBN-82-464-0857-7

**UNCLASSIFIED**

**SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE**  
 (when data entered)



**INNHOLD**

	<b>SIDE</b>
1	INNLEDNING ..... 9
1.1	Polarisasjon..... 10
1.2	Polarisasjon og skipsdeteksjon ..... 11
2	ENVISAT ..... 11
2.1	Instrumenter ..... 12
2.2	ASAR ..... 14
2.3	ASAR og avbildingsmoder ..... 15
2.3.1	Image modus ..... 18
2.3.2	Wave modus ..... 18
2.3.3	Wide Swath modus ..... 19
2.3.4	Global Monitoring modus ..... 19
2.3.5	Alternating Polarisation modus..... 20
3	RADARREFLEKSJON ..... 20
3.1	CMOD ..... 23
3.2	Speckle ..... 27
3.3	Radartverrsnitt til et objekt..... 30
4	SKIPSDETEKSJON ..... 31
4.1	Måldeteksjon ..... 31
4.1.1	Algoritmer..... 33
4.2	Kjølvannstriper og signaturer..... 34
4.2.1	Kjølvannssignaturer ..... 34
4.2.2	Algoritmer..... 36
5	SKIPSDETEKSJON MED ENVISAT WIDE SWATH MODE ..... 37
6	ANALYSE AV ENVISAT AP MODE DATA..... 39
6.1	Oversikt over data ..... 40
6.2	Framgangsmåte ..... 44
6.3	Resultater ..... 47
6.3.1	Skip til sjø kontrast (TCR) ..... 47
6.3.2	kjølvannstriper ..... 57
6.3.3	Radarsignaturer ..... 63
7	OPPSUMMERING OG ANBEFALINGER ..... 75
	LITTERATUR ..... 76





**AKRONYMER**

AATSR	Advanced Along Track Scanning Radiometer
ADC	Analog-to-Digital Converter
AMI	Active Microwave Instrument
AP	Alternerende Polarisasjon
ARTEMIS	Advanced Relay and Technology Mission Satellite
ASAR	Advanced Synthetic Aperture Radar
CCRS	Canada Centre for Remote Sensing
CMOD	C-band Scatterometer Model Function
CFAR	Constant False Alarm Rate
CSG	Centre Spatial Guyanais
DORIS	Doppler Orbitography and Radio positioning Integrated by Satellite
ERS	European Remote Sensing
ESA	European Space Agency
FBAQ	Flexible Block Adaptive Quantizer
GOMOS	Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars
H	Horisontal polarisering
HH	Horisontalt utsendt – Horisontalt mottatt
HV	Horisontalt utsendt – Vertikalt mottatt
IDL	Interactive Data Language
IMP	Precision Image
KSAT	Kongsberg Satellite Services AS
LRR	Laser Retro-Reflector
MERIS	Medium Resolution Imaging Spectrometer
MIPAS	Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding
MWR	Microwave Radiometer
PDF	Probability Density Function
RA-2	Radar Altimeter
RCS	Radar Cross Section
SAR	Synthetic Aperture Radar
SCIAMACHY	Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography
SvalSat	Svalbard Satellittstasjon
TCR	Target to Clutter Ratio
TSS	Tromsø Satellittstasjon
V	Vertikal polarisering
VH	Vertikalt utsendt – Horisontalt mottatt
VV	Vertikalt utsendt – Vertikalt mottatt



## VURDERING AV ENVISAT ASAR FOR SKIPSDETEKSJON

### 1 INNLEDNING

Forsvaret har brukt satellittbåren Syntetisk Apertur Radar (SAR) systemer for å overvåke fiskeaktiviteter i Nordområdene siden 1998. Den kanadiske RADARSAT-1 satellitten har vært hovedkilden til informasjon før Europas ENVISAT ble skutt opp.

Tilgangen til slike data fra sivile satellitter, der oppløsningen er god nok til å detektere havgående skip, har sporet til betydelig forskning og utvikling innen skipsdeteksjon i SAR bilder fra satellitter. Det er opparbeidet betydelig kompetanse på algoritmer for automatisk deteksjon og på hvilke muligheter og begrensninger for skipsdeteksjon som foreligger ved bruk av satellittbåren SAR. En viktig faktor har vist seg å være avbildningsgeometrien. Med RADARSAT-1 (og de tidligere ERS-1 og ERS-2 satellittene) fant en at evnen til å detektere skip på bratte innfallsvinkler ( $20\text{-}30^\circ$ ) var begrenset til svært store skip (større enn 100 m) (11). Årsaken er at radarene som disse satellittene har vært utstyrt med, er konstruert slik at reflektert radarstråling fra havoverflaten og fra skip ofte er tilnærmet like sterk, og medfører dårlig kontrast mellom hav og skip.

ENVISATs Advanced Synthetic Aperture Radar (ASAR) er derimot basert på nyere teknologi og er mer avansert. Den såkalte Alternerende Polarisasjons (AP) modusen gir mulighet for samtidige målinger av refleksjon fra skip og hav med forskjellige polariseringer av radarsignalet. Før oppskyting var det forventet at denne modusen kunne representere en forbedring i evnen til å detektere skip i høy sjø og innenfor en større bredde av innfallsvinkler (12). Det er derfor spesielt interessant å utforske mulighetene til ASAR AP modus for å detektere skip, og der det er mulig, deres kjølvann.

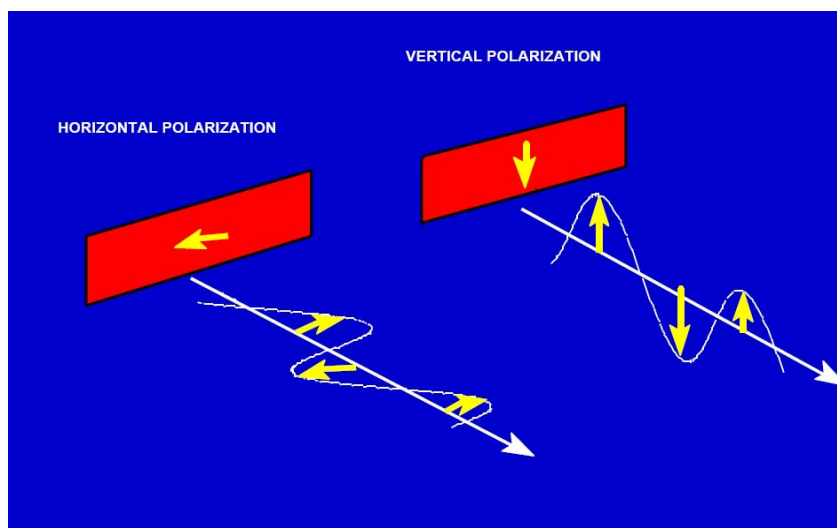
Denne rapporten presenterer et studium der kapasiteten til ENVISATs ASAR instrument for er vurdert for skipsdeteksjon. Resultatene for vurdering av Wide Swath moden er av interesse for sammenlikning med tidligere satellitter (ERS og RADARSAT), mens resultatene av analyse av data fra AP moden er en vurdering av en ny rombasert kapasitet. Polariseringsforholdene (VV/VH, HH/HV og VV/HH) for skip som har kjent form er undersøkt, samt hvordan disse forholdene avhenger av bildegeometrien. I tillegg er skip til sjø kontrasten (Target to Clutter Ratio – TCR) for forskjellige polariseringer, bildegeometrier og sjøforhold undersøkt.

I resten av kapittel 1 innleder vi litt om polarisasjon av radarbølger, samt bruk av denne egenskapen i forbindelse med skipsdeteksjon. Kapittel 2 omtaler ENVISAT og ASAR instrumentet. Kapitlene 3 og 4 gir en grunnleggende presentasjon av prinsippene for radarrefleksjon fra havoverflaten og deteksjon av skip i radarbilder. I kapittel 5 anvender vi noen av disse prinsippene til å produsere estimat av yteevnen til ASAR Wide Swath modusen (VV og HH polarisasjon) for skipsdeteksjon. Resultater fra analyse av AP mode data fra norske farvann,

Bouvetøya og Irskesjøen presenteres i kapittel 6. Bilder som er tatt over områder med kjente fartøyer har blitt analysert og polariseringsforholdene er beregnet. Deler av datasettet er anskaffet over et forankret skip på Nornefeltet, der forskjellige subspor og polariseringer er brukt for å beregne hvilke kombinasjoner av disse parametrene og sjøforhold som gir best TCR. Kapittel 7 oppsummerer resultatene som er oppnådd, og gir anbefalinger for bruk av ENVISAT ASAR til skipsdeteksjon. Anbefalingene vil også til dels være gyldige for nye moder på kommende RADARSAT-2, som forventes å være operativ tidlig 2006.

## 1.1 Polarisasjon

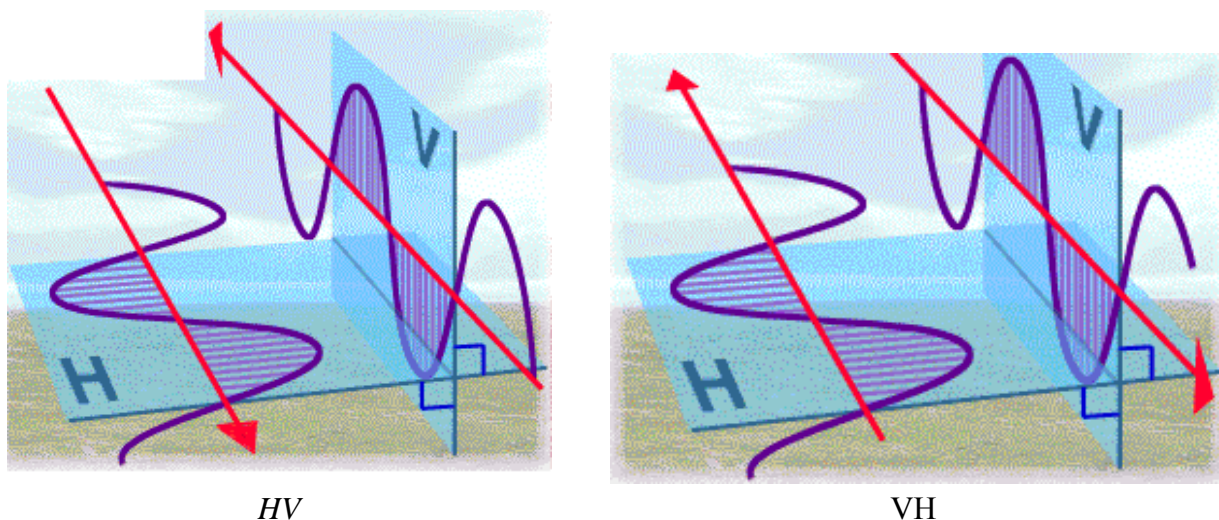
Elektromagnetiske bølger er transversale bølger, og de kan derfor være polariserte. En bølge der vibrasjonene alltid er i samme retning, kalles lineær polarisering. Horisontal polarisering (H) har vi når det elektriske feltet til den utsendte bølgen fra satellitten er omtrent normalt med innfallsplanet, mens ved vertikal polarisering (V) er det elektriske feltet parallelt med innfallsplanet. Figur 1.1 viser horisontal og vertikal polarisering.



Figur 1.1 Horisontal (til venstre) og vertikal polarisering. ©CCRS (Canada Centre for Remote Sensing)

VV-polarisering betyr at radaren både sender og mottar vertikalpolarisert stråling, mens HH-polarisering betyr at radaren både sender og mottar horisontalpolarisert stråling. VH-polarisering betyr at radaren sender ut vertikalpolarisert stråling, mens den mottar horisontalpolarisert stråling, mens for HV-polarisering er situasjonen motsatt (se Figur 1.2).

ENVISATs ASAR instrument gir muligheter til å lage to bilder av samme område med forskjellige polariseringer (VV og HH) ved å veksle mellom polariseringene på antennen. Dette er en modifisert ScanSAR teknikk, og kalles kopolarisert submodus. Det nye med ENVISATs ASAR instrument er at det også gir muligheter til å lage bilder som bruker krysspolarisering, enten kryss-H polarisering (HH/HV) eller kryss-V polarisering (VV/VH). Et bilde blir tatt med lik polarisering i utsendt og mottatt stråle, mens i det andre bildet er polarisering til utsendt og mottatt stråle forskjellig.



Figur 1.2 Viser krysspolariseringene HV og VH. ©CCRS

## 1.2 Polarisasjon og skipsdeteksjon

Ved bruk av kopolarisering, VV og HH, øker skip til sjø kontrasten med økende innfallsvinkel, mens den minker med økende vindhastighet og høy sjø. Dette skyldes primært at radarrefleks fra havet faller av mye med økende innfallsvinkel (se Figur 3.8, Figur 3.10, Figur 3.11), mens refleksjonen fra skip varierer relativt lite.

Kontrasten ved krysspolarisering, og avhengigheten til denne av bildegeometrien, er hittil mye dårligere dokumentert. Simuleringer, som omtalt i (12), indikerer imidlertid at krysspolarisert refleks fra havet er meget svak, og varierer lite med avbildningsgeometrien. Som oftest vil den være 20-30 dB lavere enn for kopolarisert refleksjon. Krysspolariserte radarsignaturer til skip er generelt 5-10 dB lavere enn for tilsvarende kopolariserte tilfeller.

Normalt bør en derfor kunne vente at krysspolarisert radar bør være best for små innfallsvinkler (15-30°), mens kopolarisert radar bør være best for større innfallsvinkler. Ved bruk av flere polarisasjoner samtidig, slik som i ENVISAT AP mode, vil en derfor kunne gjøre effektiv bruk av en større sporbredde enn tidligere, og dermed øke radarsatellittenes dekningsgrad.

## 2 ENVISAT

Satellitten ENVISAT ble skutt opp med en Ariane-5 bærerakett fra Centre Spatial Guyanais (CSG) i Kourou, Fransk Guyana 1. mars 2002. Den er ESAs etterfølger til satellittene ERS-1 og ERS-2. ENVISAT gir muligheter til å videreføre alle måleeksperimentene som ble utført på disse to satellittene, i tillegg til at den gir en rekke andre muligheter. F.eks. vil instrumentet ASAR om bord gi nye muligheter i forhold til Active Microwave Instrument (AMI) som var ombord satellittene ERS-1 og ERS-2.

ENVISAT programmet består av følgende fire hovedelementer (9):

- bæreraketten Ariane-5
- to kontrollstasjoner på jorda
- selve satellitten med instrumentene
- relésatellittsystemet ARTEMIS

De to kontrollstasjonene er plassert i Darmstadt, Tyskland og Frascati, Italia. Kontrollstasjonen i Darmstadt har ansvar for kommando og kontroll over satellitten, mens kontrollstasjonen i Frascati har ansvaret for å utnytte instrumentdataene. For å kunne kommunisere med satellitten blir også mange bakkestasjoner brukt, f.eks. Tromsø Satellittstasjon (TSS) og Svalbard Satellittstasjon (SvalSat).

Relésatellittsystemet ARTEMIS (Advanced Relay and Technology Mission Satellite) er utviklet av ESA, og ble skutt opp 12. juli 2001. ARTEMIS er et gjennombrudd i telekommunikasjonssatellitter. Det er et avansert system der nodene er satellitter. Systemet brukes når ENVISAT er utenfor bakkestasjonenes rekkevidde, og sørger for transmisjon av data mellom satellitten og kontrollstasjonene. Både laserstråler og radiobølger brukes til å kommunisere internt mellom relésatellittene.

ENVISATs startmasse var på hele 8200 kg, mens nyttelastmassen var 2050 kg. Satellittens lengde, bredde og høyde er på 26 m x 10 m x 5 m. Satellitten, som hovedsakelig er en miljøovervåkingssatellitt, har både globale og regionale mål. Den går i en solsynkron bane (98 grader inklinasjon) i en høyde på 800 km. Satellitten bruker 101 minutter på en runde rundt jorda. Repetisjonssyklusen er 25 dager, men mange av instrumentene observerer et stort område av jorda, og kan derfor observere hele jorda i løpet av noen få dager. Det er den kraftigste europeiske jordobservasjonssatellitten som er bygd noensinne, og den lager et komplett sett observasjoner av jorda. ENVISAT overvåker land, sjø, atmosfæren og permanente isdekker (6).

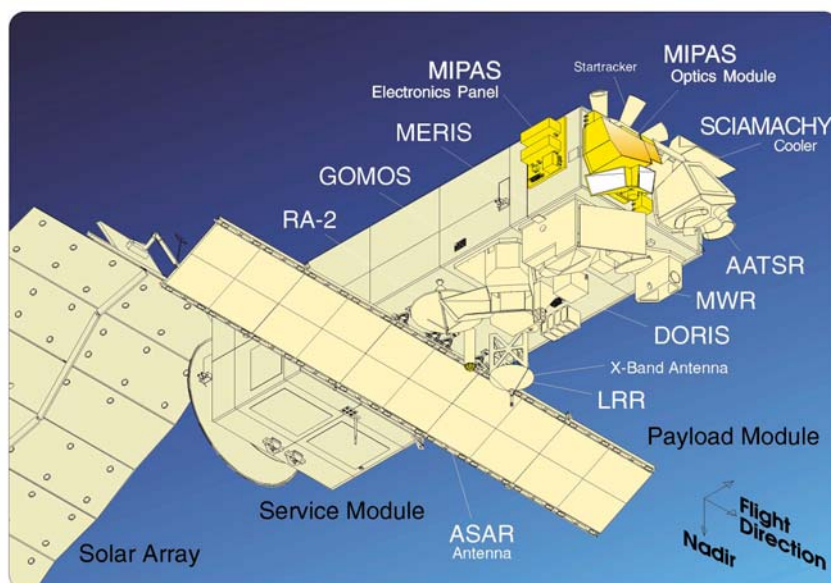
ENVISAT forsyner brukerne med to typer fjernmålingsdata: offline data (type 1) og nær sanntidsdata (type 2). Offline data har leveringstid på noen uker. Nær sanntidsdata har leveringstid på innen tre timer for type 2A og fra en til tre dager for type 2B (9).

## **2.1 Instrumenter**

De ti instrumentene ombord ENVISAT satellitten hjelper forskere å forstå hver del av systemene på jorda, og hvordan forandring i en del vil ha innvirkning på en eller flere andre deler. Se Tabell 2.1 for en oversikt over alle instrumentene, samt deres hovedformål, og Figur 2.1 for instrumentenes plassering på satellitten. Mange av instrumentene ombord ENVISAT er en videreutvikling av instrumentene som var ombord ERS-1 og ERS-2. Dette gjør at forskere kan sammenligne tilstander over de ti årene før ENVISAT ble skutt opp, samt de fem årene ENVISAT skal være virksom.

<b>Instrument</b>	<b>Hovedformål</b>
Advanced Along Track Scanning Radiometer (AATSR)	Måle presise overflatetemperaturer til havs gjennom IR-målinger. Dette er en nøkkelparameter i å beregne eksistensen og/eller omfanget av global oppvarming.
Advanced Synthetic Aperture Radar (ASAR)	Allværs dag og natt radar avbilding.
Doppler Orbitography and Radio positioning Integrated by Satellite (DORIS)	Gir posisjonen til ENVISAT i bane med nøyaktighet på noen få centimeter. Det er avgjørende for å forstå malinger som alle instrumentene gjør. I tillegg skal det DORIS brukes til å estimere frie elektroner i ionosfæren, modellere jordens gravitasjonsfelt, og til bedre å forstå den faste jords fysikk.
Global Ozone Monitoring by Occultation of Stars (GOMOS)	Observere ozonkonsentrasjonen i stratosfæren, samt profilmålinger av klimagassene NO <sub>2</sub> , NO <sub>3</sub> , og OCIO, samt temperatur og vanndamp i atmosfæren.
Laser Retro-Reflector (LRR)	Reflekterer impulsmodulert laser til bakkestasjonene. Hjelper til med å beregne satellittens eksakte posisjon i bane.
Medium Resolution Imaging Spectrometer (MERIS)	Måler stråling i 15 frekvensbånd, og gir informasjon om havbiologi, vannkvaliteten i overflatevannet (gjennom observasjoner av vannfargen), vegetasjon på land, skyer og vanndamp.
Michelson Interferometer for Passive Atmospheric Sounding (MIPAS)	Samle informasjon om kjemiske og fysiske prosesser i stratosfæren som har innvirkning på ozonkonsentrasjonen i framtiden.
Microwave Radiometer (MWR)	Hjelper RA-2 til å gjøre atmosfæriske korreksjoner på radar altimeter data ved å måle atmosfærens fuktighet.
Radar Altimeter (RA-2)	Måle avstanden fra satellitten til Jorda (høydemåler). Data brukes til værmelding, havtopografi, sirkulasjonsstudier, landtopografi, kartelling og overvåking av polaris og drivis og høyden på havoverflaten som er viktig for å overvåke El Niño.
Scanning Imaging Absorption Spectrometer for Atmospheric Cartography (SCIAMACHY)	Måle sporstoffer gasser og aerosol konsentrasjoner i atmosfæren slik at naturlige og antropogene klimaundersøkelser kan utføres.

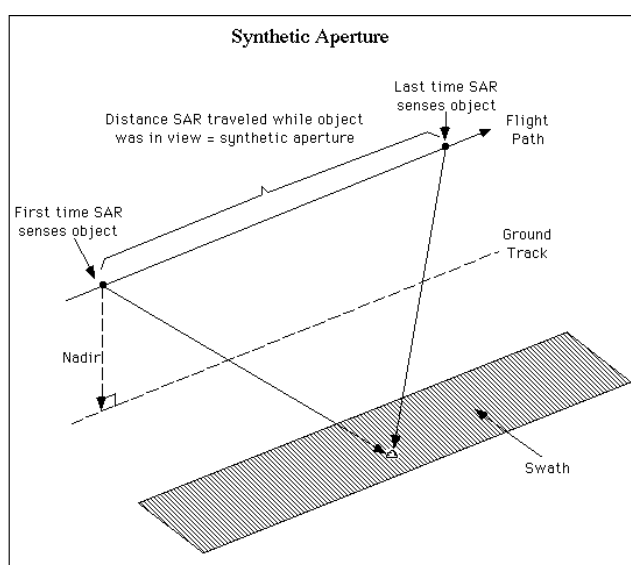
*Tabell 2.1 Oversikt over alle instrumentene ombord ENVISAT og hovedformålet til det enkelte instrument (6).*



Figur 2.1 Oversiktsbilde av fjernmålings satellitten ENVISAT og alle de ti instrumentene som er ombord. Figuren viser også hvilken retningen satellitten flyr i ("Flight Direction") og hvilken retning som er ned mot Jorda ("Nadir"). ©ESA.

## 2.2 ASAR

For Forsvarets formål er ASAR det viktigste instrumentet ENVISAT har ombord. Det er et høyopløselig avbildingsinstrument som gir informasjon både dag og natt i all slags vær. Den opererer i C-båndet med en bølgelengde på 5.62 cm. Strålen fra radarantennen sendes ut på høyre side av satellitten. Hvert mål er innenfor strålen i kun kort tid pga satellittens bevegelse og sporbredde. Det komplekse signalet som mottas fra satellitten summeres sammenhengende, og denne prosessen simulerer at en lang antenne (Synthetic Aperture) bestråler målet. Den syntetiske blenderåpningen er lik lengden satellitten beveger seg i løpet av integreringstiden (se Figur 2.2).



Figur 2.2 Bakgrunnen for syntetisk blenderåpning (Synthetic Aperture). ©ESA



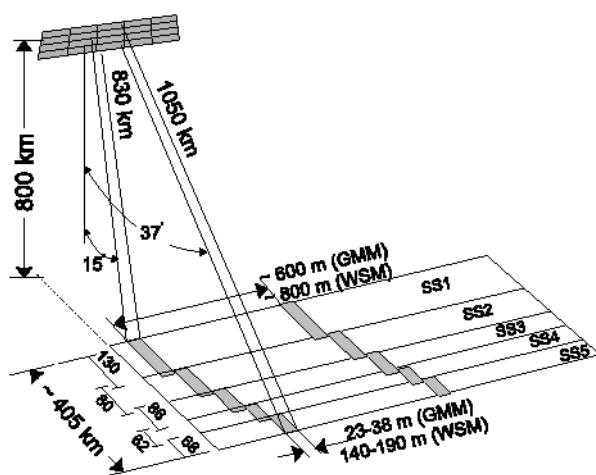
Det spesielle med ASAR instrumentet er at den har en aktiv antenne som gjør det mulig å kontrollere fasen og amplituden til radiatorene som sender ut bølgene på forskjellige steder på antenneoverflaten. Dette gjør det mulig å forme en rekke forskjellige stråler. Ved å bruke ScanSAR teknikker oppnås en sporbredde på over 400 km. En programmerbar bølgeform generator optimaliserer den radiometriske kvaliteten. Det er mulig å operere med en større dynamisk bredde av inputsignaler innenfor dataratebegrensningene enn ved ERS satellittene pga bruk av en 8-bit Analog-to-Digital Converter (ADC) som er assosiert med en Flexible Block Adaptive Quantizer (FBAQ).

ASAR vil gi radar tilbakespredningsmålinger som antyder terrengstrukturer, overflatejevnheter og dielektrisk konstant. ASAR gir gode muligheter til å studere blant annet bølger på havet, omfang og bevegelse av drivis, deteksjon av skip, samt studier over land som f.eks. avskoging og ørkendannelse (7). På globalt nivå vil ASAR bidra til å måle sjøforhold i forskjellige skalaer, kartlegge karakteristikken og bevegelsene til isflak, kartlegging av fordelingen og bevegelsen til drivis, oppdage vegetasjonsforandringer (stor skala), og overvåking av forurensning i havet (7). På regionalt nivå vil ASAR kunne bidra med kontinuerlige og pålitelige datasett av drivis, kartlegging av snø og is, beskyttelse av kysten og kartlegging av forurensning, kartlegging av skipstrafikk, kartlegging av jordbruk og skogområder, kartlegging av fuktighet i jordsmonn, geologisk utforskning, topografisk kartlegging, overflatedeformasjon, samt å forutsi, spore opp og reagere på naturkatastrofer (7).

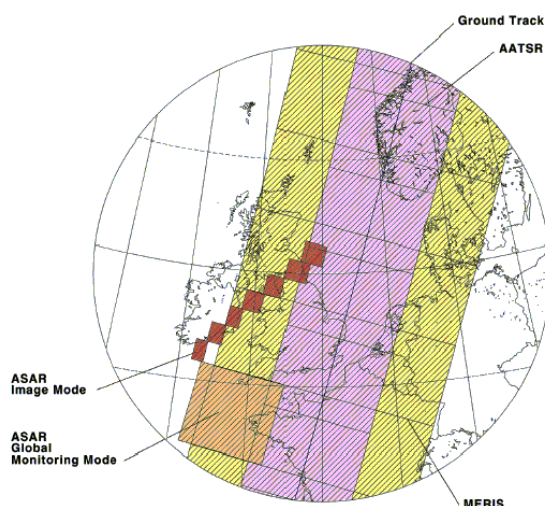
Instrumentet ASAR har gitt den første (ugraderte) muligheten til å samle SAR data med alternerende polarisering over tid, fra rommet. Det er mulig og operere med horisontal, vertikal polarisering og kombinasjoner av disse (VV/VH, HH/HV og VV/HH). Det gir økte og interessante muligheter til å detektere skip i høy sjø og innenfor en større bredde av innfallsvinkler. Instrumentet peker nærmere nadir enn RADARSAT-1s SAR gjorde, og dette gir sterkere refleksjon.

### **2.3 ASAR og avbildingsmoder**

ASAR instrumentet har 37 forskjellige operasjonsmoder i høy, medium og redusert oppløsning. Den kan lage fem hovedtyper SAR bilder: Image modus, Wave modus, Alternating Polarisation (AP) modus, Wide Swath modus og Global Monitoring modus. Det blir brukt to ulike metoder når målinger blir utført: tradisjonell stripmap SAR eller ScanSAR. Image modus og Wave modus bruker stripmap modus typen, og her belyser radaren bare et forhåndsdefinert subsporbredde. Wide Swath modus og Global Monitoring modus bruker ScanSAR modus typen, og her veksler radaren på å belyse alle de forhåndsdefinerte subsporbreddene (se Figur 2.3). AP modus bruker en blanding av begge typene. Det er syv forskjellige subspor i stripmap modus og fem forskjellige subspor i ScanSAR modus. I stripmap modusen er total tilgjengelig sporbredde på 485 km, mens den er 405 km i ScanSAR modus. Figur 2.4 viser sammenlikning av dekningsområder for noen ASAR moder og andre instrumenter om bord ENVISAT.



Figur 2.3 Illustrasjon av ScanSAR teknikken. Det er mulig å bestråle flere subspor ved å bevege antennen til forskjellige posisjoner. ©ESA



Figur 2.4 Sammenlikning av dekningsområder for noen instrumenter og moder ombord ENVISAT: ASAR Image mode (rød), ASAR Wide Swath mode og ASAR Global Monitoring mode (oransje), AATSR (fiolett) og MERIS (gul). ©ESA

Man kan velge et bilde som har polarisering HH eller VV, eller man kan velge to bilder med litt dårligere kvalitet der det ene har HH og det andre har VV polarisasjon. ASAR er unikt fordi det er første gang det er montert et instrument på en sivil satellitt som gjør det mulig å skifte mellom to polariseringer. Hvis en skal oppnå maksimal refleksjon fra et mål, må den elektriske feltkomponenten,  $\vec{E}$ , være parallell med målet, og med ASAR er det muligheter til å velge den polariseringen som gir størst refleksjon. ASAR gir i tillegg til de to mulighetene nevnt ovenfor også muligheten for krysspolariseringene HV og VH. Kompliserte objekter, med mange flater kan føre til at polariseringen av radarsignalet kan vris ca  $90^\circ$  gjennom multiple refleksjoner. Mange skip vil ha slike egenskaper. Ved bruk av krysspolarisasjon over hav, vil havet framstå som helt svart, mens skip vil vanligvis reflektere nok til å være godt synlig (9). Informasjon om de nominelle parametrene til ENVISAT ASAR er gitt i Tabell 2.2.

Modus	Subspor	$S_{\text{sub}}$ [km]	$\theta$ [°]	$\rho_a$ [m]	$\rho_r$ [m]
Image modus	IS1	108	18.8	27.4	29.3
	IS2	107	22.8	27.4	24.4
	IS3	84	28.7	27.4	24.9
	IS4	90	33.7	27.4	25.3
	IS5	66	37.6	27.4	26.0
	IS6	72	41.0	27.4	26.1
	IS7	58	43.9	27.4	26.6
Wave modus	IS1	Varierer fra 10 km x 5 km til 6 km x 5 km avhengig av subspor	Kan velges i hele stripmap modusen	5.0	29.1
	IS2			5.0	24.4
	IS3			5.0	24.7
	IS4			5.0	25.1
	IS5			5.0	25.8
	IS6			5.0	25.8
	IS7			5.0	26.3
Alternating Polarisation modus	IS1	108	18.8	26.2	29.3
	IS2	107	22.8	26.0	24.4
	IS3	84	28.7	26.4	24.9
	IS4	90	33.7	26.0	25.3
	IS5	66	37.6	26.6	26.0
	IS6	72	41.0	26.2	26.1
	IS7	58	43.9	26.7	26.6
Wide swath modus	SS1	93	20.0	136.9	61.8
	SS2	84	28.7	140.9	58.9
	SS3	90	33.7	140.8	62.9
	SS4	66	37.6	141.0	81.9
	SS5	72	41.0	141.4	81.7
Global Monitoring modus	SS1	93	20.0	848.1	470.6
	SS2	84	28.7	848.1	503.8
	SS3	90	33.7	809.8	482.8
	SS4	66	37.6	818.8	495.7
	SS5	72	41.0	890.3	525.6

Tabell 2.2 Informasjon om ENVISAT ASAR modusene (9). Verdiene er "designverdier" og avviker noe fra verifiserte verdier etter oppskyting.

Parametrene i tabellen er:

$S_{\text{sub}}$ : Subsporet til satellitten varierer som følge av at høyden på satellitten varierer. Verdier for høyeste banehøyde, som vil si smalest subspor er tatt med.

$\theta$ : Innfallsvinkel

$\rho_a$ : Oppløsning i asimut retning

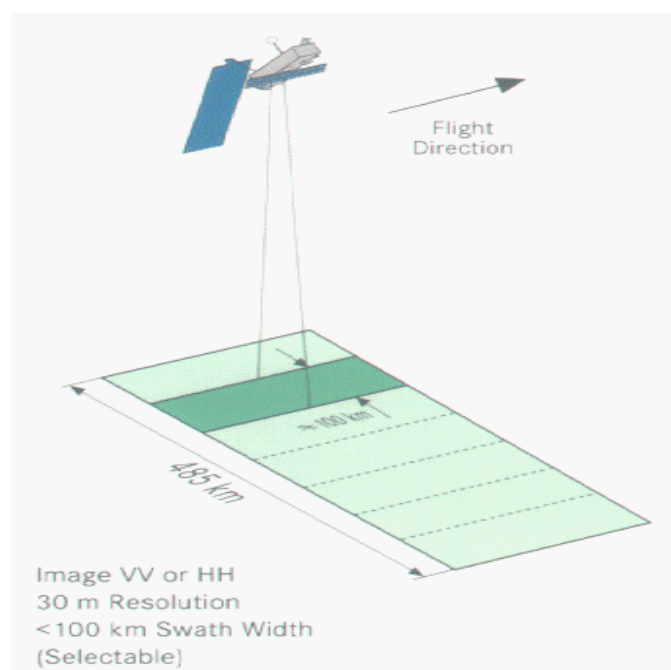
$\rho_r$ : Oppløsning i range retning

### 2.3.1 Image modus

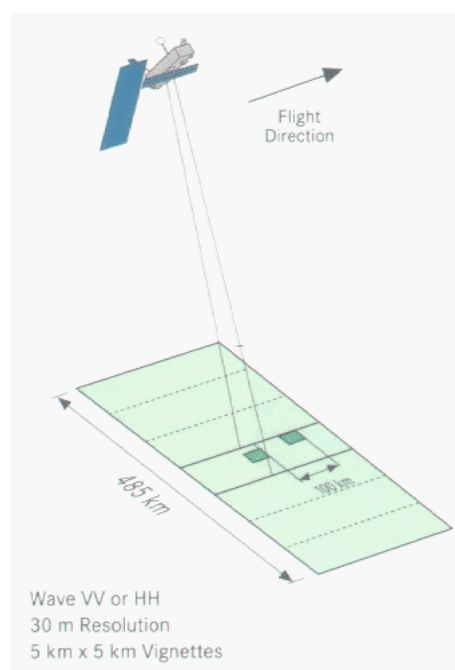
ASAR opererer i en av syv forhåndsbestemte subspor (IS1, IS2, ...eller IS7) i stripmap modus med enten vertikal eller horisontal polarisering (VV eller HH). Den samme polariseringen brukes til å sende ut og for å motta radarbølgene. Ved den bratteste innfallsvinkelen på  $19^\circ$  (målt midt i subsporet) er subsporbredden 109 km, mens subsporbredden er 58 km for en innfallsvinkel på  $44^\circ$ . Figur 2.5 viser de syv forskjellige subsporene til Image modusen.

### 2.3.2 Wave modus

ASAR Wave modus har de samme subsporene og polariseringene som Image modus har. Her er det mulig å ta små høyt oppløselige bilder over små områder på havet med jevne mellomrom langs subsporet. Fordi denne operasjonen krever lav datarate, er det mulig å lagre data ombord i satellitten, og Wave modus kan opereres gjennom hele satellittbanen. Bildene blir prosessert med spesiell vekt på støy fra sjøen, og dette gjør at det er mulig å finne havbølgenes bølgelengde og retning. To innstillinger kan defineres, og de vil repeteres for hver 200 km. Bildene kan posisjoneres i hele stripmap delen, og de tas med 100 kilometers mellomrom. Avhengig av hvilket subspor bildene tas i, varierer størrelsen fra 10 km x 5 km til 6 km x 5 km. Figur 2.6 viser ASARs Wave modus.



Figur 2.5 Image modus. ©ESA



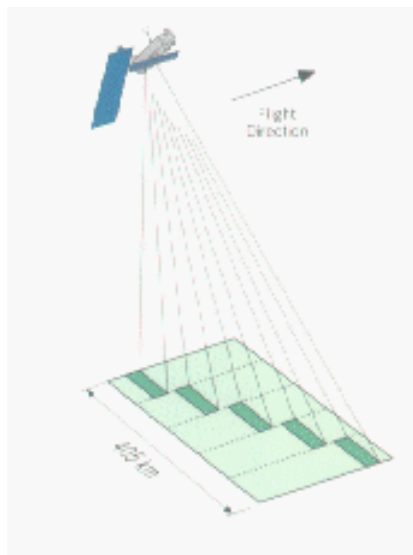
Figur 2.6 Wave modus. ©ESA

### 2.3.3 Wide Swath modus

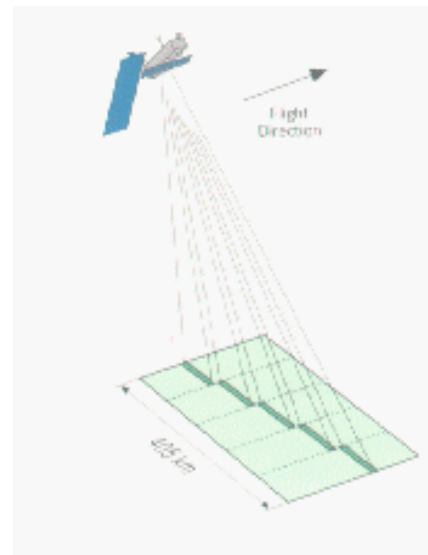
Wide Swath modus (Figur 2.7) og Global Monitoring opererer i ScanSAR modus, og bruker fem forhåndsdefinerte overlappende antennestråler som dekker subsporene. Den totale sporbredden på ca. 405 km oppnås ved å veksle mellom fem radarstråler der noen er identiske med stripmap modusen: SS1, SS2 (IS3), SS3 (IS4), SS4 (IS5) og SS5 (IS6). Wide Swath modusen dekker innfallsvinklene  $17^\circ$  til  $43^\circ$ .

### 2.3.4 Global Monitoring modus

ASAR Global Monitoring modus opererer som Wide Swath modus i ScanSAR modus, og bruker også en total sporbredde på ca. 405 km og de samme fem subsporene. Den krever som Wave modusen en lav datarate, og den kan derfor også opereres gjennom hele satellittbanen. Den har et meget bra støygulv som er bedre enn  $-25$  dB. Figur 2.8 nedenfor til høyre viser ASAR Global Monitoring modusen.



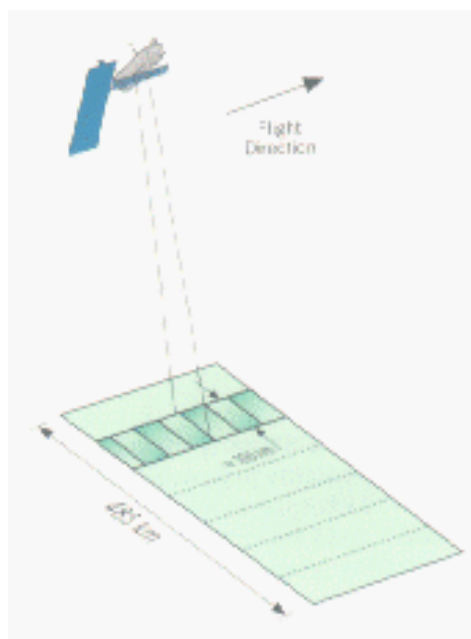
Figur 2.7 Wide swath modus. ©ESA



Figur 2.8 Global Monitoring modus. ©ESA

### 2.3.5 Alternating Polarisation modus

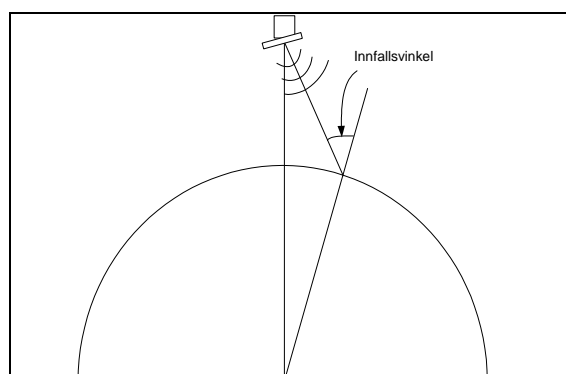
Istedenfor å skanne mellom forskjellige subspor, skanner ASAR AP modusen mellom to polariseringer, HH og VV, innenfor et enkelt forhåndsdefinert subspor (som er identiske med subsporene til Image modusen), og det lages to bilder med forskjellige polariseringer. Dette kalles kopolarisert submodus. Det opereres også med to krysspolariserte moduser, HV og VH. I kryss-H polarisert submodus (HH/HV) er et bilde i HH-polarisering, mens et bilde er i HV-polarisering. På tilsvarende måte er det også en kryss-V polarisert submodus (VV/VH). Støygulvet er likt for alle polariseringene. Se Figur 2.9 for illustrasjon av Alternierende Polarisering modusen.



Figur 2.9 Alternierende Polarisering modus. ©ESA

## 3 RADARREFLEKSJON

Radarbilder består av mange små piksler. Hver piksel inneholder en estimering over hvor mye radaren reflekterer i det området. Mørke områder i bildet betyr at lite av radarenergien er reflektert tilbake mot radaren, mens lyse bilder betyr at mye av energien er reflektert tilbake. Tilbakespredningen fra et mål ved en gitt bølgelende avhenger av overflatens geometriske struktur, elektriske egenskaper, ruhet og fuktighetsinnhold. Våte objekter reflekterer mer enn tørrere objekter. En jevn overflate med vann er et unntak til dette, fordi den vil oppføre seg som en flat overflate og reflektere innkommende radarpulser bort ifra radaren. I tillegg har polariseringen til radarpulsene og innfallsvinkelen noe å si for tilbakespredningen. Innfallsvinkelen er vinkelen mellom en tenkt linje fra satellitten og ned til et punkt midt i sporbredde (se Figur 3.1).

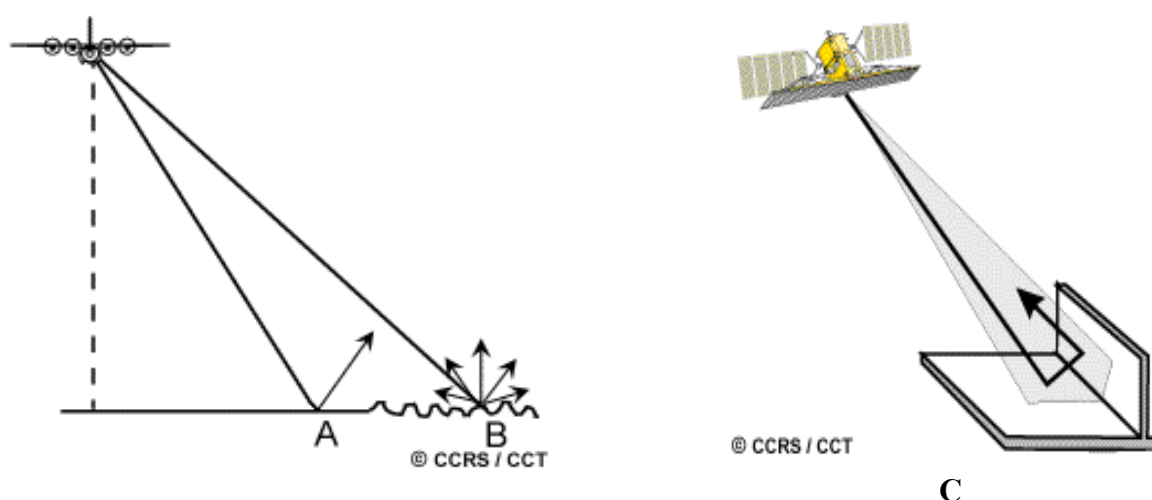


Figur 3.1 Definisjon av innfallsvinkel

Jo ruere en overflate er, jo mer av radarenergien reflekteres tilbake mot radaren. Vegetasjon er moderat ujevne, og områdene vil sees som grå eller lysegrå i radarbildene. Overflater som heller mot radaren vil ha sterkere tilbakespredning enn helninger som heller vekk fra radaren. Bygninger sees som veldig lyse eller lysegrå avhengig av hvordan de står i forhold til radaren.

*Spekulær refleksjon* (Figur 3.2 A) har vi når en radarbølge blir reflektert fra en helt glatt flate. Det gir liten refleksjon tilbake mot radaren (utenom tilfellet der den innkommende bølgen er normalt på overflaten). En radarbølge som blir sendt mot en ru overflate vil gi refleksjon i alle retninger, *diffus refleksjon* (Figur 3.2 B).

*Hjørnerefleksjon* gir lyse områder i radarbildet. En eller flere overflater kombineres slik at en større del radarenergien reflekteres tilbake mot radaren (se Figur 3.2 C). Mest refleksjon oppnås for materialer som har høy konduktivitet, som f.eks. skip, broer og bygninger.



Figur 3.2 Tre forskjellige spredningstyper: A)Spekulær refleksjon, B) diffus refleksjon og C) hjørnerefleksjon. ©CCRS

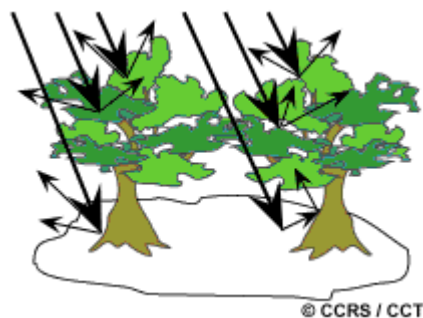
En overflate som er ru for en radarstråle, kan være spekulær for en annen. Rayleigh kriteriet gir betingelsen for en glatt flate:

$$h < \frac{\lambda}{8 \cos \theta} \quad (3.1)$$

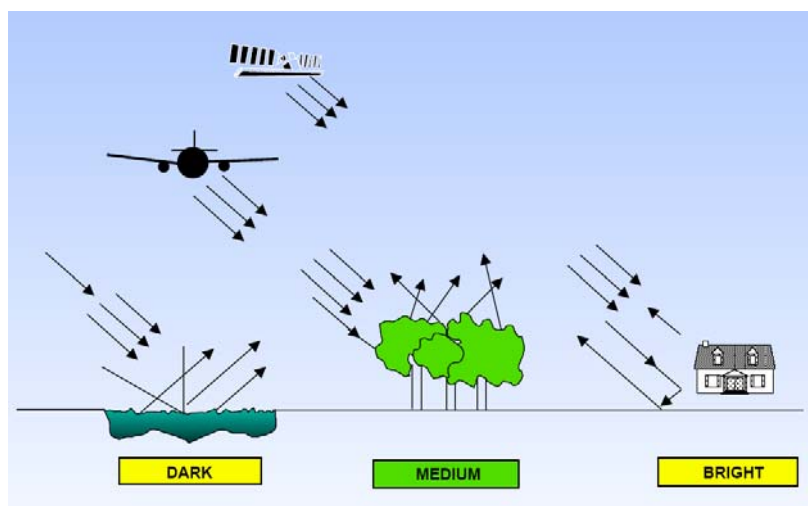
$h$  er høyden på overflatevariasjonene mens  $\theta$  er radarens innfallsvinkel (9). ENVISAT opererer i C-båndet med en bølgelengde på 5.62 cm, og innfallsvinkelen varierer mellom ca. 18° og 44°. En flate vil framstå som ru hvis overflatevariasjonene er mer enn ca. 0.7-1.0 cm. Havoverflaten vil dermed nesten alltid framstå som ru ved bruk av ENVISAT radaren.

*Volumspredning* forekommer når radarenergien trenger gjennom den øvre overflaten til et volum. Volumspredning er spredning av energien innenfor volumet eller mediet, og vanligvis skjer det mange refleksjoner innenfor volumet, og det kan både føre til at et bilde blir både lysere og mørkere (avhengig av hvor mye som reflekteres tilbake til radaren). Et eksempel er

volumspredning i et tre (se Figur 3.3). Figur 3.4 viser eksempler på hva som gir lyse og mørke områder i et bilde. Et hus gir hjørnerefleksjon og lyse flekker, trær gir volumspredning som kan føre til at bildet blir både lysere og mørkere, mens en jevn overflate gir mørkt bilde.



Figur 3.3 Volumspredning i et tre. ©CCRS



Figur 3.4 Forskjellige typer refleksjon gir lyse og mørke deler i et bilde. ©CCRS

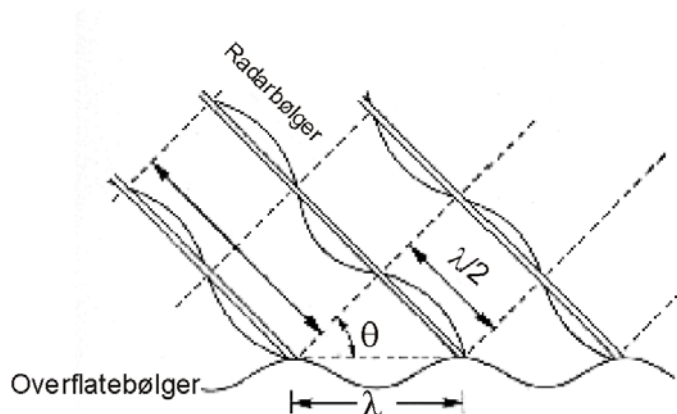
Bølgene på havoverflaten avgjør om overflaten ser ru ut for radaren. Refleksjonsmekanismene er svært kompliserte, fordi bølgemønsteret er som regel svært sammensatt med mange forskjellige bølgehøyder og lengder. Når bølgelengden til overflatebølgene er omtrent like som bølgelengden til den innkommende radarbølgen, oppstår det Braggspredning (ved en gitt innfallsvinkel). Det gir en kraftigere refleksjon enn vanlig fordi det oppstår en forsterket tilbakespredning/resonans fra signalene som er reflektert fra overflaten (se Figur 3.5). Bølgelengden,  $\lambda_{vann}$ , til vannet ved Braggspredning er gitt ved:

$$\lambda_{vann} = \frac{\lambda_{radar}}{2 \sin \theta} \quad (3.2)$$

der  $\lambda_{radar}$  er radarens bølgelengde. For en innfallsvinkel på  $30^\circ$  blir nevneren 1, og  $\lambda_{vann} = \lambda_{radar}$ . Siden ENVISAT opererer i C-båndet med en bølgelengde på 5.62 cm, er det de små krusningene på overflaten med lengder rundt denne bølgelengden (avhengig av



innfallsvinkelen) som sørger for Braggspredningen, og dette har betydning for hva vi kan se og ikke kan se på havoverflaten ved hjelp av SAR. Bølgetallet som tilsvarer resonansbølgelengden kalles ofte for Bragg-bølgetallet,  $k_{\text{Bragg}}$ .

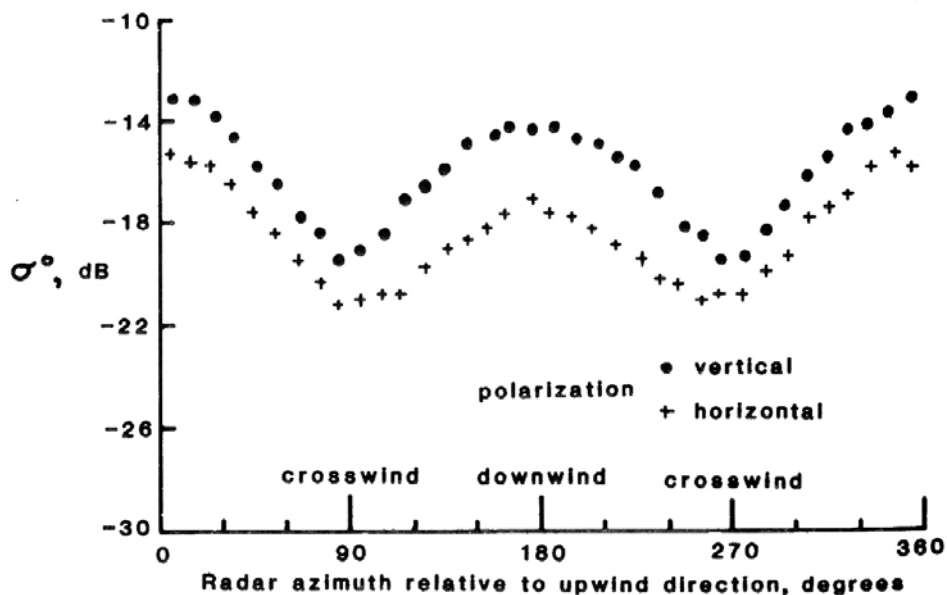


Figur 3.5 Braggspredning fra havoverflaten.

Vinden har innvirkning på bølgene, og sjøen blir mørkere når vindkastene kommer (sett med våre øyne). De mørke flekkene består av mange krusninger, som gir sterk refleksjon tilbake til radaren, og bildet blir lyst. Det vi ser på bildet er det motsatte av det vi ser med øyet! Blåser det derimot lite, blir bildet mørkt.

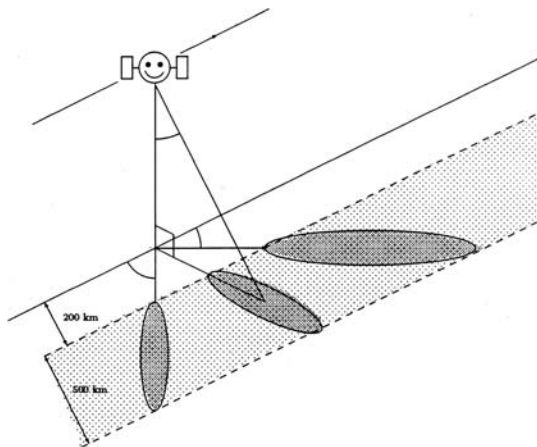
### 3.1 CMOD

Ut ifra antagelsen av Bragg-modellen beskrevet ovenfor, kan en lage en modell for radarstverrsnittet,  $\sigma^0$ , der verdien av bølgespekteret for Bragg-bølgetallet,  $E(k_{\text{Bragg}})$ , inngår. Det viser seg at  $\sigma^0$  også er avhengig av innfallsvinkelen. Modellen ikke helt vellykket, noe som sier oss at virkeligheten er atskillig mer komplisert. Vinkler man en radar bort fra vertikalen, viser det seg at signalstyrken ikke bare avhenger av vindstyrken, men også vindretningen, i tillegg til innfallsvinkelen til radarsignalet. Det betyr at når vi ser på samme stykke hav fra forskjellige vinkler, vil vi få forskjellige tilbakespredningsverdier, selv om vindstyrken er den samme. Vannbølgene er ikke helt symmetriske og det betyr at det er ikke likegyldig hvilken vei vi kikker på dem med radaren. Bølger som kommer mot radaren gir et litt sterkere signal enn de som beveger seg vekk fra radaren, mens vi får svakest refleks fra bølger som går på tvers av radarens peileretning. Det er derfor mulig å få variasjoner i gråfargen i SAR bildet som ikke bare skyldes varierende vindstyrke, men også varierende vindretning (Figur 3.6).



Figur 3.6 Radarrefleksjon fra havet som funksjon av vinkel mellom radarens pekeretning og vindretningen

Variasjonene er systematiske, og kan benyttes til å måle vindstyrke og retning. På ERS-2 satellitten brukes 3 antenner som hver "ser" på samme havstykke etter hvert som satellitten passerer over (se Figur 3.7). Målingene gir vindstyrken med en nøyaktighet på ca  $\pm 2$  m/s, og retningen innen  $\pm 20^\circ$ . Oppløsningen horisontalt er ca 50 km.



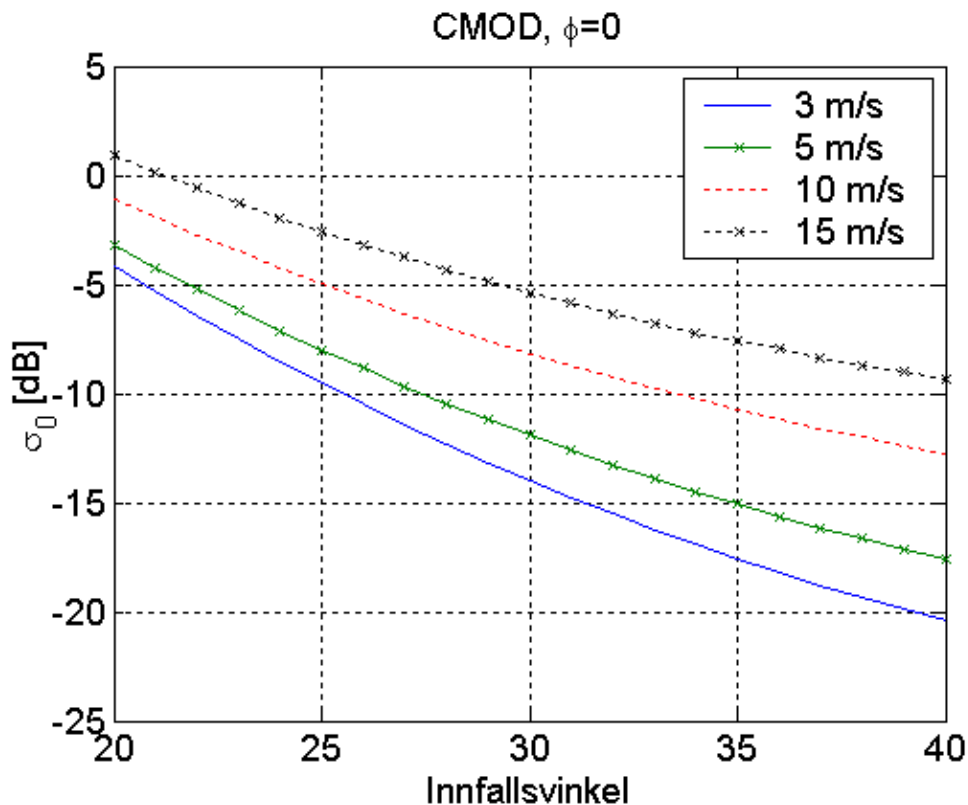
Figur 3.7 Scatterometer målinger av vind. Med 3 stråler kan en finne vindstyrke og retning.

Faktisk er det svært vanskelig å utlede en god teoretisk modell for radarrefleksjon fra havet, og de mest vellykkede modellene er empiriske. Empiriske modeller er modeller utledet fra en masse målinger under forskjellige vind- og bølgeforhold der "fasiten" er gitt i form av radarmålinger av  $\sigma_0$  samt vindmålinger tatt f.eks. med et anemometer på en oppankret bøye. Målingene viser at en sammenheng kan eller bør se slik ut:

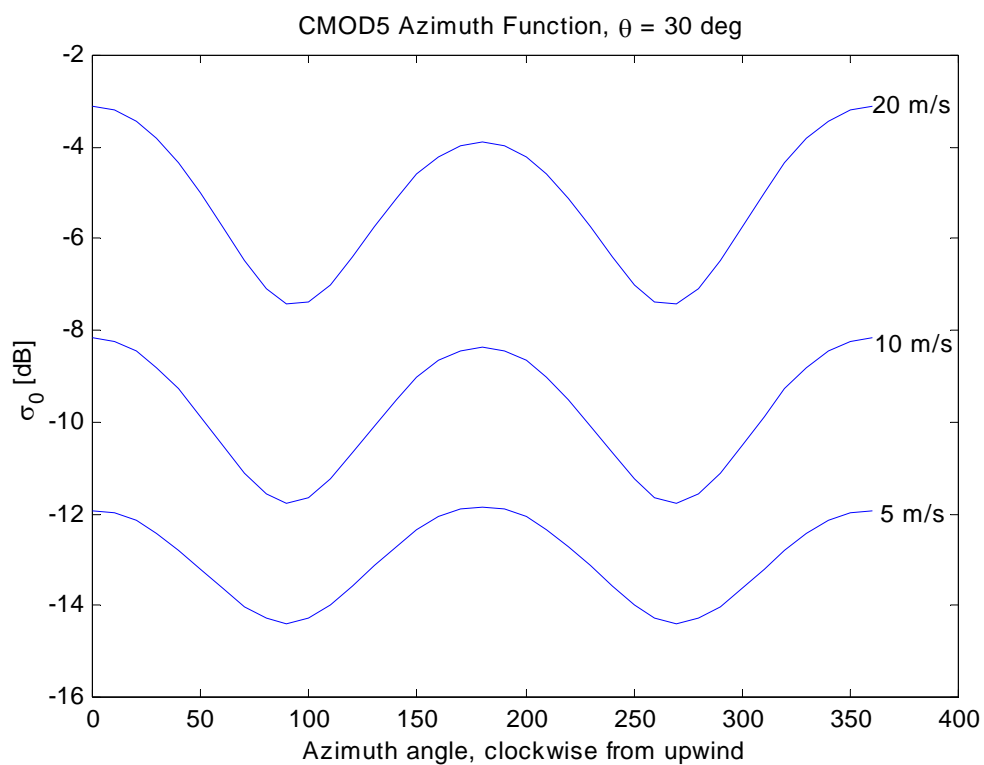
$$\sigma^0 = A + B \cos \varphi + C \cos \varphi \quad A = a(\theta) U^{\gamma_a(\theta)}, \dots \quad (3.3)$$

$\phi$  er vinkelen mellom vindretningen og radarens peileretning. Koeffisientene A, B og C er avhengige av vindstyrke og innfallsvinkel. De vil også være variere for forskjellige radarbølgelengder og polariseringer.

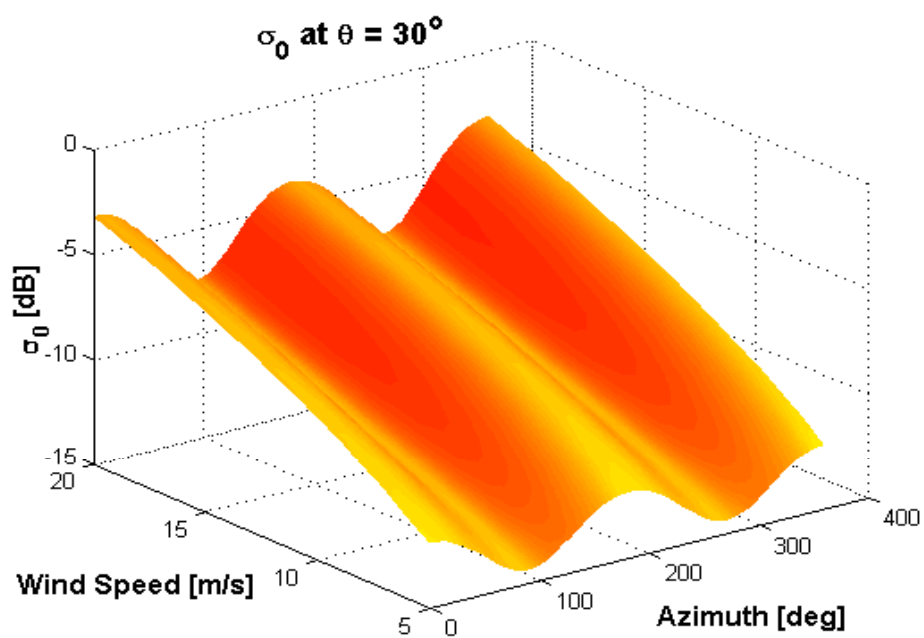
Den best utviklede modellen per i dag er den såkalte CMOD, som gir en sammenheng mellom  $\sigma^0$  for en vertikalt polarisert radar som opererer på 5.3 GHz. Utviklingen er foretatt for bruk med radaren om bord i ERS-1 og ERS-2 satellittene, og vil også være anvendelig for tilsvarende operasjonsmodi på ENVISAT. CMOD-algoritmen beskriver en funksjon som er avhengig av bølgelengden til radarbølgene, radarens polarisering, innfallsvinkel, vindstyrke og asimut vinkel mellom vinden og radarpekeretning. Figur 3.8 viser radarrefleksjon fra havet, beregnet med CMOD (C-band, VV polarisasjon), for forskjellige vindstyrker. Radaren ser rett mot vinden. Figur 3.9 viser radarsignal fra havet som funksjon av vinkel mellom radarens pekeretning og vindretningen. Figur 3.10 viser radarrefleksjon fra havet som funksjon av vindstyrke og vinkelen  $\phi$  mellom radarens pekeretning og vindretning, for innfallsvinkel  $30^\circ$ . Figur 3.11 viser radarrefleksjon fra havet som funksjon av innfallsvinkel og vinkelen  $\phi$ , for vindstyrke 10 m/s.



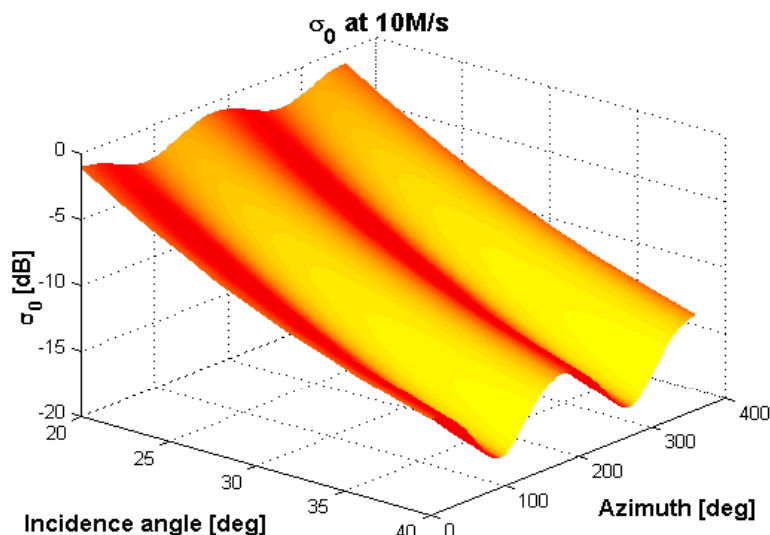
Figur 3.8 Radarrefleksjon fra havet, beregnet med CMOD (C-bånd, VV polarisering), for forskjellige vindstyrker. Radaren ser rett mot vinden.



Figur 3.9 Radarrefleksjon fra havet som funksjon av vinkelen  $\varphi$  mellom radarens pekeretning og vindretningen, for innfallsvinkel  $30^\circ$ .



Figur 3.10 Radarrefleksjon fra havet som funksjon av vindstyrke og vinkelen  $\varphi$  mellom radarens pekeretning og vindretningen, for innfallsvinkel  $30^\circ$ .



Figur 3.11 Radarrefleksjon fra havet som funksjon av innfallsvinkel og vinkelen  $\varphi$  mellom radarens pekeretning og vindretningen, for vindstyrke 10 m/s.

Den gjennomsnittelige radarrefleksjonen fra havet er mest påvirket av bølger som har en bølgelengde som gir resonans med radarens egen bølgelengde. Radartverrsnittet  $\sigma_0$  er avhengig av:

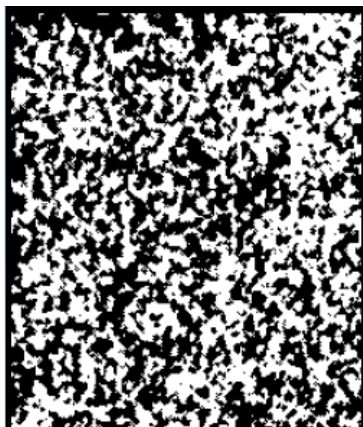
- Radarens bølgelengde
- Radarens polarisering
- Innfallsvinkelen til radarstrålen
- Vinkelen mellom radarens pekeretning og vindretningen
- Vindstyrken

### 3.2 Speckle

Speckle, eller kornstøy som det også kalles, er naturlig støy som forringer bildekvaliteten. Termisk støy ( $kT_s\beta$ ) skyldes temperatur og systemegenskaper, og fører til et blandet signal, mens speckle er et resultat av en måling av et reelt signal. Speckle er derfor støyliknende, og ikke støy i ordets vanlige betydning (9). Termisk støy er additiv, mens speckle er multiplikativ støy. Specklefordelingens standardavvik er proporsjonal med middelverdien til retursignalet. Ved å redusere systemtemperaturen eller ved å øke effekten på den utsendte radarstrålingen kan termisk støy reduseres, mens dette har ingen innvirkning på TCR.

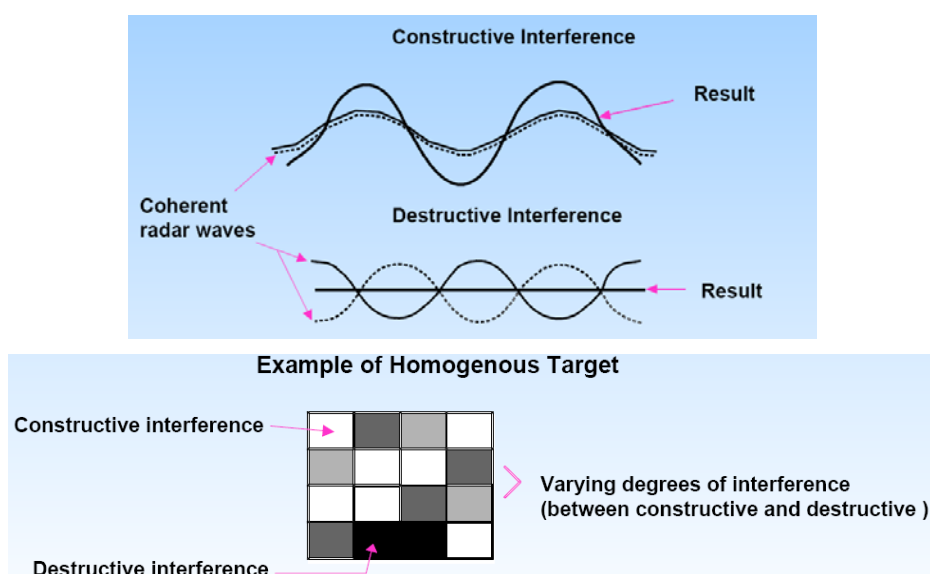
Speckle sees som varierende lyse og mørke prikker i et homogent område der man egentlig ikke ville ha forventet gråtonevariasjoner. Rullebanen på en flyplass eller sjø med samme sjøtilstand er eksempler på homogene områder. Figur 3.12 viser et homogent område med mye speckle. Speckle oppstår ikke bare i SAR bilder, men i alle produkter til koherente (tar hensyn til både amplituden og fasen til tilbakespredningssignalet) billedbehandlingssystemer. Problemet ved deteksjon av skip er at en lys piksel kan være et punktmål, men det kan også bare være en speckle. Ved deteksjon av skip får vi derfor en statistisk usikkerhet. Hvor lyst en piksel er,

avhenger av egenskapene til reflektorene i oppløsningscellen og fasesammenhengene mellom retursignalene fra reflektorene.



Figur 3.12 Speckle i et bilde tatt av et homogent mål. ©CCRS

Innenfor en oppløsningscelle på bakken finnes ikke bare en reflektor, men mange små, slik at ekkot som når satellitten i løpet av SARens integrasjonstid er en sum av ekkene fra mange punkter som ikke kan skilles fra hverandre. På land kan de forskjellige reflektorene være hjørner, steiner, greiner osv. Resultatet for hver enkel piksel i bildet blir derfor en sum av komplekse tall (amplitude og fase). Speckle oppstår pga interferens av retursignalene, og dette gir bildet et kornete utseende (Figur 3.13). Faseforskjellen mellom reflektorer i samme oppløsningscelle kan tilsvare flere hundre bølgelengder for en type radar som brukes på ERS-2 eller ENVISAT. Dette gjør at tilbakespredningen for en bestemt piksel kan bli en stor sum av parallelle elektromagnetiske bidrag, eller det kan bli omtrent null hvis bidragene fra de enkelte spredere kansellerer hverandre. Over et større areal vil pikslene ha en statistisk fordeling som er eksponentielt fordelt når pikslene er skalert i henhold til energien til tilbakespredningen.

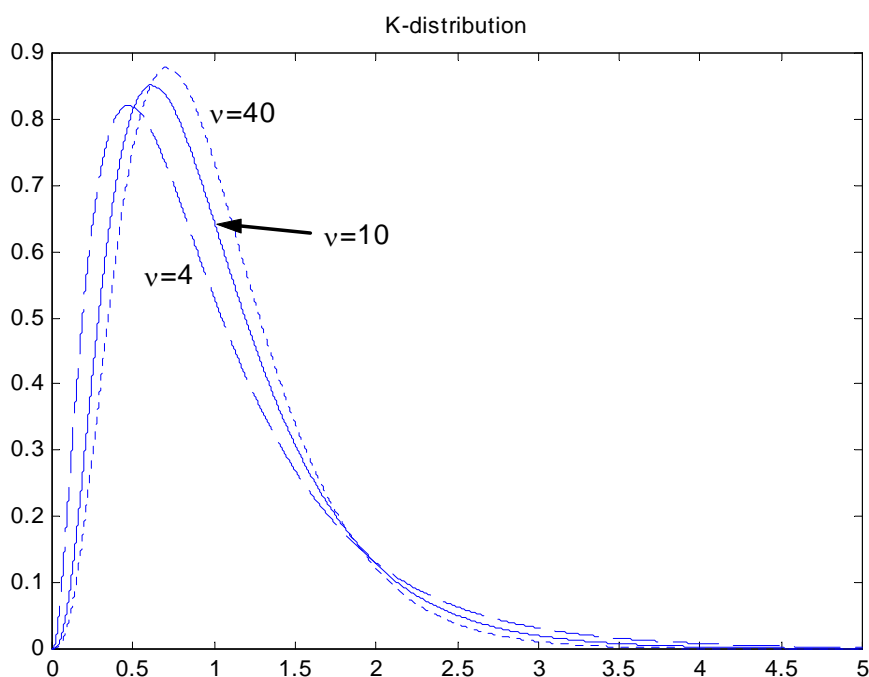


Figur 3.13 Konstruktiv og destruktiv interferens som lager kornete bilder (over), samt et eksempel på retursignalene fra et homogent mål (under). ©CCRS

Refleksjonene fra havet har også karakteristikk som indikerer at det er flere spredere innen hver enkelt oppløsningscelle i bildet. En forklaring på dette er at Bragg-bølgene ikke er jevnt fordelt over hele havoverflaten. Blant annet blir fordelingen endret av de større bølgene som vekselvis komprimerer dem eller strekker dem. De store bølgene endrer også luftstrømmen lokalt, slik at de ikke blir generert jevnt over hele området. Dermed blir det små ”flekke” av Bragg-bølger som hver kan opptre som en reflektor. Saken kompliseres ytterligere ved at disse flekkene flytter på seg, og oppstår/går til grunne i løpet av avbildningen. Dermed er det som oftest slik at den statistiske fordelingen av pikselverdiene endrer seg etter vind- og bølgeforholdene. Det er gjort en rekke studier på slike fordelinger. En av de som er mest brukt er den såkalte K-fordelingen, der K er en modifisert Bessel-funksjon:

$$p_I(I) = \frac{2}{\Gamma(N)\Gamma(\nu)} \left(\frac{N\nu}{\mu_I}\right)^{\frac{(N+\nu)}{2}} I^{\frac{(N+\nu-2)}{2}} K_{\nu-N} \left[ 2\sqrt{\frac{\nu NI}{\mu_I}} \right] \quad (3.4)$$

Variabelen  $\nu$  kalles ordensparameteren til denne fordelingen, og det er den som varierer med vind- og bølgeforholdene. Det er vanskelig å skille effektene fra henholdsvis vind og bølger, så vi har ennå ikke funnet ut hvordan vi kan bruke denne ordensparameteren til å måle disse effektene direkte. Noen eksempler for forskjellige  $\nu$ -verdier er vist i Figur 3.14. Som vi ser er fordelingen ganske usymmetrisk. Det betyr f. eks. at om vi finner piksler i bildet som har svært høye verdier i forhold til middelveidien, kan det være lite sannsynlig at de kommer fra havoverflaten. Dette kan brukes til automatisk deteksjon av skip, siden skip pleier å ha sterkere reflekser enn havoverflaten.



Figur 3.14 K-fordeling for noen forskjellige verdier av ordensparameteren  $\nu$ .

Ved å dele opp den totale aperturen i  $N$  deler, såkalte looks, kan man forbedre TCR til et punktmål. Fra en oppløsningscelle får en  $N$  uavhengige prøver som prosesseres hver for seg, og som deretter blir addert. Standardavvikets størrelse i forhold til middelveien blir dermed redusert. Ved å gjøre dette forbedres TCR med en faktor  $\sqrt{N}$ , men samtidig reduseres oppløsningen i asimut retning med faktoren  $N$  siden de  $N$  bildene som er tatt med kortere blenderåpning summeres (9).

To andre metoder som også kan brukes til å forbedre TCR, og som ikke forverrer oppløsningen i asimut, er polariseringsskift og frekvensskift. Frekvensskift betyr at multi-look oppnås ved å bruke separate frekvensbånd for hver puls, altså et bånd for hvert look. Ulempene med frekvensskift er at en får redusert oppløsning i range i tillegg til systemkompleksiteten. Ved polariseringsskift veksler man omtrent samtidig mellom polariseringskombinasjonene HH, VV og/eller HV/VH (HV og VH er ikke uavhengige looks), og man kan dermed maksimalt oppnå et 3-look bilde f.eks. med HH/VV/VH. Ulempen er også her systemkompleksiteten. ENVISAT ASAR oppnår et 2-look bilde ved å operere med VV/HH, VV/VH eller HH/HV i AP modusen.

### 3.3 Radartverrsnitt til et objekt

Radartverrsnitt (Radar Cross Section - RCS) til et observert objekt er uttrykt ved en fysisk størrelse som tilsvarer en hypotetisk tilbakespredende homogen kule som ville ha gitt den samme refleksjonen som det observerte objektet gir. Når elektromagnetiske bølger treffer et objekt, vil deler av den innkommende elektromagnetiske effekten bli spredd rundt. Et objekts radartverrsnitt  $\sigma$  [m<sup>2</sup>] i retningen  $(\nu_s, \varphi_s)$  er gitt ved:

$$S(r, \nu_s, \varphi_s) = \frac{S_i(\nu_i, \varphi_i) \sigma(\nu_i, \varphi_i; \nu_s, \varphi_s)}{4\pi r^2} \quad (3.5)$$

Her er  $(\nu_i, \varphi_i)$  retningen til den innkommende radarbølgen,  $S_i$  og  $S$  er innkommende og tilbakespredt effektstetthet og  $r$  er avstanden fra reflektoren. Radartverrsnittet til et objekt avhenger av størrelsen til objektet, form, orientering til refleksjonsflaten, samt bølgelengde og polarisering til det innkommende signalet.

Den følgende presentasjonen er basert på Rosich og Meadows, 2004 (16). For å regne ut radartverrsnittet i et ENVISAT ASAR bilde er det nødvendig å vite noe om det lokale terrenget hvis radarsignalene sendes mot land. Siden dette vanligvis ikke er kjent, går man ut ifra at det er flatt terreng. Sammenhengen mellom verdien til bildepikslene (DN), radarstyrken ( $\beta^0$ ), og radar tilbakespredningstverrsnittet ( $\sigma^0$ ), kan skrives som:

$$DN^2 = K \cdot \beta^0 = \frac{K \cdot \sigma^0}{\sin(\theta)} = K(\theta) \cdot \sigma^0 \quad (3.6)$$

Konstanten  $K$  er den absolutte kalibreringskonstanten som man får fra målinger over presisjonstranspondere. Den avhenger av prosessoren og produkttypen, og kan forandre seg fra et signal til et annet for samme produkttype. Radartverrsnittet for detekterte produkter kan man få ved hjelp av denne sammenhengen:



$$\sigma_{i,j}^0 = \frac{DN_{i,j}^2}{K} \sin(\theta_{i,j}), \text{ for } i = 1 \dots L \text{ og } j = 1 \dots M \quad (3.7)$$

Her er L og M henholdsvis nummer på linje og kolonne i bilde. Den gjennomsnittlige tilbakespredningskoeffisienten til et lite område kan man få ved et gjennomsnitt for N piksler innenfor målet:

$$\sigma^0 = \frac{1}{N} \left( \sum_{i=1}^{i=L} \sum_{j=1}^{j=M} \theta_{i,j}^0 \right) \quad (3.8)$$

Hvis området er lite nok kan en bruke en gjennomsnittlig innfallsvinkel,  $\theta_d$ :

$$\sigma^0 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{i=L} \sum_{j=1}^{j=M} \frac{DN_{i,j}^2}{K} \sin(\theta_d) \quad (3.9)$$

Det logaritmiske radartverrsnittet (dB) er gitt ved:

$$\sigma^0 [dB] = 10 \cdot \log_{10}(\sigma^0) \quad (3.10)$$

Alle detekterte ASAR produkter blir levert med radarstyrke  $\beta^0$ , i.e. antennemønster og spredningstap i range retning er korrigert, men ingen korreksjon blir gjort med hensyn til innfallsvinkelen.

## 4 SKIPSDETEKSJON

To måter å detektere skip på er bruke måldeteksjon og deteksjon av kjølvannsstriper, som er beskrevet under. Måldeteksjon er sett på som å være den mest effektive metoden innenfor mønstergjenkjenning. Hvis man mener det er et skip i et bilde, kan deteksjon av kjølvannsstriper brukes for å avkrefte eller bekrefte at det virkelig er et skip eller ikke. I forbindelse med fiskeriovervåking, som er en av hovedanvendelsene av SAR, forflytter skipene seg dessverre som oftest for sakte til å lage kjølvannsstriper. I dette kapitlet omtaler vi måldeteksjon og deteksjon av kjølvannssignaturer.

### 4.1 Måldeteksjon

For å detektere et skip må man kunne kjenne igjen punktmål fra en radarbakgrunn. Synlige skip sees ofte som lyse punktmål foran en mørkere havoverflatebakgrunn i radarbildene. Kontrasten (Target to Clutter Ratio: TCR) kan defineres som forholdet mellom et skips normalisert radartverrsnitt og den gjennomsnittlige radarrefleksjonen fra den omkringliggende bakgrunnen. Som oftest er dette dominert av refleksjon av radarsignalet fra havoverflaten. Dersom havrefleksjonen er svak (lite vind, stor innfallsvinkel), kan bakgrunnssignalet dog være dominert av termisk støy i radarinstrumentet. TCR angir dermed relativ betydning av det målte signalet til skipet i forhold til bakgrunnen (bakgrunnstøyen) i målingen.

Sannsynligheten for å detektere skip avhenger av sjøforholdene, innfallsvinkelen, samt størrelse, orientering og bevegelsen til skipet. Ved urolige sjøforhold øker refleksjonen fra havoverflaten og sjansen for å detektere skip minker. Refleksjon fra havoverflaten minker med økende innfallsvinkel (se Figur 3.11), mens refleksjon fra skip ikke varierer så mye. Vi får derfor som oftest høyere TCR ved økende innfallsvinkel, med tilsvarende høyere sannsynlighet for å detektere et skip.

Radartverrsnittet til et skip avhenger av (9):

- om skipet er fullastet eller ikke ("spesielt hvis skipet ligger med langsiden til og befinner seg langt ut i range sett fra satellitten" (9, s. 44-45)).
- skipets orientering
- skipets byggematerialer
- skipets 3-dimensjonale struktur
- skipsreflektorenes koherens
- multirefleksjon (også havflaten)

Radartverrsnittet er størst når skipet ligger med langsiden mot radaren. Radartverrsnittet er vesentlig mindre ved større angrepsvinkler fra f.eks. satellitt, enn ved havnivå. Angrepsvinkel er definert som  $\alpha = 90^\circ - \theta$ , der  $\theta$  er innfallsvinkel.

Vachon et al. (17) fant ut at skip som befinner seg langt fra satellitten i range gir et større radartverrsnitt enn om skipet hadde vært nærmere satellitten i range. De fant denne sammenhengen mellom innfallsvinkel og  $R$ , som er forholdet mellom målt og forventet radartverrsnitt, for  $\theta \in [15^\circ, 45^\circ]$ :

$$R(\theta) = 0.78 + 0.11\theta \quad (4.1)$$

Sammenhengen mellom lengden til et skip og radartverrsnittet er gitt ved (17):

$$L = \frac{\sigma_{skip}}{0.08R(\theta)} \quad (4.2)$$

For å beregne radartverrsnittet til det minste skipet som går an å detektere, bruker man en terskelverdi,  $T$ , for den gjennomsnittlige tilbakespredningen eller støygulvet:

$$\sigma_{skip}^{\min} = \rho_r \rho_a 10^{(\sigma_{sjø} + T)/10} \quad (4.3)$$

$\rho_r$  og  $\rho_a$  er oppløsningene i henholdsvis range og asimut retning og  $\sigma_{sjø}$  er tilbakespredningen fra havet. En terskelverdi  $T$  på 10 dB over  $\sigma_{sjø}$  er brukbart for bilder med lav og moderat oppløsning. I kapittel 5 anvender vi denne enkle regelen til å estimere ENVISATs yteevne for avbildning av skip med Wide Swath moden til ASAR instrumentet.

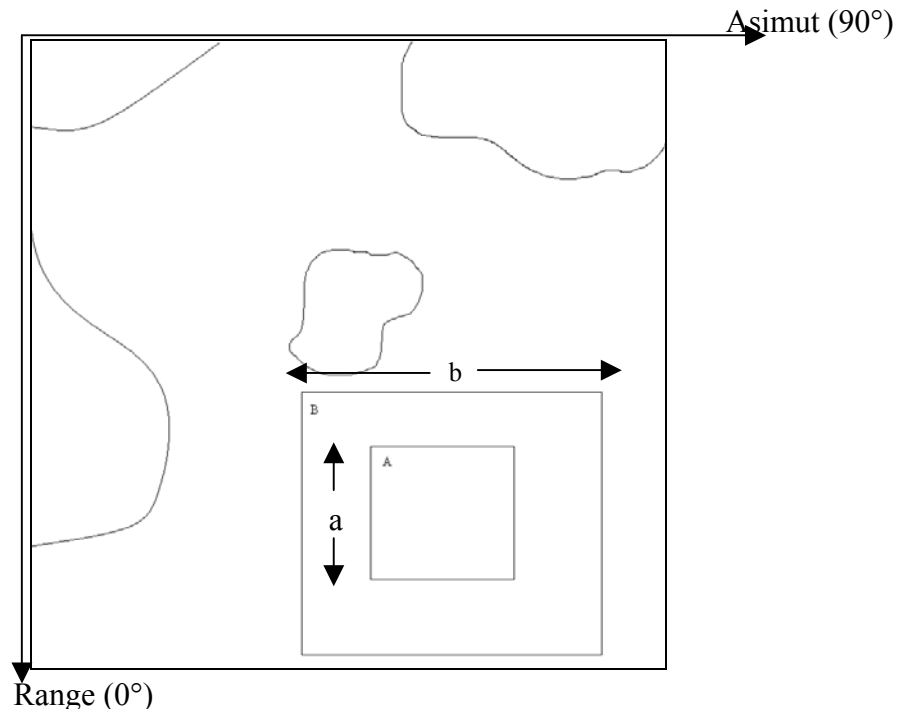
### 4.1.1 Algoritmer

I måldeteksjon er oppgaven til algoritmen å finne en enkel eller en gruppe piksler som har annerledes karakteristikk enn bakgrunnen som er rundt. Geofysiske prosesser, speckle og støy har innvirkning på SAR piksel statistikken. De geofysiske prosessene varierer mye innenfor et enkelt bilde slik at tilbakespredningen fra sjøen kan ha forskjellige verdier fra piksel til piksel. En enkel metode som brukes er å dele bildet inn i mindre deler, for så å gå ut ifra at det er homogen tilbakespredning fra sjøen innenfor de enkelte delene.

Forskjellige metoder kan brukes til å beregne en deteksjonsterskel for skipskandidater. En av de enkleste er å sette intensitetsterskelen,  $I_T$ , til  $n$  standardavvik,  $\sigma$ , over gjennomsnittet for bildet,  $\langle I \rangle$ :

$$I_T = \langle I \rangle + n\sigma \quad (4.4)$$

En mer avansert metode er å tilpasse en sannsynlighetsfordelingsfunksjon (Probability Distribution Function - PDF) til dataene, for så å beregne terskelen ut ifra den. Andre metoder bruker "neural nets" eller andre statistiske metoder. Eldhusets metode (5), som er en variasjon av (4.4), er illustrert i Figur 4.1. Vindu B brukes til å regne ut pikselstatistikken, mens vindu A brukes for å søke etter målet. En parametrisk tilnærming for skipsdeteksjon som er basert på K-fordelingen (1) blir utforsket i (13) og (17), mens (10) utforsker en ikke-parametrisk tilnærming som bruker sannsynlighetsfordelte "neural nets".



Figur 4.1 Prinsippet for en enkel metode for skipsdeteksjon. Her er  $b = 20$  piksler, mens  $a = 10$  piksler.

Etter å ha beregnet en passende PDF kan man sette en terskelverdi for deteksjon med en viss Constant False Alarm Rate (CFAR). Terskelverdien kan en finne ved å integrere sannsynlighetsfordelingsfunksjonen,  $p(x)$ :

$$\eta_T = \int_0^{I_T} p(x) dx \quad (4.5)$$

Her er  $\eta_T$  den spesifikke sannsynlighet for falsk alarm, dvs. (1/10-7). Ved å bruke denne verdien i et karakteristisk ENVISAT ASAR bilde med ca. 8500 x 7000 piksler, vil ca. 6 piksler per bilde feilaktig bli klassifisert for å være et skip. Dette gjør at ved bruk av metodene nevnt ovenfor må man finne en balansegang mellom deteksjonsrate og forekomst av falske alarmer. Falske alarmer kan reduseres ved å ta visse forholdsregler og ved bruk av homogenitetstester (5), morfologiske filtre, analyser av kjølvannstriper (5), (13), (15) eller en kombinasjon av disse metodene.

## 4.2 Kjølvannstriper og signaturer

### 4.2.1 Kjølvannssignaturer

I noen tilfeller kan man også detektere kjølvannet til fartøyet. Kjølvannstriper blir laget av turbulente bevegelser som følge av at skip og propeller beveger seg i vannet. Et område bak skipet, som er omtrent likt som bredden til skipet, er omtrent plant og bidrar til signaturer i radarbildet. Disse kjølvannstriperne kan bli værende i flere timer under havoverflaten, og de kan resultere i ganske lange kjølvannstriper på flere kilometer i SAR bilder. Kjølvannet til et fartøy kan avtegne seg med forskjellige typer signaturer i SAR bildene:

- i.* Mørke turbulente kjølvannstriper
- ii.* Kelvin kjølvannstriper (en- eller toarmede, lyse eller mørke)
- iii.* Smale V-formede kjølvannstriper
- iv.* Hekkbølger

Det vanligste er signaturen som skyldes at fartøyet lager virvler bak skroget. Virvlene forstyrrer de vanlige småbølgene og demper dem. Dermed blir det dårligere refleksjon og det avtegner seg en mørk stripe bak fartøyet (*i*). Mens et fartøy beveger seg gjennom vannet, blir bølger generert både ved baugen og hekken (*iv*). Interaksjon mellom disse to bølgene lager nye bølger som har sitt toppunkt i den ytterste enden av det kombinerte bølgemønsteret, den såkalte Kelvin hylsteret. Dette kan være det såkalte Kelvin mønsteret (*ii*), eller av og til en smal V-formet kjølvannstripe hvis det er rolig sjø (*iii*). For Kelvin mønsteret ser man ikke de enkelte bølgene, men snarere en slags ytre grense for hvor langt bølgene er kommet ut fra båten. Kelvin kjølvannstriperne har høyere tilbakespredning enn bakgrunnen, spesielt på vindsiden av skipet.

For ASAR med mye høyere oppløsning, for eksempel flybåren ASAR, kan en av og til se bølgene som akterenden (hekken) til skroget setter opp. Disse beveger seg med samme hastighet som båten, og en kan bruke formel for overflatebølgers fasehastighet til å bestemme skipets fart.

Kjølvannsstripen er som oftest 3-5 km lange, men i noen tilfeller kan mørke kjølvannstriper bli 2-3 ganger så lange. Blokkering av Bragg-bølger kan føre til mørke kjølvannstriper som viser seg parallelt med de lyse kjølvannsstripen. Smale V-formede kjølvannstriper dannes i rolig sjø av Bragg-bølgene fra skipet. Vinkelen,  $\alpha$ , mellom de ytre grensene til kjølvannstripen er proporsjonal med skipets hastighet,  $V_{\text{skip}}$ :

$$\alpha = 2 \tan \left[ C_g \frac{\sin \gamma}{V_{\text{skip}}} \right]^{-1} \quad (4.6)$$

Her er  $C_g$  gruppehastigheten til Bragg-bølgene, mens  $\gamma$  er vinkelen mellom skipets retning og pekeretningen til radaren.

Hekkbølger forplanter seg med farten og retningen til skipet. Utbredelsessammenhengen for overflatebølger gjelder for disse bølgene. Fasehastigheten,  $c$ , er avhengig av bølgelengden,  $\lambda$ , og gravitasjonen,  $g$ :

$$c = \sqrt{\frac{g\lambda}{2\pi}} \quad (4.7)$$

For et skip som beveger seg med en fart på 8 m/s (16 knop) er bølgelengden omtrent 40 m, slik at oppløsningen bør være bedre enn 20 meter for å kunne måle slike bølger. Derfor kan vi ikke forvente å se slike kjølvannstriper i SAR bilder som er kommersielt tilgjengelige i dag.

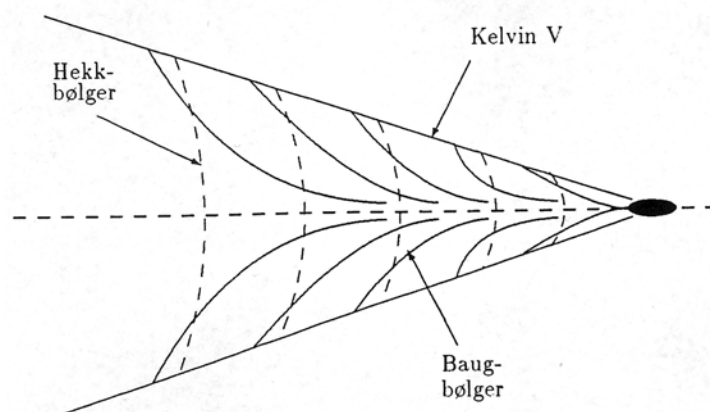
For et skip som beveger seg, vil det oppstå et Dopplerskift, noe som vil påvirke SAR avbildningen av den. Beveger skipet seg langs radarstrålen med en hastighet  $V_{\text{skip}}$ , vil den bli oppfattet av SAREN som om det var et stillestående objekt som var blitt forflyttet en vinkel  $\phi$  i asimut retning, gitt ved:

$$V_{\text{skip}} = V_{\text{SAR}} \sin \phi \quad (4.8)$$

Her er  $V_{\text{SAR}}$  radarens hastighet i forhold til jordoverflaten. For små skipshastigheter, dvs små vinkler, er  $\phi \approx V_{\text{skip}}/V_{\text{SAR}}$ , og forflytningen til skipet kan estimeres til:

$$\Delta x = \frac{V_{\text{skip}}}{V_{\text{SAR}}} R \cos \gamma \quad (4.9)$$

Her er  $R$  avstanden fra radaren til fartøyet. Vi kan observere slike forskyvninger i forhold til kjølvannsmønsteret, og bruke det til å beregne skipets hastighet. Denne forflytningen kan også beregnes hvis bare en av armene til Kelvin kjølvannsstripen er synlig, eller hvis bare den mørke turbulente kjølvannstripen er synlig. *Figur 4.2* viser noen forskjellige typer kjølvann.



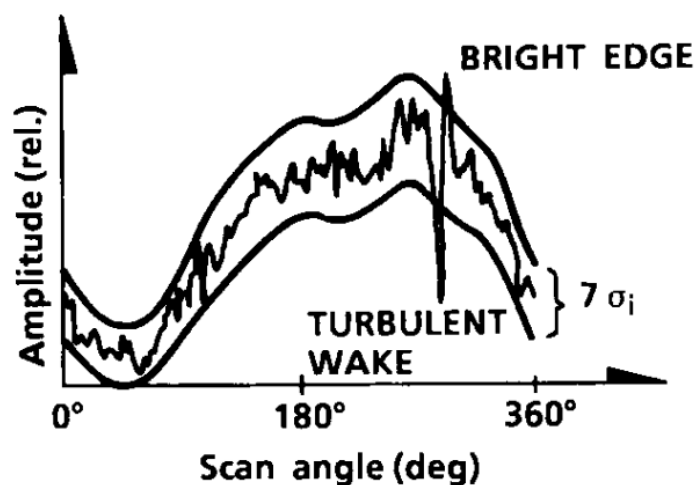
Figur 4.2 Kjøl vann bak et fartøy

#### 4.2.2 Algoritmer

##### Automatiske algoritmer

For å detektere skip brukes forskjellige algoritmer, som beskrevet i kapittel 4.1.1. Det er ønskelig å bruke kjølvannstriper som en bekreftelse på at det virkelig er et skip som har blitt detektert. Noen algoritmer for automatisk skipsdeteksjon og analyser av kjølvannstriper har blitt utviklet.

En mulighet er å søke etter viktige kjølvannssignaturer langs en linje i asimut retning gjennom skipet (5). For hver posisjon langs linja brukes et sett med skannelinjer, som er samlet ved gitte angulære intervaller, for å trekke ut profiler fra pikselverdiene. Det regnes ut et gjennomsnitt av hver profil slik at en skannekurve, som består av den relative intensiteten som en funksjon av vinkelen rundt søkepunktet, kan lages (se Figur 4.3). Deretter blir en polynomisk tilpasning utført for å lage en utjevnet kurve som er forskjøvet flere standardavvik for å lage øvre og nedre terskelverdier. Topper og bunner i denne skannekurven blir analysert ved å bruke minste kvadraters metode sammen med Chebyshev polynomier opp til en viss orden.



Figur 4.3 Skannekurve for kjølvannsstripedeteksjon.

Alternative metoder for deteksjon av kjølvannsstriper er å bruke Radon transformasjon (14) og en Dempster-Shaefer tilnærming for hypotesetesting (15). Radon transformasjonen lager en overflate med sterke maksimum og minimum for lyse og mørke linjer, og virker derfor som en detektor. Etter å ha detektert sterke signaturer i Radon transformasjonsområdet, blir hypoteser basert på signaturformer og separasjon testet for å beregne om signaturene kan assosieres med en kjølvannsstripe, en naturlig signatur eller ingen av delene. Resultatet er en sannsynlighetsberegning som kan kombineres med informasjon av det kunstige objektet, i tillegg til *a priori* for å gi et totalt sannsynlighetsanslag på om den identifiserte kandidaten er et skip. Mål som er under en terskel, som operatøren definerer, blir eliminert som kandidat.

### Skipets retning og størrelse

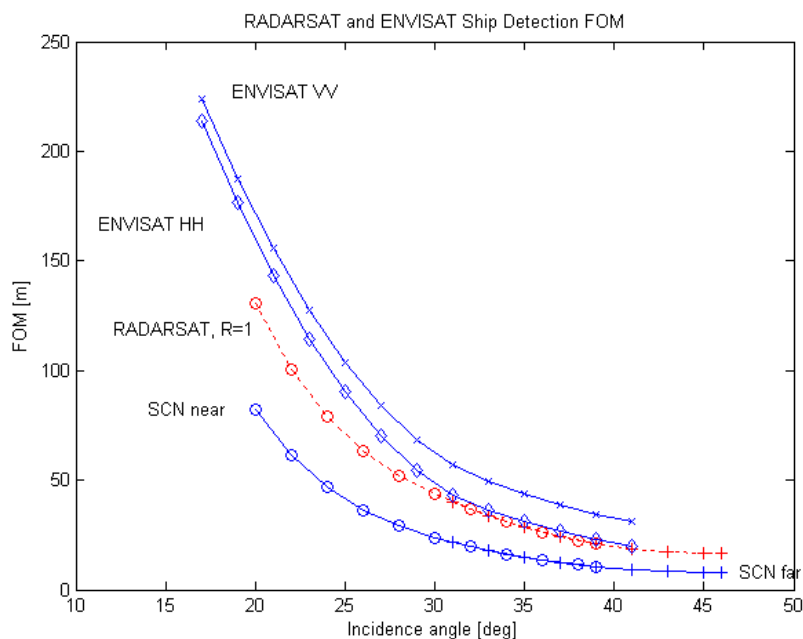
Retningen til skipet kan beregnes både ved å analysere punktmålet og ved å analysere kjølvannsstripesignaturen (der det kan detekteres). Problemer kan oppstå med rotasjon av målet og utsmøring hvis skipet beveger seg. Kjølvannsstripesignaturen gir sannsynligvis den beste beregningen i forhold til dette. Der kjølvannssignaturer ikke lar seg detektere, kan analyse av punktmålet gi noe informasjon om skipets retning.

For å beregne skipets størrelse finnes flere metoder, bla. geometriske metoder basert på antall piksler som er en del av skiper, samt radartverrsnitt. I det siste tilfellet er det avhengig av kalibrering av bildet.

## **5 SKIPSETEKSJON MED ENVISAT WIDE SWATH MODE**

ENVISAT ASARs Wide Swath mode kan brukes til avbildning av 400km × 400km store områder per scene. Den store dekningen gjør det interessant å estimere hvilke skipsstørrelser en kan forvente å detektere i slike bilder, spesielt fordi oppløsningen er nokså grov. Før oppskyting ble disse bildene estimert til å ha en oppløsning på ca 140m (se Tabell 2.2), mens de faktiske produktene er noe bedre (ca 120m).

Vi har benyttet uttrykkene (4.1)-(4.3) til å estimere minimum skipslengde en kan forvente å detektere med ENVISAT i Wide Swath. Som diskutert i kapittel 4.1, vil dette avhenge av innfallsvinkel og polarisasjon, samt vind og sjøtilstand. Figur 5.1 viser et eksempel der radaren "ser" rett mot vinden, for 10m/s vindhastighet. Når vi sammenlikner resultatet for VV og HH polarisasjon, ser vi at tallene er noe lavere (bedre) for HH enn for VV. Dette skyldes at havrefleksen for HH polarisert radarstråling er noe lavere enn for VV, og kontrasten (TCR) blir noe høyere. HH-polariserte bilder bør derfor brukes framfor VV-polariserte bilder. Tabell 5.1 gir en oversikt for forskjellige utvalgte vindstyrker og innfallsvinkler. Vinklene er midtverdier for enkeltstrålene (beamer) som brukes til å "bygge opp" ENVISAT Wide Swath strålen. Vi understreker at disse verdiene kun er estimat for å gi en indikasjon, og bør brukes med forsiktighet.



Figur 5.1 Eksempel på minimum detekterbar skipsstørrelse med ENVISAT ASAR Wide Swath, for 10 m/s vind. Estimater er gitt for VV og HH polarisering. Her er det også gjort en sammenlikning med RADARSAT-1 ScanSAR Narrow (SCN) Near og Far. Den røde kurven er et konservativt estimat, mens de blå er justert på basis av arbeidet i referanse (17).

	Innfallsvinkel				
	20°	28,7°	33,7°	37,6°	41°
Vindstyrke [m/s]	Estimert skiplengde [m]				
	<b>VV Polarisasjon</b>				
4	164	64	43	33	27
6	179	77	53	42	35
8	194	88	63	50	42
10	211	100	73	59	50
12	228	113	83	68	58
14	247	125	93	77	67
16	265	137	103	86	75
18	283	150	114	96	84
20	300	162	125	106	94
	<b>HH Polarisasjon</b>				
4	151	52	32	23	18
6	167	61	38	28	22
8	184	70	45	33	26
10	200	78	51	38	31
12	218	87	58	44	35
14	235	96	64	49	40
16	253	105	71	55	45
18	270	114	78	60	50
20	286	122	84	66	55

Tabell 5.1 Estimerte minimum detekterbare skip ved bruk av ENVISAT Wide Swath



## 6 ANALYSE AV ENVISAT AP MODE DATA

ENVISATs ASAR AP modus gir økte muligheter til å detektere skip i høy sjø og innenfor en større bredde av innfallsvinkler. Kapasiteten til ENVISATs AP modus for skipsdeteksjon er vurdert, i tillegg til at muligheten til å se kjølvannet til skipene er undersøkt.

Ved bruk av kopolarisering, VV og HH, øker TCR med økende innfallsvinkel, mens den minker med økende vindhastighet og høy sjø. Dette er godt kjent fra for eksempel CMOD-algoritmen for C-bånd.

Simuleringer, som beskrevet i (12) indikerer at dette ikke er tilfelle for krysspolarisert data. Det ble i (12) foreslått at for bratte innfallsvinkler (IS1-IS2), så vil TCR være bedre i VH eller HV enn for VV eller HH kanalene. For større innfallsvinkler (IS6-IS7) vil forskjellene være mye mindre, til og med under støygrensen ved lave vindstyrker. I slike tilfeller, vil et skip sannsynligvis gi sterkest signatur i kopolariseringskanalene. Den største usikkerheten før denne undersøkelsen var den mulige forskjellen for radartverrsnittet for skip mellom ko- og krysspolarisering. Hvis de krysspolariserte skipssignaturene er lavere enn de kopolariserte signaturene, vil muligens TCR ikke vise seg. Det var ikke mulig å finne noe informasjon i litteraturen om hvordan slike signaturer varierer med polarisasjon.

Polariseringsforholdene (VV/VH, HH/HV og VV/HH) for skip som har kjent form er undersøkt, samt hvordan disse forholdene avhenger av bildegeometrien. I tillegg er TCR for forskjellige polariseringer, bildegeometrier og sjøforhold undersøkt. Skipsdeteksjonskapasiteten forbedres ved krysspolarisering. Forbedringen er kvantifisert for krysspolarisering vs. kopolarisering, og anbefalinger for bruk av forskjellige subspor og polariseringer for maksimum dekning og deteksjonsrater vil bli gitt. I tillegg er tilbakespredning fra diverse maritime strukturer (skip, oljerigger og bøyer) undersøkt.

En rekke ENVISAT AP modus data har blitt samlet og analysert over blant annet Nornefeltet som ligger utenfor kysten av Midt-Norge. Bilder er tatt over områder med kjente fartøyer, og polariseringsforholdene er estimert. Deler av datasettet er anskaffet over et fortøyd skip i Nornefeltet. Nornefeltet er av spesiell interesse fordi det er mulig å systematisk innsamle data over det samme skipet med forskjellige ASAR subspor og polariseringer for å kunne beregne hvilke kombinasjoner av disse parametrene og sjøforhold som gir best TCR. Hovedproduksjonsanlegget i Nornefeltet er et produksjonsskip (se Figur 6.1). Skipet kan rotere fritt rundt en midtre fortøyning slik at det alltid kan ha baugen vendt mot bølgene.



Figur 6.1 Illustrasjon av Nornefeltets produksjonsskip. © Statoil

Så langt har 27 bilder med varierende polarisering blitt samlet over Nornefeltet. Tabell 6.1 viser oversikt over antall bilder over Nornefeltet i de forskjellige subsporene og hvilke polariseringskombinasjoner som er brukt.

Nornefeltet	Polariseringskombinasjon			
	Subspor	VV/VH	HH/HV	VV/HH
IS1	3	5	1	9
IS2				
IS3	2			2
IS4	5	7		12
IS5			1	1
IS6		2		2
IS7			1	1
<b>Total</b>	10	14	3	27

Tabell 6.1 Oversikt over bilder over Nornefeltet.

Undersøkelsen har hovedsakelig blitt gjort uten kalibrerte data, slik at undersøkelsen er basert på relative sammenlikninger mellom de forskjellige AP modusene. Det første som er gjort er å se på TCR som funksjon av innfallsvinkelen for både kryss- og kopolarisert data. Dette vil gi en viktig basis for å gi anbefalinger om driftsmessige prioriteringer for å maksimere mulighetene for skipsdeteksjon.

## 6.1 Oversikt over data

Tabell 6.2 viser en oversikt over ENVISAT ASAR data som er innsamlet. Dataene er sortert etter sted og deretter subspor. Tabellen viser at data er samlet inn bl.a. fra Irskesjøen, Andfjorden, Vågsfjorden, Lofoten, Nornefeltet, samt andre oljeproduksjonsfelt utenfor norskekysten.

STED	SPOR	DATO	ASC/DESC	FIL	LENGDEG.	BREDDEG.	POL1	POL2
And-& Vågsfjorden	IS1	16-MAR-2004	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20040316_194642_000000142025_00114_10689_0000.N1	16,780383	69,076379	V/H	V/V
And-& Vågsfjorden	IS2	19-MAR-2004	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20040319_195227_000000152025_00157_10732_0000.N1	16,641095	69,263591	V/H	V/V
And-& Vågsfjorden	IS2	16-MAR-2004	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20040316_095426_000000152025_00108_10683_0000.N1	16,405485	69,015964	V/V	V/H
And-& Vågsfjorden	IS2	22-MAR-2004	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20040322_195757_000000142025_00200_10775_0000.N1	16,01382	68,3821015	V/H	V/V
And-& Vågsfjorden	IS3	10-NOV-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20031110_094546_00000016X000_00000_08865_0000.N1	16,467458	69,1932775	V/V	V/H
And-& Vågsfjorden	IS4	09-NOV-2003	ASCENDING	ASA_IMP_1PNTSS20031109_200924_000000142021_00286_08857_0000.N1	17,049193	68,831068	V/V	
And-& Vågsfjorden	IS4	23-MAR-2004	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20040323_093434_000000152025_00208_10783_0000.N1	16,763566	68,579839	V/H	V/V
And-& Vågsfjorden	IS5	20-NOV-2003	DESCENDING	ASA_IMP_1PNTSS20031120_093139_000000152021_00437_09008_0000.N1	15,898034	68,688377	V/V	
And-& Vågsfjorden	IS5	15-MAR-2004	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20040315_201804_00000015X000_00000_10675_0000.N1	16,5351	68,961721	H/H	V/V
And-& Vågsfjorden	IS6	18-MAR-2004	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20040318_202349_000000152025_00143_10718_0000.N1	16,649249	69,0790295	H/H	V/V
And-& Vågsfjorden	IS6	17-MAR-2004	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20040317_092304_000000142025_00122_10697_0000.N1	16,52548	68,8716465	H/H	V/V
And-& Vågsfjorden	IS7	21-NOV-2003	ASCENDING	ASA_IMP_1PNTSS20031121_203225_00000015X000_00000_09029_0000.N1	15,924252	69,2138035	V/V	
Arctic Sea	IS4	21-SEP-2003	ASCENDING	ASA_APP_1PNIPA20030921_204858_000000162020_00086_08156_0011.N1	8,588785	66,2361155	V/V	V/H
Arctic Sea	IS4	21-SEP-2003	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030921_204859_000000132020_00086_08156_0000.N1	8,703196	66,192811	V/H	V/V
Arctic Sea	IS5	20-NOV-2003	DESCENDING	ASA_IMP_1PNTSS20031120_093124_000000152021_00437_09008_0000.N1	16,456456	69,5637905	V/V	
Irish Sea	IS1	16-SEP-2003	ASCENDING	ASA_APM_1PNTSS20030916_214328_000000142020_00015_08085_0000.N1	-4,4056945	55,241875	V/H	V/V
Irish Sea	IS1	16-SEP-2003	ASCENDING	ASA_APM_1PNTSS20030916_214312_000000142020_00015_08085_0000.N1	-4,024597	54,3574945	V/H	V/V
Irish Sea	IS1	18-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APM_1PNTSS20030918_105559_000000142020_00038_08107_0000.N1	-5,4900665	55,019039	H/H	H/V
Irish Sea	IS1	18-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030918_105559_000000142020_00038_08107_0000.N1	-5,489916	55,018722	H/H	H/V
Irish Sea	IS2	19-SEP-2003	ASCENDING	ASA_APM_1PNTSS20030919_214912_000000142020_00058_08128_0000.N1	-4,9931525	55,356191	H/H	H/H
Irish Sea	IS2	19-SEP-2003	ASCENDING	ASA_APM_1PNTSS20030919_214857_000000142020_00058_08128_0000.N1	-4,632545	54,4777705	H/H	H/H
Irish Sea	IS2	15-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APM_1PNTSS20030915_105001_000000292019_00495_08064_0000.N1	-4,7588635	55,4763785	V/V	V/H
Irish Sea	IS2	19-SEP-2003	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030919_214857_000000142020_00058_08128_0000.N1	-4,6329925	54,4782865	H/H	H/H
Irish Sea	IS4	25-SEP-2003	ASCENDING	ASA_APM_1PNTSS20030925_220025_000000142144_00020_08214_0000.N1	-4,9755905	54,7839975	H/H	H/V
Irish Sea	IS4	25-SEP-2003	ASCENDING	ASA_APM_1PNTSS20030925_220010_000000152144_00020_08214_0000.N1	-4,6938235	53,9435945	H/H	H/V
Irish Sea	IS5	25-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APM_1PNTSS20030925_103608_00000014X000_00000_08207_0000.N1	-5,2276095	54,526098	H/H	H/V
Irish Sea	IS5	25-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030925_103608_00000014X000_00000_08207_0000.N1	-5,2280545	54,5256935	H/H	H/V
Nordland	IS2	19-MAR-2004	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20040319_195208_000000152025_00157_10732_0000.N1	17,632554	68,172058	V/H	V/V
Nordland	IS6	18-MAR-2004	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20040318_202334_000000152025_00143_10718_0000.N1	17,124761	68,204549	H/H	V/V
Nordland&Vøringb	IS1	24-AUG-2003	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030824_202907_000000142019_00186_07755_0000.N1	8,3057205	66,539147	H/H	H/V
Nordland&Vøringb	IS2	27-JUL-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030727_101829_00000014X000_00000_07348_0000.N1	7,800191	65,459731	H/H	V/V
Nordland&Vøringb	IS4	10-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNPDK20030910_100420_000000152019_00423_07992_0012.N1	7,6158325	65,2331905	V/V	V/H
Nordland&Vøringb	IS7	01-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APM_1PNTSS20030901_094644_00000013X000_00000_07863_0000.N1	8,388549	66,860862	V/V	V/H
Nordland&Vøringb	IS7	01-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030901_094644_00000013X000_00000_07863_0000.N1	8,3885335	66,8604655	V/V	V/H

STED	SPOR	DATO	ASC/DESC	FIL	LENGDEG.	BREDDEG.	POL1	POL2
Nornefeltet	IS1	19-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030919_102113_000000142020_00051_08121_0000.N1	8,6684905	65,903904	H/H	H/V
Nornefeltet	IS1	28-SEP-2003	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030928_202856_000000142186_00020_08256_0000.N1	8,6987625	66,076161	V/V	V/H
Nornefeltet	IS1	12-SEP-2003	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030912_203151_000000142019_00437_08027_0000.N1	8,0111915	66,0160425	H/H	H/V
Nornefeltet	IS1	03-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030903_102405_000000142019_00323_07892_0000.N1	8,0207685	65,999404	V/V	V/H
Nornefeltet	IS1	24-AUG-2003	ASCENDING	ASA_APP_1PNDPA20030824_202859_000000162019_00186_07755_0039.N1	8,486817	66,1037165	H/V	H/H
Nornefeltet	IS1	03-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNDPA20030903_102405_000000162019_00323_07892_0089.N1	8,1274965	65,935123	V/V	V/H
Nornefeltet	IS1	08-AUG-2003	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030808_203148_00000014X000_00000_07526_0000.N1	8,037483	65,979152	H/H	H/V
Nornefeltet	IS1	22-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030922_102653_000000142094_00020_08164_0000.N1	7,4169965	66,148026	H/H	H/V
Nornefeltet	IS1	30-JUL-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030730_102356_00000014X000_00000_07391_0000.N1	8,310981	66,351409	H/H	V/V
Nornefeltet	IS3	14-AUG-2003	ASCENDING	ASA_APM_1PNTSS20030814_204312_000000142019_00043_07612_0000.N1	8,40277	66,0351705	V/V	V/H
Nornefeltet	IS3	14-AUG-2003	ASCENDING	ASA_APP_1PNUPA20030814_204311_000000162019_00043_07612_0088.N1	8,3119655	66,047999	V/V	V/H
Nornefeltet	IS4	10-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNUPA20030910_100408_000000162019_00423_07992_0246.N1	7,994648	65,910258	V/V	V/H
Nornefeltet	IS4	24-SEP-2003	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030924_205443_000000152020_00129_08199_0000.N1	7,2325525	66,2502825	H/H	H/V
Nornefeltet	IS4	25-AUG-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030825_100658_000000142019_00194_07763_0000.N1	7,279378	66,0368615	H/H	H/V
Nornefeltet	IS4	29-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030929_100654_00000014X000_00000_08264_0000.N1	7,29162	66,069543	H/H	H/V
Nornefeltet	IS4	29-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNDPA20030929_100653_000000162020_00194_08264_0110.N1	7,3623745	66,0538685	H/V	H/H
Nornefeltet	IS4	20-AUG-2003	ASCENDING	ASA_APP_1PNDPA20030820_205438_000000162019_00129_07698_0034.N1	7,2999225	65,975209	H/V	H/H
Nornefeltet	IS4	24-SEP-2003	ASCENDING	ASA_APP_1PNDPA20030924_205442_000000162020_00129_08199_0102.N1	7,1555445	66,2345645	H/V	H/H
Nornefeltet	IS4	06-AUG-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030806_100404_000000142018_00423_07491_0000.N1	7,9932725	66,0233695	V/H	V/V
Nornefeltet	IS4	10-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNSPT20030910_100408_000000142019_00423_07992_0000.N1	7,949594	65,9695055	V/V	V/H
Nornefeltet	IS4	10-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNIPA20030910_100408_000000162019_00423_07992_0061.N1	7,994648	65,910258	V/V	V/H
Nornefeltet	IS4	21-SEP-2003	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030921_204859_000000132020_00086_08156_0000.N1	8,703196	66,192811	V/H	V/V
Nornefeltet	IS4	21-SEP-2003	ASCENDING	ASA_APP_1PNIPA20030921_204858_000000162020_00086_08156_0011.N1	8,588785	66,2361155	V/V	V/H
Nornefeltet	IS4	20-AUG-2003	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030820_205439_000000142019_00129_07698_0000.N1	7,3856655	65,9769855	H/H	H/V
Nornefeltet	IS4	10-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNUPA20030910_100408_000000162019_00423_07992_0246.N1	7,994648	65,910258	V/V	V/H
Nornefeltet	IS4	10-SEP-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNIPA20030910_100408_000000162019_00423_07992_0061.N1	7,994648	65,910258	V/V	V/H
Nornefeltet	IS5	03-AUG-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030803_095820_000000142018_00380_07448_0000.N1	7,959586	66,1055735	H/H	V/V
Nornefeltet	IS6	30-SEP-2003	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030930_210602_000000152020_00215_08285_0000.N1	7,4529035	65,990061	H/H	H/V
Nornefeltet	IS6	30-SEP-2003	ASCENDING	ASA_APP_1PNIPA20030930_210600_000000162020_00215_08285_0012.N1	7,4084115	65,935126	H/V	H/H
Nornefeltet	IS7	28-JUL-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20030728_094649_00000014X000_00000_07362_0000.N1	8,1893545	66,3562745	H/H	V/V
Nordsjøen	IS2	24-JAN-2003	DESCENDING	ASA_IMP_1PNTSS20030124_100450_000000152013_00151_04714_0000.N1	5,5301765	52,399223	H/H	
Nordsjøen	IS2	09-JUN-2004	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20040609_102544_000000152027_00323_11900_0000.N1	3,269208	60,356246	V/V	V/H
Nordsjøen	IS2	09-JUN-2004	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20040609_102529_000000152027_00323_11900_0000.N1	3,734233	61,228131	V/V	V/H
Nordsjøen	IS5	25-NOV-2002	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20021125_095028_000000152011_00294_03855_0000.N1	5,7724565	52,9159885	H/H	H/V

STED	SPOR	DATO	ASC/DESC	FIL	LENGDEG.	BREDDEG.	POL1	POL2
Nordsjøen	IS5	25-NOV-2002	DESCENDING	ASA_APP_1PNDPA20021125_095028_000000162011_00294_03855_0016.N1	5,79181	52,8484825	H/V	H/H
Skagerrak	IS1	04-MAY-2004	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20040504_204352_000000152026_00315_11391_0000.N1	9,2369415	58,3076155	V/H	V/V
Skagerrak	IS4	13-MAY-2004	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20040513_210101_000000152026_00444_11520_0000.N1	8,825208	58,304392	H/H	H/V
Skagerrak	IS4	13-MAY-2004	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20040513_210046_000000152026_00444_11520_0000.N1	9,161045	57,4246595	H/H	H/V
Vesterålen&Andøya	IS1	19-NOV-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20031119_100301_00000014X000_00000_08994_0000.N1	15,58968	68,850663	V/V	V/H
Vesterålen&Andøya	IS2	29-DEC-2002	ASCENDING	ASA_IMP_1PNTSS20021229_200910_000000152012_00286_04348_0000.N1	13,489817	67,9472295	V/V	
Vesterålen&Andøya	IS2	22-MAR-2004	ASCENDING	ASA_APP_1PNTSS20040322_195812_000000142025_00200_10775_0000.N1	15,228771	69,242334	V/H	V/V
Vesterålen&Andøya	IS3	10-NOV-2003	DESCENDING	ASA_APP_1PNTSS20031110_094601_00000016X000_00000_08865_0000.N1	15,778943	68,3311625	V/V	V/H

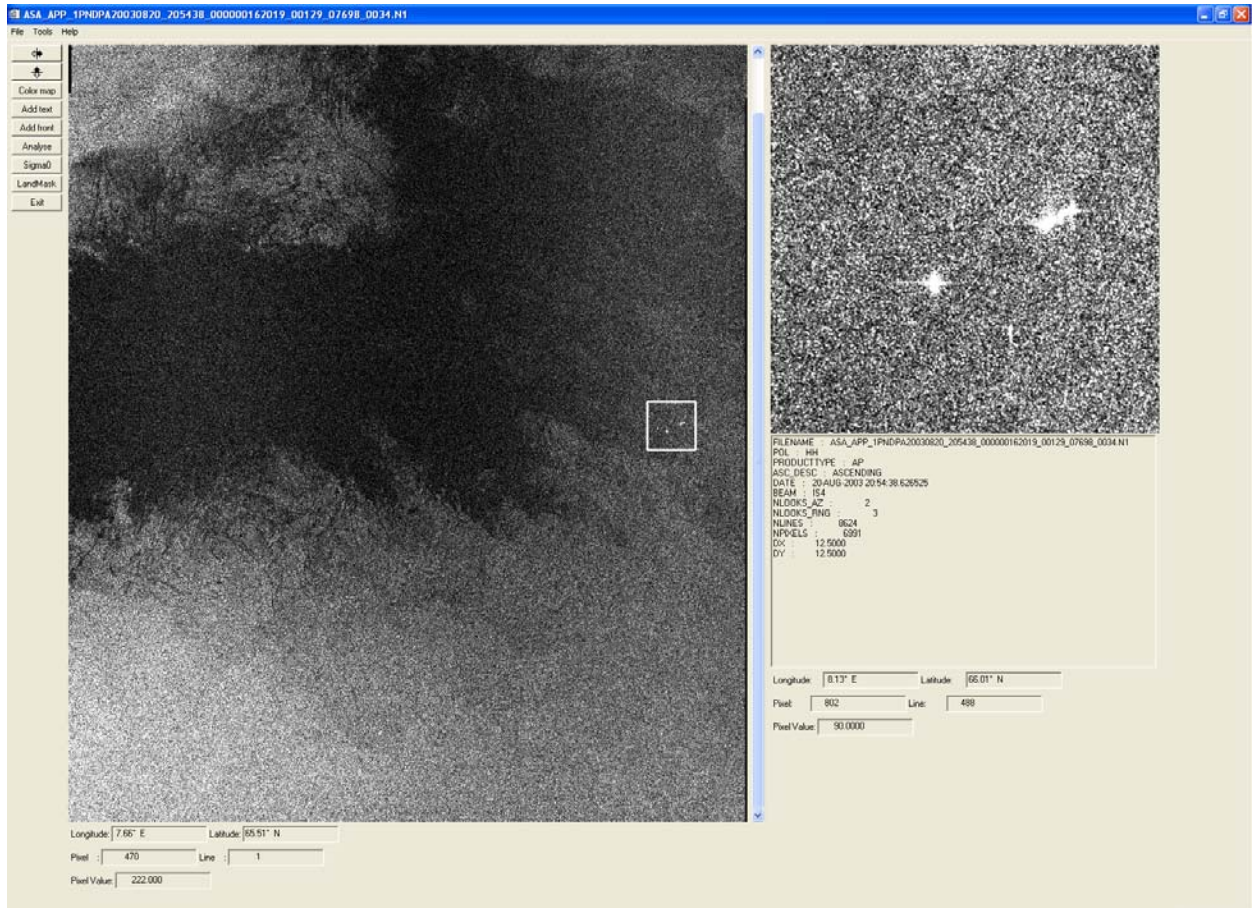
Tabell 6.2 Oversikt over ENVISAT ASAR data

## 6.2 Framgangsmåte

Råbilleddata blir mottatt fra KSAT (Kongsberg Satellite Services AS) eller direkte fra ESA. Ved hjelp av et program, som er laget i det matematiske programmeringsspråket IDL (Interactive Data Language), blir det gjort analyse av rådataene. Radarsignaturene blir målt og rådatainformasjonen blir skalert. To bilder blir framstilt i to forskjellige vinduer for brukeren, og brukeren kan veksle mellom de to vinduene etter ønske. Bildene, et for hver polarisering som er brukt, er laget ut ifra råbilleddataene der dataene er jevnet ut litt. Det er mulig å forstørre en del av bildet for å se dataene i full oppløsning. Man kan da bevege en liten hvit firkant i det store bildet, og sette firkanten over området som er av interesse. Figur 6.2 viser et eksempel på et bilde med HH-polarisering som er tatt 20. august 2003 over Nornefeltet med ENVISAT ASAR i subspor IS4. Under det store bildet får man opp diverse data ettersom man beveger seg innenfor bildet: lengde- og breddegrad, nummer på piksel og linje, samt en gjennomsnittlig pikselverdi. Under det lille fulltoppløselige bildet får man opp følgende informasjon i en liten rute:

- Filnavn (FILENAME)
- Polariseringen til bildet i det gjeldende vindu (POL)
- Produkttype, f.eks. AP modus (PRODUCTTYPE)
- Om bildet er tatt ”ascending” eller ”descending” (ASC\_DESC)
- Dato og klokkeslett (DATE)
- Subspor (BEAM)
- Antall look i asimut retning (NLOOKS\_AZ)
- Antall look i range retning (NLOOKS\_RNG)
- Antall piksler (NLINES)
- Antall linjer (NPIXELS)
- Lengde på en piksel i meter (DX)
- Lengde på en linje i meter (DY)

Når man beveger seg i det fulltoppløselige bildet får man i tillegg opp samme informasjon som man fikk i det store bildet, men nå får man sanne verdier av pikselverdiene. Pikselverdiene er amplitudeverdier og ikke intensitet. I det lille bildet i Figur 6.2 er den største hvite delen to skip som henger sammen (produksjonsskip og skytteltankskip), mens den hvite delen til venstre er en borerigg. Den lille flekken nederst er et nødfartøy (se Figur 6.12).



Figur 6.2 Eksempel på et bilde man får opp etter å ha prosessert rådataene. Bildet er tatt med HH-polarisering, og tatt 20. august 2003 over Nornefeltet med ENVISAT ASAR i subspor IS4.

Det store bildet i vinduet kan brukes til å lokalisere hvor i bildet eventuelle skip er. Dette området kan så forstørres slik at vi får de fulltoppløselige dataene i den lille firkanten. Nå kan man finne radartverrsnittet til skipet ved å trekke fra bakgrunnssignalet fra havet. Dette gjøres ved at brukeren velger fire punkter rundt skipet i en viss avstand fra skipet. Punktene bør velges slik at området rundt punktene representerer tilnærmet samme bakgrunn som bakgrunnen rundt og omkring skipet. En gjennomsnittlig verdi for radartverrsnittet ( $\sigma^0$ ) regnes ut i et område 5 piksler x 5 linjer rundt hvert av de fire punktene som er valgt, også regnes det ut en gjennomsnitt av disse igjen. I Figur 6.3 er den valgte pikselen i midten, mens programmet regner ut gjennomsnittsverdien til bakgrunnssignalet i en matrise rundt og inkludert den valgte pikselen.

$(i-2,j+2)$	$(i-1,j+2)$	$(i,j+2)$	$(i+1,j+2)$	$(i+2,j+2)$
$(i-2,j+1)$	$(i-1,j+1)$	$(i,j+1)$	$(i+1,j+1)$	$(i+2,j+1)$
$(i-2,j)$	$(i-1,j)$	Valgt piksel $(i,j)$	$(i+1,j)$	$(i+2,j)$
$(i-2,j-1)$	$(i-1,j-1)$	$(i,j-1)$	$(i+1,j-1)$	$(i+2,j-1)$
$(i-2,j-2)$	$(i-1,j-2)$	$(i,j-2)$	$(i+1,j-2)$	$(i+2,j-2)$

Figur 6.3 Brukeren velger en piksel  $(i,j)$ , og programmet regner ut en gjennomsnittlig verdi for radartverrsnittet i et område 5 piksler  $\times$  5 linjer rundt hvert av de fire punktene som er valgt.  $i$  er piksel nummer, mens  $j$  er linje nummer.

$\sigma^0$ -verdiene for en gitt piksel og linje er gitt ved formel (3.7), for  $i = 1 \dots L$  og  $j = 1 \dots M$ , og den gjennomsnittlige  $\sigma^0$ -verdien er gitt ved formel (3.8). Etterpå kan brukeren om ønskelig velge fire nye punkter som ligger nærmere skipet.  $\sigma^0$ -verdiene for alle pikslene innenfor firkanten som er valgt regnes ut, og framstilles grafisk for brukeren. Dette gjøres samtidig for begge polariseringene som er brukt uten at brukeren trenger å gjøre noe ekstra. Skipet blir lokalisert innenfor disse pikslene ved at programmet velger ut maksimalverdien til pikselverdiene i området. De resterende pikselverdiene som skal tas med i beregningen av  $\sigma^0$ -verdien til skipet velges ut med den innebygde funksjonen REGION\_GROW i IDL.  $\sigma^0$ -verdien til skipet beregnes ved at verdien til bakgrunnssignalet blir trukket fra skipspikslene. I tillegg blir den logaritmiske  $\sigma^0$ -verdien til båten i dB regnet ut.  $\sigma^0$ - og de logaritmiske  $\sigma^0$ -verdiene innenfor det valgte området, etter at bakgrunnen er trukket fra, framstilles grafisk slik at brukeren kan se skipets signalfordeling. Etterpå kan brukeren lagre dataene på en valgt fil. Dataene som skrives til fil er:

- Filnavnet
- Polarisering
- Subspor
- Innfallsvinkel midt over skipet
- Lengde- og breddegrad
- $\sigma^0$ - og  $\lg\sigma^0$ -verdi for skipet.

Bildene fra KSAT var i første del av prosjektet ikke kalibrert. K-verdien (se ligning (3.6)) som er brukt i beregningene er ikke helt riktig. Wide Swath produktene ble ferdig kalibrerte 16 mars, slik at det kun er dataene som er prosessert etter den dato som gir helt riktige  $\sigma^0$ -verdier. Produktene IMP (Precision Image) og AP blir kalibrert i nærmeste framtid. For produktene som kommer fra ESA er K-verdiene kalibrert riktig. For beregninger på ASAR AP produkter i denne rapporten kan K-verdien være en mulig feilkilde i beregningene.



Værdata fra datoene vi har bilder fra er brukt til å si noe om vindstyrke og retning i bildet, samt bølgeførhold. Vi har også sett på kjølvannstriper og vind- og bølgeførhold i bildene, samt hvilke polariseringer og subspor som egner seg best til dette.

## 6.3 Resultater

### 6.3.1 Skip til sjø kontrast (TCR)

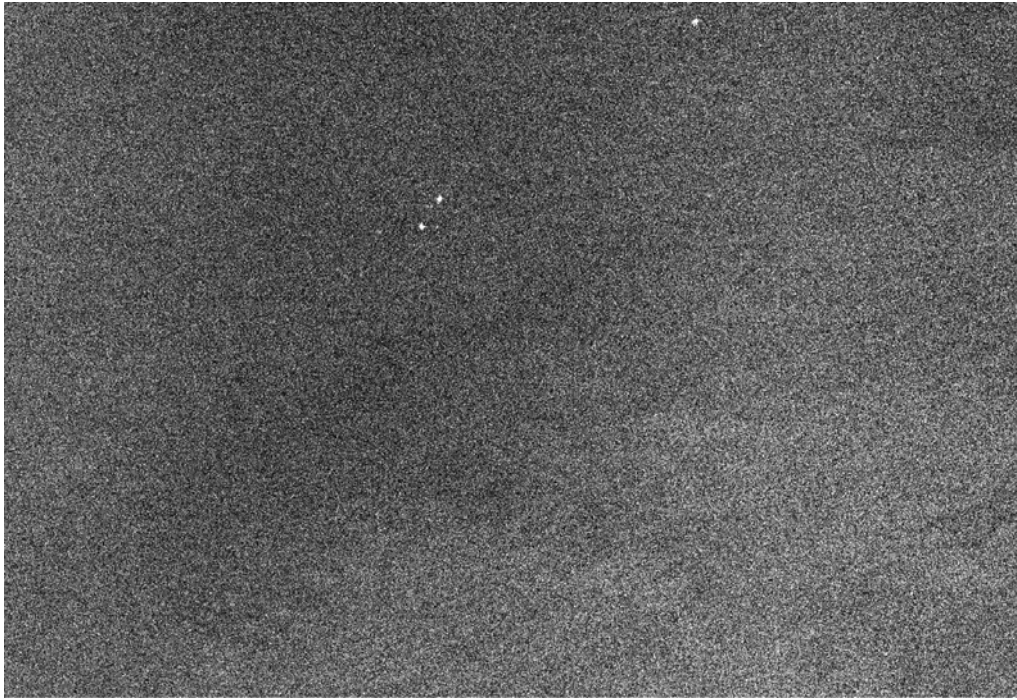
#### Bratte innfallsvinkler

Det har vist seg at det er lettere å detektere skip ved lave innfallsvinkler i ENVISAT ASAR AP modus. IS1 og IS2 har henholdsvis innfallsvinkler på  $18.8^\circ$  og  $22.8^\circ$  (midt i subsporet). Ved bratte innfallsvinkler reflekterer havet betydelig mindre ved bruk av krysspolarisering i forhold til kopolarisering. Samme reduksjon i signalstyrke for refleksjon fra skip er ikke observert. Det er derfor lettere å detektere skip på bildene ved å bruke krysspolarisering.

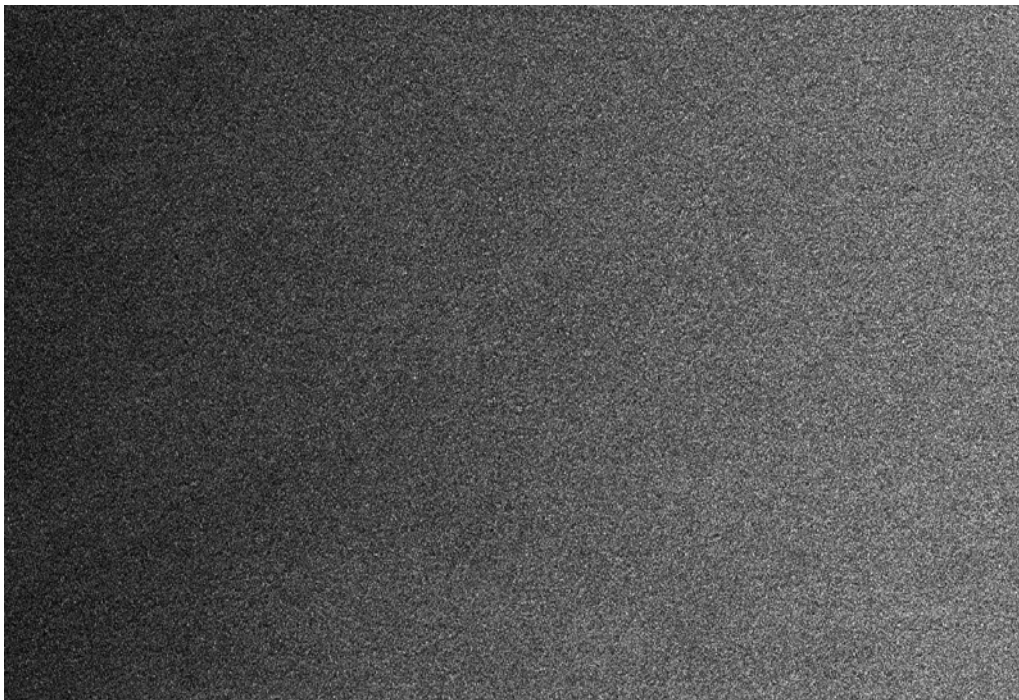
Figur 6.4 viser et eksempel på at det er lettere å detektere skip ved å bruke krysspolarisering i forhold til kopolarisering ved bratte innfallsvinkler, som i IS1. Bildene er tatt over samme område i Nornefeltet 3. september 2003. Figur 6.5 og Figur 6.6 viser et annet eksempel over Irskesjøen 18. september 2003 i subspor IS1. Her ser vi i tillegg at kontrasten mellom skip og hav er mye tydeligere. Havet i bildet med krysspolarisasjon framstår som helt svart, mens skipene er lyse prikker. I bildet med kopolarisering er havet mye lysere, og det er vanskeligere å skille ut hva som er skip. Figur 6.7 viser forskjell på kryss- og kopolarisering over Nornefeltet 12. september 2003 i subspor IS1. I bildet med HH-polarisering er det vanskelig å visuelt detektere skip. I bildet med krysspolarisasjon, HV, sees skipene tydelig. Figur 6.8 viser bilder over Andfjorden 16. mars 2004 i AP modus subspor IS2. I utgangspunktet forventet vi at denne også skulle gi best synlighet for skip i krysspolarisering. I dette tilfellet blåser det imidlertid svært lite, spesielt inne i de smale fjordarmene. Det er derfor mulig å se skip i både kopol (øverst) og krysspol bildene (nederst), selv om kontrasten er markant bedre for ett av skipene (se hvit pil) i krysspol-bildet. Vi ser også i dette opptaket at kontrasten mellom sjø og land er markert bedre ved krysspolarisering enn ved kopolarisering.

#### Medium innfallsvinkler

Figur 6.9 viser bilder over Nornefeltet 10. september 2003 i subspor IS4. Innfallsvinkelen er medium, og fartøyene er klart synlig i begge bildene, i hvert fall i midten av bildet. Nærmere kantene av bildet (near- and far-range), er kontrasten dårligere pga dårligere signal til støy forhold i radarsignalene. Termisk støy fra radaren i høyre og venstre kant er klarere synlig i krysspolarisering, VH. Vi ser at de oseanografiske fenomenene er mer synlige i bildet med kopolarisering, VV, enn i bildet med krysspolarisering.

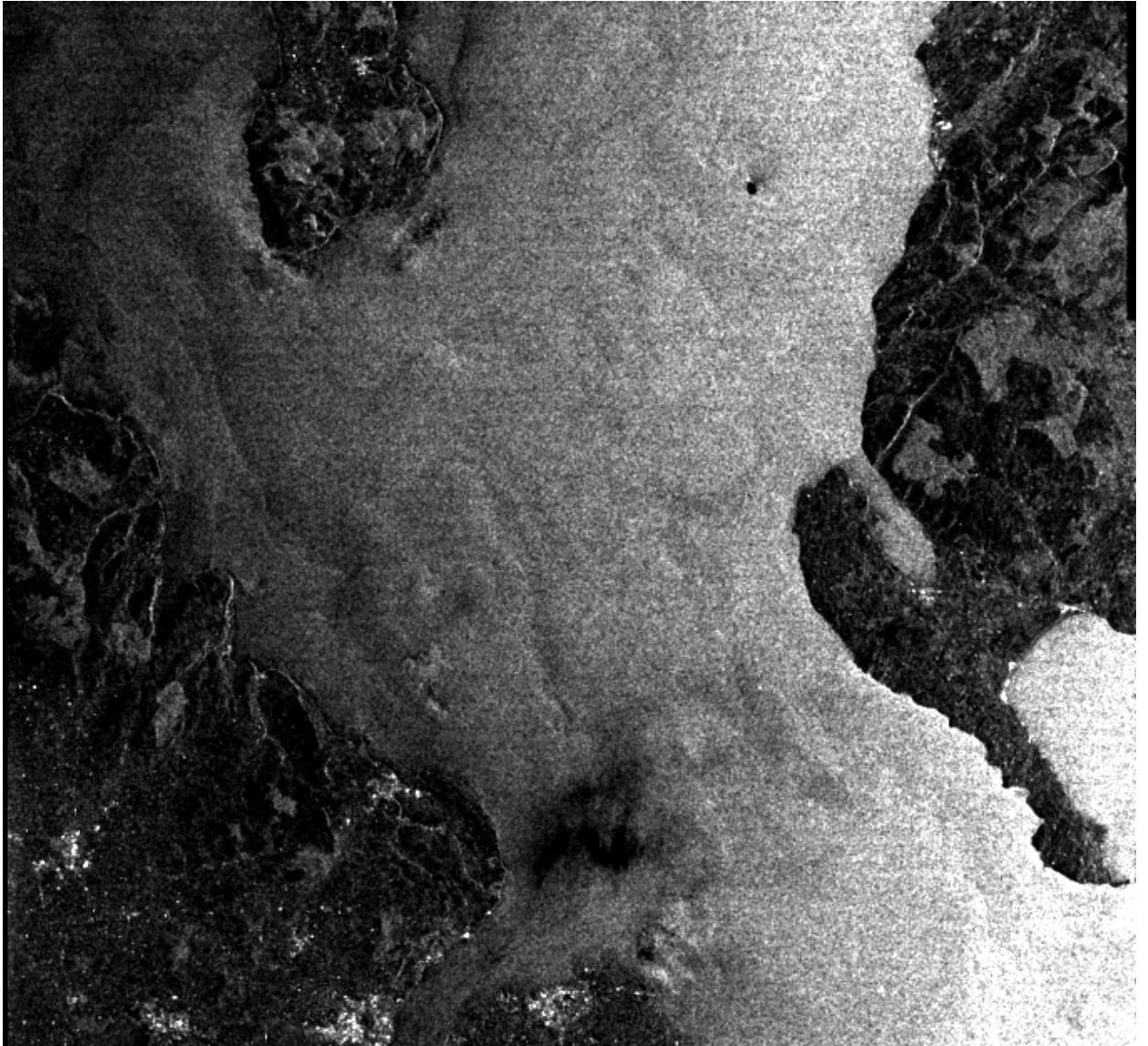


*VH*



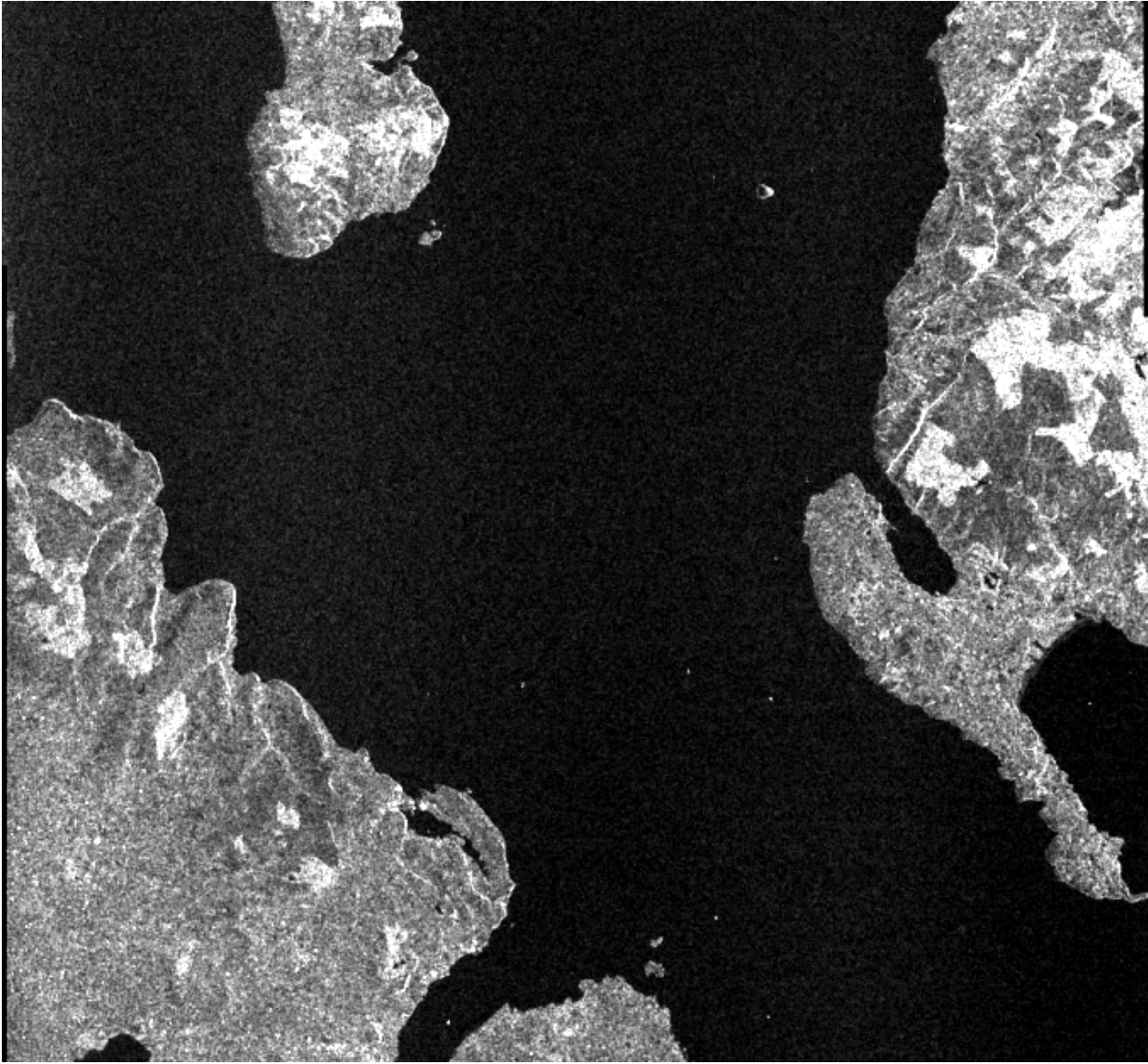
*VV*

*Figur 6.4 Eksempel på sammenlikning mellom VV og VH kanalene fra ENVISAT ASAR AP modus i IS1. Bildet er tatt over Nornefeltet 3. september 2003, og viser at det er lettere å detektere skip i krysspolarisering enn i kopolarisering (der skipene ikke er synlige).*



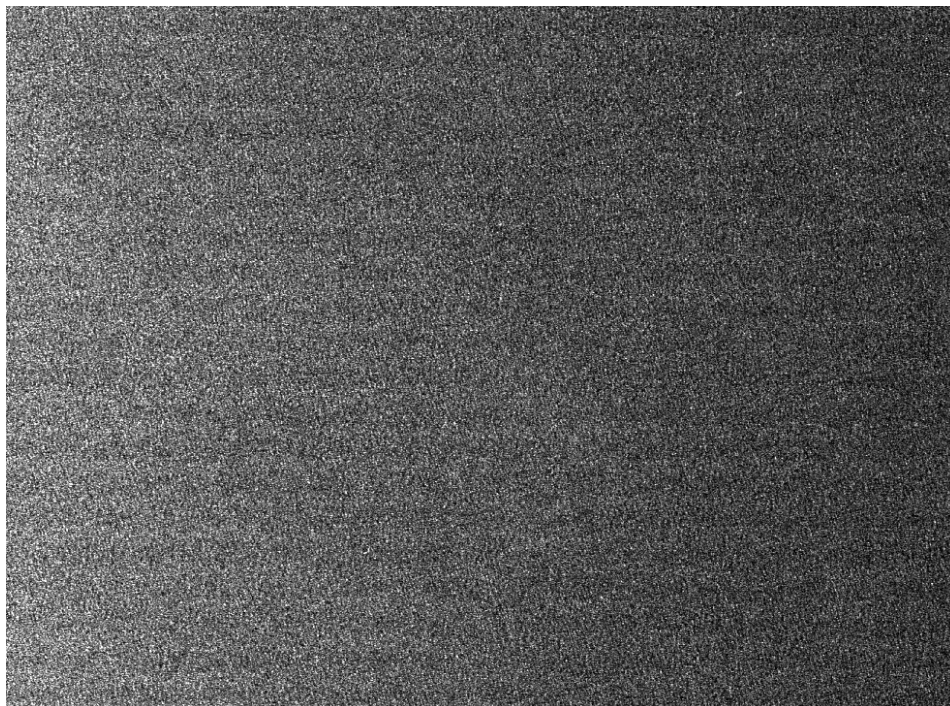
VV

*Figur 6.5 Bilde fra Irskesjøen 18. september 2003 i AP modus subspor ISI. Bildet er tatt med kopolarisering, VV, og det er vanskelig å skille ut skip i dette bildet. Kontrasten er ikke så tydelig mellom land og hav alle steder.*

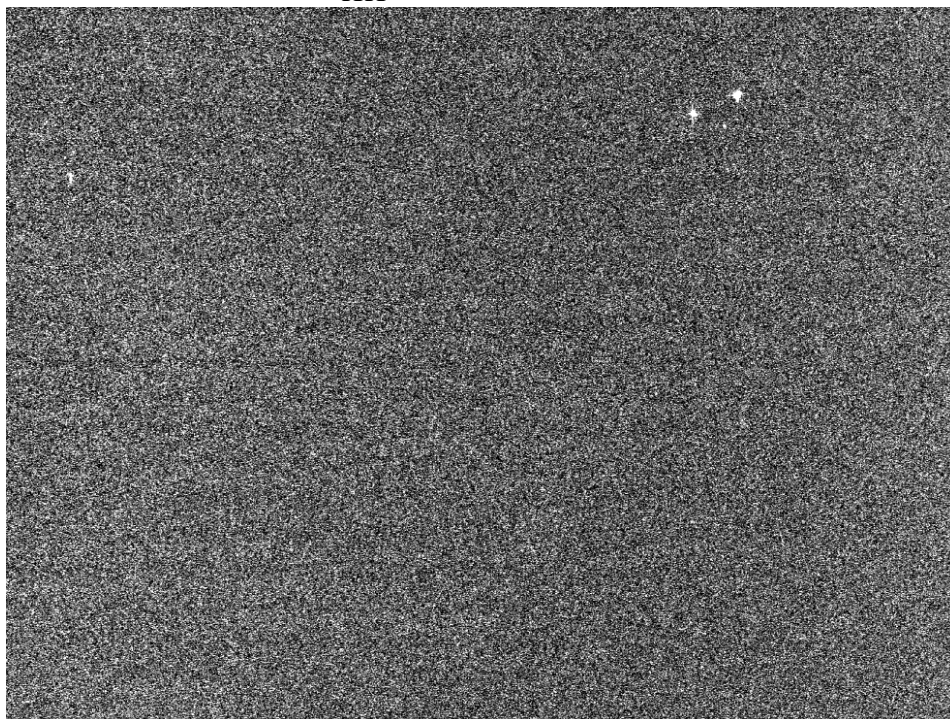


VH

*Figur 6.6* Bilde over Irskesjøen 18. september 2003 med krysspolarisasjon, VH. Her ser vi at det er lettere å skille ut skip enn i figuren ovenfor som var VV. Det er også mye tydeligere kontrast mellom land og hav.

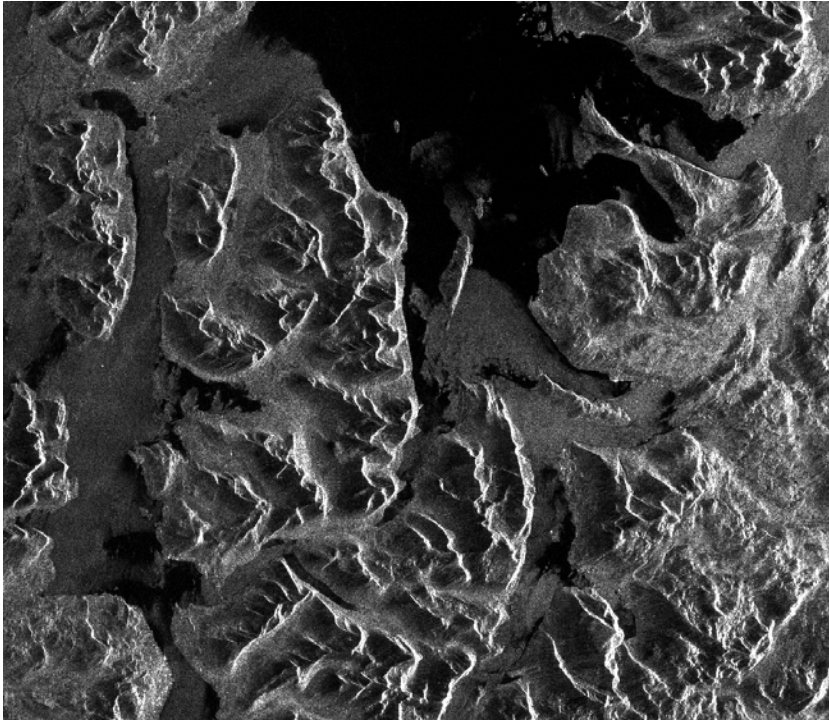


*HH*

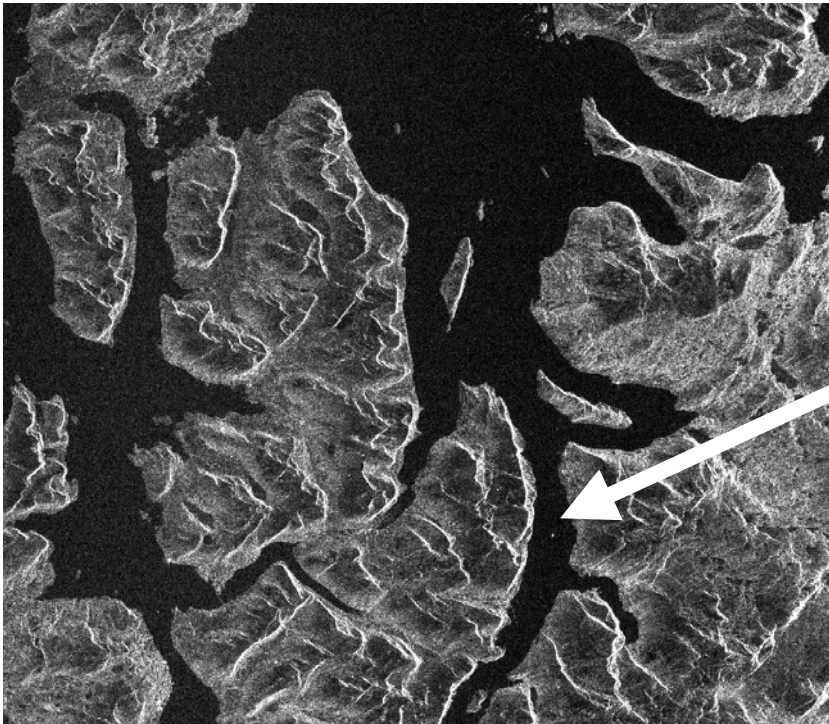


*HV*

*Figur 6.7 Bilder over Nornefeltet 12. september 2003 i AP modus subspor IS1. Det øverste bildet er tatt med kopolarisering, HH, og det er vanskelig å skille ut skip i dette bildet. Det nederste bildet er krysspolarisasjon, HV. Ved bruk av krysspolarisering ser vi skipene enkelt.*

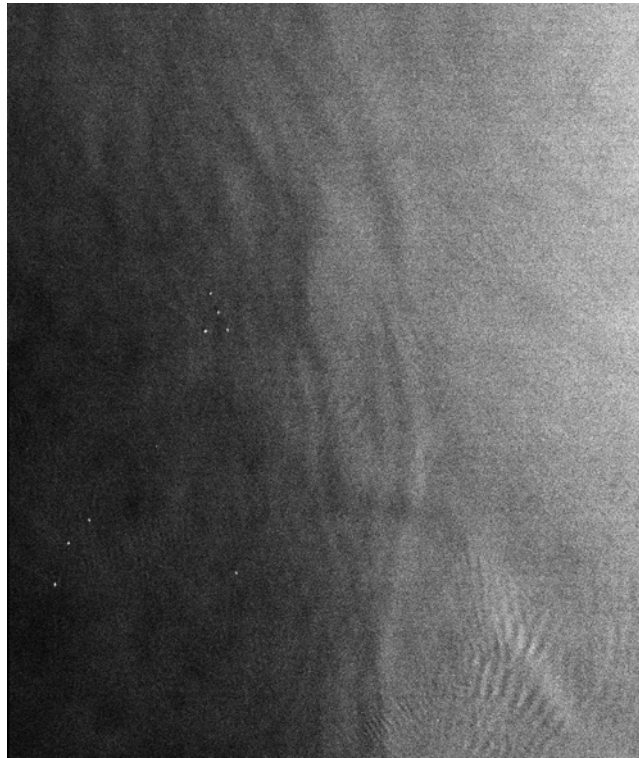


VV

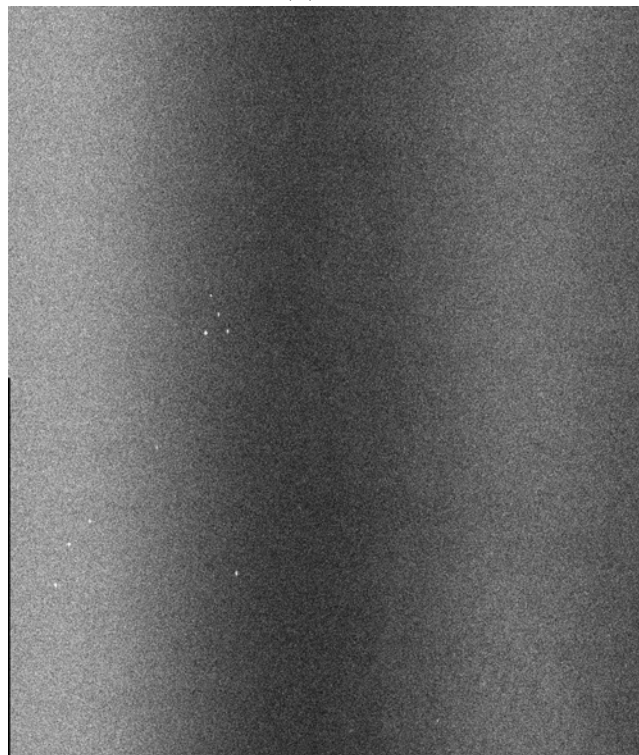


VH

*Figur 6.8 Bilder over Andfjorden 16. mars 2004 i AP modus subspor IS2. Det øverste bildet er kopolarisering, VV. Det er vanskelig å skille ut skip i dette bildet, og samtidig ser vi at skillet mellom land og hav ikke er så tydelig. Det nederste bildet er krysspolarisering, HV, og her er skillet mellom land og hav klarere, samt at det er mulig å se et skip i fjorden.*



VV

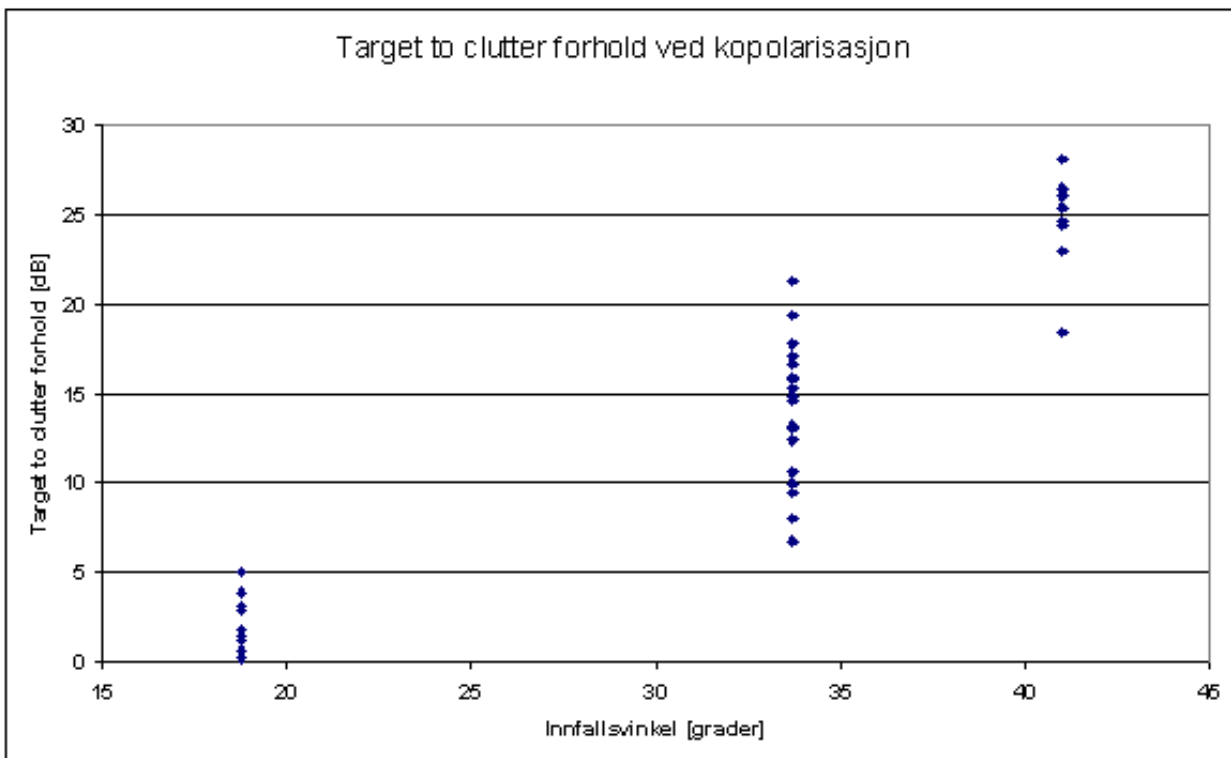


VH

*Figur 6.9 Nornefeltet 10. september 2003 i AP modus subspor IS4. Det øverste bildet er kopolarisering, VV, mens det nederste bildet er krysspolarisasjon, VH. Skipene er synlige i begge bildene.*

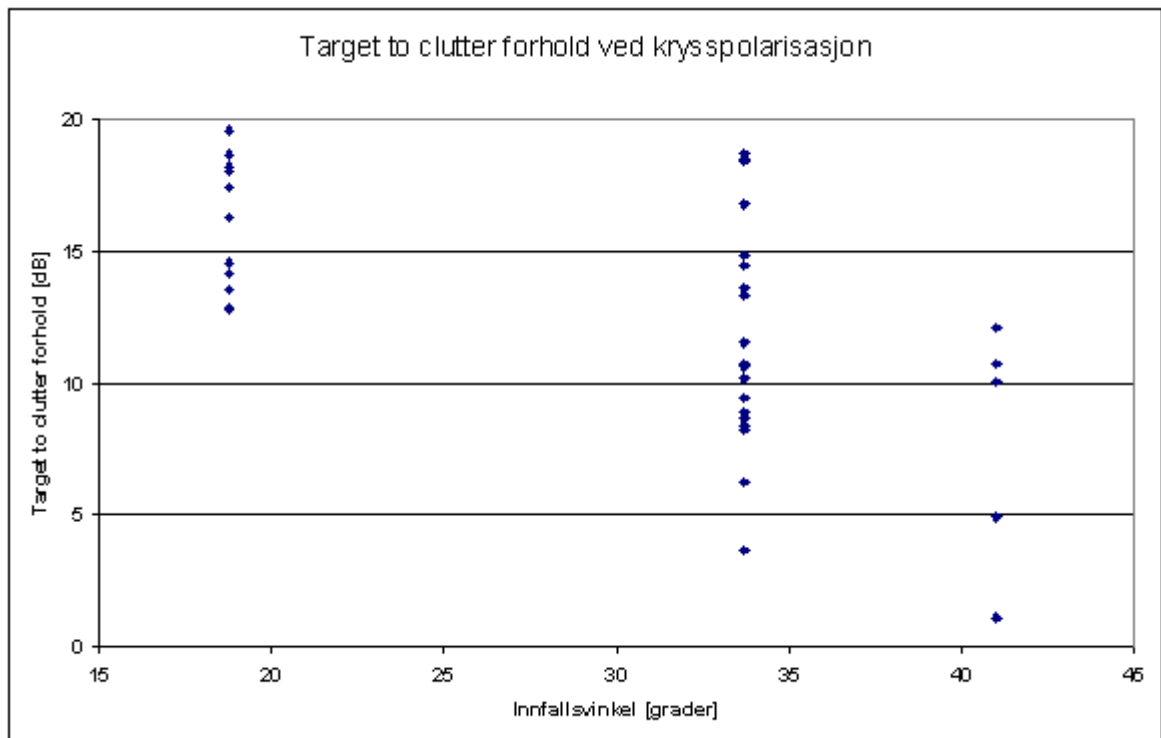
TCR resultatene for skip ved bruk av kopolarisering er vist i Figur 6.10. Resultatene er vist for lave, medium og høye innfallsvinkler, som tilsvarer ASAR sporene IS1, IS3 og IS6. Det viser seg at TCR er størst ved høye innfallsvinkler, mens for brattere innfallsvinkler blir verdien lavere. Det motsatte er tilfelle ved krysspolarisering (se Figur 6.11). Her minker TCR med økende innfallsvinkel. Grafene inneholder data fra produksjonsskipet på Nornefeltet, samt fartøyer som ligger rundt (se Figur 6.12), for eksempel et skytteltankskip som transporterer olje til et raffineri, et nød fartøy og en borerigg som brukes for å utvide rekkevidden til produksjonsbrønnene i feltet.

TCR resultatene viser at prediksjonene i (12) stemmer. Dataene som beregningene er gjort på er samlet under en rekke forskjellige vindhastigheter og sjøforhold, noe som kan forklare spredningen i TCR verdiene (ut ifra antatt verdi), i hvert fall for de kopolariserte dataene. Som en hovedregel bør TCR være 10 dB eller bedre for å være sikker på at det er mulig å detektere skip med automatiske deteksjonsmetoder. De kopolariserte dataene viser klart at de ikke tilfredsstillende dette kriteriet for IS1, mens de krysspolariserte dataene gjør det. For høye innfallsvinkler er situasjonen motsatt. Midt imellom høye og lave innfallsvinkler er situasjonen mer uklar. Spredningen i TCR for de forskjellige observasjonene er store, og må undersøkes videre. En annen grunn til spredningen i plottet i Figur 6.11 kan være at kontrasten noen ganger er mindre ved kantene (near- and far-range) av bildet (se Figur 6.9) pga støy. En tredje faktor som kan ha innvirkning er variasjoner i skipets retning relativt til radarens pekeretning. I tillegg er det forskjellige mål som er brukt, og derfor gir de forskjellige radartverrsnitt.



Figur 6.10 TCR for kopolarisering øker med økende innfallsvinkel



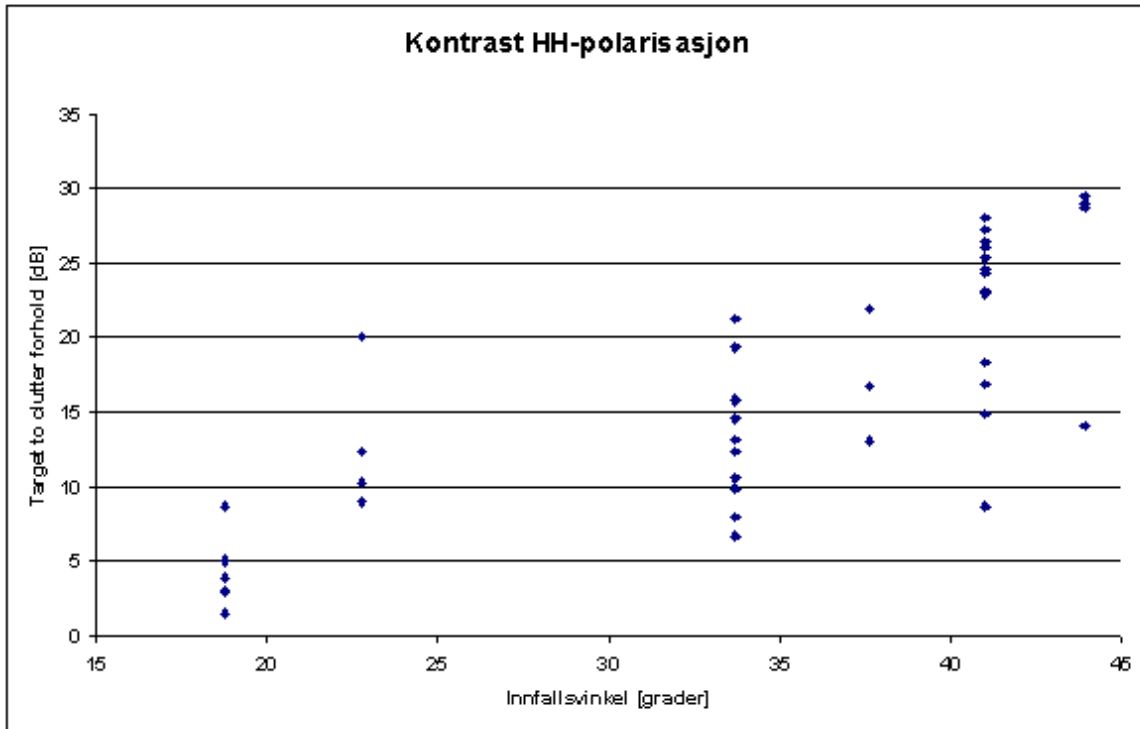


Figur 6.11 TCR ved krysspolarisering minker ved økende innfallsvinkler.

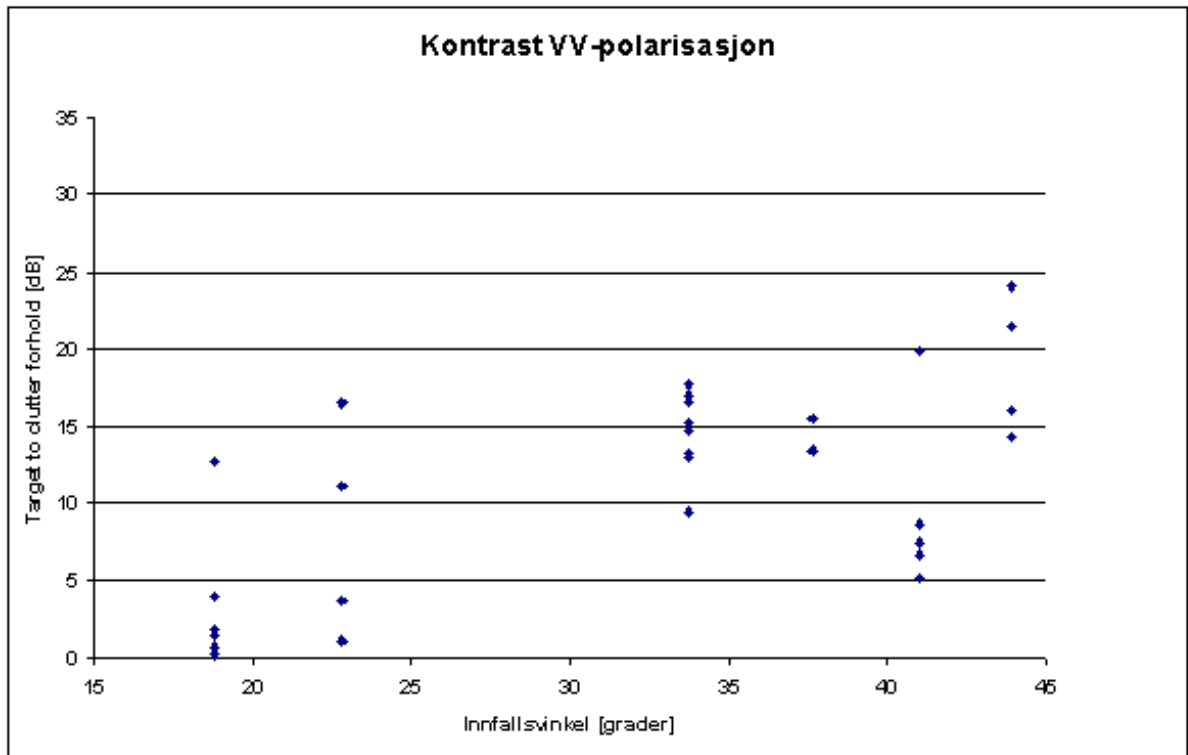


Figur 6.12 Produksjonsskipet på Nornefeltet (til venstre) sammen med et skyttelskip som transporterer olje til et raffineri, samt en borerigg og et nød fartøy.

Ved kopolarisering, både VV og HH, øker TCR med økende innfallsvinkel, mens den minker med økende vindhastighet og høy sjø. Horisontal polarisering egner seg best for skipsdeteksjon i forhold til vertikal polarisering, fordi sjøclutteret er størst ved vertikal polarisering. Ved horisontalpolarisering blir refleksjonene fra sjøen undertrykt, og skipet kommer klarere fram i bildet. I Figur 6.13 og Figur 6.14 ser vi at TCR øker for både horisontal og vertikal polarisering, og at horisontal polarisering gir noe høyere verdier enn vertikal polarisering.



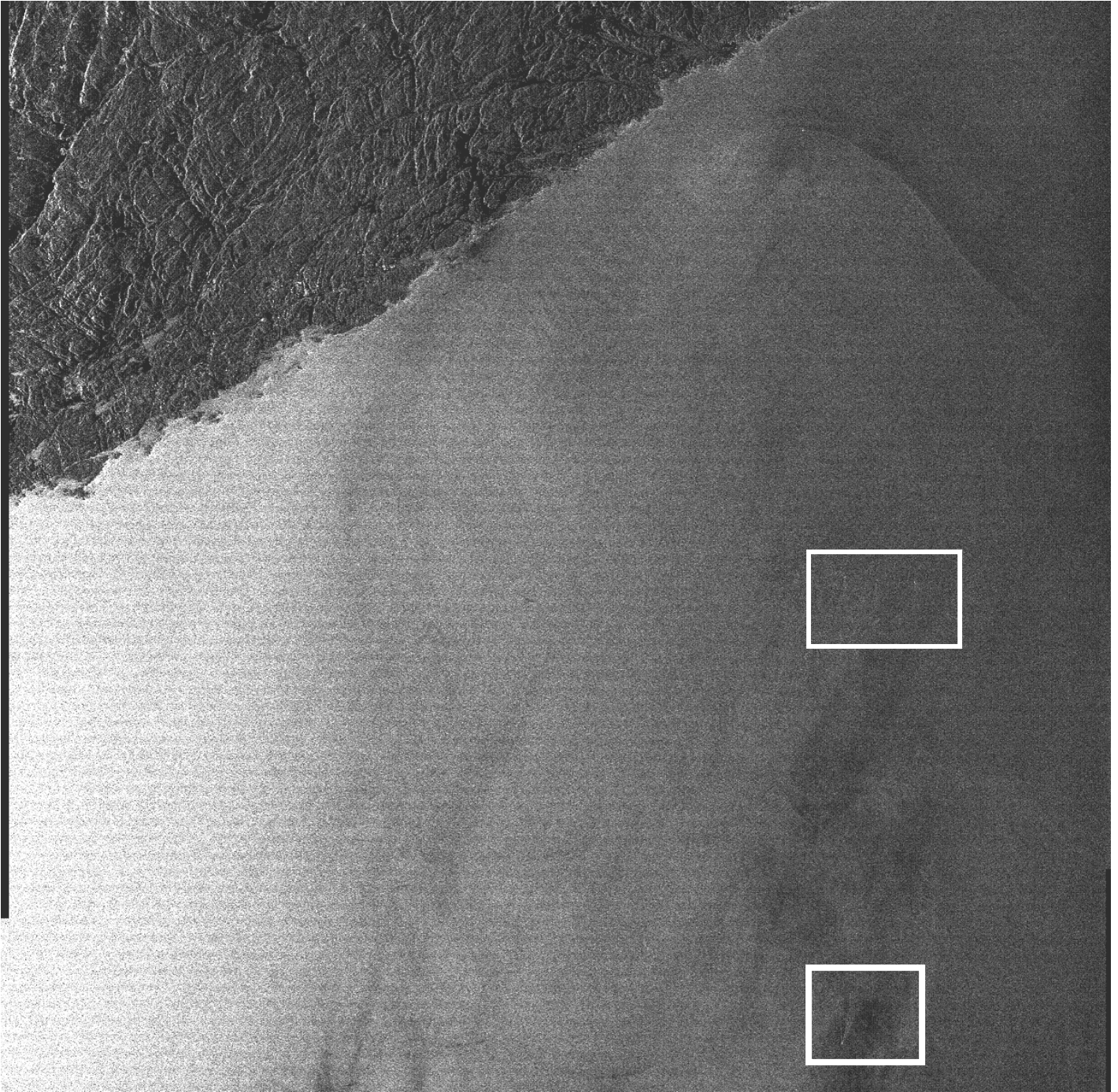
Figur 6.13 Target to clutter forholdet øker med økende innfallsvinkel for HH-polarisering.



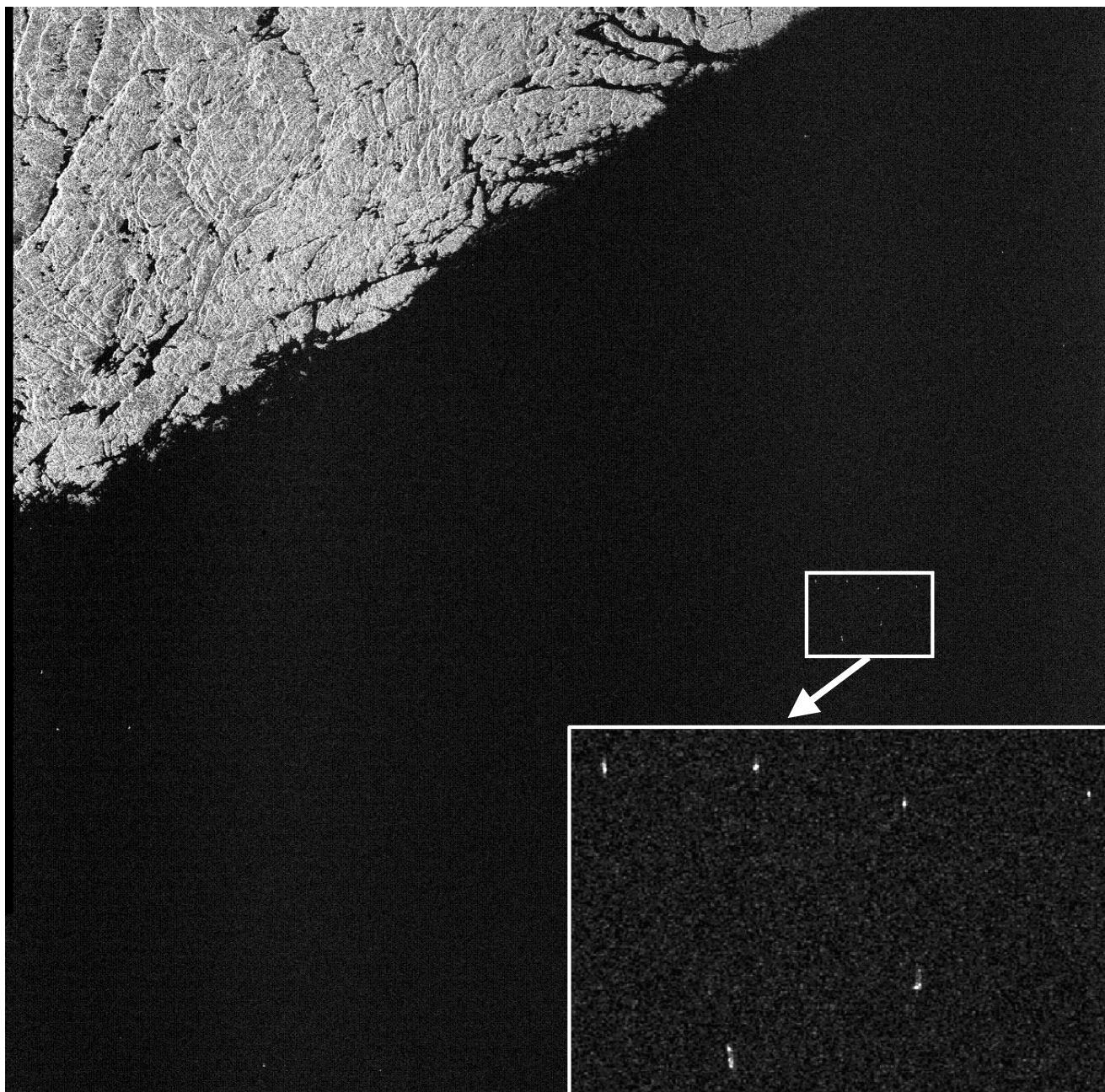
Figur 6.14 TCR øker med økende innfallsvinkel for VV-polarisering.

### 6.3.2 kjølvannsstriper

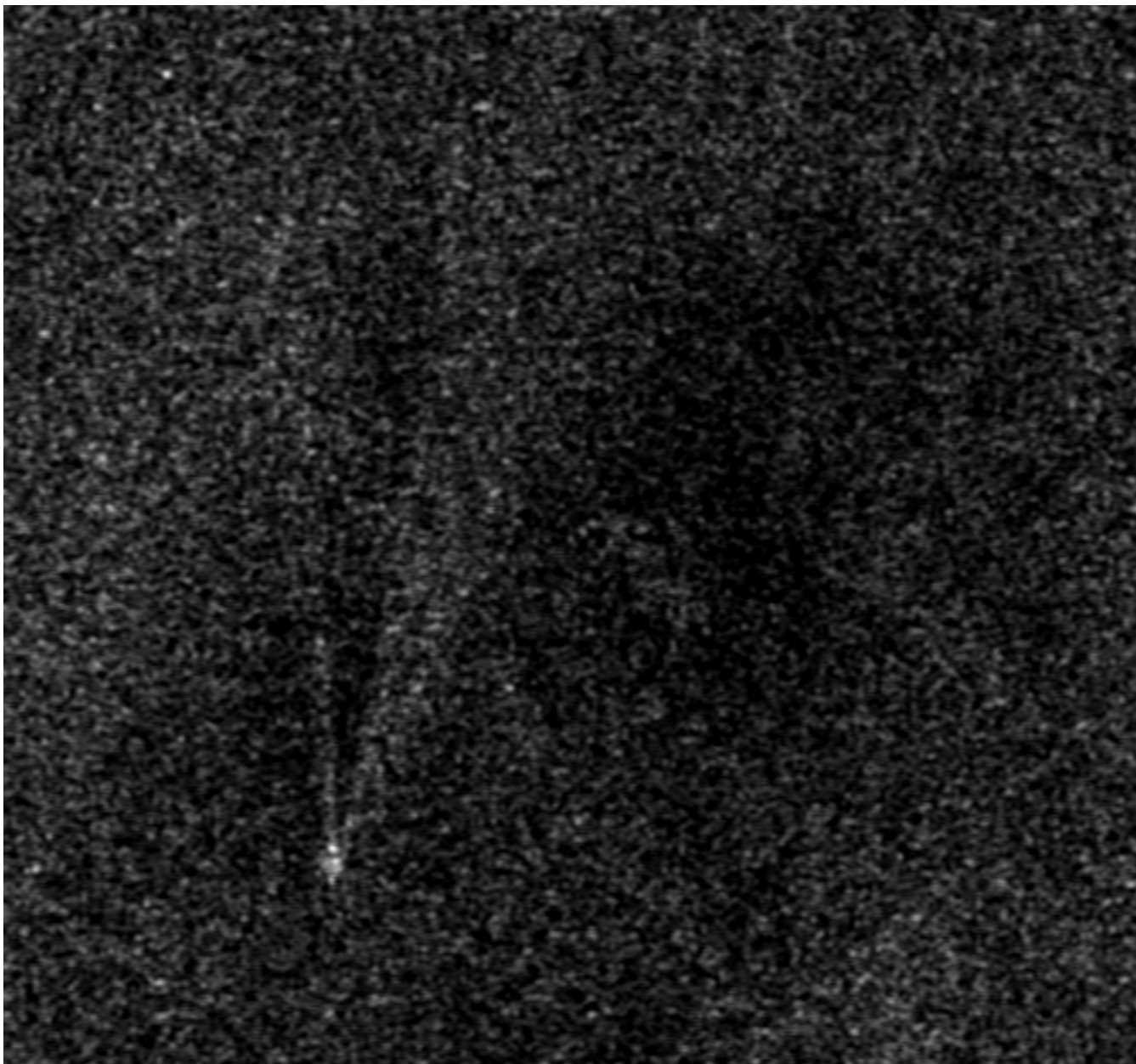
Figur 6.15 viser et område av Skagerrak utenfor Arendal 4. mai 2004 under Blue Game øvelsen. Bildet er tatt med VV-polarisering i subspor IS1. Her kan en ikke se noen skip, mens de oseanografiske fenomenene samt at noen kjølvannsstriper er tydelige. I Figur 6.16 kan en tydeligere se skip samtidig som grensen mellom hav og land er lett å se. Figur 6.17 og Figur 6.18 viser to utsnitt av bildet med VV-polarisering som viser kjølvannsstriper etter noen av skipene under øvelsen.



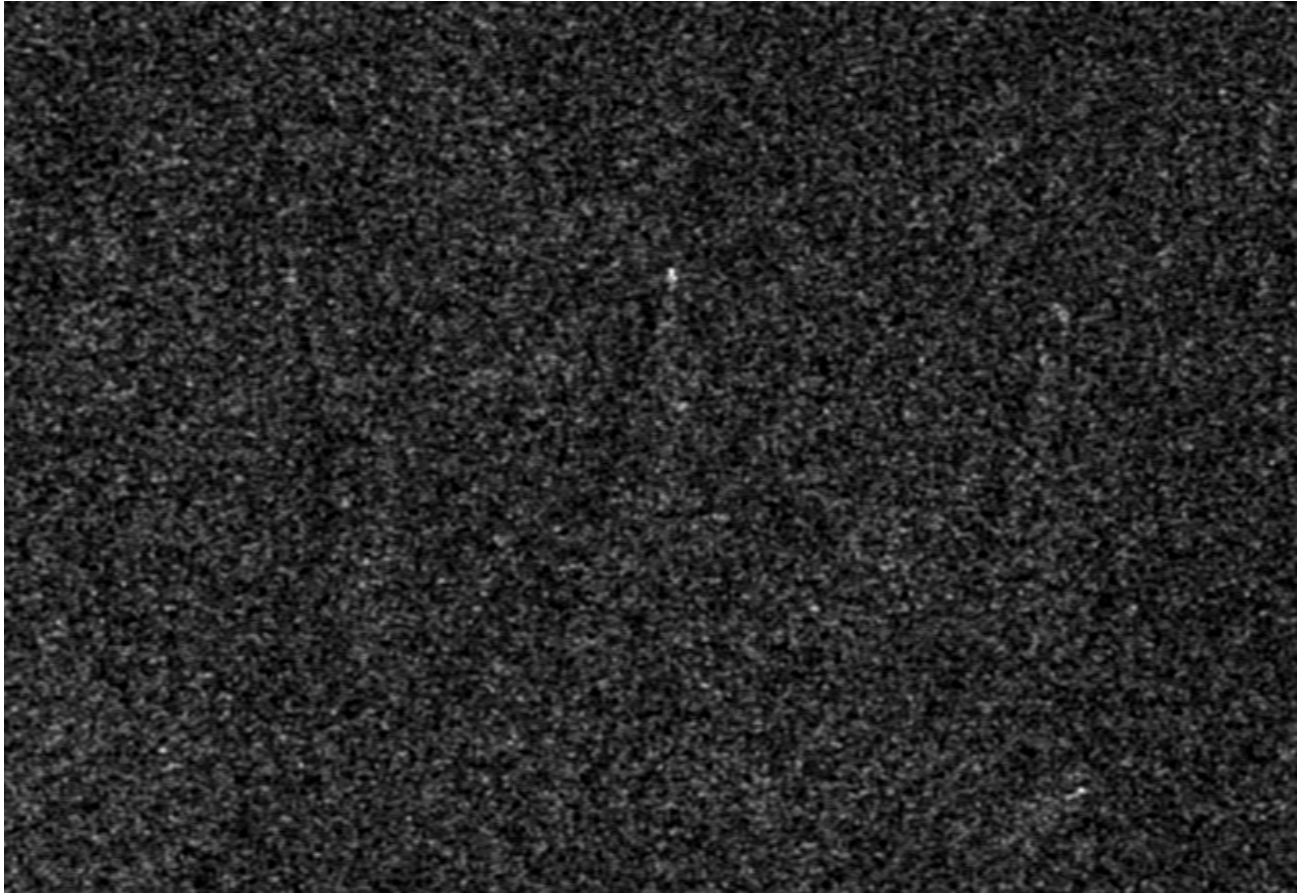
*Figur 6.15 Bildet av Skagerrak utenfor Arendal 4. mai 2004 under Blue Game øvelsen. Bildet er tatt med VV-polarisering i subspor IS1. Her kan en ikke se skip, mens de oseanografiske fenomenene samt kjølvannsstriper er tydelige.*



*Figur 6.16 Bildet av Skagerrak utenfor Arendal 4. mai 2004 under Blue Game øvelsen. Bildet er tatt med VH-polarisering i subspor IS1. Her kan en se skip tydelig, mens de oseanografiske fenomenene samt kjølvannstriper er borte. Skillet mellom hav og land er også tydeligere.*

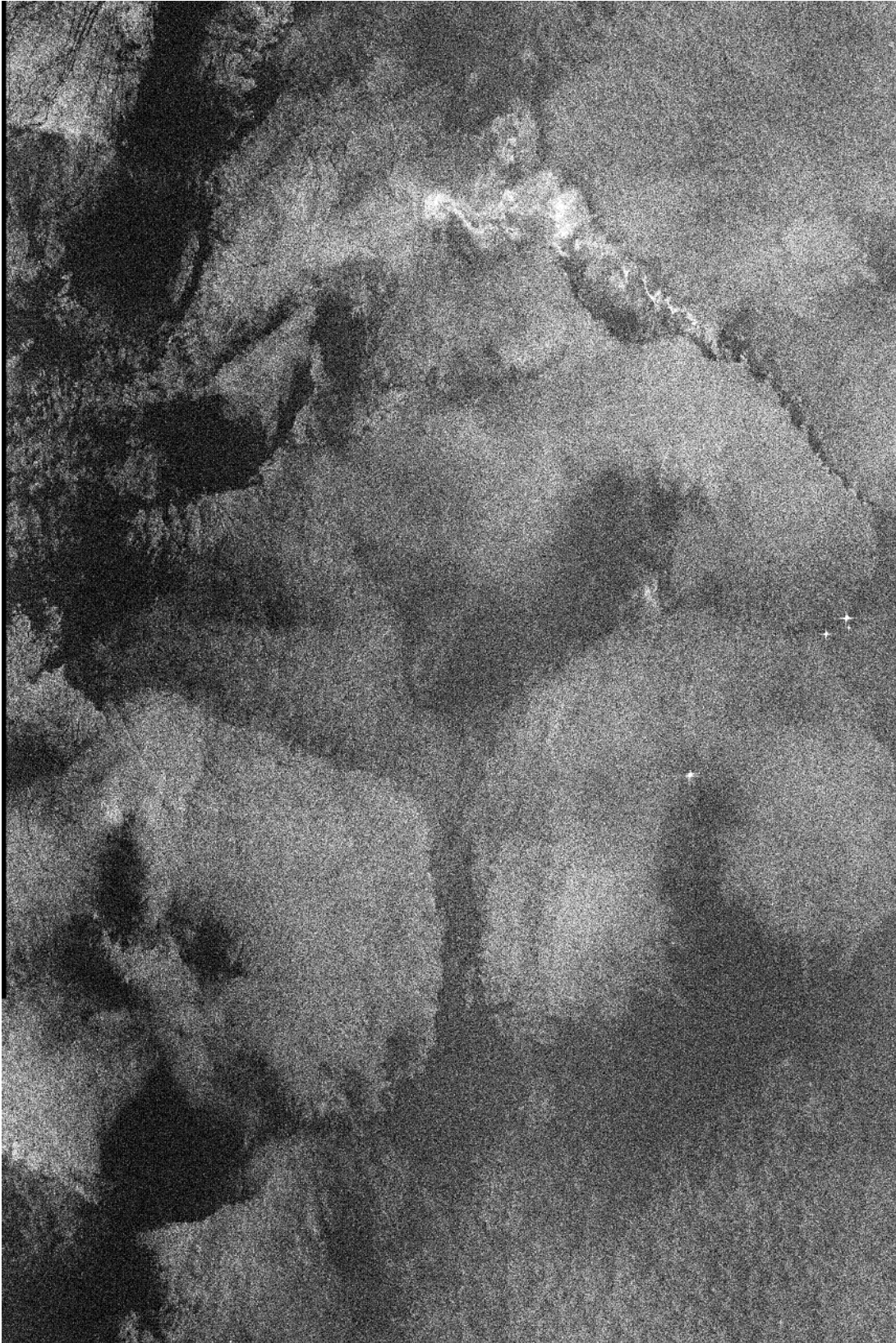


*Figur 6.17 Utsnitt av bildet (VV-polarisering) i Figur 6.15 der en tydelig ser kjølvannsstriper etter et skip.*



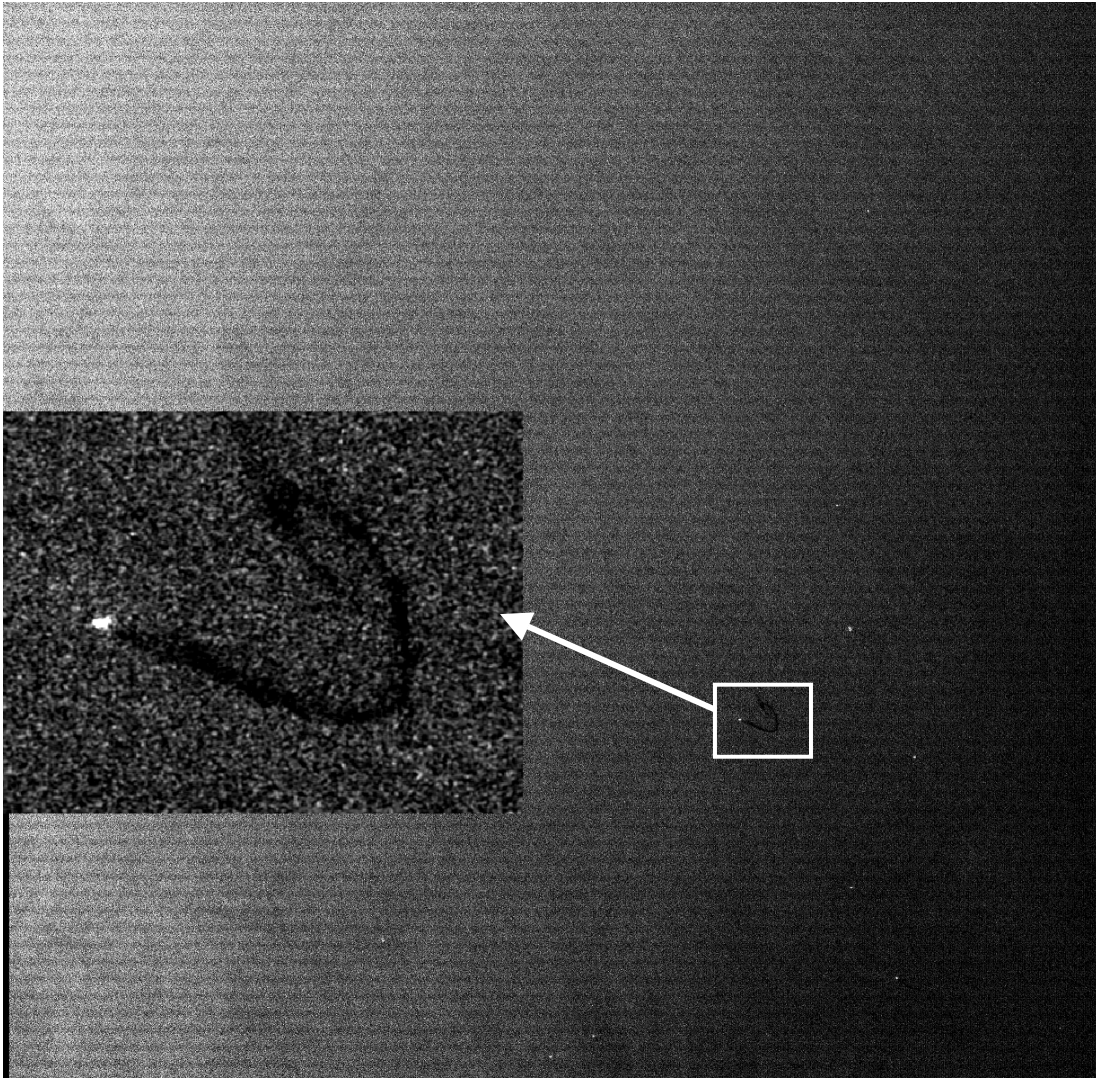
*Figur 6.18 Et annet utsnitt av bildet (VV-polarisering) i Figur 6.15 der kan se fire andre skip med kjølvannstriper.*

Figur 6.19 viser et bilde over Nornefeltet 30. september 2003 i AP modus, subspor IS6 og HH-polarisering. Det er mulig å se en oljeplattform og noen skip til høyre i bildet, og i tillegg er flere oseanografiske fenomener synlige. Figur 6.20 viser bilde over Nordsjøen 9. juni 2004. Bildet er tatt med VV-polarisering i subspor IS2. Det er mulig å detektere mange skip, og i tillegg er det mulig å se oljeutslipp etter ett av skipene.



*Figur 6.19 Nornefeltet 30. september 2003 i AP modus, subspor IS6 og HH-polarisering. Til høyre i bildet er det mulig å se noen skip og oljeplattformer. I tillegg er flere meteorologiske og oseanografiske fenomener synlige.*



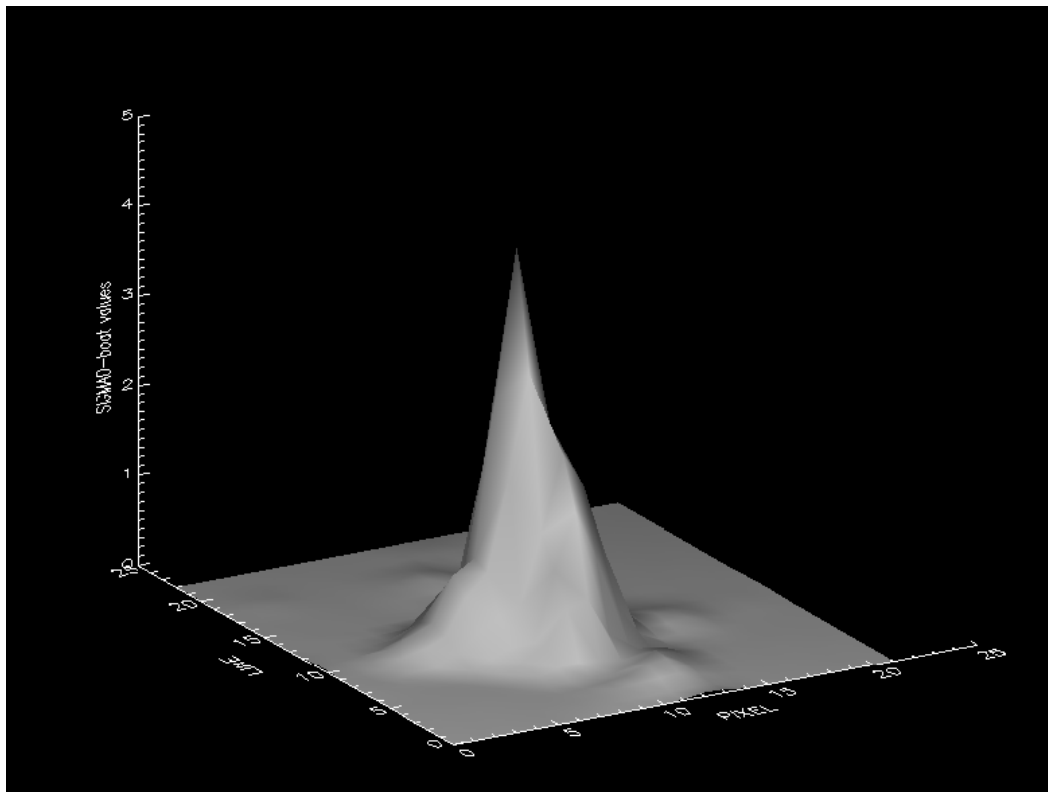


*Figur 6.20* Bilde over Nordsjøen 9. juni 2004. Bildet er tatt med ENVISATs ASAR AP modus med VV-polarisering i subspor IS2. Det er mulig å detektere mange skip, og i tillegg er det mulig å se oljeutslipp etter en av skipene.

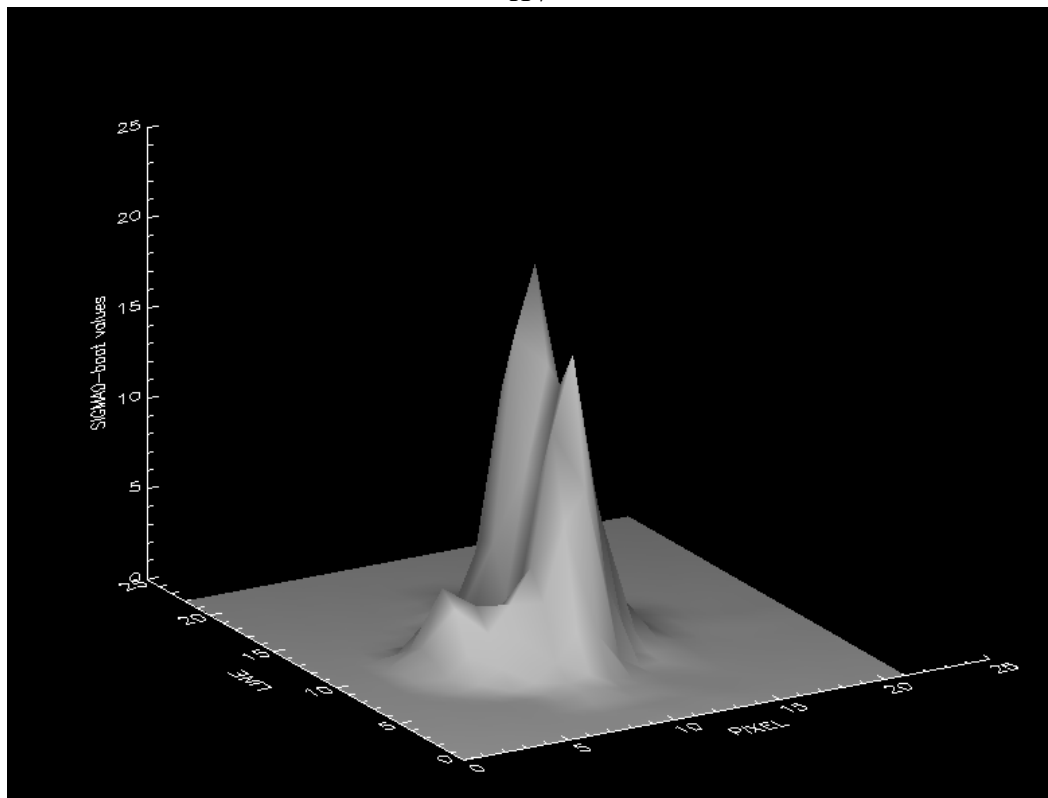
### 6.3.3 Radarsignaturer

I dette kapitlet vises eksempler på detaljer i radarsignaturer av skip og boreplattformer. Radartverrsnittet til et skip i kryss- og kopolarisering er vist i Figur 6.21. Dataene er tatt over Nornefeltet 20. august 2003 i subspor IS4. Vi ser at radarsignaturene er forskjellige både i styrke og fordeling, mens i dette tilfellet er de integrerte verdiene noenlunde like. Forskjellene skyldes sannsynligvis at spredningen i HH skjer mest som følge av dobbelrefleksjon fra sjøen og siden av skroget samt mellom plane overflater på dekk og overbygningen, mens krysspolarisasjonen reflekser følger av flere komplekse refleksjoner mellom forskjellige deler av skipets struktur.

Figur 6.22 viser radartverrsnittet i kryss- og kopolarisering til to skip som henger sammen (produksjons- og skyttelskipet på Nornefeltet). Dataene er tatt 24. august 2003 i subspor IS1. Krysspolarisering gir mer informasjon om skipets struktur enn det kopolarisering gjør.

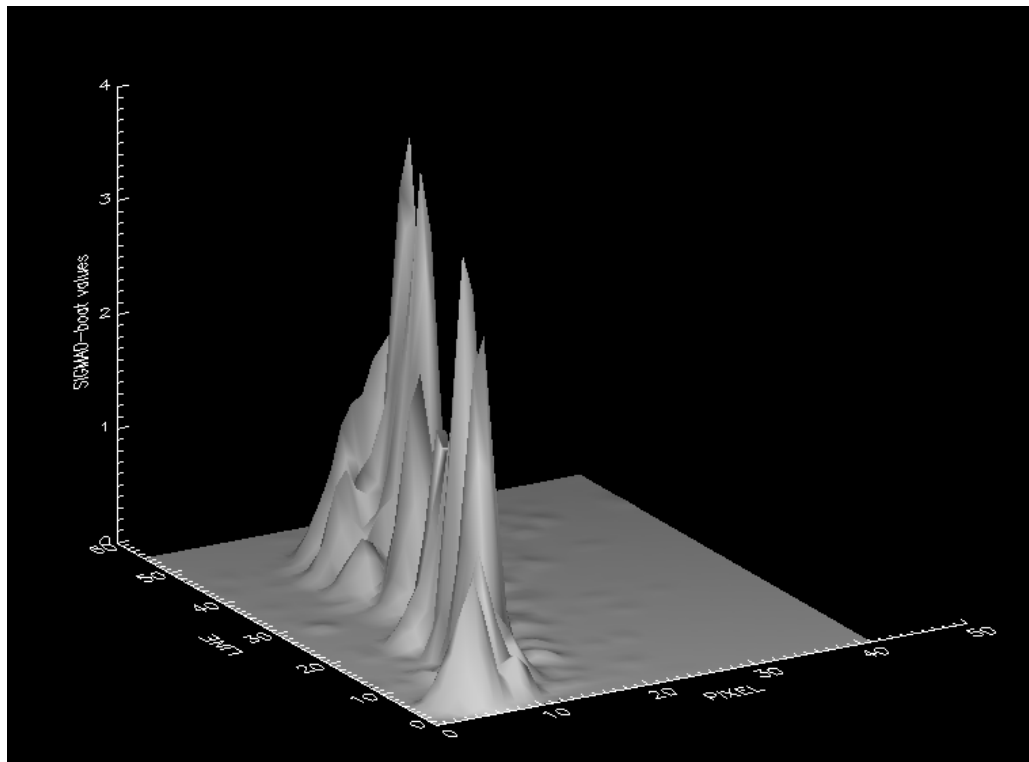


*HV*

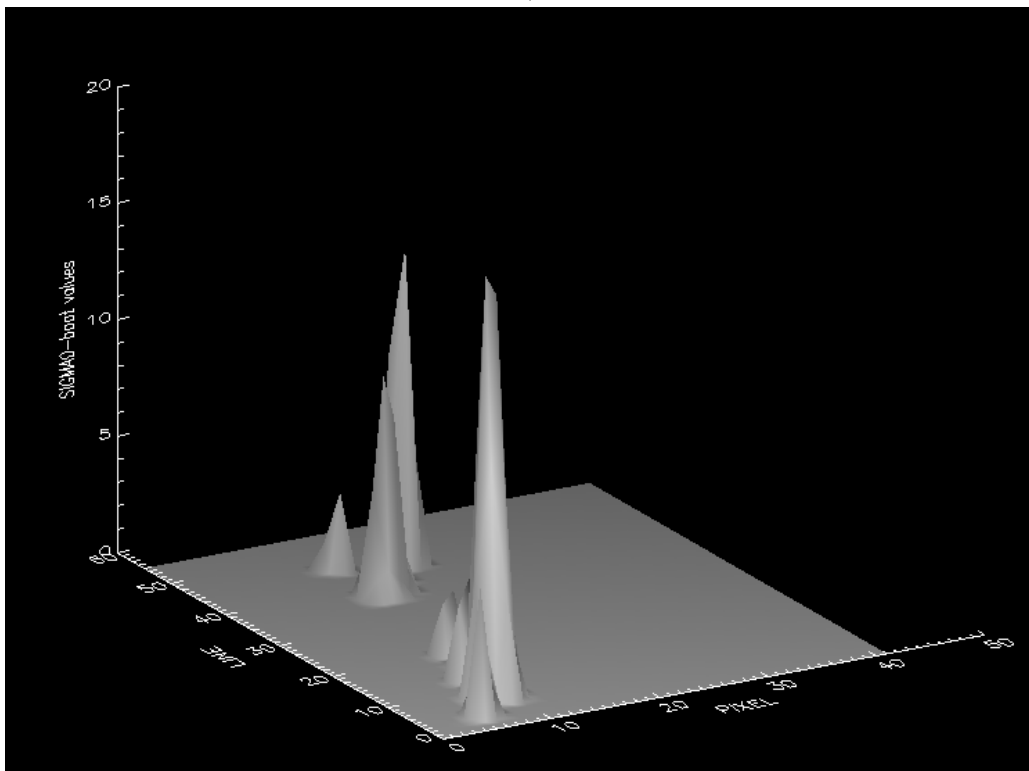


*HH*

*Figur 6.21* Øverst ser vi fordelingen av radartverrsnittet til et skip i krysspolarisering, mens bildet under viser radartverrsnittet til det samme skipet i kopolarisering. Dataene er tatt over Nornefeltet 20. august 2003 i subspor IS4.

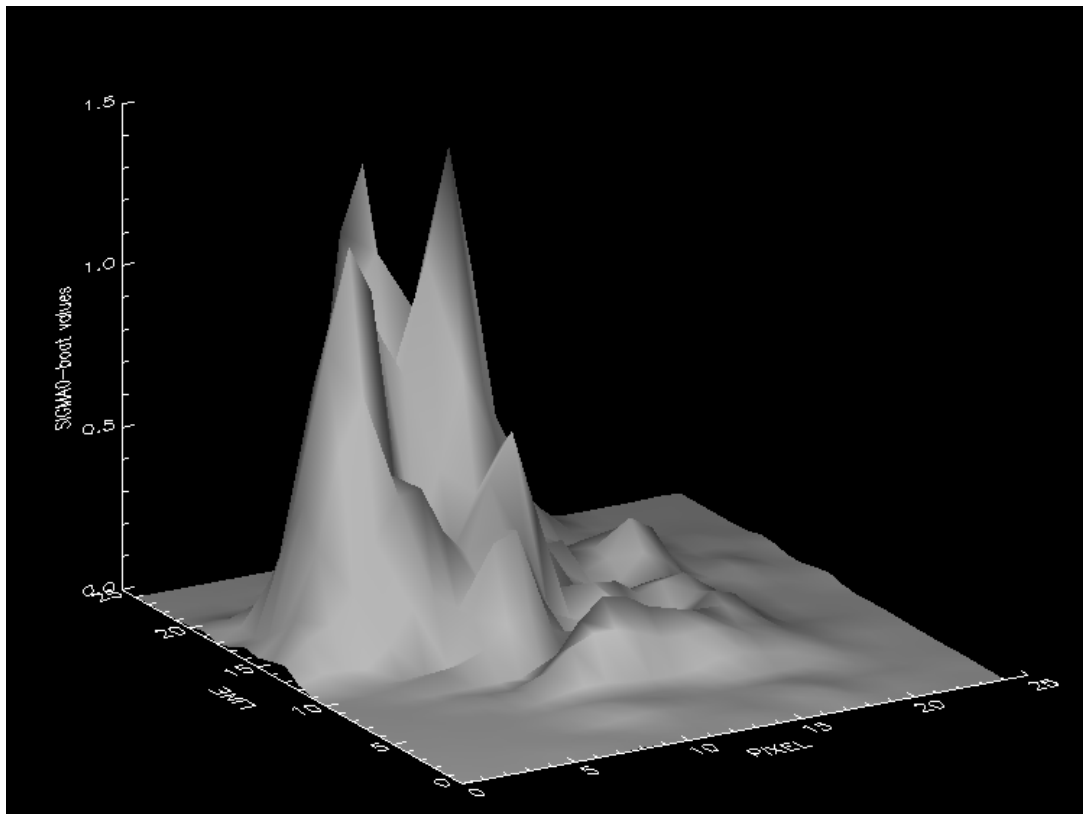


HV

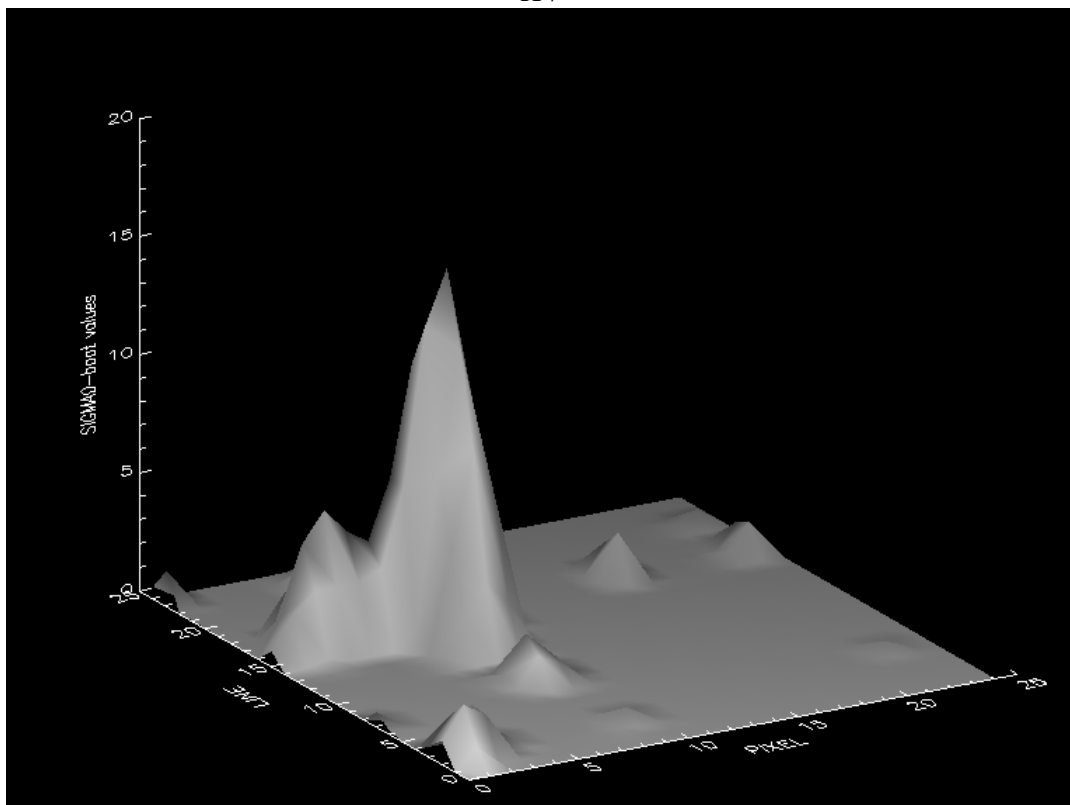


HH

Figur 6.22 Øverst ser vi fordelingen av radartverrsnittet til to skip som henger sammen i krysspolarisering, mens bildet under viser radartverrsnittet til de samme skipene i kopolarisering. Dataene er tatt over Nornefeltet 24. august 2003 i subspor IS1.

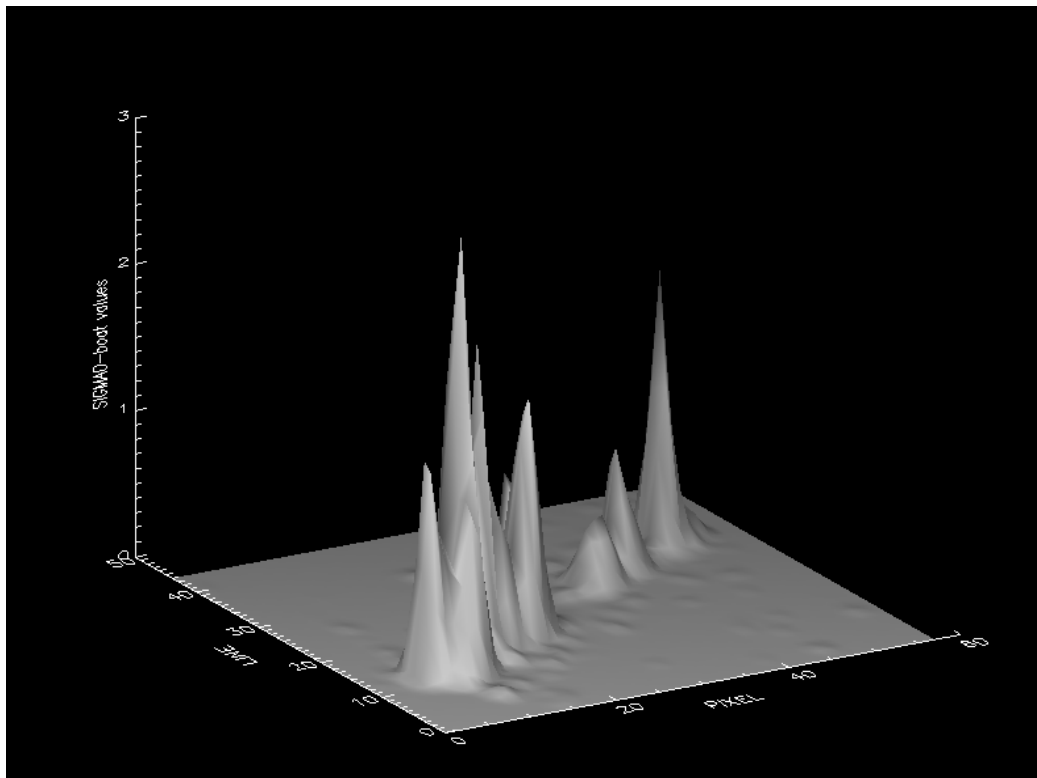


*HV*

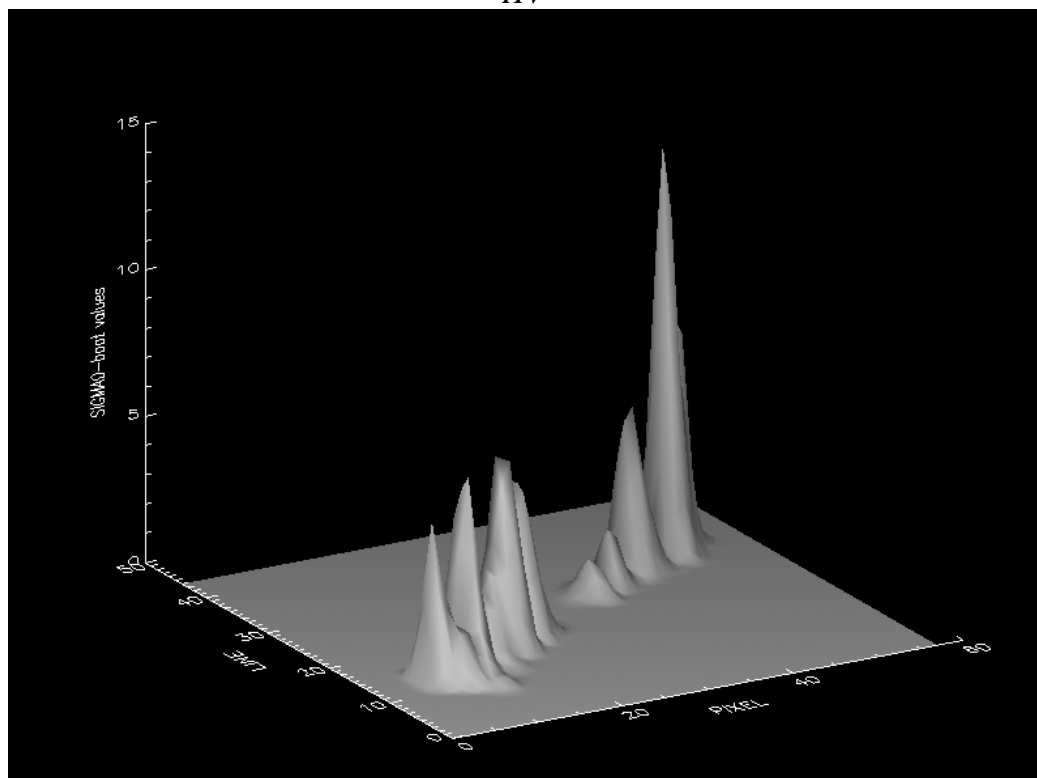


*HH*

Figur 6.23 Øverst ser vi fordelingen av radartverrsnittet til et annet skip i krysspolarisering, mens bildet under viser radartverrsnittet til det samme skipet i kopolarisering. Dataene er tatt over Nornefeltet 24. august 2003 i subspor IS1.

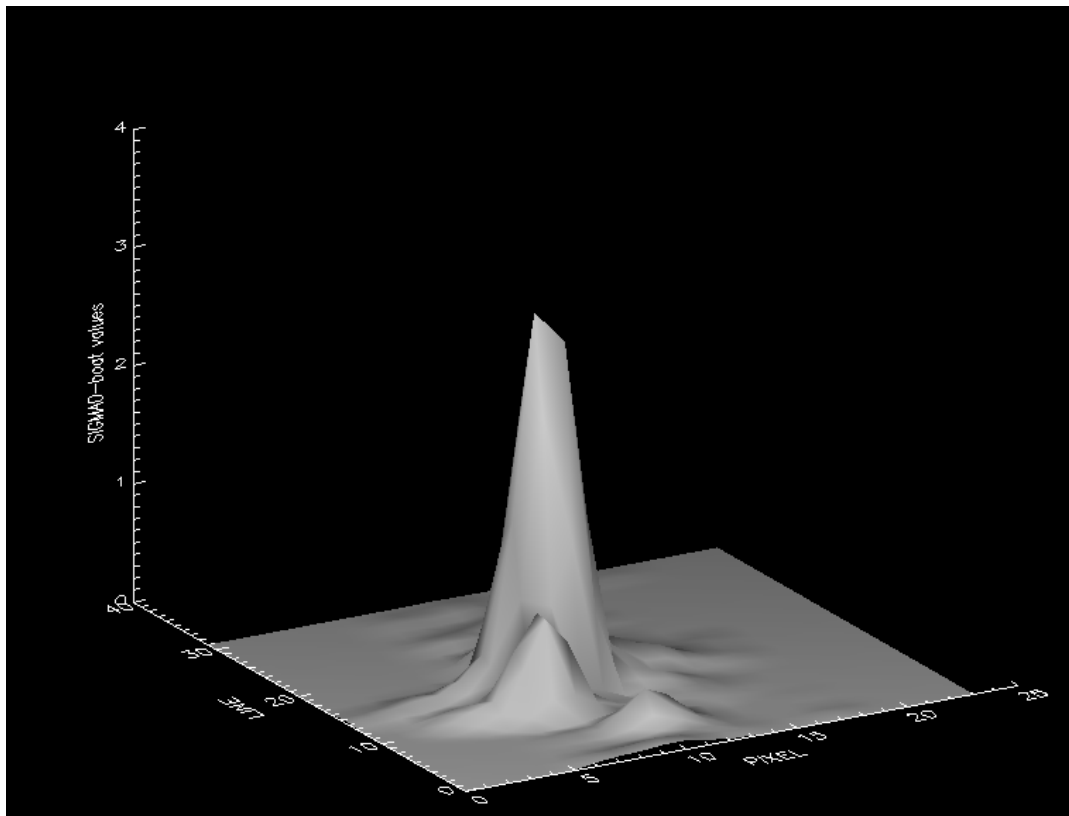


HV

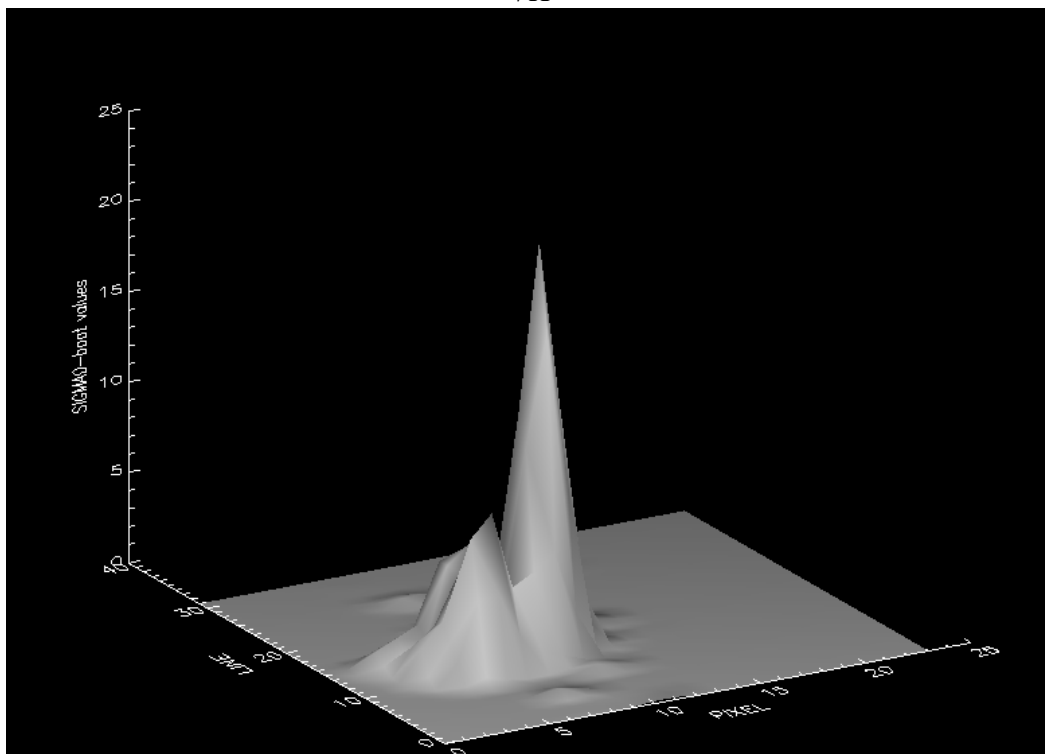


HH

Figur 6.24 Øverst ser vi fordelingen av radartverrsnittet til to skip som henger sammen i krysspolarisering, mens bildet under viser radartverrsnittet til de samme skipene i kopolarisering. Dataene er tatt over Nornefeltet 20. august 2003 i subspor IS4.

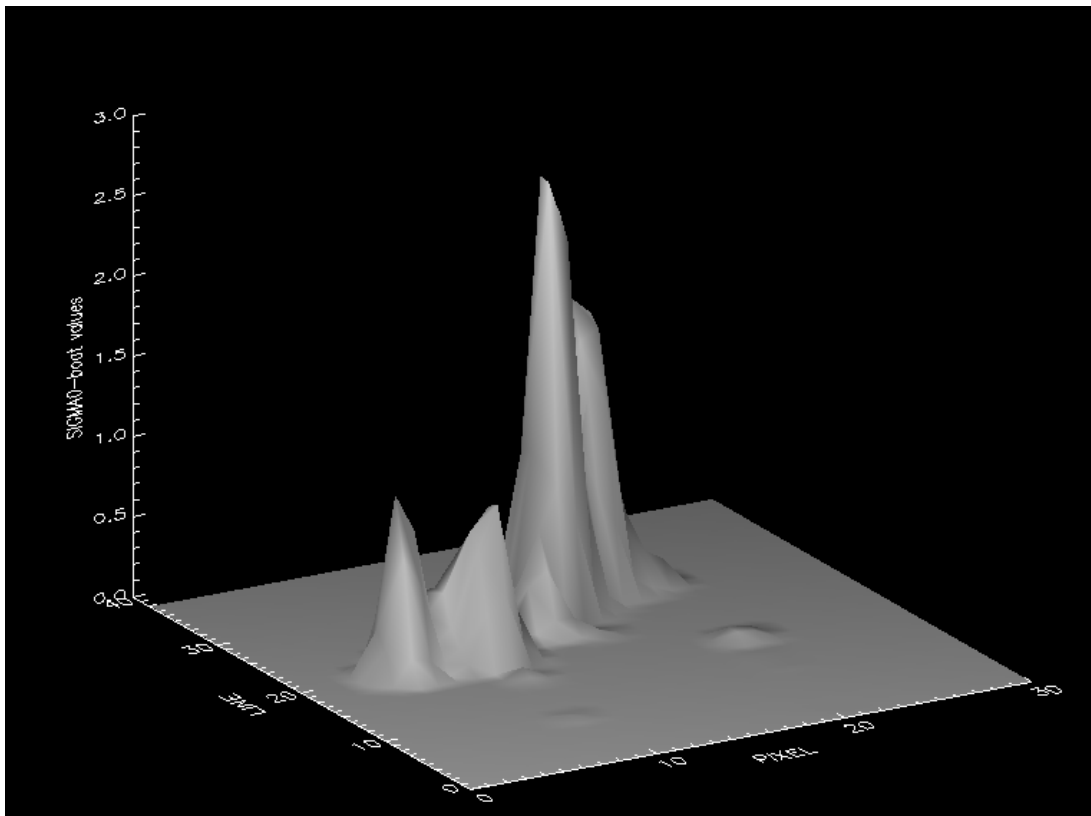


VH

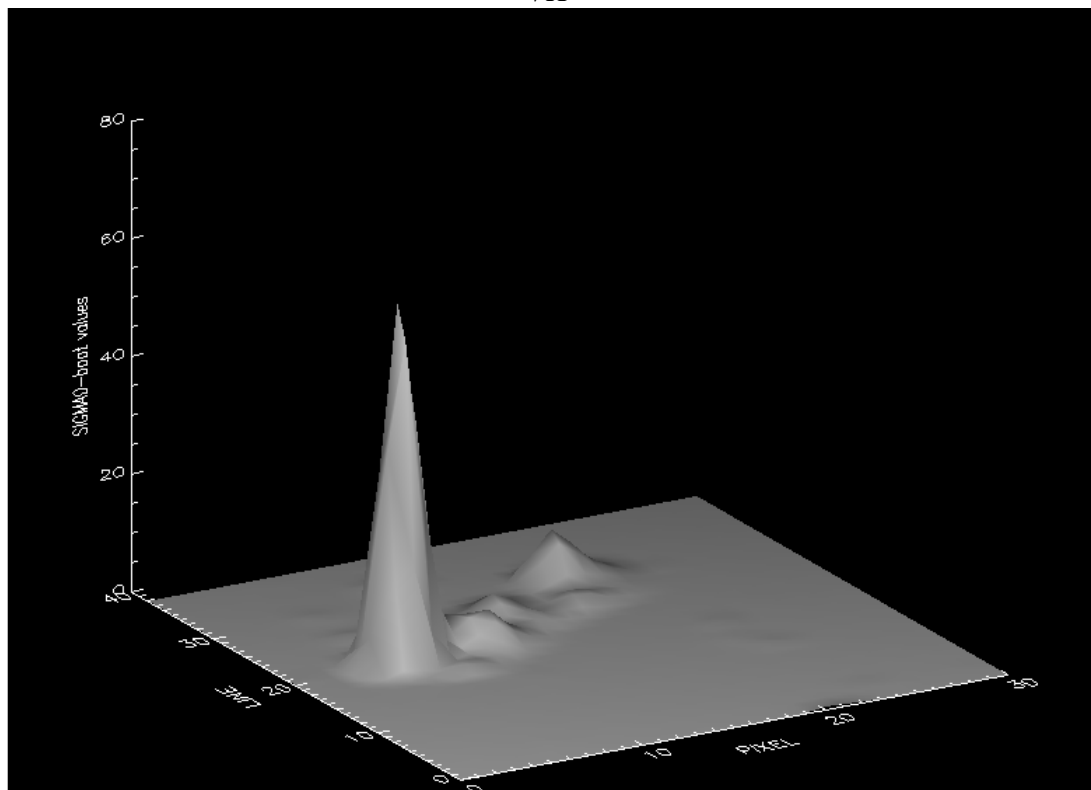


VV

Figur 6.25 Øverst ser vi fordelingen av radartverrsnittet til et skip i krysspolarisering, mens bildet under viser radartverrsnittet til det samme skipet i kopolarisering. Dataene er tatt over Nornefeltet 21. september 2003 i subspor IS4.

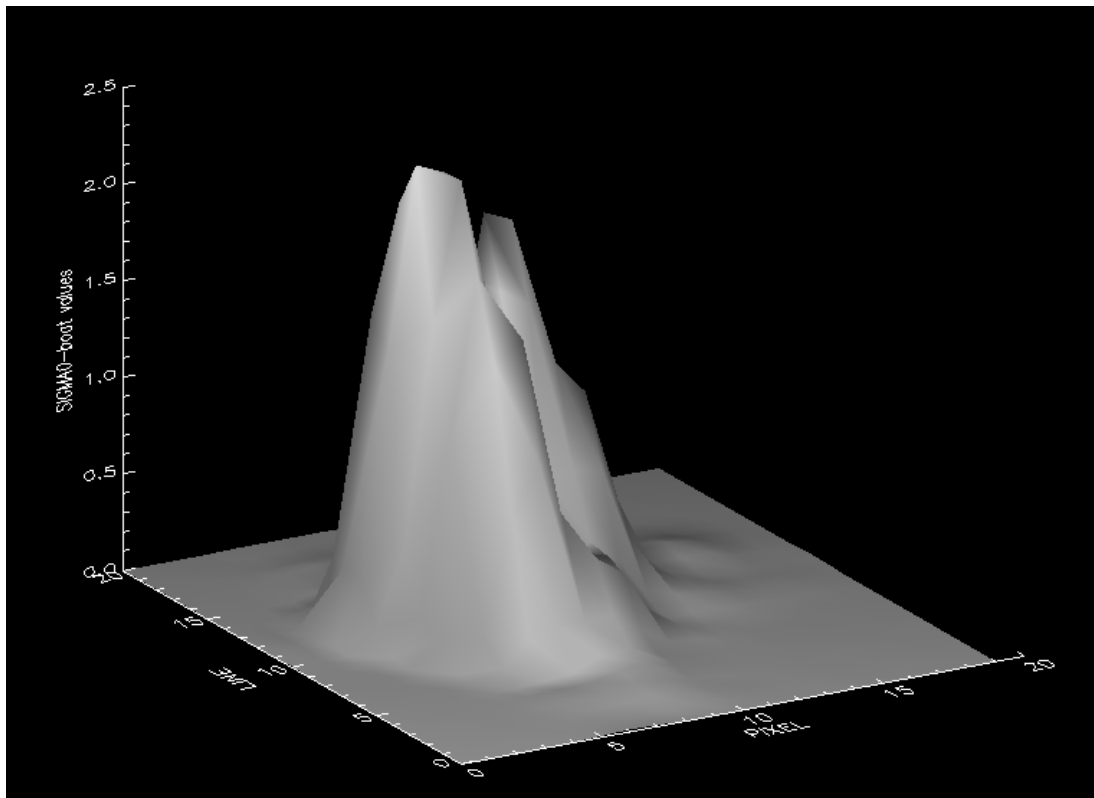


VH

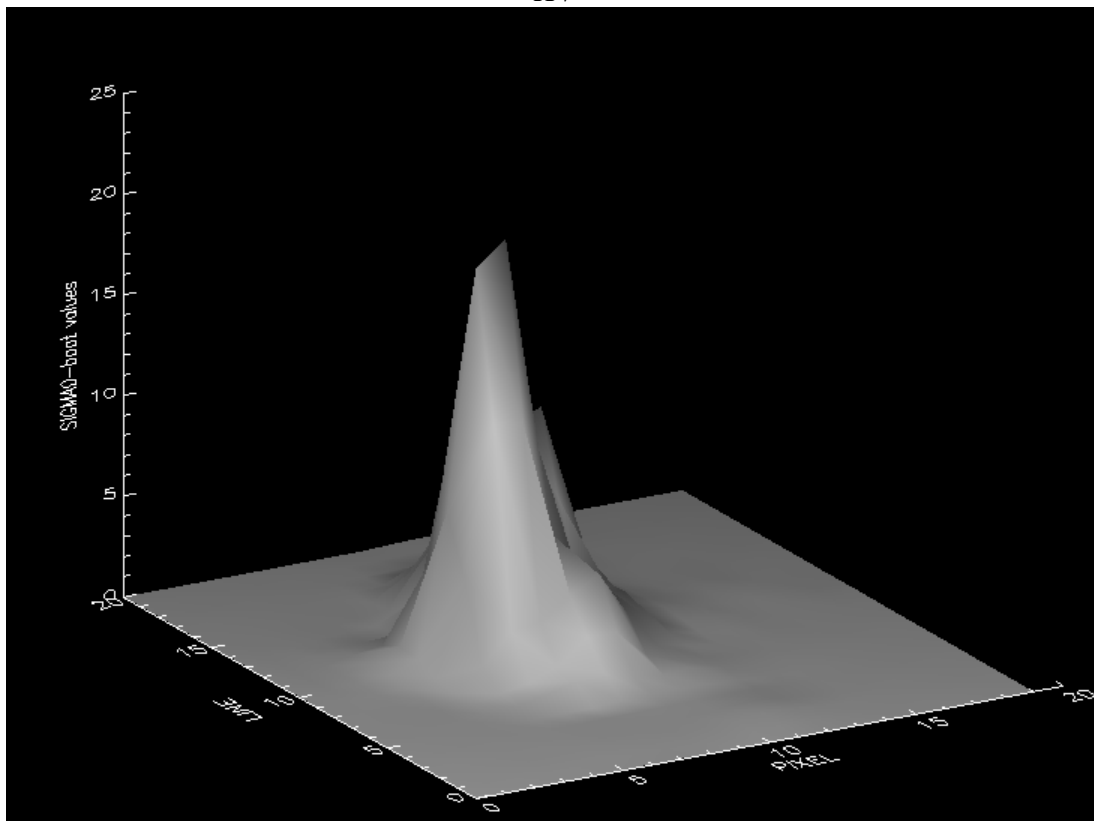


VV

Figur 6.26 Øverst ser vi fordelingen av radartverrsnittet til et skip i krysspolarisering, mens bildet under viser radartverrsnittet til det samme skipet i kopolarisering. Dataene er tatt over Nornefeltet 21. september 2003 i subspor IS4.



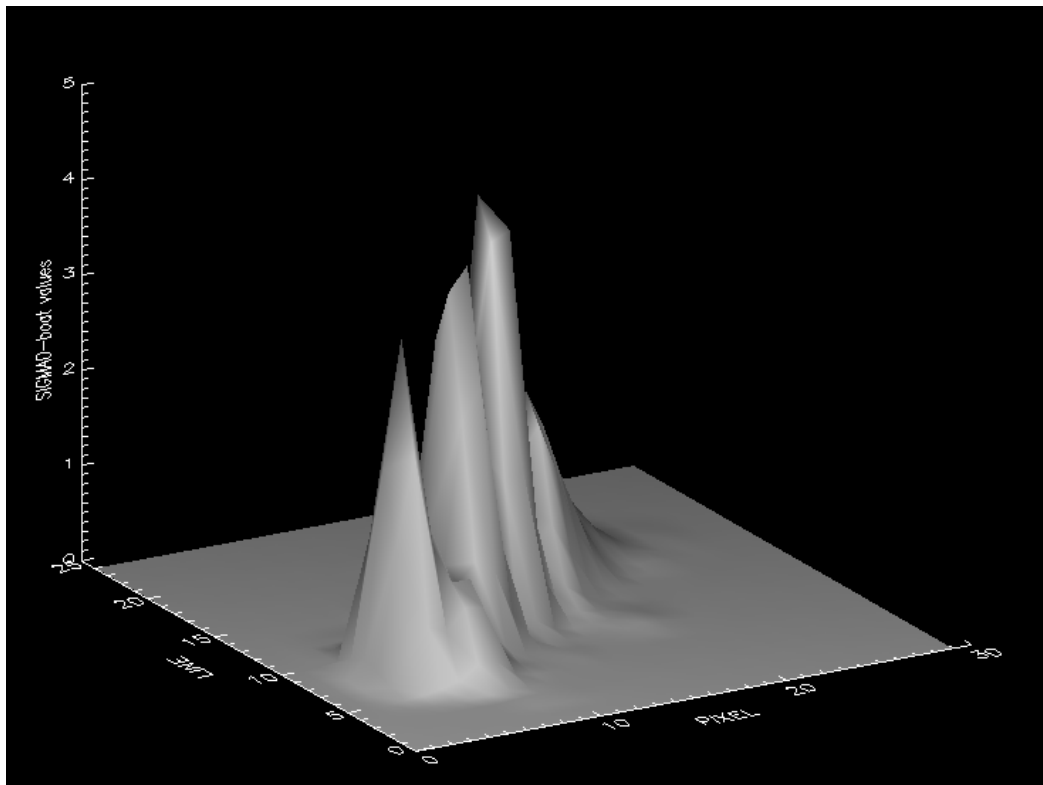
*HV*



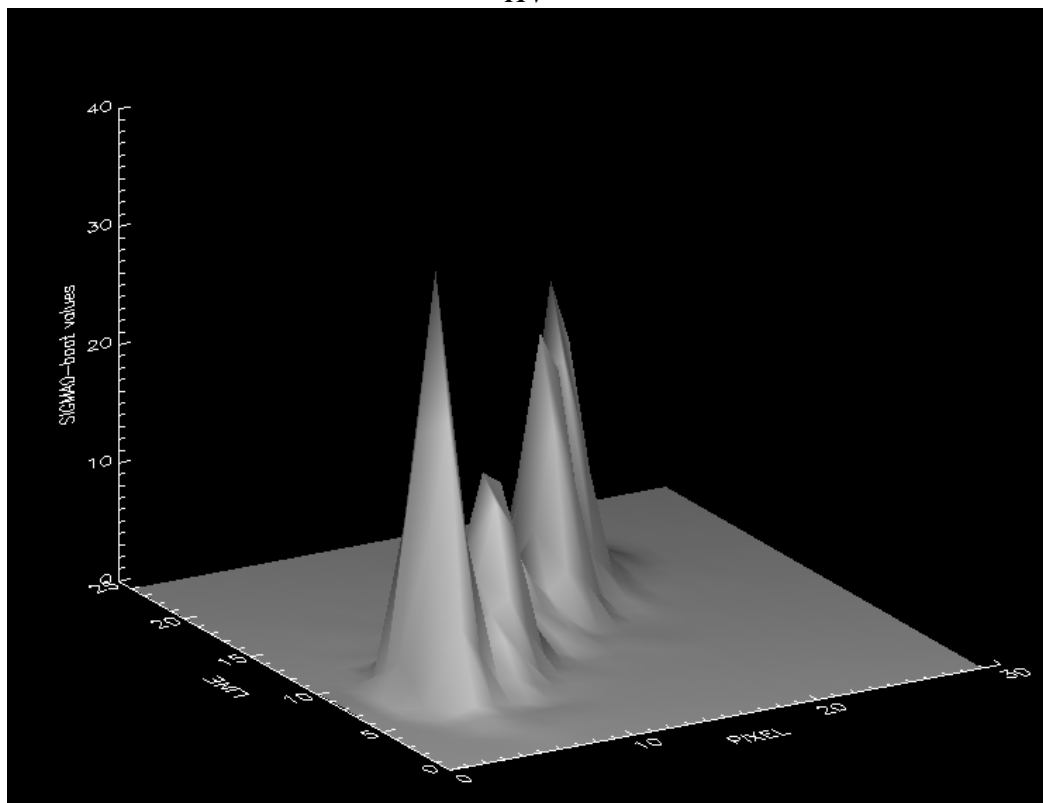
*HH*

Figur 6.27 Øverst ser vi fordelingen av radartverrsnittet til et annet skip i krysspolarisering, mens bildet under viser radartverrsnittet til det samme skipet i kopolarisering. Dataene er tatt over Nornefeltet 30. september 2003 i subspor IS6.



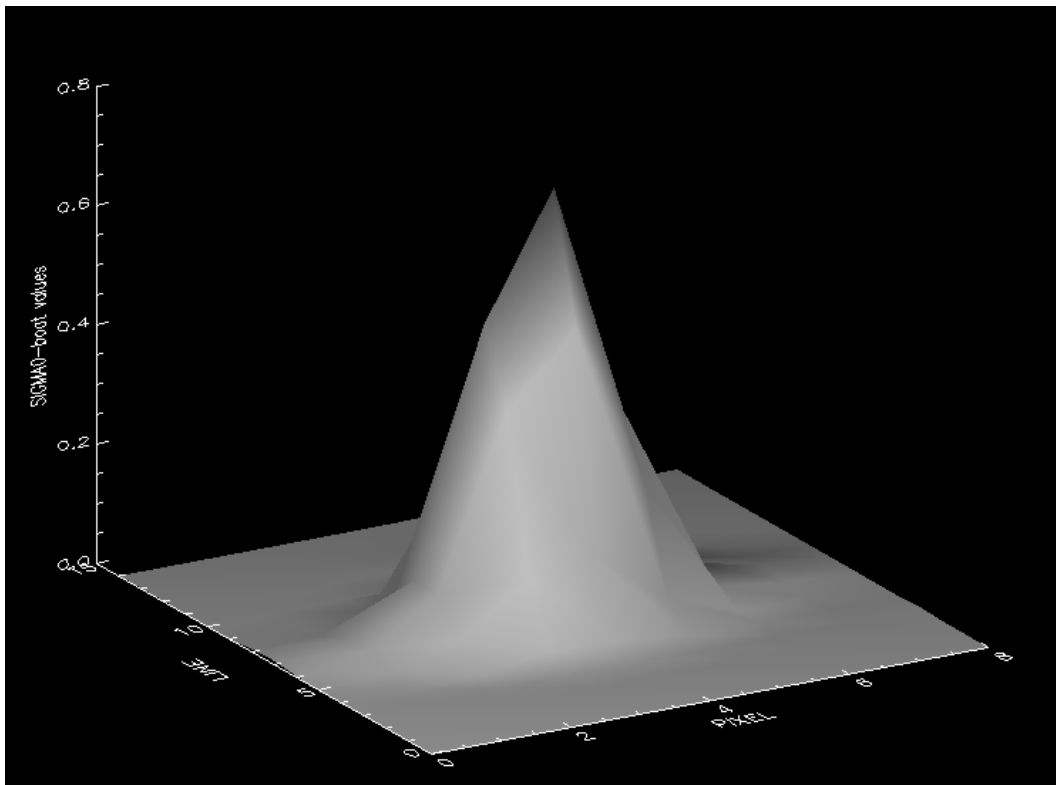


*HV*

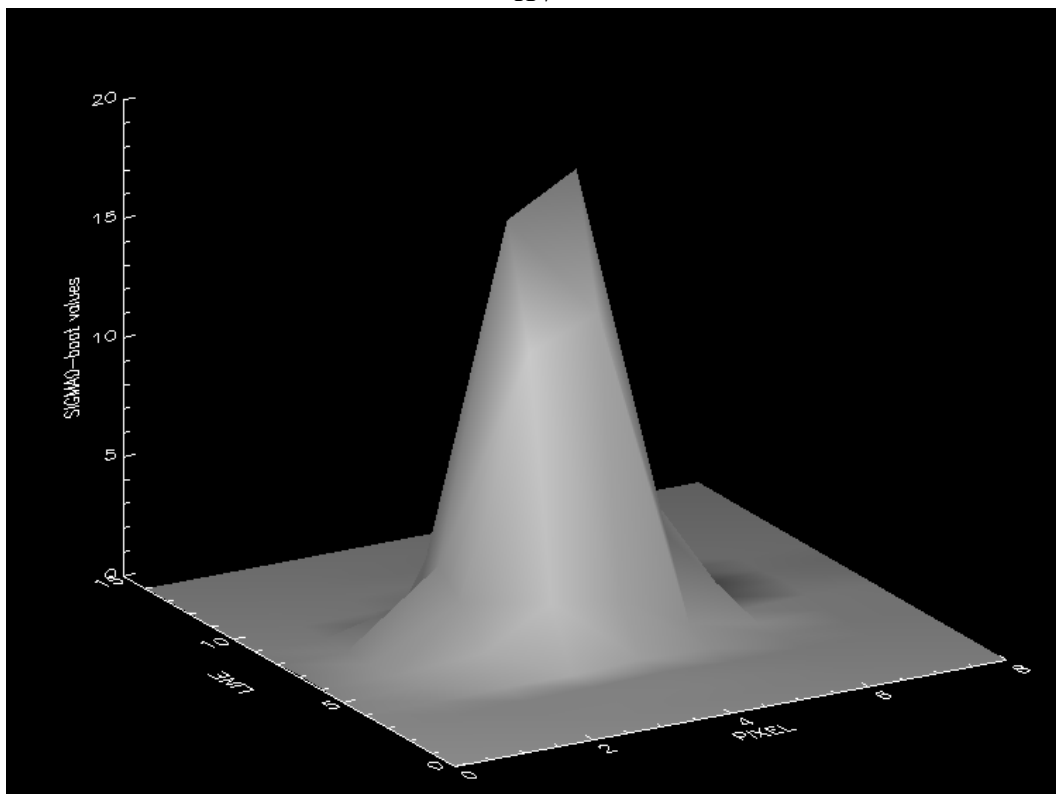


*HH*

Figur 6.28 Øverst ser vi fordelingen av radartverrsnittet til to skip som henger sammen i krysspolarisering, mens bildet under viser radartverrsnittet til de samme skipene i kopolarisering. Dataene er tatt over Nornefeltet 30. september 2003 i subspor IS6.

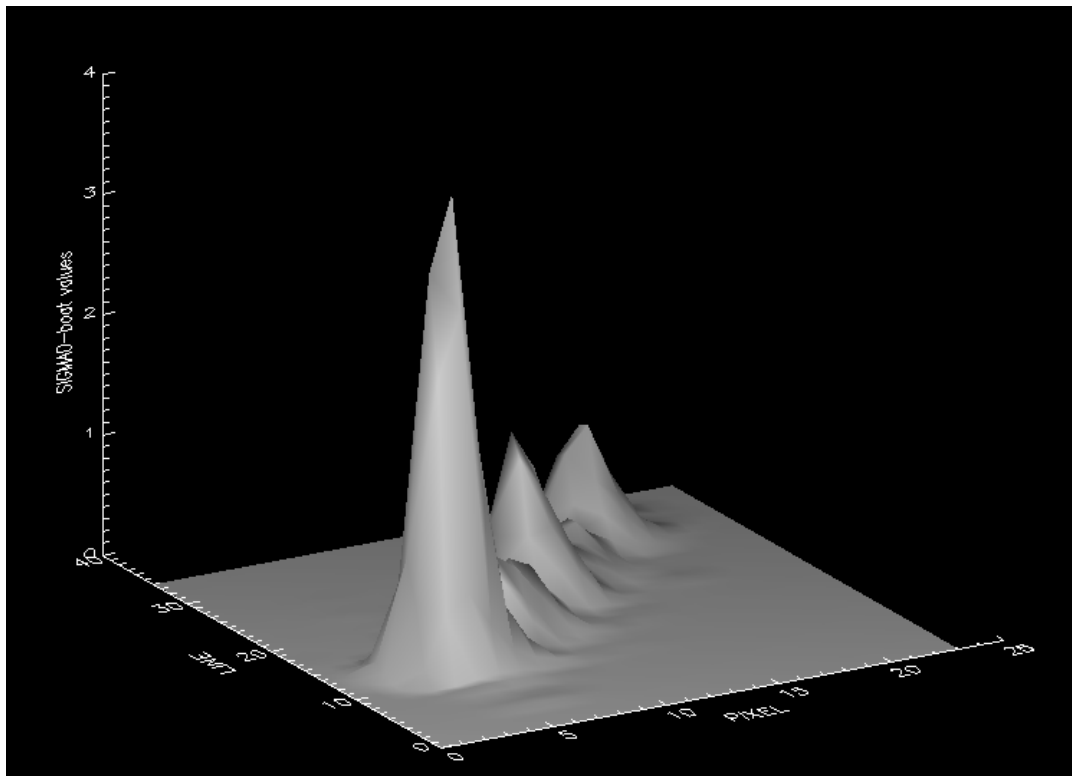


*HV*

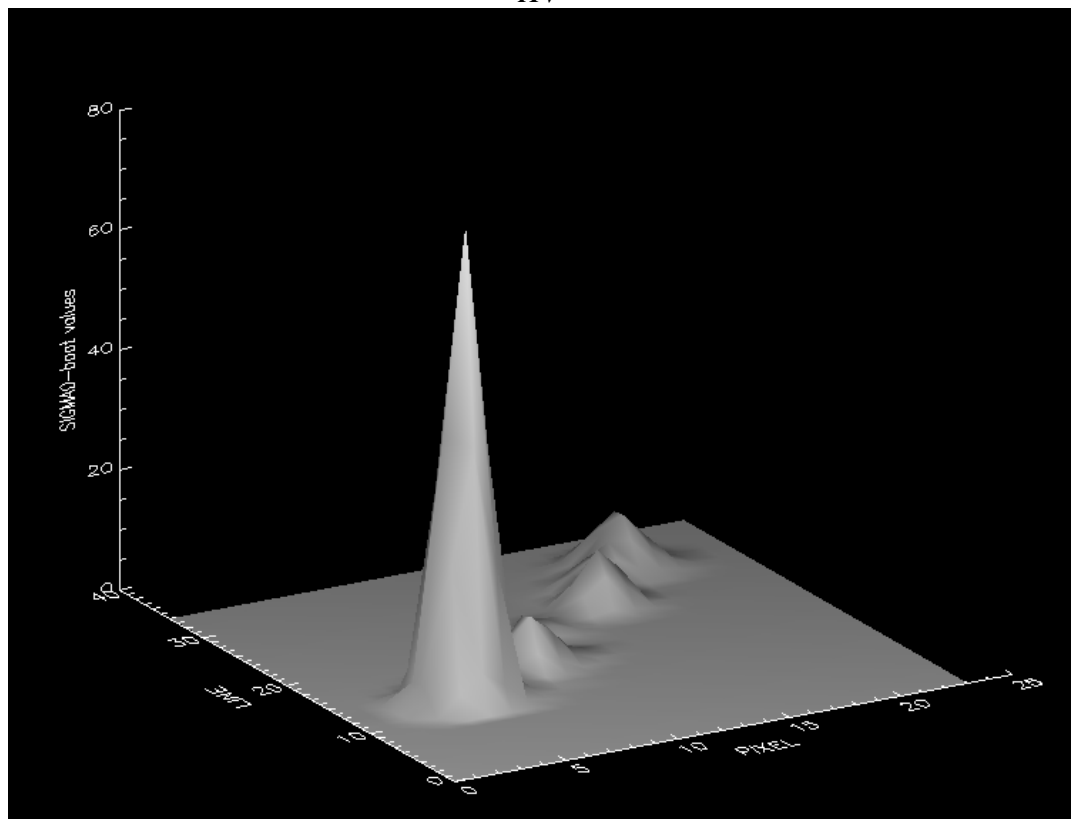


*HH*

Figur 6.29 Øverst ser vi fordelingen av radartverrsnittet til et annet skip i krysspolarisering, mens bildet under viser radartverrsnittet til det samme skipet i kopolarisering. Dataene er tatt over Nornefeltet 30. september 2003 i subspor IS6.

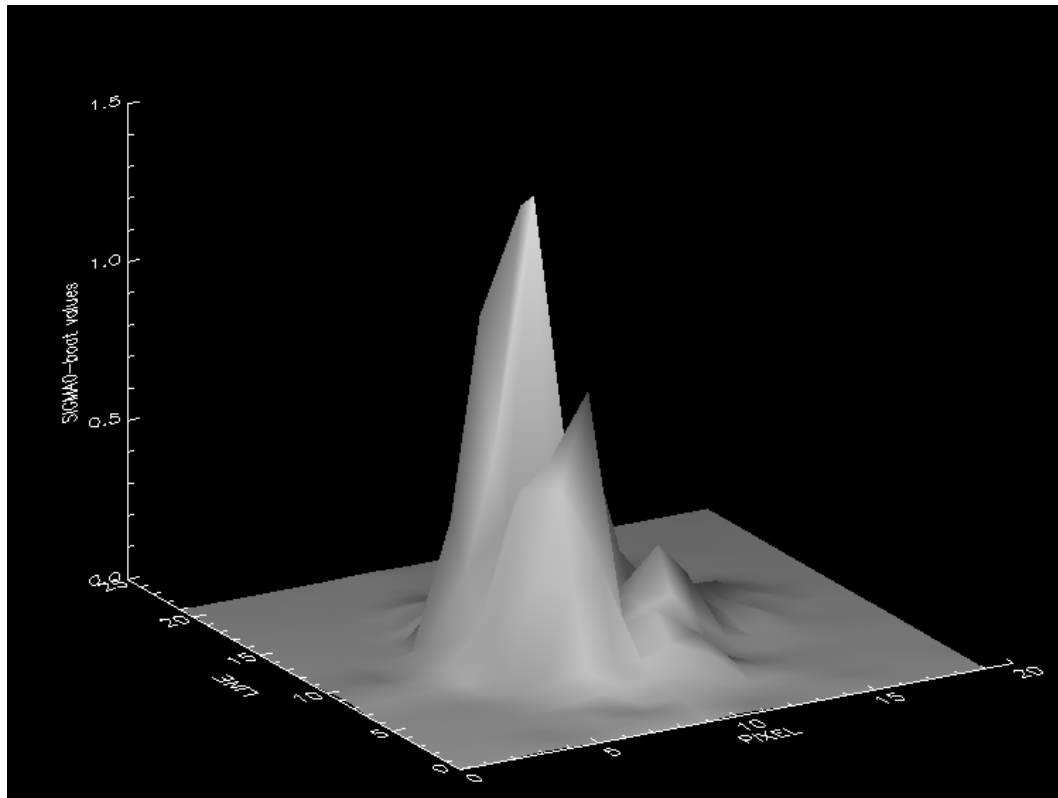


HV

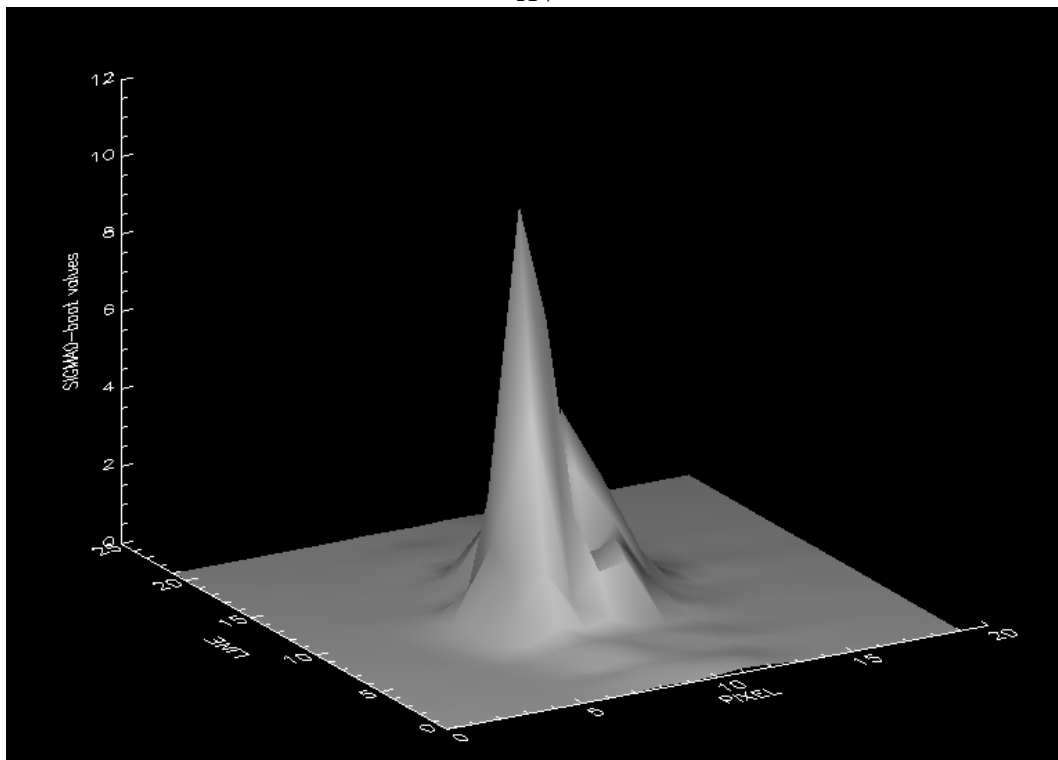


HH

Figur 6.30 Øverst ser vi fordelingen av radartverrsnittet til to skip som henger sammen i krysspolarisering, mens bildet under viser radartverrsnittet til de samme skipene i kopolarisering. Dataene er tatt over Nornefeltet 30. september 2003 i subspor IS6.



*HV*



*HH*

Figur 6.31 Øverst ser vi fordelingen av radartverrsnittet til et annet skip i krysspolarisering, mens bildet under viser radartverrsnittet til det samme skipet i kopolarisering. Dataene er tatt over Nornefeltet 30. september 2003 i subspor IS6.

## 7 OPPSUMMERING OG ANBEFALINGER

ENVISAT ASAR gir gode muligheter for effektiv overvåking av store havområder. Ved å bruke AP modusen kan en dekke et område på ca. 56-100 km x 100 km, mens Wide Swath modusen dekker et område på 400 km × 400 km. Det tar henholdsvis 15 sekunder og 1 minutt å lagre disse to forskjellige bildene. Den romlige oppløsningen til disse modiene gir under gode forhold nok informasjon til:

- Deteksjon
- Posisjonering
- Et grovt størrelsesestimat fartøyet

I noen tilfeller vil en også kunne se kjølvannssignaturer fra fartøy under gange. Estimat av hvor ofte slike signaturer kan utnyttes vil kreve mer data og analyser.

Sannsynligheten for å detektere skip avhenger av sjøforholdene, innfallsvinkelen, samt størrelse, orientering og bevegelsene til skipet. Ved urolige sjøforhold øker refleksjonen fra havoverflaten og sjansen for å detektere skip minker. For ENVISAT gir HH-polarisering lavere refleksjon fra havoverflaten enn VV-polarisering for like vind- og bølgeforhold og samme bildeoppløsning, og resulterer i bedre skip til sjø kontrast.

*Vi anbefaler derfor bruk av HH-polarisasjon framfor VV-polarisasjon ved avbildning med Wide Swath moden.*

Analysene vi har gjort av data fra AP moden viser at skipsdeteksjonskapasiteten forbedres ved bruk av krysspolarisering for bratte innfallsvinkler. For bratte innfallsvinkler (IS1-IS2) er TCR bedre i VH eller HV enn for VV eller HH kanalene. For større innfallsvinkler (IS6-IS7) er forskjellene ikke så tydelige. Dette kan delvis skyldes et noe begrenset datasett for disse vinklene.

Som en hovedregel bør TCR være 10 dB eller bedre for å være sikker på at det er mulig å detektere skip med automatiske deteksjonsmetoder. De kopolariserte dataene viser klart at de ikke tilfredsstillende dette kriteriet for IS1, mens de krysspolariserte dataene gjør det. For høye innfallsvinkler er situasjonen motsatt. Midt imellom høye og lave innfallsvinkler er situasjonen mer uklar.

Dataene som beregningene er basert på er samlet under forskjellige vindhastigheter og sjøforhold, noe som kan forklare at TCR verdiene ikke er samlet mer. En annen grunn til spredningen kan være at kontrasten noen ganger er mindre ved kantene (near- and far-range) av bildet pga støy fra radaren. En tredje faktor som kan ha innvirkning er variasjoner i skipets retning relativt til radarens pekeretning. Når vi ser på sjøen fra forskjellige vinkler, vil vi få forskjellige tilbakespredningsverdier, selv om vindstyrken er den samme. Vannbølgene er ikke helt symmetriske og det betyr at det er ikke likegyldig hvilken vei vi kikker på dem med radaren. Bølger som kommer mot radaren gir et litt sterkere signal enn de som beveger seg vekk fra radaren, mens vi får svakest refleks fra bølger som går på tvers av radarens peileretning. Det er derfor mulig å få variasjoner i gråfargen i SAR bildet som ikke bare skyldes varierende

vindstyrke, men også varierende vindretning. I tillegg kan variasjonene skyldes at forskjellige mål er brukt, og som derfor gir forskjellige radartverrsnitt.

K-verdien som er brukt i beregningene er ikke alltid kalibrert riktig. Siden det er fokusert på analyse av ASAR AP produkter i denne rapporten, og beregninger er gjort på disse, er K-verdien en feilkilde i beregningene. For TCR beregningene er denne feilkilden eliminert.

*Dersom et område skal avbildes med bratt innfallsvinkel, bør AP mode med ko- og krysspolarisasjon kombinasjonen brukes. Dette vil gi best kontrast mellom skip og hav, samt mulighet for avbildning av kjølvann.*

Radarsignaturer av bl.a. skip og boreplattformer er analysert. Radarsignaturene er forskjellige både i styrke og fordeling, mens de integrerte verdiene er stort sett like. Forskjellene skyldes sannsynligvis at spredningen ved kopolarisering skjer mest som følge av dobbelrefleksjon fra sjøen og siden av skroget samt mellom plane overflater på dekk og overbygningen, mens krysspolarisasjonen reflekser følger av flere komplekse refleksjoner mellom forskjellige deler av skipets struktur. Radarsignaturene for bratte innfallsvinkler ved bruk av krysspolarisering gir mer informasjon enn det kopolarisering gir.

*Radarsignaturer ved krysspolarisasjon har betydelig struktur med mulighet for utnyttelse. Dette bør undersøkes nærmere.*

*Valg av Wide Swath eller AP moden vil primært avhenge av kravet til områdedekning. Dersom området av interesse er kjent og er mindre enn ca 100 km × 100 km, anbefales bruk av AP modusen med ko- og krysspolarisasjon, for å få maksimum informasjon om skipene som skal avbildes.*

## Litteratur

- (1) Blacknell, D. (1994): K-distribution. *IEE Proc.-Radar, Sonar Navig.*, Vol.141, No. 1, pp. 45-52.
- (2) Canada Centre for Remote Sensing (2004): GlobeSAR-2 Educational Resources for Radar Remote Sensing. <[http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/gсарcd/intro\\_e.html](http://www.ccrs.nrcan.gc.ca/ccrs/learn/tutorials/gсарcd/intro_e.html)>.
- (3) Curlander, J. C. og R. N. McDonough (1991): Synthetic Aperture Radar. Systems & Signal Processing. John Wiley & Sons, Inc. USA.
- (4) Elachi, C. (1988): Spaceborne Radar Remote Sensing: Applications and Techniques. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York, 1988.
- (5) Eldhuset, K. (1996): An Automatic Ship and Ship Wake Detection System for Spaceborne SAR Images in Coastal Regions. *Int. J. Remote Sensing*, Vol. 34, No. 4, pp. 1010-1019, 1996.
- (6) European Space Agency (2004): ENVISAT. Caring for the Earth. <<http://envisat.esa.int/>>

- (7) European Space Agency (2004): ENVISAT Data Products. ASAR Product Handbook. <<http://envisat.esa.int/dataproducts/asar/CNTR.htm>>
- (8) Franceschetti, G. og R. Lanari (1999): Synthetic Aperture Radar Processing. CRC Press LLC. USA.
- (9) Grønlien, T. R. (1998): Deteksjon av punktmål ved hjelp av ScanSAR. Hovedfagsoppgave ved Universitetet i Oslo.
- (10) Jiang, Q., E. Aitnouri, S. Wang and D. Ziou (1999): Automatic Detection for Ship Target in SAR Imagery Using PNN-model. *IEEE Trans. Aerospace and Electronic Systems*, Vol.35, No.1, pp.157-174.
- (11) Olsen, R. og T. Wahl (2003): The Ship detection Capability of ENVISAT's ASAR. IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium, Toulouse, France, July 21-25, 2003
- (12) Olsen, R.B., T. Wahl and G. Engen (1999): Expected Performance of the ENVISAT ASAR for Near Real-Time Maritime Applications. Proc IGARSS'99.
- (13) Rey, M.T., A. Drosopoulos and D. Petrovic (1996): A Search Procedure for Ships in RADARSAT Imagery. Defence Research Establishment Ottawa. Technical Report no. 35. Ottawa: December.
- (14) Rey, M.T., J.K. Tunaley, J.T. Folinsbee, P.A. Jahans, J.A. Dixon and M.R. Vant (1990): Application of Radon Transform Techniques to Wake Detection in Seasat-A SAR Images. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 28, No. 4, pp. 553-560.
- (15) Rey, M., J.K.E. Tunaley and T. Sibbald (1993): Use of the Dempster-Shafer Algorithm for the Detection of SAR Ship Wakes. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 31, No. 5.
- (16) Rosich, B. og P. Meadows (2004): Absolute Calibration of ASAR Level 1 Products Generated by PF-ASAR. ESA Document. Frascati, Italy.
- (17) Vachon, P. W. et al. (1997): Ship Detection by the RADARSAT SAR: Validation of Detection Model Predictions. *Canadian J. Remote Sensing*. Vol. 23. No. 1, 99 48-59.
- (18) Zink, M. (2002): Derivation of RCS and  $\sigma^0$  from ASAR products. ESA. ASAR Calibration Review. ESTEC, the Netherlands: September.