

FFI RAPPORT

FORSLAG TIL FUNKSJONSAPPARAT FOR FREMTIDIG BRUK AV RADARSATELLIT- TER I BASE- OG HAVNEOVERVÅKNING

WEYDAHL Dan Johan

FFI/RAPPORT-2001/04827

FFIE/730/134

Godkjent
Kjeller 30 november 2001

Vidar S Andersen
Forskningssjef

**FORSLAG TIL FUNKSJONSAPPARAT FOR FREMTI-
DIG BRUK AV RADARSATELLITTER I BASE- OG
HAVNEOVERVÅKNING**

WEYDAHL Dan Johan

FFI/RAPPORT-2001/04827

FORSVARETS FORSKNINGSINSTITUTT
Norwegian Defence Research Establishment
Postboks 25, 2027 Kjeller, Norge

FORSVARETS FORSKNING SINSTITUTT (FFI)
Norwegian Defence Research Establishment
 P O BOX 25
 NO-2027 KJELLER, NORWAY

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

REPORT DOCUMENTATION PAGE

1) PUBL/REPORT NUMBER FFI/RAPPORT-2001/04827 1a) PROJECT REFERENCE FFIE/730/134	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE	3) NUMBER OF PAGES 28
4) TITLE FORSLAG TIL FUNKSJONSAPPARAT FOR FREMTIDIG BRUK AV RADARSATELLITTER I BASE- OG HAVNEOVERVÅKNING (SUGGESTIONS OF FUNCTIONS FOR FUTURE USE OF RADAR SATELLITES IN SURVEILLANCE OF BASES AND HARBOURS)		
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) WEYDAHL Dan Johan		
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited (Offentlig tilgjengelig)		
7) INDEXING TERMS IN ENGLISH: IN NORWEGIAN: a) <u>synthetic aperture radar</u> a) <u>syntetisk aperture radar</u> b) <u>backscattering</u> b) <u>tilbakespredning</u> c) <u>change detection</u> c) <u>deteksjon av forandringer</u> d) <u>surveillance</u> d) <u>overvåkning</u> e) <u>functions</u> e) <u>funksjonsapparat</u> THESAURUS REFERENCE:		
8) ABSTRACT <p>Synthetic aperture radar (SAR) images can be used to detect changes at the Earth surface over time. This makes it possible to follow construction work development and activities in bases and harbours. This report describes important basic elements that should be present in procedures for detecting and analysing changes between two or more satellite SAR images. The study is focusing in particular on satellite revisit times and different imaging modes for applications over harbours and bases.</p> <p>It is concluded that surveillance of vessels in harbours easily can be realised with relatively simple functions and procedures, while detection of changes at bases on land often will require a more complex system. However, in all circumstances it is important that the functions and procedures to be used in the system are selected with the particular application in mind.</p>		
9) DATE 30 November 2001	AUTHORIZED BY This page only Vidar S Andersen	POSITION Director of Research

ISBN-82-464-0574-8

UNCLASSIFIED

SECURITY CLASSIFICATION OF THIS PAGE
 (when data entered)

INNHOOLD

	Side
1	INTRODUKSJON 7
2	BAKGRUNN 8
2.1	Foldingeffekten 8
2.2	Overflatens ruhet 9
2.3	Radarrefleksjon fra menneskelagde objekter 9
3	ELEMENTER TIL ET FUNKSJONSAPPARAT 13
3.1	Kalibrering av radarbildet 13
3.2	Redusere støy i radarbildene 14
3.3	Samregistrering og geokoding 15
3.4	Forandringsdetektoren 16
3.5	SAR polarimetri 19
4	FORSLAG TIL FUNKSJONSAPPARAT 21
4.1	Forslag I – forenklet funksjonsapparat 21
4.1.1	Krav 21
4.1.2	Fordeler 21
4.1.3	Begrensninger 22
4.2	Forslag II – avansert funksjonsapparat 22
4.2.1	Krav 22
4.2.2	Fordeler 22
4.2.3	Begrensninger 23
5	DISKUSJON 24
5.1	Antall bilder for å detektere forandringer 24
5.2	Overvåkning av havner 24
5.3	Overvåkning av bygninger og infrastruktur 25
5.4	Overvåkning av flybaser og oljetankanlegg 25
6	KONKLUSJON 25
	Litteratur 26
	Fordelingsliste 27

FORSLAG TIL FUNKSJONSAPPARAT FOR FREMTIDIG BRUK AV RADAR-SATELLITTER I BASE- OG HAVNEOVERVÅKNING

1 INTRODUKSJON

Det har i en årrekke vært økende interesse for bruk av bilder tatt ned på jordens overflate fra såkalte radarsatellitter. Disse satellittene er utstyrt med et syntetisk aperture radar (SAR) instrument som kan gi relativt god romlig oppløsning nede på bakken. En annen fordel med slike SAR-sensorer er at de kan gjøre opptak uavhengig av skydekke og lysforhold.

Norske miljøer har gjennom de siste 10 årene gjort seg mange erfaringer i bruk av slike radarsatellitter. Særlig gjelder dette havovervåkning hvor man idag har operative tjenester for å oppdage oljesøl og skip til havs. Til disse anvendelsene brukes SAR-bilder som har en oppløsning på mellom 25 m og 100 m. Både til havs og på land forventes det at radarsatellitter også i fremtiden kan komplementere informasjon fra bl a optiske satellitter (1).

Over landområder kan det være ønskelig å følge med på utbygginger og andre forandringer fra en dato til neste. Dette har bl a blitt beskrevet generelt i tidligere studier, (2) og (3). Det at SAR-bilder lar seg bruke til dette formålet, er noe av motivasjonen for å se nærmere på problemstillinger og løsninger knyttet til det å detektere forandringer i *base- og havneområder* ved hjelp av satellitt SAR.

Av de nåværende radarsatellitter, er det den kommersielle kanadiske RADARSAT-1 som gir SAR-bilder med best oppløsning,– helt ned mot 9 m. Oppløsningen begynner da å bli så god at det vil være verdifullt å undersøke i hvilken grad det er mulig å oppdage (detektere) menneskelagde objekter,– også i typiske baseområder. Ettersom det planlegges oppskytning av nye radarsatellitter om noen år med en oppløsning < 3 m, vil denne studien også kunne peke på forhold av interesse i denne sammenheng.

Denne rapporten gir først en kort forklaring på noen viktige begreper som ofte brukes i satellitt radar sammenheng. Deretter beskrives kort hvilke elementer som ofte kan være til stede i et system som skal kunne detektere forandringer mellom to eller flere satellitt SAR-bilder. Videre er det konkret utarbeidet to forslag til funksjonsapparat. Det pekes spesielt på problemstillinger og muligheter knyttet til satellittenes opptakshyppighet og opptaksmodus for de aktuelle anvendelsesområdene. Funksjonsapparatene som beskrives i denne rapporten vil også kunne brukes ved fremtidige satellitt SAR-systemer som vil ha bedre oppløsning og funksjonalitet enn dagens.

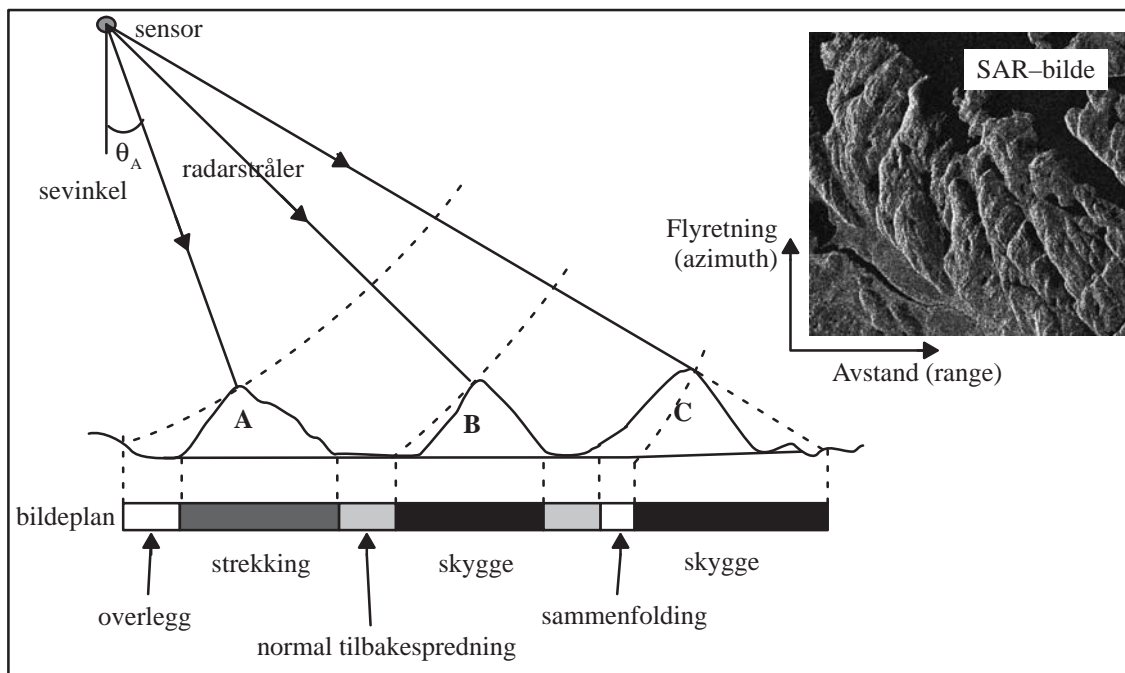
2 BAKGRUNN

Generelt kan man si at et syntetisk aperture radar (SAR) instrument måler *avstanden* til et objekt, samt den *tilbakespredte radarenergien*. SAREN ser alltid ca 90 grader til siden for plattformens flyretning, og på skrå ned på jorda med en sevinkel (i forhold til loddrett ned) som typisk varierer fra 20–60 grader.

Det er verdt å gjøre leseren oppmerksom på noen viktige avbildningseffekter som gjør seg gjeldende i SAR-bilder som tas fra satellitt/fly og ned mot jordens overflate. Vi vil i det følgende beskrive tre grunnleggende radar tilbakespredningseffekter.

2.1 Foldingeffekten

Den første effekten er en geometrisk effekt som fremkommer når SAR-instrumentet ser på skrå ned på et terreng med varierende topografi. Avstandsmålingen fører til at objekter/områder som ligger i tilnærmet samme avstand til sensoren, vil bli avbildet i samme punkt i SAR-bildet. Likeså vil terreng som heller mot radaren bli noe “sammenfoldet”, mens terreng som heller vekk fra radaren vil bli “strekt”. Dette er illustrert i figur 2.1, og fører til at enkelte områder i SAR-bildet opplever en opphopning av energi som da fremkommer som lysere partier/strukturer, mens andre steder faktisk kan bli liggende i radar-skygge.



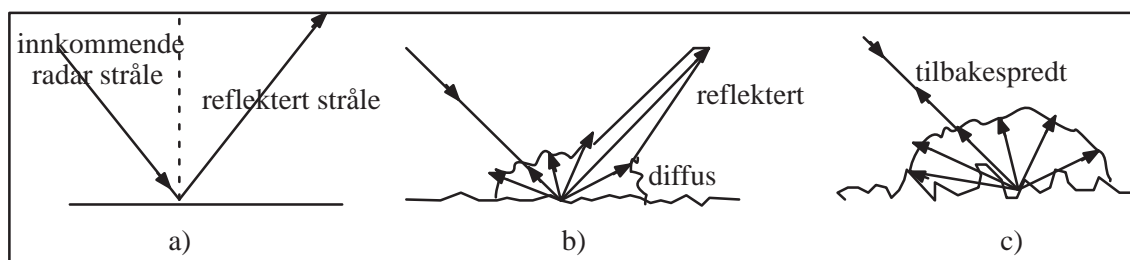
Figur 2.1 Radarstrålens avstand projiseres ned i SAR-bildeplanet, og fører til forskjellige gråtoner som en funksjon av terrengets helning mot eller vekk fra radaren.

Foldingseffekten fører til at objekter i et terreng med topografi blir liggende på feil geografisk posisjon. For en del analyser og anvendelser kan det være ønskelig å “rette opp” SAR-bildet slik at hvert piksel blir liggende på riktig geografisk kartkoordinat. Til dette trenger man en god digital høydedatabase (DEM). Selve opprettingsprosessen kalles *geokoding med terrenkkorreksjoner*. Det finnes i dag kommersielle dataprogrammer som kan foreta en slik oppretting.

Foldingseffekten vil også gjøre seg gjeldende for høye bygninger hvor radarekkoet kommer fra taket. Taket vil da forflytte seg i bildet som en funksjon av bygningens høyde. Denne problemstillingen vil bli svært aktuell ved bruk av SAR-systemer med oppløsning < 3 m.

2.2 Overflatens ruhet

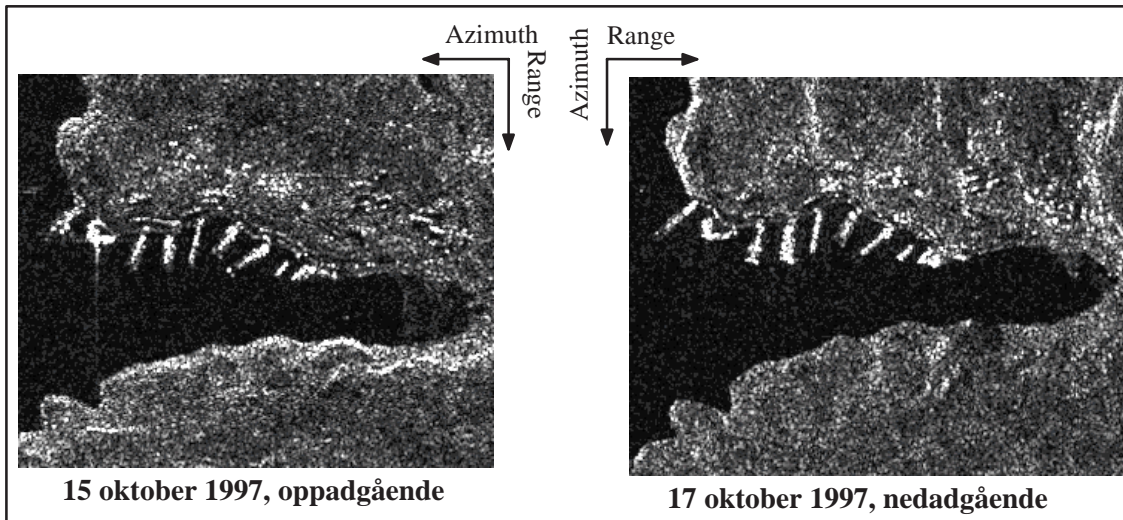
En annen viktig effekt er radarens følsomhet mot forskjellig overflateruhet. Denne effekten er avhengig av SAR bølgelengden slik at kortere bølgelengder (høyere radar frekvenser) er mer følsomme for ujevnheter. Generelt kan man si at for en gitt bølgelengde, vil SAR-bildet få en lysere gråtone ettersom overflaten blir mer og mer ujevn, mer energi blir med andre ord spredt tilbake mot radaren. Dette er illustrert i figur 2.2 a) til c). Et godt eksempel er varierende radar tilbakespredning fra sjøen ved forskjellige vindstyrker, se bildene i figur 2.5.



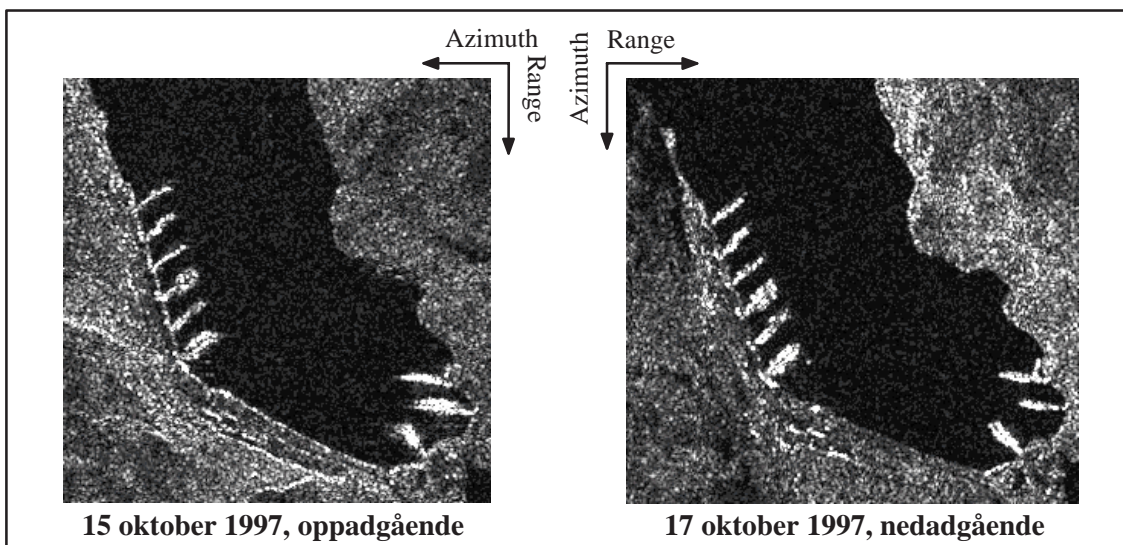
Figur 2.2 Den tilbakespredte radarenergien øker med økende ruhet på terrengets overflate

2.3 Radarrefleksjon fra menneskelagde objekter

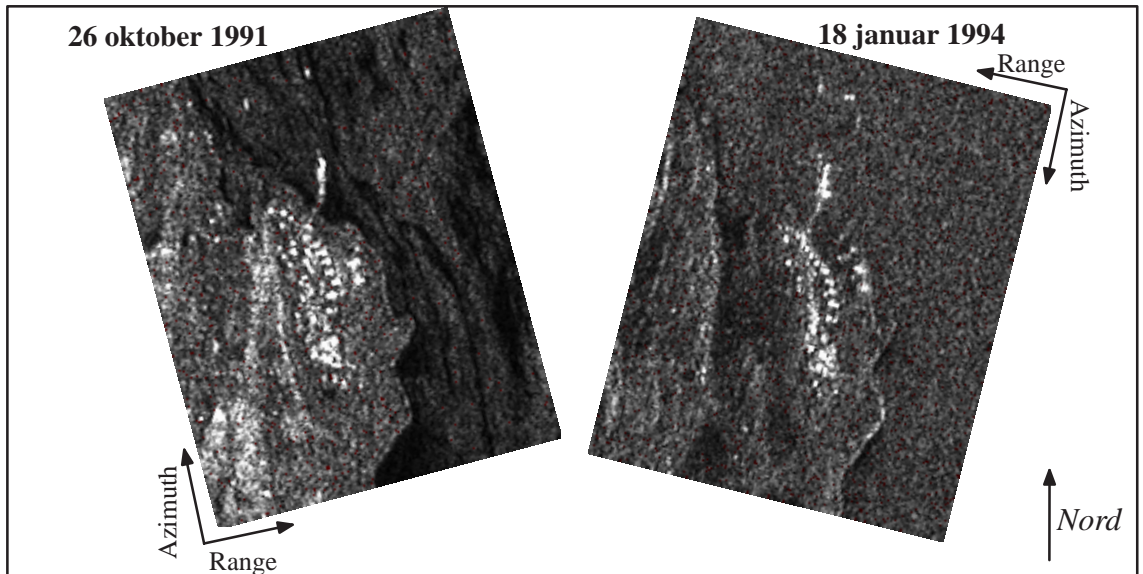
En tredje effekt kommer fra menneskelagde objekter. Det kan være refleksjon fra enkle hjørner, komplekse metallstrukturer eller runde former. Slike objekter gir gjerne relativt sterk SAR tilbakespredning uavhengig av fra hvilken vinkel objektet blir observert. Dette kan ofte være situasjonen når man avbilder fartøy/kaianlegg og sylindriske oljetanker på land via SAR. Slike objekter er vist i figur 2.3 til 2.5 hvor aspektvinkelforskjellene (himmelretningforskjellene) er på rundt 90 og 145 grader.



Figur 2.3 Fartøy og kaianlegg fra Litsaffjorden på Kola. Bildene er tatt med RADARSAT-1 Fine5 i Antarktis-modus i 1997, noe som gav en aspektvinkelforskjell på rundt 90 grader mellom nedadgående og oppadgående satellittpassering ved disse breddegrader. Oppløsningen i SAR-bildene er ca 9 m.



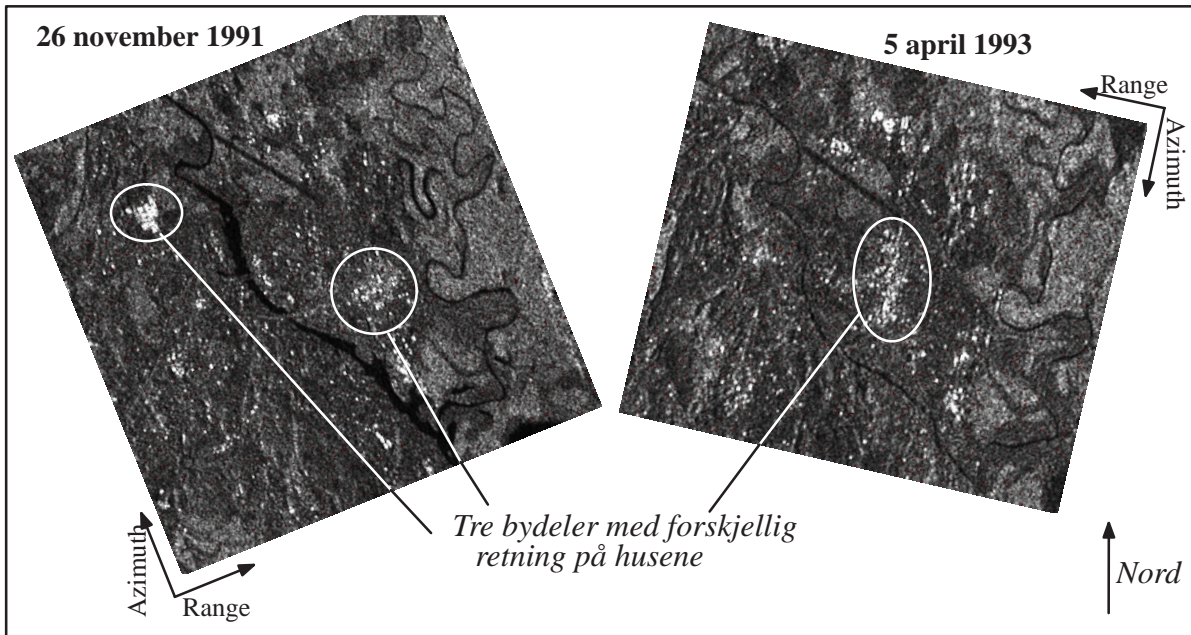
Figur 2.4 Fartøy og kaianlegg fra Arafjorden på Kola. Bildene er tatt med RADARSAT-1 Fine5 i Antarktis-modus i 1997, noe som gav en aspektvinkelforskjell på rundt 90 grader mellom nedadgående og oppadgående satellittpassering ved disse breddegrader. Oppløsningen i SAR-bildene er ca 9 m.



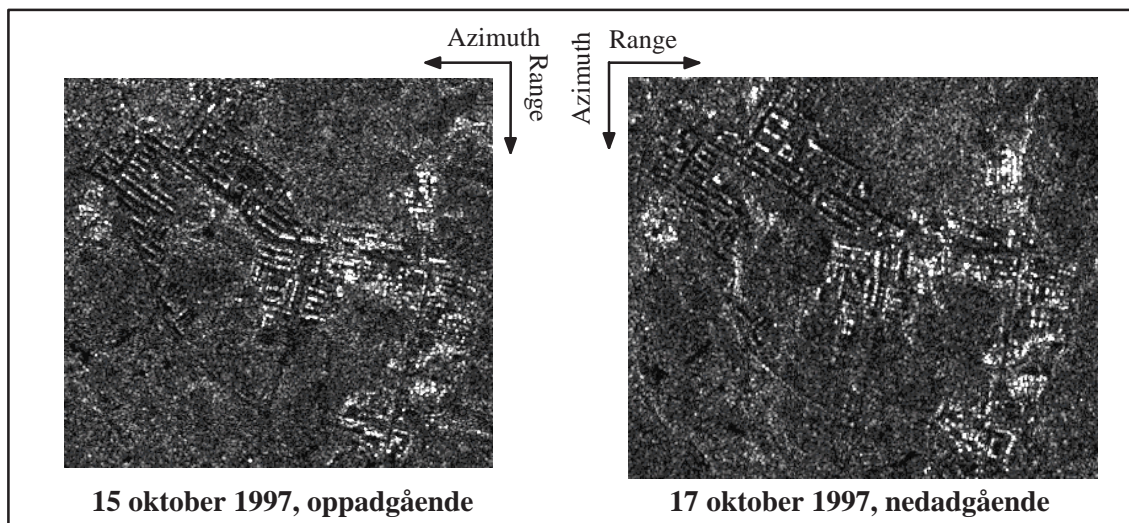
Figur 2.5 Slagentangen oljeraffineri i Oslofjorden består av store, sylindriske lager-tanker og rørledninger. Mange av hovedstrukturene gir en sterk radarsignatur i både oppadgående (venstre bilde) og nedadgående (høyre bilde) ERS-1 satellittpassering selv om aspektvinkelforskjellen er på rundt 145 grader. Oppløsningen i de to SAR-bildene er ca 25 m.

Noe annet er det når objekter, bygninger, rader på jorder eller andre lineære strukturer bare gir sterk SAR tilbakespredning innenfor gitte observasjonsvinkler. Dersom objektet/strukturen bare er synlig når den er orientert innenfor noen få grader (typisk < 10 grader) fra SAREns flyretning (azimuth), har vi den såkalte *kardinaleffekten*. Sterk SAR-signatur fra slike objekter/strukturer vil altså kunne inntreffe noe tilfeldig. Resultatet kan bli at et objekt er godt synlig ved f eks oppadgående satellittpassering, mens de forsvinner helt i bakgrunnstøy ved nedadgående satellittpassering. Et godt eksempel er vist i figur 2.6 med ERS-1 satellitten hvor begge bildene er tatt med samme sevinkel (ca 20 grader), men altså med forskjellig aspektvinkel (rundt 145 grader forskjell).

Et annet eksempel er vist i figur 2.7 fra Kola hvor RADARSAT-1 bildene er tatt med samme sevinkel (ca 46 grader), men nå er forskjellen i aspektvinkel på oppadgående og nedadgående satellittpassering rundt 90 grader. Denne aspektvinkelforskjellen var bare mulig for disse breddegrader for en kort periode høsten 1997 da RADARSAT-1 opererte i Antarktis-modus (satellitten var da rotert 180 grader om sin flyretningsakse). De to SAR-bildene i figur 2.7 viser at enkelte strukturer og bygninger gir henholdsvis sterk og svak tilbakespredning ved rundt 90 grader forskjell i aspektvinkel.

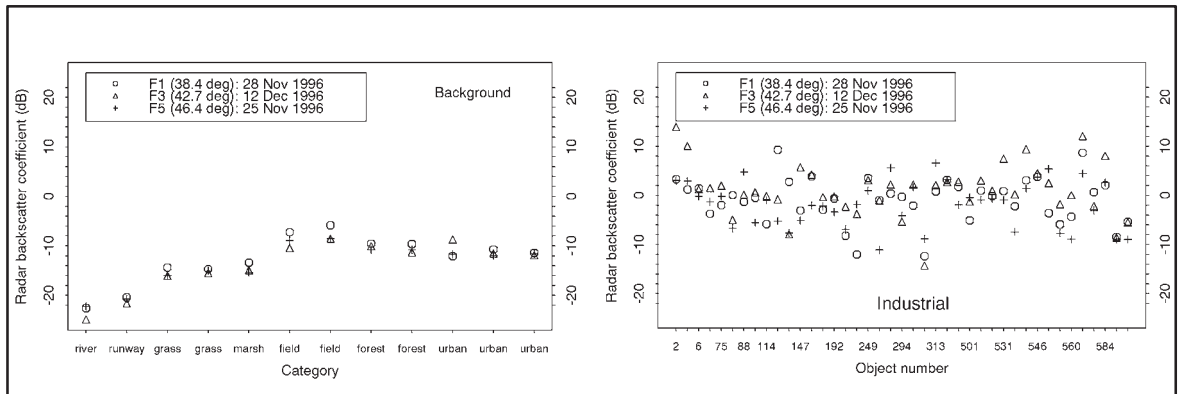


Figur 2.6 ERS-1 SAR-bilder fra Lillestrøm tatt ved oppadgående (venstre bilde) og nedadgående (høyre bilde) satellittpassering. Kardinaleffekten er synlig til stede ved at enkelte bygningskompleks og bydeler gir sterk refleksjon avhengig av opptaksgeometrien (her: aspektvinkelen).



Figur 2.7 Bygninger ved Litsa på Kola. Bildene er tatt med RADARSAT-1 Fine5 i Antarktis-modus i 1997, noe som gav en aspektvinkelforskjell på rundt 90 grader mellom nedadgående og oppadgående satellittpassering ved disse breddegrader. Oppløsningen i SAR-bildene er ca 9 m.

Tilsvarende kan også et objekt gi varierende signatur dersom SAR-opptakene er gjort med forskjellige seinkler. Dette er illustrert i figur 2.8 hvor tilbakespredning fra naturen ikke varierer så mye som tilbakespredning fra industribygg, gitt opptak ved tre forskjellige seinkler med RADARSAT-1 Fine (9 m oppløsning) modus. Alle disse tre RADARSAT-1 bildene ble forøvrig tatt fra nedadgående satellittpassering.



Figur 2.8 SAR tilbakespredning fra RADARSAT-1 Fine modus ved bruk av tre forskjellige sevinkler. Det er tydelig at refleksjon fra industribygg varierer mye mer over de forskjellige sevinkler, enn fra vegetasjon og annen bakgrunn.

3 ELEMENTER TIL ET FUNKSJONSAPPARAT

Vi vil i dette kapittel kort beskrive hvilke elementer som gjerne hører hjemme i et data-system som har til hensikt å analysere forandringer mellom flere satellitt SAR-bilder.

3.1 Kalibrering av radarbildet

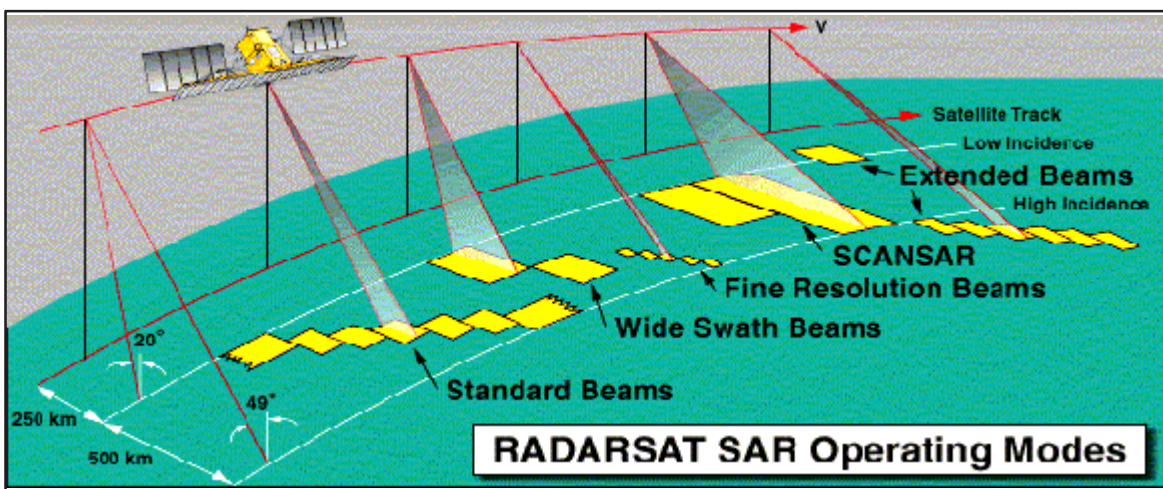
Kalibrering av et SAR-bilde vil i denne sammenheng si å knytte den tilbakespredte radarintensiteten som man ser i et SAR-bilde, til et felles referansesystem for radar tilbakespredning. I praksis kan man gjøre dette ved å skalere grånivåene i SAR-bildet ved hjelp av en gitt konstant eller funksjon. Denne konstanten eller funksjonen er som regel oppgitt av leverandøren av SAR-bildene, slik at sluttbrukeren selv kan utføre kalibreringen forholdsvis greit.

Kalibrering er særlig aktuelt i følgende situasjoner:

- Man ønsker å knytte intensiteten i et SAR-bilde direkte opp mot kjente geofysiske størrelser. Et eksempel er at man kan bestemme vindstyrke på sjøen ved bruk av en matematisk modell og et kalibrert SAR-bilde (f eks vil sterkere intensitet i SAR-bildet tilsi sterkere vind på sjøen).
- Man ønsker å sammenligne SAR-bilder som er tatt med forskjellige sensorer. Det kan f eks være aktuelt å sammenligne SAR-bilder tatt med C-bånd og X-bånd radar.
- Man ønsker å sammenligne SAR-bilder som er tatt med forskjellige sevinkler. Forskjellige sevinkler vil kunne gi forskjellig SAR tilbakespredning avhengig av jordoverflatens beskaffenhet (ruhet, fuktighet, vegetasjonsdekke osv). Nåværende og fremtidige satellitt SAR-systemer vil kunne ta bilder med vidt forskjellige sevinkler, se eksempel på RADARSAT-1 i figur 3.1. For å gjøre hyppige opptak (daglig eller

med noen få dagers mellomrom) over ett og samme område, kan det være helt nødvendig å bruke opptak som er tatt med forskjellige sevinkler. Dersom SAR-bildene er kalibrerte, vil man likevel kvalitativt kunne sammenligne intensiteten i bilder som er tatt med forskjellige sevinkler.

Ved kalibrering kan man altså lettere minske/eliminere tilbakespredningsendringer som skyldes forskjeller i selve SAR-opptakssystemet, og stå tilbake med de reelle fysiske endringene. Dette gjelder særlig for naturlige arealer av en viss utbredelse. For enkeltstående bygninger og objekter kan det derimot være fysiske egenskaper ved selve objektet (f eks kan jo tilbakespredt radarekko være avhengig av radarens sevinkel, – se for øvrig kapittel 2.3) som gjør at intensiteten i SAR-bildene naturlig nok *vil* være forskjellig.



Figur 3.1 Illustrasjon av de forskjellige RADARSAT-1 operasjonsmodi. De planlagte satellittene ENVISAT og RADARSAT-2 vil ha tilsvarende opptaksmuligheter.

3.2 Redusere støy i radarbildene

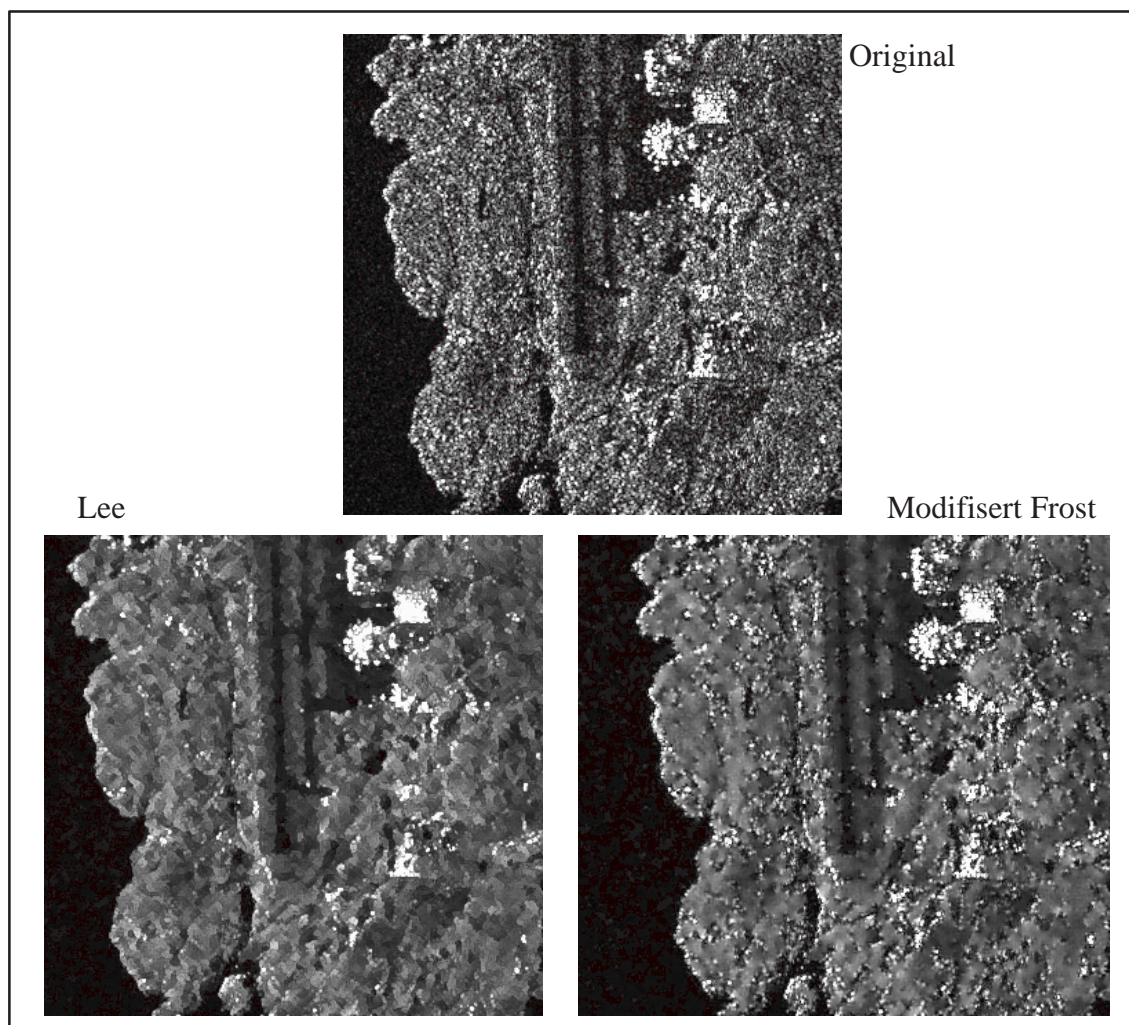
'Speckle' er en form for radarstøy som oppstår ved koherent prosessering av bl a SAR-bilder. For en del anvendelser kan det være ønskelig å redusere denne "salt-og-pepper" støyen som er så tydelig til stede i SAR-bildene. Over urbane områder er det best å bruke et filter som tilpasser filtreringen etter lokale statistiske egenskaper i det aktuelle SAR-bildet. Slike såkalte *adaptive specklefiltre* er absolutt å foretrekke fremfor rene middelverdifiltre ettersom de førstnevnte vil glatte mye i homogene områder (eks sjøoverflaten, jordbruksområder, myr og skog), men beholde detaljrikdommen i inhomogene områder (eks fjellpartier, områder hvor menneskelagde objekter dominerer).

To slike adaptive filtre er 'Lee' og 'Frost'. En modifisert utgave av Frost-filtret er utviklet og testet ved FFI med godt resultat (4). Dette filteret opererer i tre intervaller:

a) det glatter maksimalt i homogene områder hvor specklestøy dominerer,

- b) det filtrerer etter en lineær funksjon i mellomområdet,
- c) det beholder SAR-bildeverdiene i fullstendig inhomogene områder.

Eksempler på filtrering av et RADARSAT-1 bilde med Lee og Modifisert Frost er vist i figur 3.2.



Figur 3.2 Deler av et RADARSAT-1 Fine (9 m oppløsning) bilde tatt over Flesland flyplass, Bergen (toppen). De to nederste bildene viser resultatet etter adaptiv støyfiltrering med henholdsvis Lee- og et Modifisert Frost filter.

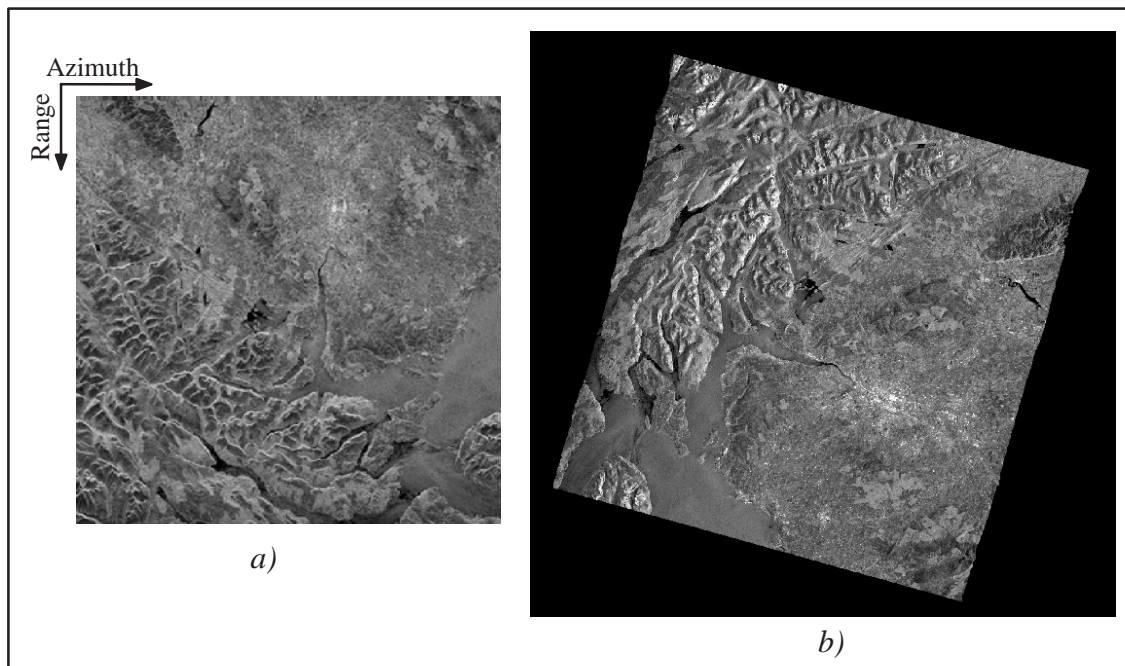
3.3 Samregistrering og geokoding

For lettere å kunne foreta en pixel-for-pixel sammenligning når man skal detektere og analysere forandringer mellom to eller flere SAR-bilder, er det en god løsning først å legge bildene inn i et felles koordinatsystem. Dette kan gjøres på litt forskjellige måter:

- a) Samregistrere to SAR-bilder relativt til hverandre. Da finner man felles objekter/strukturer i de to bildene, beregner relativ forflytning eller transformasjon mellom bildene, og resampler det ene bildet inn i geometrien til det andre.

- b) Geokoding. I sin enkleste form transformerer man begge bildene til et fast koordinatsystem (lat/long eller UTM) ved bruk av en lokal jordmodell (eks WGS84 ellipsoide). Dette kan gi et forholdsvis godt resultat i områder hvor overflaten kan tilnærmes en ellipsoidisk jordmodell (eks på sjøen, i havnebasseng, og i flate områder på land).
- c) Geokoding med terrengkorreksjoner. Det man da gjør er å geokode begge bildene inn i felles kartriktig koordinatsystem (eks UTM) ved bruk av en god digital høydemodell (DEM). Høydemodellen brukes til å korrigere SAR-bildenes foldingseffekt (se figur 2.1), og modellen bør ha et grid i XY-retning som er i størrelsesorden med den romlige oppløsningen i SAR-bildet. Bedre DEM vil også gi bedre nøyaktighet på geokodingen. Et geokodingseksempel fra Glasgow med omkringliggende fjellområder er vist i figur 3.3.

Fjellpartier med radarskygge og 'overlegg' (se figur 2.1) vil være problemområder som ikke kan geokodes på riktig måte. Disse områdene kan avbildes fra andre radaropptaksvinkler for å bøte på noe av dette, eller man kan rett og slett markere områdene slik at de blir utelatt i den videre analysen.

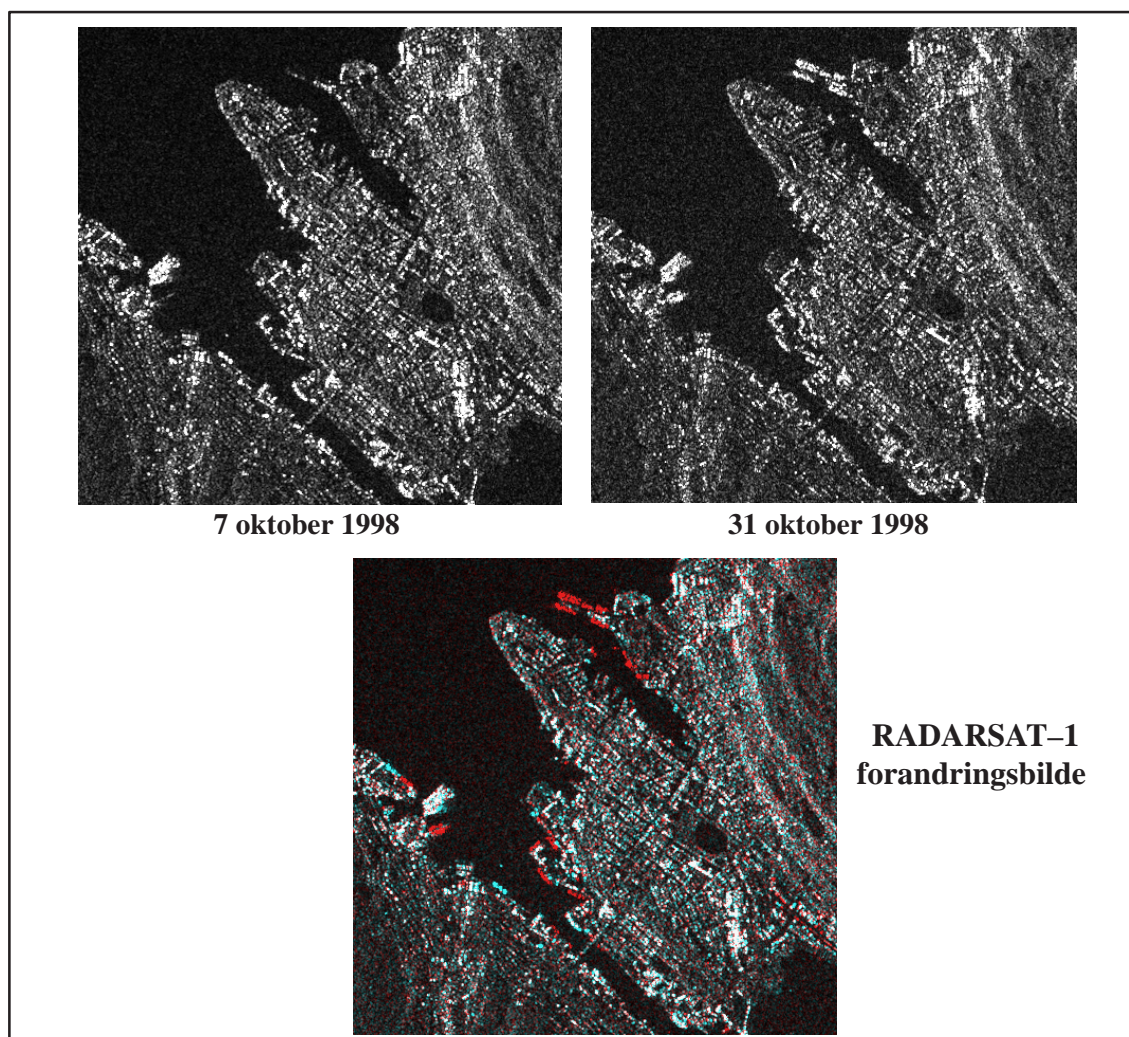


Figur 3.3 a) Originalt ERS-1 SAR-bilde tatt over Glasgow, og b) SAR-bilde som er geokodet med terrengkorreksjoner og lagt inn i kartriktige koordinater med Nord opp.

3.4 Forandringsdetektoren

Å lage den optimale forandringsdetektoren er et stort emne i seg selv som ikke lar seg beskrive utfyllende i denne rapporten. Mer detaljerte studier kan man finne i referansene (3), (4) og (5). Vi vil nedenfor bare kort skissere de mest vanlige metodene.

- a) Vise fram SAR-bildene som en RGB-bildekombinasjon, og deretter foreta en visuell analyse. Det kan være noe vanskelig å tolke slike RGB-bilder, men dersom man undersøker kjente områder av begrenset omfang (f eks et havnebasseng eller enkeltstående bygningskompleks) kan dette være en rask og tilfredsstillende metode. Et eksempel på en slik bildekombinasjon er gitt i figur 3.4 hvor rød farge tilsier nye objekter, og cyan farge betyr objekter som har fjernet seg mellom den første og den siste datoen.



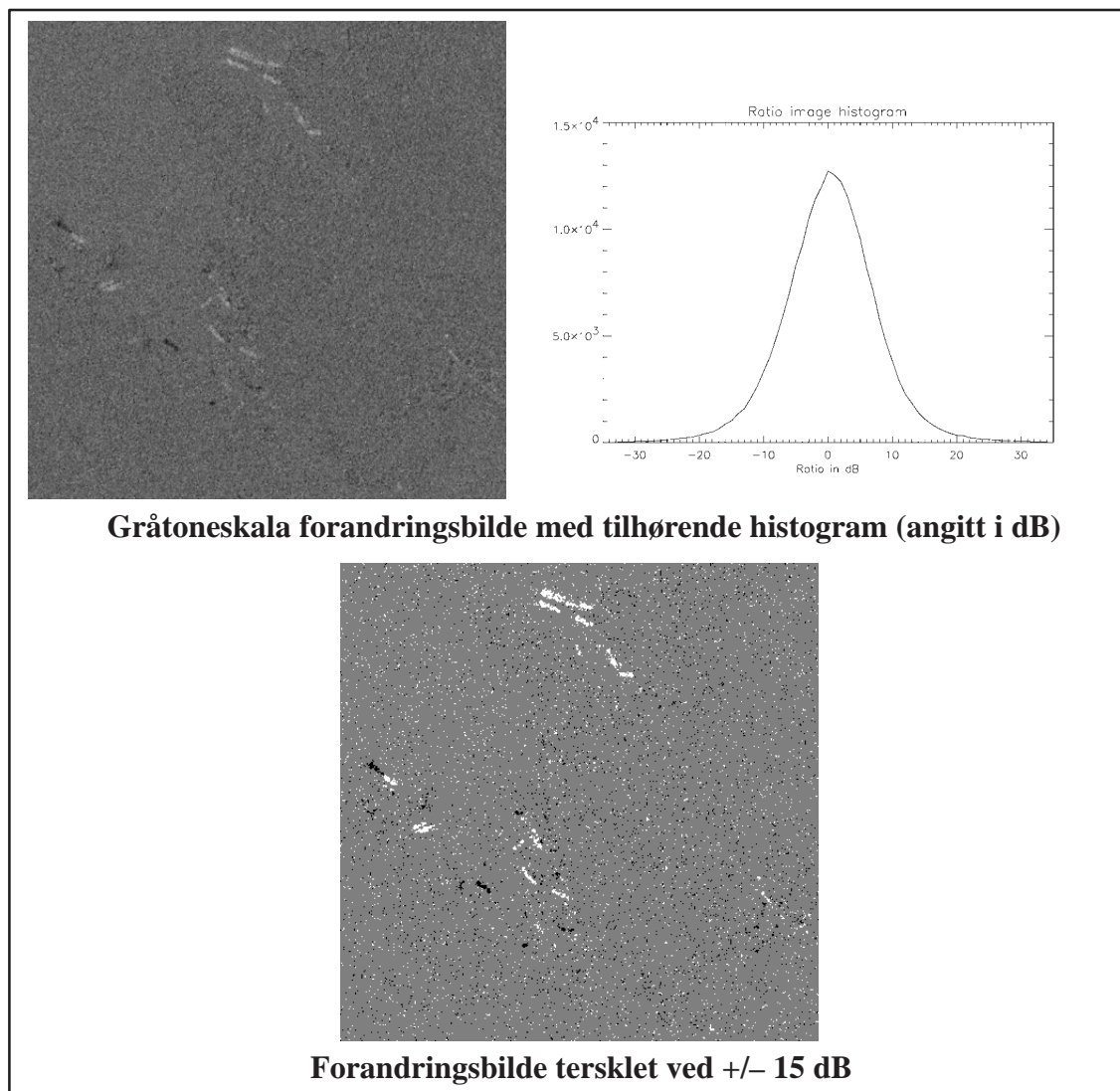
Figur 3.4 Deler av to RADARSAT-1 Fine5 (9 m oppløsning) bilder tatt over Bergen by (toppen). Det nederste bildet er en RGB-kombinasjon av de to bildene, og viser nye objekter i rød farge, og objekter som har fjernet seg i cyan.

- b) Man kan få fram et SAR forandringsbilde ved å dividere to SAR-bilder på hverandre. Et slikt *ratio*-bilde lages gjerne ved å bruke formelen:

$$\text{RatioBilde} = 10 \log_{10} \left[\frac{\text{Bilde1}}{\text{Bilde2}} \right], \quad [\text{dB}]$$

hvor multipliseringsfaktoren 10 forutsetter radar *intensitetsverdier*. Dersom bildene derimot er representert ved *amplitudeverdier* (noe som ofte er tilfelle i praksis), skal

faktoren være 20 isteden for 10. Ratio-verdiene vil ligge på begge sider av null på en dB-skala (se histogramplot i figur 3.5), alt ettersom hvordan styrken mellom de to bildene varierer. Forandringene vil typisk fremkomme som lysere eller mørkere områder eller punkter dersom man representerer dette som et gråtonebilde (se øverste bilde i figur 3.5).



Figur 3.5 Forandringer mellom to SAR-bilder (som vist i figur 3.4) fra Bergen by. Øverst vises et forandringsbilde i gråtoneskala med tilhørende histogram. I det nederste forandringsbildet er det innført to terskler på henholdsvis $+15$ dB (hvitt) og -15 dB (sort).

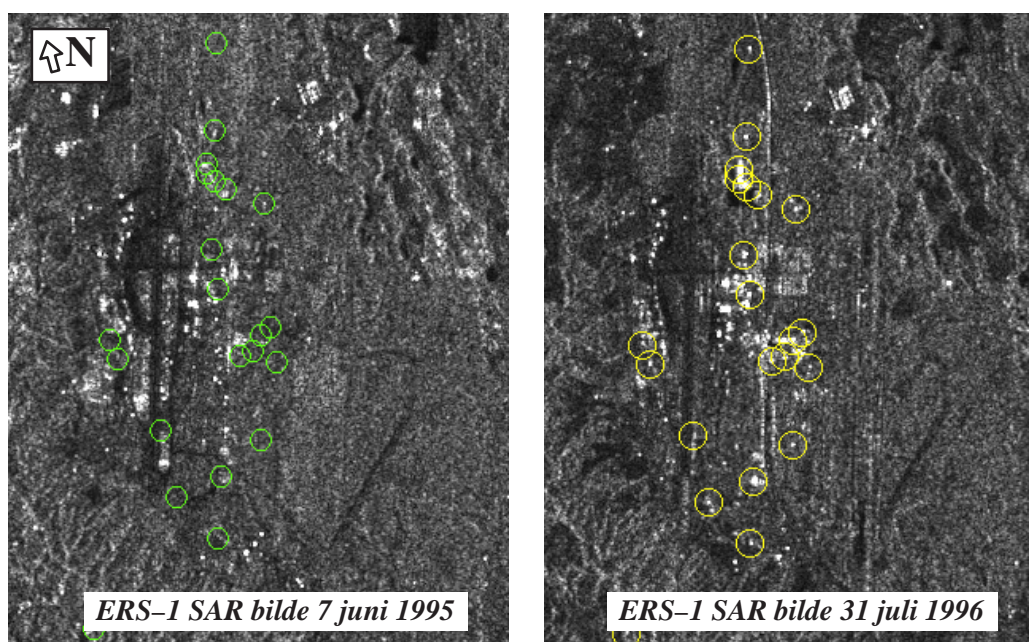
Det kan så settes en dB-terskel for henholdsvis positive og negative forandringer. dB-terskelen settes ofte interaktivt etter hvilke erfaringer man har for en gitt anvendelse. Det er om å gjøre å ikke sette en for lav terskel (sett gjerne terskelen > 6 dB) ettersom da alt for mange detaljer (og til og med støy!) kan komme forstyrrende med. Samtidig vil en for høy terskel (> 20 dB) kunne føre til at viktige forandringer ikke oppdages. Det nederste bildet i figur 3.5 viser et tersklet forandringsbilde hvor hvite piksler representerer områder som er blitt minst 15 dB sterkere fra 7. til 31.

oktober, mens sorte piksler representerer områder som er blitt 15 dB svakere (eller -15 dB matematisk sett).

Fra forandringsbildene i figur 3.5 er det tydelig at noe støy også er forstyrrende til stede. For en del anvendelser kan det derfor være en fordel om de to SAR-bildene er specklefiltrert *før* en forandringsdetektor kjøres. Alternativt kan man velge å bare analysere *grupper* av piksler som ligger inntil hverandre i det tersklede forandringsbildet.

De tersklede forandringene kan så til slutt legges inn i et kart eller oppå et optisk bilde for bedre å kunne fremvise og analysere resultatet.

- c) I stedet for å lage et *helt* forandringsbilde gjennom dividering slik som i b), kan man la et dataprogram søke i bildene etter sterke punktmål, og markere ut de stedene som har endret seg over en viss *dB*-verdi. Også her vil *dB*-terskelen gjerne settes på grunnlag av testresultater fra den SAR-sensoren som brukes, men også utifra den konkrete anvendelsen (forskjell på søk i havneområder og på flyplasser). I forhold til b) ovenfor, vil man her ha større mulighet for å la radar tilbakespredningen fra områdene *omkring* det enkelte objekt, ha innvirkning på søket.



Figur 3.6 ERS-1 SAR bilder (25 m oppløsning) fra Gardermoen flyplass. En punktmålsdetektor (store sirkler i høyre bilde) indikerer nye, sterke punktmål, eller punktmål som har økt i styrke fra venstre bilde.

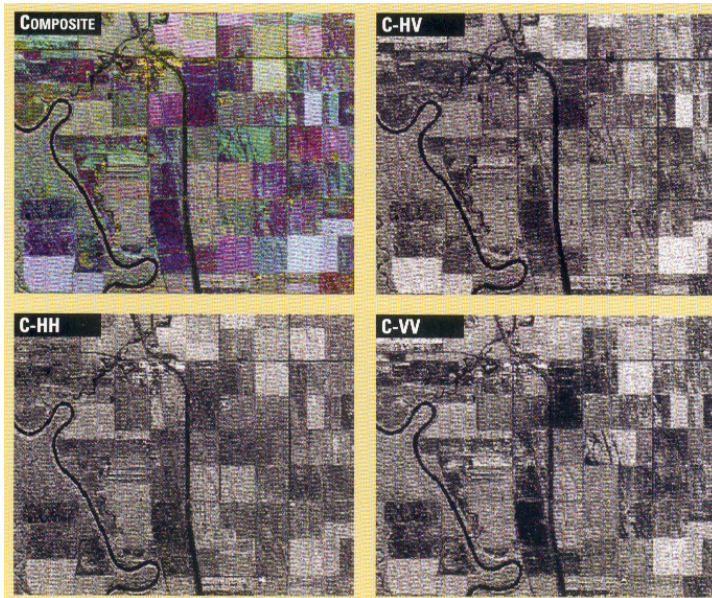
3.5 SAR polarimetri

En radar har mulighet til å sende pulser og motta refleksjoner i forskjellige polariseringsmodus. De mest vanlige til bruk med SAR er vertikal og horisontal polarisasjon. Man kan da sende vertikalt, og motta vertikalt eller horisontalt (henholdsvis VV og

VH), men også sende horisontalt og motta horisontalt eller vertikalt (henholdsvis HH og HV).

Dagens satellitt SAR-systemer opererer med *en* polarisasjon (VV for ERS SAR og HH for RADARSAT-1). Fremtidige satellitt SAR-systemer vil være i stand til å sende og motta på flere polarimetrisk kanaler. Den europeiske ENVISAT satellitten planlegges for oppskytning i 2002 og vil ha mulighet til å gjøre opptak med 2 polarisasjoner samtidig (HH og HV, HH og VV, eller VV og VH). RADARSAT-2 (planlagt oppskytning i 2003) vil ha 4 polarisasjoner, og det vil derved bli være mulig å lage bildesammenstillinger (kompositter) som vist i figur 3.7.

Figur 3.7 og mange studier med flybårne SAR-systemer viser at flere polarisasjoner gir et bedre analysegrunnlag og derved også et bedre tolkningsresultat, både for vegetasjonsklasser og menneskelagde objekter. Det optimale i så måte er å gjøre opptak med 4 polarisasjoner (HH, VV, HV og VH) samtidig.



Figur 3.7 Et multipolarisasjon datasett innhentet med CCRS (Canadian Centre for Remote Sensing) sitt flybårne C-bånd SAR-system. Sammenstilling av flere kanaler til f.eks. ett fargebilde, gir tydelig et bedre analysegrunnlag.

I de senere år har det i flere internasjonale miljøer vært økende interesse for bruk av såkalt *polarimetrisk radar interferometri*, og forsøk har vært gjort på SAR-data fra flybårne sensorer. Prinsippet er at man gjør interferometriske opptak med en SAR som har 4 polarimetrisk kanaler. Det er da mulig å bestemme både objekt *type* og gjennomsnittlig *høyde* over bakken. Slike systemer kan gi verdifull tilleggsinformasjon om enkelte objekter. Det er foreløpig ingen konkrete planer for å lage operative satellitt SAR-systemer hvor denne formen for polarimetrisk interferometri kan benyttes.

Ved bruk av flere polarisasjoner må man utvide funksjonsapparatet, som er beskrevet i neste kapittel, med noen flere elementer. Særlig gjelder dette måten kalibreringen og

specklefiltreringen gjøres på, men også forandringsdetektoren bør forandres slik at data fra flere kanaler (polarisasjoner) om mulig kan behandles samtidig. Et mer inngående studie av polarimetri og mulige funksjonselementer vil være omfattende, og ligger utenfor denne rapporten. Det anbefales likevel at problemstillinger knyttet til bruk av multi-polarisasjon dataset studeres i mer detalj med tanke på de nær forestående satellitt SAR-systemer som vil operere med flere polarimetriske kanaler.

4 FORSLAG TIL FUNKSJONSAPPARAT

Det er mange funksjoner som kan knyttes opp mot et system som skal være i stand til å analysere og tolke radarbilder tilfredsstillende. Vi vil her beskrive to hovedsystemer som bruker enkeltfunksjonene litt forskjellig avhengig av datagrunnlag og anvendelsesområde.

Det må presiseres at målsettingen for funksjonsapparatet hele tiden er deteksjon og analyse av *forandringer* mellom to eller flere SAR-bilder tatt over det samme geografiske området.

4.1 Forslag I – forenklet funksjonsapparat

Dette funksjonsapparatet er relativt enkelt. Utgangspunktet er at man kun er ute etter *relative endringer* (f eks angitt i *dB*) mellom SAR-opptakene. Videre er opptakshyp-pigheten eller fleksibiliteten ikke avgjørende, slik at man lett kan innordne seg satellittens faste repetisjonssyklus (eks 35, 24 eller 10 dager). Man antar videre at det ikke er nødvendig å legge de registrerte endringene inn i et geografisk informasjonssystem (GIS).

4.1.1 Krav

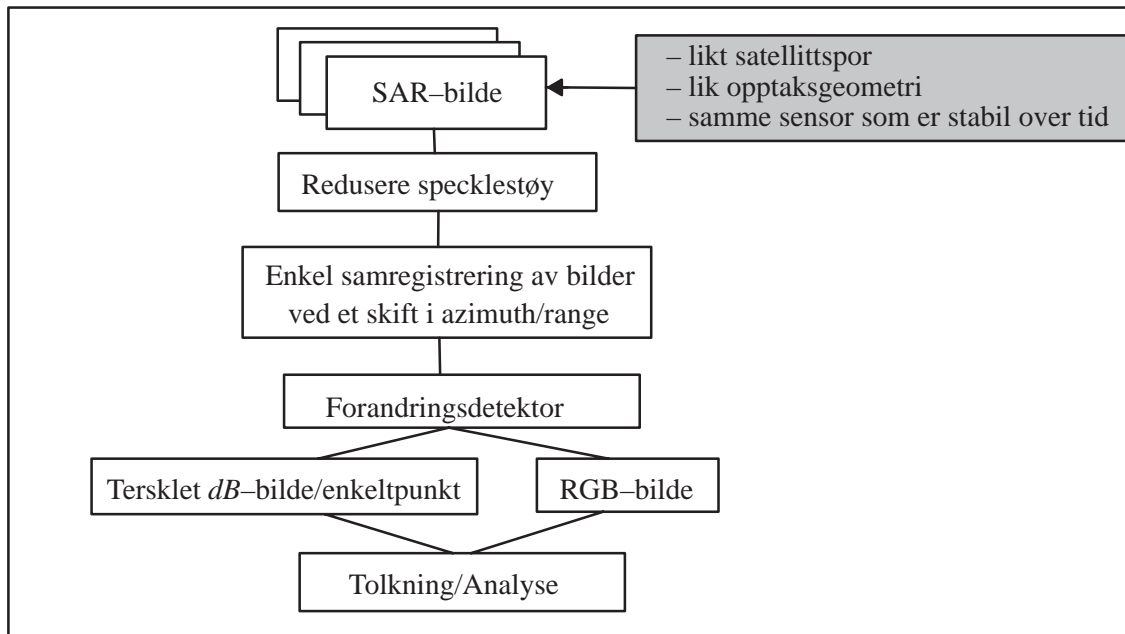
- SAR-opptakene må være tatt fra samme satellittspor.
- Opptaksgeometrien må være den samme. Man gjør da opptak med samme sevinkel, og holder seg til enten oppadgående eller nedadgående satellittpassering.
- SAR-bildene må være tatt fra samme sensor. Sensoren bør også være stabil over tid dersom man vil slippe kalibrering.

4.1.2 Fordeler

- Enkel samregistrering av SAR-bildene. Det er kun nødvendig å forflytte det ene bildet i forhold til det andre med et gitt antall piksler i azimuth og/eller range.
- Det er ikke behov for kalibrering av SAR-bildene.
- For enkelte anvendelser vil det ikke være nødvendig med specklefiltrering.
- De registrerte forandringene skyldes *faktiske* endringer (eks naturlige sesongvariasjoner på bakken, flytting av objekter, utbygginger), og er *ikke* et resultat av forskjellig opptaksgeometri.

4.1.3 Begrensninger

- Opptakshyppigheten følger satellittens repetisjonssyklus, med dertil minsket fleksibilitet.
- Man kan “miste” objekter som ikke gir en sterk refleks fra en gitt opptaksgeometri.



Figur 4.1 Flytdiagram over forenklet metode for å analysere forandringer mellom SAR-bilder. Denne metoden kan brukes både i havnebasseng og på land. Forandringsbildene vil ikke være i kartriktig projeksjon så lenge det ikke brukes kjente kontrollpunkter når man gjør samregistreringen av bildene.

4.2 Forslag II – avansert funksjonsapparat

Dette funksjonsapparatet bruker flere elementer slik at opptak fra forskjellige SAR-sensorer og geometrier kan samkjøres. Det endelige resultatet vil dessuten ha kartriktige koordinater.

4.2.1 Krav

- Ingen spesielle. Man står ganske fritt i forhold til SAR datafangst.

4.2.2 Fordeler

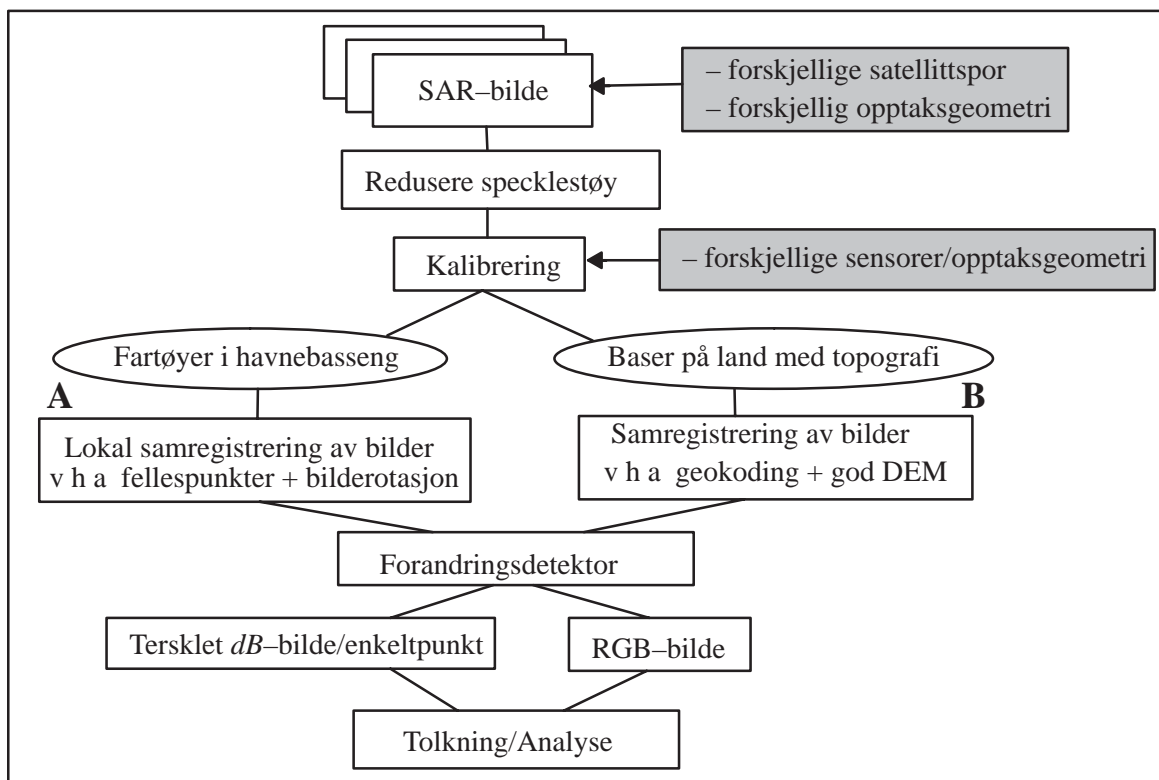
- Kan gjøre hyppige opptak.
- Kan velge å gjøre opptak hvor opptaksgeometrien ikke avviker for mye.
- Kan velge å gjøre flere opptak med store endringer i opptaksgeometri. Objekter som består av komplekse strukturer eller som har en sylindrisk form vil nemlig gi

sterk signatur fra vidt forskjellig opptaksgeometri, og deres tilstedeværelse kan derfor stadfestes på denne måten.

- Mulighet for å gjøre opptak av en og samme bygning fra vidt forskjellige vinkler, og derved få et bedre inntrykk av en bygnings form og utbredelse (se kapittel 2.1).
- Alle forandringer er knyttet opp mot kartriktige koordinater, og kan derfor lettere benyttes inn mot et GIS.

4.2.3 Begrensninger

- Samregistreringen av SAR-bildene vil være mer krevende ettersom geokoding vil være påkrevd. I havneområder kan det holde med å foreta en lokal oppretting av radarbildene mot hverandre eller mot et kart, men over landområder med topografi kan det være helt nødvendig å geokode bildene ved hjelp av en god digital høydemodell (DEM). For å oppnå god lokalisering av SAR-pikslene, bør terrengmodellen ha en gridstørrelse som tilsvarer oppløsningen i SAR-bildet. Slike DEM kan være vanskelig tilgjengelig i enkelte områder. Ved god romlig oppløsning (f eks < 3 m) vil man få problemer med samregistrering av bygninger, broer og master dersom deres høyde ikke er kjent.



Figur 4.2 Flyttdiagram over avansert metode for å analysere forandringer mellom SAR-bilder. Gjennom forgrening **B** vil både SAR-bildene og forandring-bildet bli liggende i et kartriktig koordinatsystem. Dersom samregistreringen av bilder i gren **A** gjøres med kontrollpunkter på bakken hvor de geografiske koordinatene er oppgitt, vil også forgrening **A** kunne gi et resultat med kartriktige koordinater.

En tredje mulighet/forslag kan inntreffe dersom SAR-bildene er tatt med samme geometri, men man ønsker å representere forandringene i kartriktige koordinater. Dersom det i denne situasjonen ikke er nødvendig å studere SAR-bildene mer inngående, men kun forandringsbildet, kan man kjøre geokodingsprosessen på selve forandringsbildet. Man vil da slippe med færre operasjoner (her: geokodinger), og sluttresultatet vi bli det samme.

5 DISKUSJON

5.1 Antall bilder for å detektere forandringer

Hvor mange bilder vil det være nødvendig å bruke for å detektere forandringer? Man kan tenke seg at det holder med to bilder. Dette krever imidlertid at man kan være sikker på at det ene bildet kan operere som en referanse. Dette er ikke bestandig opplagt dersom man ikke har ytterligere kilder å støtte seg på (f eks andre fjernmålingsdata).

Dersom man vil detektere forandringer ved å bruke SAR-bilder som et selvstendig system, kreves det minst 3 bilder! Da vil man kunne bruke minst 2 av bildene til å sette opp en referanse. Med referanse tenker man her på et område/objekt som gir en stabil radarrefleksjon over tid. Ett nytt bilde (fortrinnsvis tatt med samme SAR-geometri) kan da bringes inn når man har behov for å få et oppdatert situasjonsbilde.

De store kostnadene ved et slikt system vil først og fremst være knyttet til oppbyggingen av gode referanse SAR-bilder. Litt etter anvendelsen, vil det da være nødvendig å samle SAR-bilder som er tatt fra både oppadgående og nedadgående satellittspor, men også fra forskjellige sevinkler. Referanser fra forskjellige SAR-geometrier vil sikre størst mulig fleksibilitet m h t å få til et nytt opptak med samme geometri innenfor en relativ kort tidsluke (f eks bare noen få dager ved krisehåndtering).

Som vi skal se nedenfor, så vil overvåkning av havner være mye mindre ressurskrevende enn overvåkning av baser på landjorda. Dette gjelder også mengden av SAR-bilder som trengs for å bygge opp referansedatabasen.

5.2 Overvåkning av havner

Hvis målsettingen er å finne ut om det ligger et fartøy til en bestemt kai, kan man med fordel bruke Forslag-I. Men gir ikke dette en for dårlig overvåkningsfrekvens? Jo, men i tilfellet med deteksjon av fartøy, kan man faktisk øke opptaksfrekvensen ved å *benytte flere opptaksmodus*. Dette vil være mulig ettersom fartøy svært ofte gir sterk signatur uavhengig av opptaksgeometri! Ved å bruke SAR-bilder tatt fra flere sevinkler, kan man lett "fylle inn" tidsrommet mellom satellittens naturlige repetisjonssyklus. For RADARSAT-1 vil overvåkningsfrekvensen dermed bedre seg fra naturlige 24 dager, til bare noen få dager.

5.3 Overvåkning av bygninger og infrastruktur

Overvåkning av bygninger og infrastruktur knyttet til baser og havner krever et større apparat. Etersom bygninger ofte gir et sterkt radarekko som kan være avhengig av opptaksgeometrien, vil det være ønskelig å ta flere bilder over samme område med forskjellige geometrier for å få et best mulig helhetlig inntrykk. Dette krever flere radaropptak, og vil dessuten komplisere tolkingsprosessen mellom de ulike opptaksgeometriene. Man kan imidlertid tenke seg å gjøre dette på følgende måte:

1. Ta flere opptak med forskjellig geometri, men også tett i tid for å eliminere sesongvariasjoner og menneskelagde forandringer.
2. Bruke tre forskjellige sevinkler i oppadgående satellittpassering, og tre forskjellige sevinkler i nedadgående satellittpassering.
3. Hvis analysen viser sterk refleksjon hele tiden
=> vi har et objekt med mange hjørner og/eller en sylindrisk form
4. Hvis analysen viser varierende refleksjon
=> a) vi har å gjøre med faktiske endringer
b) vi har et "enkelt" radarobjekt hvor kardinaleffekten gjør seg gjeldende

5.4 Overvåkning av flybaser og oljetankanlegg

Lignende metode som beskrevet i kapittel 5.2 kan man også bruke for å detektere fly på flybaser eller overvåke tankanlegg. Dette er selvsagt under forutsetning av at flyene og de sylindriske tankene gir et sterkt radarekko innenfor spennet av den valgte opptaksgeometri.

6 KONKLUSJON

Denne rapporten har beskrevet hvilke basisfunksjoner som ofte kreves dersom man ønsker å detektere forandringer mellom to eller flere satellitt SAR-bilder.

Et effektivt system for overvåkning av fartøy i tilknytning til kaianlegg kan lett la seg realisere ved å ha et enkelt funksjonsapparat.

Deteksjon av SAR-forandringer i forbindelse med bygninger, infrastruktur og flybaser kan ofte være mer komplisert og føre til forskjellige løsninger. I slike tilfeller er det viktig at det er SAR-tilbakespredningsegenskapene fra den gitte objekttypen/-klassen som er utslagsgivende for hvilket funksjonsapparat, med tilhørende elementer, som velges. Det er måten på anvendelsen som styrer funksjonsapparatets oppbygging.

De skisserte funksjonsapparatene kan brukes i både eksisterende og planlagte satellitt SAR-systemer, men dersom man ønsker å benytte multipolarisasjon SAR-data til å de-

tektere og analysere forandringer mellom SAR-opptakene, så bør de skisserte funksjonsapparatene utvides for å få optimal utnyttelse av polarisasjonsaspektet.

Litteratur

- (1) T Wahl, (2000): Rombaserte sensorer for norske forsvarsformål, FFI/RAPPORT–2000/04101 (Begrenset), Kjeller, Norge.
- (2) D J Weydahl, T Wahl, (1998): Deteksjon av forandringer ved hjelp av radarsatellitter – muligheter og begrensninger, FFI/RAPPORT–98/04331 (Begrenset), Kjeller, Norge.
- (3) D J Weydahl, (1998): Analysis of satellite SAR images for change detection over land areas, Dr. Scient Thesis, FFI/PUBLICATION–98/04969, Kjeller, Norge.
- (4) D J Weydahl, (1994): Change detection techniques for ERS–1 SAR images, FFI/RAPPORT–94/02914, Kjeller, Norge.
- (5) R J Dekker, (1998): Speckle filtering in satellite SAR change detection imagery, *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 19, No. 6, pp. 1133–1146.

FORDELINGSLISTE

FFIE

Dato: 30 november 2001

RAPPORT TYPE (KRYSS AV)			RAPPORT NR	REFERANSE	RAPPORTENS DATO			
<input checked="" type="checkbox"/>	RAPP	<input type="checkbox"/>	NOTAT	<input type="checkbox"/>	RR	2001/04827	FFIE/730/134	30 november 2001
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD				ANTALL EKS UTSTEDT	ANTALL SIDER			
UGRADERT				74	28			
RAPPORTENS TITTEL				FORFATTER(E)				
FORSLAG TIL FUNKSJONSAPPARAT FOR FREMTI- DIG BRUK AV RADARSATELLITTER I BASE- OG HAVNEOVERVÅKNING				WEYDAHL Dan Johan				
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF:				FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF:				

EKSTERN FORDELING

INTERN FORDELING

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	
1		FO/SST	14		FFI-Bibl
1		v/Kom Jon Meyer	1		Adm direktør/stabssjef
1		FO/E	1		FFIE
1		v/Udir Kolbjørn Rørnes	1		FFISYS
1		v/Arve Dimmen	1		FFIBM
1		v/Nils Kilen	1		FFIN
1		FO/I	1		Vidar S Andersen, FFIE
1		v/KK Tor E Wivelstad	1		Karsten Bråthen, FFIE
1		FKN	1		Bjørn Jervell Hansen, FFIE
1		v/KK Arne Morten Grønningsæter	1		Hilde Hafnor, FFIE
1		FKS	1		Helge Sanden, FFIE
1		v/Kom Lars Fleisje	1		Kjell Viken, FFIE
1		KE	1		Anton B Leere, FFIE
1		KNMT/SMOPS	1		Ole Martin Mevassvik, FFIE
1		v/OK Svein T Sagstuen	1		Kjell Rose, FFIE,
1		FO/FST	1		Morten Urdahl, FFIE
1		KVINSP	1		Svein Hauge, FFIE
1		v/OK Martin Ramsland	1		Richard Olsen, FFIE
1		FTD	1		Terje Wahl, FFIE
1		v/Sj Ing Per Anders Jørgensen	1		Knut Eldhuset, FFIE
1		SFK	1		Dan J Weydahl, FFIE
1		v/OK Knut Morten Hanssen	1		Svein-Erik Hamran, FFIE
1		LFK	1		Stein Kristoffersen, FFIE
			8		Nils A Sæthermoen, FFIE
					Arkiv FFIE
					FFI-veven

EKSTERN FORDELING**INTERN FORDELING**

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	
1		FSTS/SJØ			
1		KNMT/SMOPS/SIS			
1		v/OK Jan Erik Karlsen			
1		FMGT			
1		v/Oberst Øyvind Bergene			
1		v/Ronald Kvalsund			
		Langkaia 1			
		0150 Oslo			