

## **FFI RAPPORT**

### **NSAT-1: NYE MOMENTER VEDRØRENDE KOOPERATIVE OVERVÅKNINGS- SYSTEMER, FLERFREKVENT SENSOR SAMT HAVBØLGERS INNVIRKNING PÅ DETEKSJON OG DEKNING**

HØYE Gudrun K, ERIKSEN Torkild, LYNGVI Aleksander,  
NARHEIM Bjørn T, WAHL Terje

**FFI/RAPPORT-2001/05878**



FFIE/763/170

Godkjent  
Kjeller 12 desember 2001

Vidar S Andersen  
Forskningsjef

**NSAT-1: NYE MOMENTER VEDRØRENDE  
KOOOPERATIVE OVERVÅKNINGSSYSTEMER,  
FLERFREKVENT SENSOR SAMT HAVBØLGERS  
INNVIRKNING PÅ DETEKSJON OG DEKNING**

HØYE Gudrun K, ERIKSEN Torkild, LYNQVI  
Aleksander, NARHEIM Bjørn T, WAHL Terje

FFI/RAPPORT-2001/05878

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



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-2001/05878 1a) PROJECT REFERENCE FFIE/763/170	2) SECURITY CLASSIFICATION UNCLASSIFIED 2a) DECLASSIFICATION/DOWNGRADING SCHEDULE -	3) NUMBER OF PAGES 21		
4) TITLE NSAT-1: NYE MOMENTER VEDRØRENDE KOOPERATIVE OVERVÅKNINGSSYSTEMER, FLERFREKVENT SENSOR SAMT HAVBØLGERS INNVIRKNING PÅ DETEKSJON OG DEKNING  NSAT-1: DISCUSSION OF NEW ELEMENTS REGARDING COOPERATIVE SURVEILLANCE SYSTEMS, MULTI-FREQUENCY SENSOR AND OCEAN WAVE EFFECTS ON PERFORMANCE				
5) NAMES OF AUTHOR(S) IN FULL (surname first) HØYE Gudrun K, ERIKSEN Torkild, LYGVI Aleksander, NARHEIM Bjørn T, WAHL Terje				
6) DISTRIBUTION STATEMENT Approved for public release. Distribution unlimited. (Offentlig tilgjengelig)				
7) INDEXING TERMS <table border="0" style="width: 100%;"> <tr> <td style="width: 50%; vertical-align: top;">           IN ENGLISH:             a) <u>NSAT-1</u>            b) <u>AIS</u>            c) <u>Satellite tracking</u>            d) <u>Multi-band sensor</u>            e) <u>Ocean waves</u> </td> <td style="width: 50%; vertical-align: top;">           IN NORWEGIAN:             a) <u>NSAT-1</u>            b) <u>AIS</u>            c) <u>Satellittsporing</u>            d) <u>Flerfrekvent sensor</u>            e) <u>Havbølger</u> </td> </tr> </table>			IN ENGLISH:  a) <u>NSAT-1</u> b) <u>AIS</u> c) <u>Satellite tracking</u> d) <u>Multi-band sensor</u> e) <u>Ocean waves</u>	IN NORWEGIAN:  a) <u>NSAT-1</u> b) <u>AIS</u> c) <u>Satellittsporing</u> d) <u>Flerfrekvent sensor</u> e) <u>Havbølger</u>
IN ENGLISH:  a) <u>NSAT-1</u> b) <u>AIS</u> c) <u>Satellite tracking</u> d) <u>Multi-band sensor</u> e) <u>Ocean waves</u>	IN NORWEGIAN:  a) <u>NSAT-1</u> b) <u>AIS</u> c) <u>Satellittsporing</u> d) <u>Flerfrekvent sensor</u> e) <u>Havbølger</u>			
<b>THESAURUS REFERENCE:</b>				
8) ABSTRACT This report complements the NSAT-1 Phase-A Report with a discussion of three important topics. These are: (1) The emerging cooperative maritime surveillance systems. (2) The possibility of a dual-band NSAT sensor for detection of both X-band and S-band radars. (3) The effects of ocean waves on the detectability of the navigation radar main lobe. It is concluded that cooperative systems will give improved tracking of civilian ships, that a dual-band sensor seems feasible, and that ocean waves will lead to a somewhat degraded position accuracy and a wider swath width.				
9) DATE  12 december 2001	AUTHORIZED BY This page only  Vidar S Andersen	POSITION  Director of Research		

ISBN-82-464-567-5

**UNCLASSIFIED**

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



**INNHOLD**

	<b>Side</b>	
1	INTRODUKSJON	7
2	NSAT-1 I FORHOLD TIL KOOPERATIVE OVERVÅKNINGSSYSTEMER	9
2.1	AIS	9
2.2	Satellittsporing av fiskefartøy	10
2.3	NSAT-1's bidragmuligheter	11
2.3.1	Langs kysten	12
2.3.2	Åpne havområder	12
2.3.3	Svalbardsonen	12
2.4	Oppsummering	13
3	VURDERINGER AV FLERFREKVENT SENSOR	13
3.1	Aktører	13
3.1.1	Radarsystemer til sjøs	13
3.1.2	Landbaserte radarsystemer	14
3.2	Ytelse	14
3.3	Oppsummering	15
4	HVORDAN ET FARTØYS BEVEGELSE PÅVIRKER DETEKSJON AV NAVIGASJONSRADAREN	15
4.1	Bølger	16
4.2	Fartøysdynamikk	16
4.3	Sensoren	17
4.4	Oppsummering	19
5	KONKLUSJON	19
	LITTERATUR	20
	Fordelingsliste	21

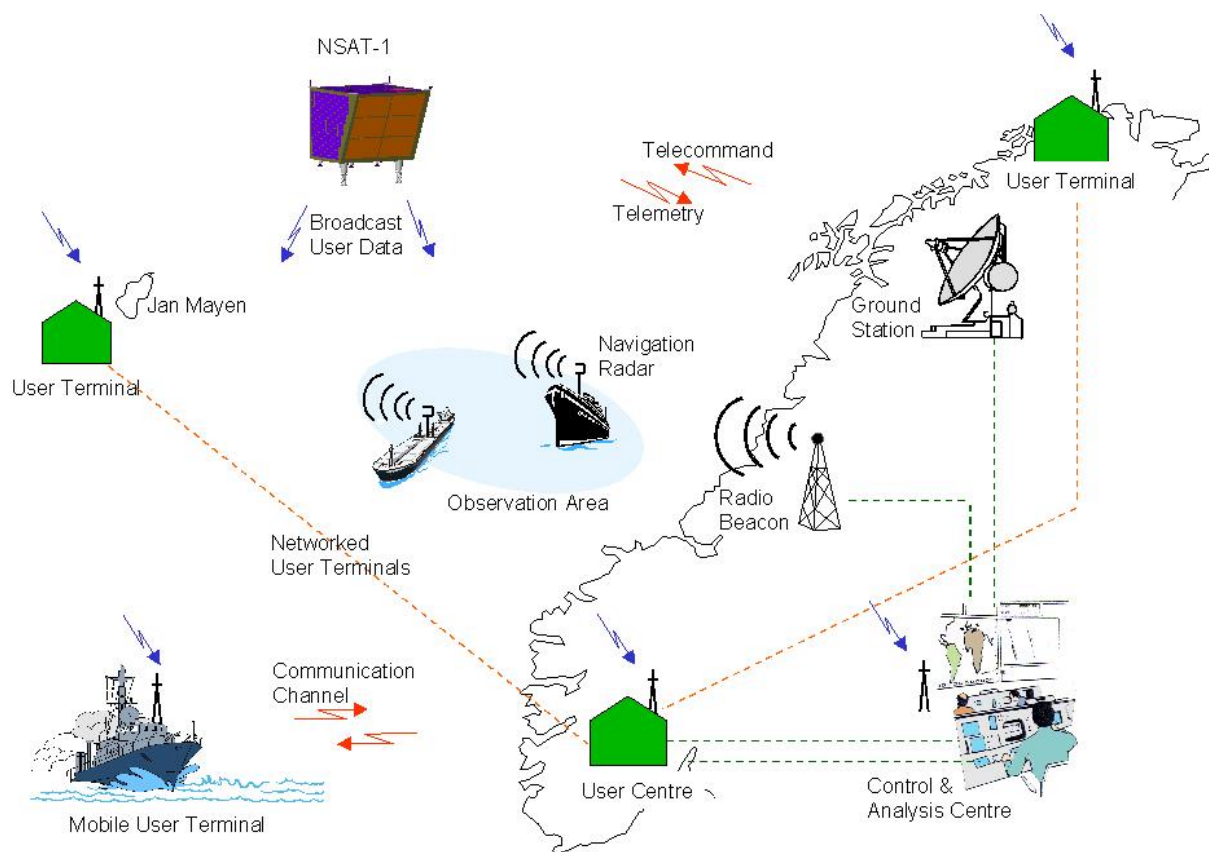




## NSAT-1: NYE MOMENTER VEDRØRENDE KOOPERATIVE OVERVÅKNINGS-SYSTEMER, FLERFREKVENT SENSOR SAMT HAVBØLGERS INNVIRKNING PÅ DETEKSJON OG DEKNING

### 1 INTRODUKSJON

Fase-A studien for NSAT-1 har presentert et konsept for maritim overvåkning fra mikrosatellitt basert på passiv deteksjon av skipsnavigasjonsradarer i X-bånd. NSAT-1 skal kunne detektere, lokalisere (innenfor 1 km) og klassifisere 99% av alle aktive navigasjonsradarer som befinner seg i satellittens dekningsspor. I henhold til "The International Convention for the Safety of Life at Sea" (SOLAS)<sup>1</sup> skal alle passasjerskip samt alle fartøy større enn 300 GT (ca 35 m) være utstyrt med en radar i X-bånd. Det er også vanlig at mindre fartøy har en slik radar. Fartøy større enn 3.000 GT skal i tillegg ha en radar i S-bånd. For fiske- og fangstfartøy stilles det krav om X-bånd radar dersom fartøyet er større enn 24 m (ref. EU's rådsdirektiv 9770). Denne grensen er i norske farvann utvidet nedad til å gjelde alle fiske- og fangstfartøy større enn 15 m.



Figur 1.1 NSAT-1 konseptet.

<sup>1</sup> SOLAS, 1974 m/tillegg (3) er den viktigste internasjonale traktaten vedrørende sikkerhet til sjøs. Traktaten er undertegnet av 145 land som til sammen utgjør 98.5% av verdens bruttotonnasje. Militære fartøy er ikke omfattet av traktaten.

NSAT-1 konseptet er illustrert i Figur 1.1. NSAT-1 vil være en mikrosatellitt med dimensjoner på ca  $50 \times 55 \times 70 \text{ cm}^3$  og en vekt på bare ca 50 kg. Satellitten vil være liten og lett nok til at den kan skytes opp sammen med en større satellitt, noe som gir en kraftig reduksjon i oppskytningskostnadene. Satellitten skal gå i lav polarbane (ca 600 km over bakken) for å gi best mulig dekning av norske områder. Et antennepanel på  $50 \times 50 \text{ cm}^2$  for deteksjon og retningsbestemmelse av X-bånd radarsignaler monteres på den ene av satellittens sidevegger, og satellitten vil være dreibar slik at antenna til enhver tid kan pekes i ønsket retning. Når antenna peker sideveis (i forhold til fartsretningen) vil dekningssporet på bakken være 1200 km bredt. Dette konseptet vil gi full dekning av alle norske havområder minst fire ganger per døgn.

All signalprosessering skal foregå om bord i satellitten slik at kun høynivådata (posisjon, radar-type) sendes ned til bakken. Den samlede datamengden vil da være liten og kan overføres via en enkel lavrate datalink. Et eksempel på hvordan et slikt dataprodukt kan se ut er gitt i Tabell 1.1. Tre brukerterminaler, plassert henholdsvis i Nord-Norge, Sør-Norge og på Jan Mayen, sikrer rask tilgang til data fra satellitten, og informasjonen overføres i sanntid (innen 2 min etter observasjonen) til brukerne via et bakkenettverk. Det vil også være mulighet for direkte nedlink til mobile enheter.

Vessel #	Time (UT)	Lon (°)	Lat (°)	Accuracy	Radartype	Mode
1	12:45	21.35	72.35	P	FR7112/6	2
2	12:46	24.60	71.02	P	RL1210XX	1
3	12:46	26.31	73.76	R	R10XX	2
4	12:47	28.95	74.85	P	FR2115BB/4	1
5	12:48	30.65	74.69	R	Unknown	-

Tabell 1.1 Eksempel på dataprodukt som sendes ned til bakken. Her vises data for noen minutter av et fiktivt pass over Barentshavet. Fartøyene nummereres i den rekkefølge de blir observert, og tidspunkt for observasjonen samt beregnet lengde- og breddegrad oppgis. Nøyaktigheten på posisjonsangivelsen indikeres med P (precise) eller R (rough) og radar type og modus angis hvis mulig.

Satellitten styres fra kontrollsenteret via en bakkestasjon (for eksempel TSS i Tromsø). Bakkestasjonen vil i tillegg bli brukt til nedlesning av rådata for tilfeller der man ønsker å gjøre grundigere analyser på bakken. Dette kan være nødvendig når nye typer emittere introduseres i det miljøet man observerer, eller når man ønsker å studere et helt nytt og ukjent signalmiljø.

Typisk anvendelse av satellitten vil være rutinemessig havovervåkning i nordområdene (Barentshavet, Bjørnøya, Smutthullet, Jan Mayen) der satellitten detekterer, lokaliserer og klassifiserer aktive navigasjonsradarer og sender informasjonen til bakken i sanntid. Satellitten skal også kunne ta opp en 40 sekunders sekvens av radarpulser fra et hvilket som helst område av jordkloden og lagre disse dataene (i form av rådata) ombord fram til nedlesning til bakkestasjon i Norge innen 6 timer. Dette kan det for eksempel være aktuelt å gjøre i områder hvor norske styrker er på utenlandsoppdrag. Dataene vil da bli grundig analysert på bakken i ettertid for å kartlegge emittermiljøet i det aktuelle området.

Fase-A studien for NSAT-1 har i hovedsak fokusert på den generelle nytten av en nasjonal havovervåkningssatellitt og i mindre grad sett på mer spesielle militære anvendelser. For å evaluere den sivile nytten av NSAT-1 er det nødvendig å vurdere konseptet opp mot allerede eksiste-

rende samt planlagte systemer for fartøysovervåkning. Dette vil vi gjøre i kapittel 2. For militære formål vil også andre frekvensområder enn X-bånd være interessante. Muligheten for å gjøre observasjoner i lavere frekvensbånd (S-, C-bånd) samt bruk av flerfrekvent sensor vil bli diskutert i kapittel 3. Til slutt vil vi i kapittel 4 diskutere hvordan et fartøys bevegelse påvirker deteksjonsnøyaktighet og dekningsområde.

## 2 NSAT-1 I FORHOLD TIL KOOPERATIVE OVERVÅKNINGSSYSTEMER

To nye sivile kooperative systemer for fartøysovervåkning er i dag på vei inn:

- Universal Shipborne Automatic Identification System (AIS)
- Satellittsporing av fiskefartøy

Disse vil bli nærmere beskrevet i avsnittene 2.1 og 2.2 nedenfor. I avsnitt 2.3 vil vi se på hva NSAT-1 kan bidra med i denne sammenhengen.

### 2.1 AIS

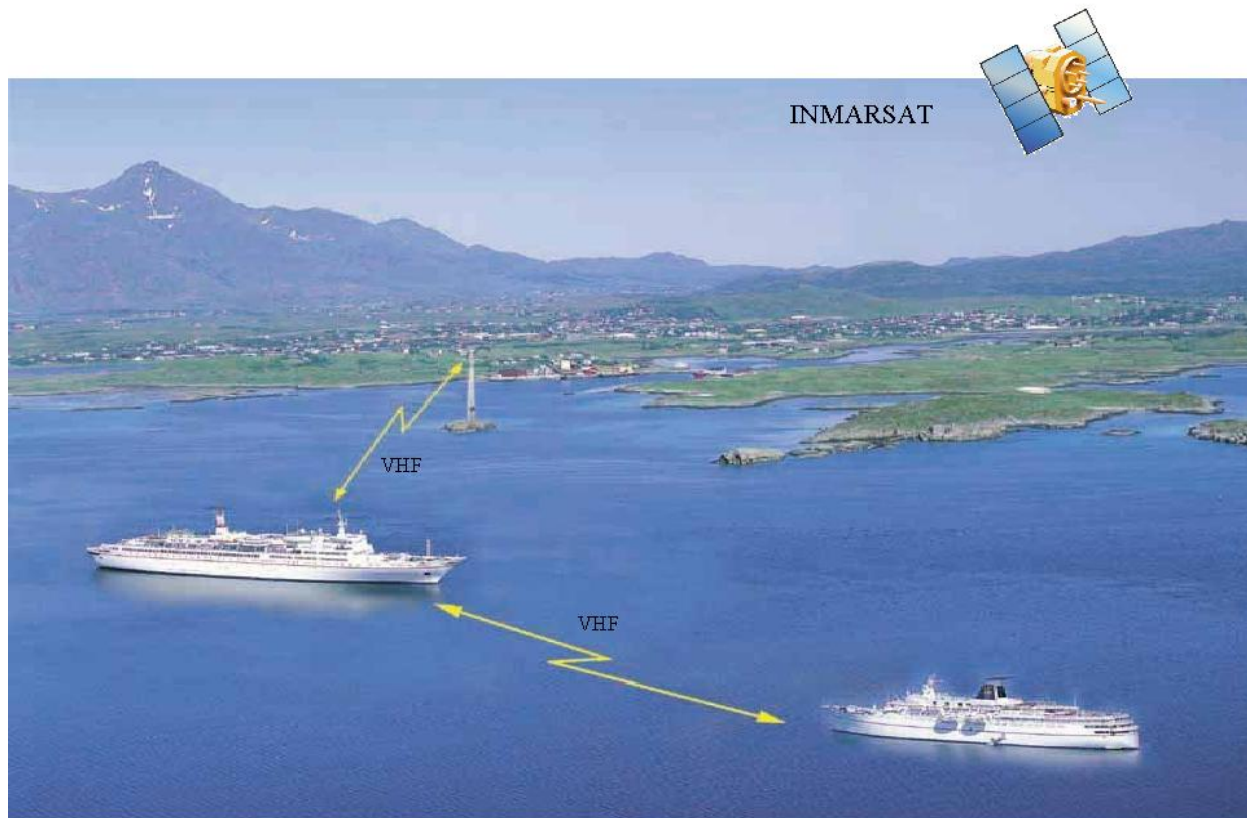
AIS gir detaljert informasjon om hvert enkelt fartøy til andre fartøy i nærområdet samt kystmyndigheter. I henhold til SOLAS vil AIS bli påbudt fra og med 1. juli 2002. Påbudet omfatter følgende SOLAS-fartøy:

- alle passasjerskip (>12 personer)
- alle fartøy større enn 300 GT som ferdes internasjonalt
- alle lasteskip større enn 500 GT som ferdes nasjonalt

Det er foreløpig uklart om større fiskefartøy omfattes av påbudet. Militære fartøy er ikke omfattet. Systemet skal fases inn over perioden 1. juli 2002 til 1. juli 2008.

Hovedelementene i AIS er en transponder til bruk på fartøyene samt basestasjoner på land. Transponderen vil bestå av 1 VHF-sender, 2 VHF TDMA-mottakere, 1 VHF DSC-mottaker samt et grensesnitt for "Long Range" AIS-link. Informasjon om fartøyets identitet, posisjon, kurs, lengde, type, last, bestemmelsessted, etc. sendes automatisk ut på det maritime VHF-båndet. Rekkevidden er typisk ~20 NM for fartøy-til-fartøy kommunikasjon og noe lengre for fartøy-til-land (avhengig av basestasjonens plassering og høyde). Informasjon om fartøyets posisjon og kurs sendes ut med intervaller fra 2 s – 3 min (avhengig av hvordan fartøyet beveger seg), mens informasjon om statiske reisedata sendes hvert 6. min. Det vil også være mulig å utveksle korte meldinger mellom to eller flere fartøy. AIS kan håndtere mer enn 2000 rapporteringer per minutt, og benytter "Self-Organizing Time Division Multiple Access" (SOTDMA)-teknologi for å organisere informasjonsutvekslingen. Fartøy utenfor kystområdene kan etter behov kalles opp av kystmyndighetene for overføring av informasjonen via satellitt (Inmarsat). Inmarsat har dekning opp til ca. 75°N. Konseptet er illustrert i Figur 2.1.

I forbindelse med norsk tilpasning til Schengen, er det utarbeidet et nytt forslag til kystovervåkning. Det foreslås å bygge ut full AIS- og radardekning langs hele Norskekysten, noe som vil gi muligheter for komplett sporing, samt identifisering av fartøy som fører AIS, innenfor kystradarens rekkevidde. Det er foreløpig uklart om dette vil bli vedtatt i Stortinget.



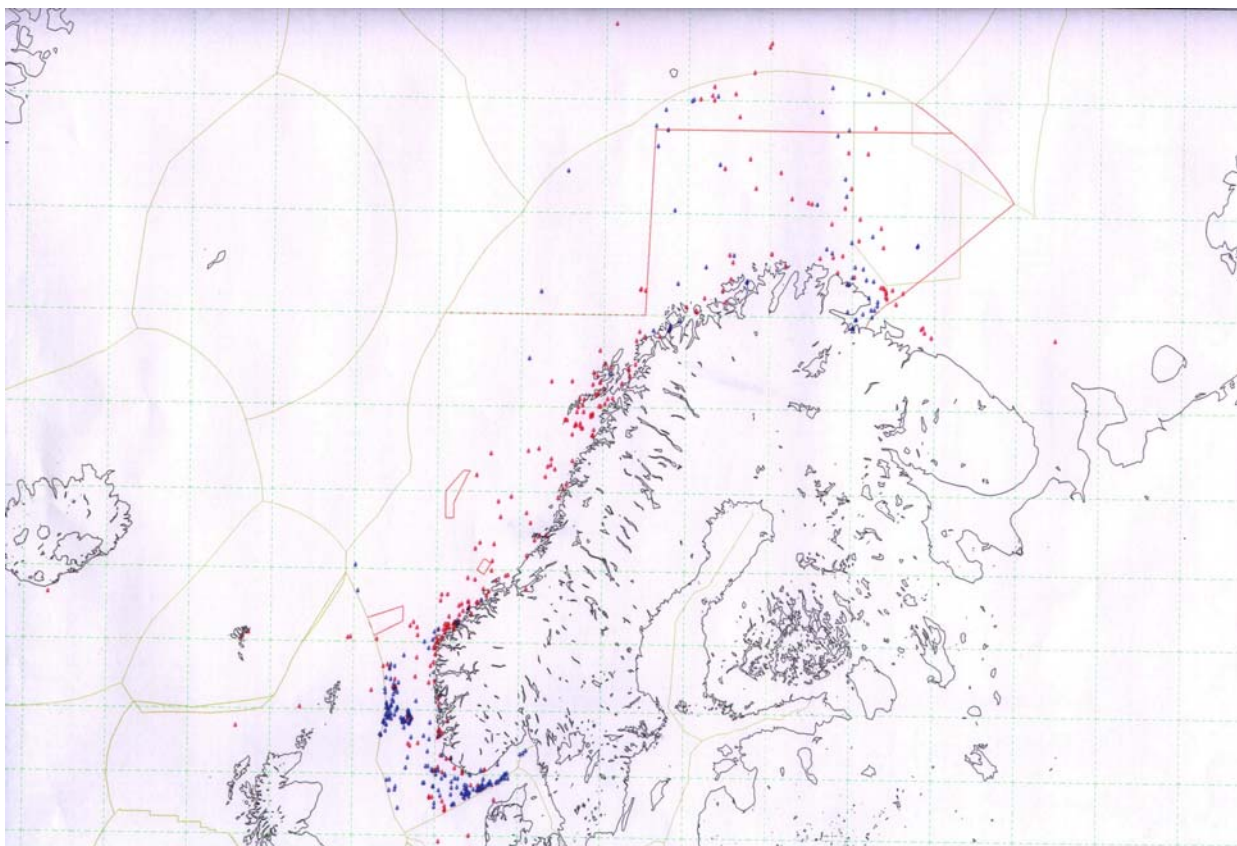
*Figur 2.1 Universal Shipborne Automatic Identification System (AIS). En transponder ombord i fartøyene sender ut informasjon om fartøyets identitet, posisjon, kurs, m.m. på det maritime VHF-båndet. Informasjonen mottas av fartøy i nærområdet samt basestasjoner på land (når disse er innenfor rekkevidde). Det vil også være mulig å overføre informasjonen via satellitt.*

## 2.2 Satellittsporing av fiskefartøy

Norge har en avtale med EU (samt enkelte andre land, bl.a. Russland og Island) om satellittsporing av fiske- og fangstfartøy. Avtalen omfatter fartøy større enn 24 m og trådte i kraft i januar 2000. Dette gjelder primært havgående fiskefartøy.

Satellittsporingen foregår via ARGOS eller Inmarsat C, og fartøyene er pliktige til å melde fra om posisjonen sin (til en nøyaktighet innenfor 500 m) hver andre time. Hvert land har ansvar for sporing av egne fartøy. Norge har innført strengere krav for sine fartøy enn EU og krever melding om posisjon samt kurs og fart én gang i timen for norske fiskefartøy. Hvert land har et "Fisheries Monitoring Centre" (FMC) som kommuniserer med de andre landenes FMC. Informasjon om egne fartøy i utenlandske farvann sendes til aktuelle land, og tilsvarende mottar man informasjon om utenlandske fartøy som befinner seg i egne farvann. Figur 2.2 viser hvordan informasjonen kan presenteres grafisk.

Med dette systemet vil norske fiskerimyndigheter til enhver tid ha oppdatert informasjon om større norske og utenlandske fartøy i norske farvann samt norske fiskefartøy i utenlandske eller internasjonalt farvann. Det er ikke pålagt utveksling av sporingsdata for Svalbardsonen, så i dette området vil vi kun ha informasjon om norske fiskefartøy. Inmarsat C har bare delvis dekning i Svalbardsonen, og fartøy som befinner seg her skal derfor lagre informasjonen fram til neste gang de oppnår kontakt med satellitten.



*Figur 2.2 Satellittsporing av fiskefartøy. Et øyeblikksbilde som viser en oversikt over norske (røde) og utenlandske (blå) fiskefartøy i norske havområder på et gitt tidspunkt. De ansvarlige myndigheter får bildet opp på dataskjermen og kan skaffe seg mer informasjon om hvert enkelt fartøy ved å gå inn og 'klikke' på det. Bildet er gjengitt med tillatelse fra Fiskeridirektoratet.*

### 2.3 NSAT-1's bidragmuligheter

Kooperative overvåkningssystemer er i dag i ferd med å etableres i våre farvann. Satellittsporing av fiskefartøy samt den planlagte innføringen av AIS vil gi en vesentlig forbedret overvåkning av skipstrafikken. Følgende fartøy omfattes imidlertid *ikke* av AIS eller satellittsporing:

- militære fartøy
- fartøy < 300 GT (dersom det ikke er et passasjerskip eller fiskefartøy)
- fartøy < 500 GT som kun ferdes nasjonalt (dersom det ikke er et passasjerskip eller fiskefartøy)
- fiskefartøy < 24 m
- lystbåter

Alle havområder dekkes heller ikke like godt av disse systemene. AIS gir først og fremst god dekning i kystfarvann, mens åpne havområder, spesielt polområdene, er langt dårligere dekket. Satellittsporing av fiskefartøy har på sin side god dekning også i åpne havområder, men fartøysinformasjonen utveksles kun med de land som Norge har avtale med. Det er verdt å merke seg at de fleste av de 13 000 registrerte norske fiskefartøyene er små, og ikke spores av satellitt.

Vi vil nedenfor se nærmere på hva NSAT-1 kan bidra med i overvåkingen av norske havområder.

### 2.3.1 Langs kysten

a) I dagens situasjon med delvis radardekning samt satellittsporing vil følgende være dekket:

- sporing av alle fartøy innenfor radardekning
- sporing og identifikasjon av større norske og utenlandske fiskefartøy

NSAT-1's mulige bidrag:

- radarklassifisering av fartøy
- deteksjon av fartøy utenfor radardekning

b) Med full radardekning, full AIS utbygging samt satellittsporing vil følgende være dekket:

- full sporing av alle fartøy
- identifikasjon av alle AIS-fartøy
- identifikasjon av større norske og utenlandske fiskefartøy

NSAT-1's mulige bidrag:

- hjelpe til med å identifisere fartøy som ikke omfattes av (eller ikke respekterer) AIS eller satellittsporing

### 2.3.2 Åpne havområder

For åpne havområder (Svalbardsonen unntatt) vil følgende være dekket:

- sporing og identifikasjon av norske og utenlandske fiskefartøy

I tillegg vil det være mulig å kalle opp AIS-fartøy via Inmarsat for overføring av informasjon om fartøyets posisjon, identitet etc. Det er imidlertid neppe realistisk å se for seg noen automatisk overføring av informasjon fra AIS-fartøy via Inmarsat i nærmeste fremtid, da Inmarsats kapasitet allerede er sterkt belastet.

NSAT-1's mulige bidrag:

- deteksjon og radarklassifisering av alle fartøy (inklusive AIS-fartøy) som ikke omfattes av satellittsporingen
- deteksjon og radarklassifisering av norske og utenlandske fiskefartøy som ikke overholder påbudet om satellittsporing

### 2.3.3 Svalbardsonen

Følgende vil være dekket:

- sporing og identifikasjon av *norske* fiskefartøy

Informasjonen man her får vil typisk være "gammel" (fra noen timer opp til flere dager) siden Inmarsat kun har dekning til enkelte tider av døgnet i dette området. Muligheten for å kalle opp AIS-fartøy via Inmarsat vil også være sterkt begrenset.

NSAT-1's mulige bidrag:

- deteksjon og radarklassifisering av alle andre fartøy (inklusive utenlandske fiskefartøy og AIS-fartøy) enn norske fiskefartøy

- oppdatert sporing og radarklassifisering av norske fiskefartøy
- deteksjon og radarklassifisering av norske fiskefartøy som ikke overholder påbudet om satellittsporing

## 2.4 Oppsummering

Satellittsporing av fiskefartøy samt den planlagte innføringen av AIS vil gi en vesentlig forbedret overvåkning av sivil fartøysaktivitet i årene framover. I den grad reglementet respekteres vil man via satellittsporing ha full oversikt over hvor alle større norske fiskefartøy befinner seg til enhver tid samt informasjon om utenlandske fiskefartøy som beveger seg i våre farvann. AIS vil gi detaljert informasjon om fartøy som ferdes langs kysten dersom systemet bygges fullt ut. Tilleggsverdien av observasjoner fra NSAT-1 vedrørende sivil trafikk og fiske vil således variere fra nesten ubetydelig nær kysten ved full kystradarutbygging, til betydelig i områder som Svalbardsonen, Smutthullet og Smutthavet. Militære fartøy er ikke omfattet av de kooperative systemene.

## 3 VURDERINGER AV FLERFREKVENT SENSOR

For havovervåkningstjenesten er det tatt utgangspunkt i frekvensområdet for navigasjon i X-bånd (9.3-9.5 GHz). For å betjene militære behov for ESM-støtte i forbindelse med andre typer radarer, spesielt maritime overflatesøkeradarer, luftvernradarer og mobile landbaserte systemer, er det gjort en studie i samarbeid med Ericsson Radar av muligheten for å utvikle en flerfrekvent sensor som forener deteksjon og lokalisering i andre frekvensbånd med X-bånd konseptet.

### 3.1 Aktører

Det finnes en rekke aktuelle aktører både til lands og til sjøs som opererer innenfor ulike deler av frekvensområdet 2-20 GHz. Vi vil gi en kort beskrivelse av disse nedenfor.

#### 3.1.1 Radarsystemer til sjøs

*Sivil skipsfart* har i tillegg til X-bånd et navigasjonsfrekvensområde i S-bånd (2.9-3.1 GHz). Åpningsvinkel, EIRP, pulsrepetisjonsrate, og duty-cycle for disse radarene er omtrent som for X-bånd. Posisjonsbestemmelse og spesielt karakterisering av radarene vil kunne bidra til mer presis identifikasjon og sporing av fartøy.

*Antiluft- og søkeradarer* på marinefartøy opererer i S-bånd (2-4 GHz). Disse har et dekningsområde i elevasjon som er vesentlig større enn for navigasjonsradarer. Duty-cycle og sendereffekt er også større enn for navigasjonsradarer, noe som gir bedre mulighet for posisjonsangivelse. Noen (mindre) luft- og overflatesøkeradarer ligger i C-bånd (4-6 GHz).

*Våpenradarer* opererer i frekvensområdet 8.5-10.5 GHz. Gamle systemer har en PRF på 2-5 kHz, mens nye systemer kan ha en PRF opp mot 15-20 kHz.

Det nye sivile *rapporteringssystemet AIS*, som sender posisjon, hastighet og fartøysinformasjon på VHF, vil i tillegg gi en mulighet for å motta høynivå data direkte.

### 3.1.2 Landbaserte radarsystemer

*Faste antiluft radarer* opererer i frekvensområdet 2-5 GHz med et dekningsområde i elevasjon tilsvarende som for maritime systemer. De har en pulseffekt på mer enn 25 kW og en duty-cycle på 1-3 %.

*Mobile systemer* opererer på 3-8 GHz og har en noe lavere pulseffekt enn faste installasjoner. De har imidlertid høyere duty-cycle.

*Våpenradarer* ligger i frekvensområdet 8-20 GHz. Disse har typisk noe lavere effekt enn mobile søkeradarer, men høyere duty-cycle.

## 3.2 Ytelse

Posisjonsnøyaktigheten til NSAT-1's X-bånd sensor er beregnet for interferens-støy-begrenset signalbehandling; støybidraget fra sidelobedeteksjon i passbåndet er omkring 27 dB høyere enn den termiske støyen, og SINR (Signal-to-Interference-and-Noise Ratio) er brukt istedet for SNR (Signal-to-Noise Ratio). Presisjonen av posisjonsangivelsen er proporsjonal med presisjonen av målingen av ankomstvinkelen AOA (Angle Of Arrival)

$$\sigma_{AOA} = \frac{2 \cdot \lambda / d}{\pi \sqrt{n \cdot SINR}},$$

der  $n$  er antall radarpulser i observasjonstiden,  $\lambda$  er bølgelengde og  $d$  er avstand mellom fase-senterne. Både signal og interferens er avhengig av  $\lambda/d$  slik at  $\sigma_{AOA}$  blir proporsjonal med  $\lambda$  for interferens-støy-begrenset deteksjon når antenedimensjon og -inndeling holdes uforandret. Teoretisk sett blir dermed posisjonsnøyaktigheten i S-bånd omtrent en faktor 3 dårligere relativt til X-bånd. Det er imidlertid mindre strenge krav til tidskoordinering og faselinearitett ved lavere frekvenser, og relativt til de simuleringer som er gjort for X-bånd vil trolig presisjonen i S-bånd derfor bare være en faktor 2.5 dårligere. For X-bånd er posisjonsnøyaktigheten midt i deknings-sporet omkring 50 m på langs og 300 m på tvers av sporet, mens de tilsvarende tallene for S-bånd vil være henholdsvis 125 m og 750 m. Vårt kriterium om 1 km nøyaktighet for posisjons-angivelse ser derfor ut til å kunne overholdes for deler av sporet også for S-bånd. Deteksjon av navigasjonsradarer i S-bånd i tillegg til X-bånd vil kunne gi et viktig bidrag til havovervåk-ningstjenesten, spesielt med tanke på fartøyskategorisering.

Patch-antenne teknologien er smalbandet, og en antenne som beskrevet for X-bånd vil være be-grenset til en båndbredde på ca 500 MHz. Det synes mulig å lage en dual- eller multiband an-tenne der antennepanelene integreres i samme struktur. Ved en multiband antennestruktur vil posisjonsnøyaktigheten i de enkelte bånd være uforandret (fordi det mottatte signalet er inte-ferens-støybegrenset og ikke termisk-støybegrenset). Ved valg av frekvensbånd og båndbredde må bakgrunnsstøynivået vurderes i hvert tilfelle.

Nøyaktigheten i X-bånd er basert på integrasjon av mottatt signal over hele det tidsrommet som kilden er synlig. En slik integrasjon vil det være nødvendig å gjøre for alle frekvensbånd. For operative formål må det dermed gjøres en vurdering av hvorvidt man skal tidsdele en mottaker, og dermed redusere posisjonsnøyaktigheten eller dekningen, eller om det skal lages parallelle



mottakerkjeder for å beholde både nøyaktighet og dekning. Innvirkning på sensorkompleksitet og kraftforbruk m.m. må vurderes for hvert tilfelle.

Sensorens åpningsvinkel i elevasjon kan holdes som i X-bånd ved å gjøre deteksjon på en større del av antenna ved lavere frekvenser. I azimuth vil det være ønskelig å gjøre loben bredere for å forlenge observasjonstiden.

Kapasitet i form av antall fartøy i synsfeltet før samtidige pulser og metning inntreffer er avhengig av duty-cycle, og må studeres for konkrete eksempler. Antall søkeradarer er imidlertid forventet å være vesentlig lavere enn antall navigasjonsradarer.

### 3.3 Oppsummering

Det ser ut til å være mulig å gjøre gode observasjoner fra en satellitt som NSAT-1 også på lavere frekvenser enn X-bånd. Posisjonsnøyaktigheten er i prinsippet proporsjonal med bølgelengden, men i praksis vil forskjellen trolig bli mindre fordi det er mindre strenge krav til mottakeren på lavere frekvenser. Høyere duty-cycle (som typisk er tilfellet for militære radarer) bidrar også til å bedre posisjonsangivelsen. For S-bånd navigasjonsradar blir posisjonsnøyaktigheten omkring 2.5 ganger dårligere enn for X-bånd navigasjonsradar, mens for S-bånd antiluft- og søkeradar blir oppløsningen trolig bedre enn for S-bånd navigasjonsradar siden duty-cyclen for disse er høyere. Siden antallet aktører med antiluft-radar forventes å være lavt, forventes ikke økning av antall sammenfallende radarpulser relativt til X-bånd. Sporbredden vil kunne holdes på 1200 km også for lavere frekvenser enn X-bånd.

Det synes mulig å lage et mottakersystem bestående av det allerede foreslåtte X-bånd system pluss ett eller flere av de andre frekvensbåndene. X-bånd ytelsen forringes i utgangspunktet ikke ved et multibånd design. Vi vil imidlertid understreke at NSAT-1 er en demonstrasjonssatellitt som skal evaluere teknologien og tjenesten som et ledd i utviklingen av et operativt konsept. Det er ønskelig å holde NSAT-1 konseptet så enkelt at det lar seg demonstrere innenfor de planlagte økonomiske og tidsmessige rammer. Implementering av en flerfrekvent sensor vil derfor være mer aktuelt å vurdere for de etterfølgende operative satellittene.

Det synes også mulig å motta signal fra AIS på NSAT-1. Dette vil imidlertid kreve en egen VHF-antenne. På grunn av antennes store åpningsvinkel vil det bli en utfordring å skille AIS-meldinger fra alle fartøyene i hovedloben.

## 4 HVORDAN ET FARTØYS BEVEGELSE PÅVIRKER DETEKSJON AV NAVIGASJONSRADAREN

Posisjoneringsnøyaktigheten for NSAT-1 er avhengig av antall gjenkjente radarpulser som detekteres og sammenholdes i beregningen av et fartøys posisjon. Tallene for posisjonsnøyaktighet i Fase-A rapporten (Narheim et al. (1)) er basert på at fartøyet ligger helt rolig på sjøen. Dette vil i praksis ikke være tilfelle. Når det er bølger på vannet vil fartøyet rulle og stampe, og dette sammen med at navigasjonsradaren roterer, fører til at fartøyet radarstråle har et komplekst bevegelsesmønster i rommet. Dette gir en viss sannsynlighet for at radarstrålen ikke vil bli detektert av satellitten. I tillegg vil fartøy utenfor det nominelle dekningsområdet plutselig kunne bli

synlige. I dette kapitlet diskuteres derfor hvordan et fartøys bevegelser i bølgene påvirker sannsynligheten for deteksjon av radarstrålen.

Satellitten beveger seg raskt. Et fartøy kan f. eks. være i dekningsområdet til satellittens antenne i ca 20 sekunder, hvilket betyr at man typisk vil ha 8 radarsveip dersom radaren roterer en gang i løpet av 2.5 sekunder. Hvert sveip vil gi et titalls detekterte pulser. Det eksakte antall detekterte pulser per sveip avhenger av bl. a. pulsrepetisjonsintervallet (PRI), radarens åpningsvinkel og terskelsetting i satellittens detektor. Antall registrerte radarsveip er derfor en viktig parameter for posisjonsbestemmelsen. For mer detaljerte beregninger må man også ta antennediagrammene for radar og NSAT-sensor med i betraktningen for hver enkelt puls. Dette vil bli meget kompliserte beregninger som vi ikke skal gå inn på her.

#### 4.1 Bølger

En bølge karakteriseres ved parametrene som bølgelengde, periode og amplitude. Generelt kan en si at det eksisterer en sammenheng mellom bølgelengde og periode, mens amplituden er gitt ved statistiske relasjoner.

Istedet for amplitude opererer en vanligvis med signifikant bølgehøyde, som er definert som middelerdien av den høyeste tredjedelen av individuelle bølgehøyder i en 20 minutters periode. Individuell bølgehøyde er definert som høyden mellom bølgedal og etterfølgende bølgetopp og er derfor det dobbelte av amplituden for samme bølge. Siden signifikant bølgehøyde er en middelerdi vil alltid maksimal individuell bølgehøyde være større enn den signifikante bølgehøyden, normalt med en faktor på ca. 1.6.

Gjennomsnittlige bølgeparametre for de hyppigst forekommende sjøtilstandene i Nord-Atlanteren er gitt i Tabell 4.1. Vi ser av disse tallene at et fartøy typisk vil oppleve to eller tre bølgeperioder i løpet av den tiden satellitten passerer.

Sjøtilstand	Hyppighet	Sign.bølgehøyde	Vindstyrke	Periode
3	24 %	0.88 m	13 knop	7.5 s
4	28 %	1.88 m	19 knop	8.8 s
5	21 %	3.25 m	24 knop	9.7 s

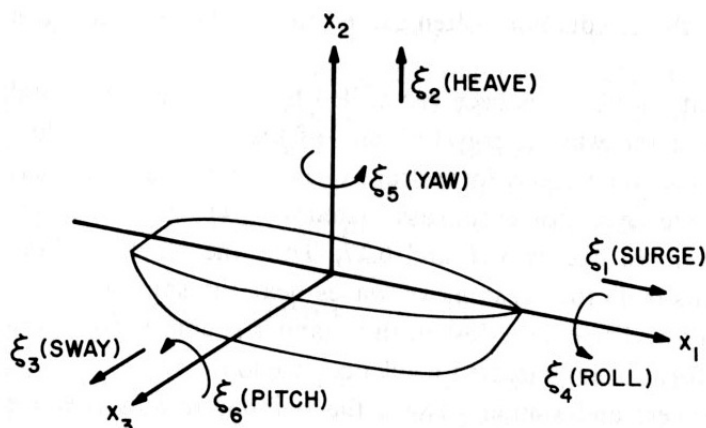
Tabell 4.1 Bølgeforhold i Nord-Atlanteren (Lee et al. (2)).

Selv om bølgehøyden er gitt ved statistiske relasjoner er den bestemt av ulike forhold. Strøklengden er distansen en bølge kan reise fritt uten at den blir stoppet. Jo lengre strøklengde desto større bølger. Dette er en av grunnene til at bølgene i Sydishavet er så store, bølgene går rundt jorda uten at de blir stoppet. I norske farvann ser en det samme, ved at nordlige vinder i Nordsjøen vil gi større bølgehøyder en tilsvarende vind fra øst. Bølgehøyden er selvfølgelig også bestemt av vindstyrken, og sterkere vind gir større bølgehøyder.

#### 4.2 Fartøysdynamikk

Et fartøy vil etter hvert som det blir påvirket av vind og bølger bevege seg på et komplisert vis, definert ved fartøyet seks frihetsgrader (se Figur 4.1). Av disse frihetsgradene er det hovedsakelig rull og stamp (pitch) som vil ha betydning for radarstrålen sett fra satellitten.

Det er store forskjeller på hvordan forskjellige fartøy blir påvirket av bølgers bevegelse. Hvordan fartøyene er lastet, deres lengde og skrogform er parametere som spiller inn. Det er derfor vanskelig å gi noen generelle verdier for hvor store vinkler et fartøy vil rulle og stampe, selv innenfor samme fartøytype.



Figur 4.1 De ulike frihetsgradene for et fartøy.

Det er allikevel kan si, er at et mindre fartøy vil bevege seg mer enn et større fartøy. Tabell 4.2 viser ulike verdier for dobbel rulle- og stampeamplitude for forskjellige fartøy. Tabellen viser at fiskefartøy vil ha de største utslagene. Tankskip vil omtrent ikke ha stampeamplitude, mens de vil ha en liten rulleamplitude under ugunstige forhold. Med ugunstige forhold menes ikke nødvendigvis bare usedvanlig hardt vær. Dersom perioden på bølgene tilsvarer egenfrekvensen til fartøyet, vil det kunne få meget store krengetninger.

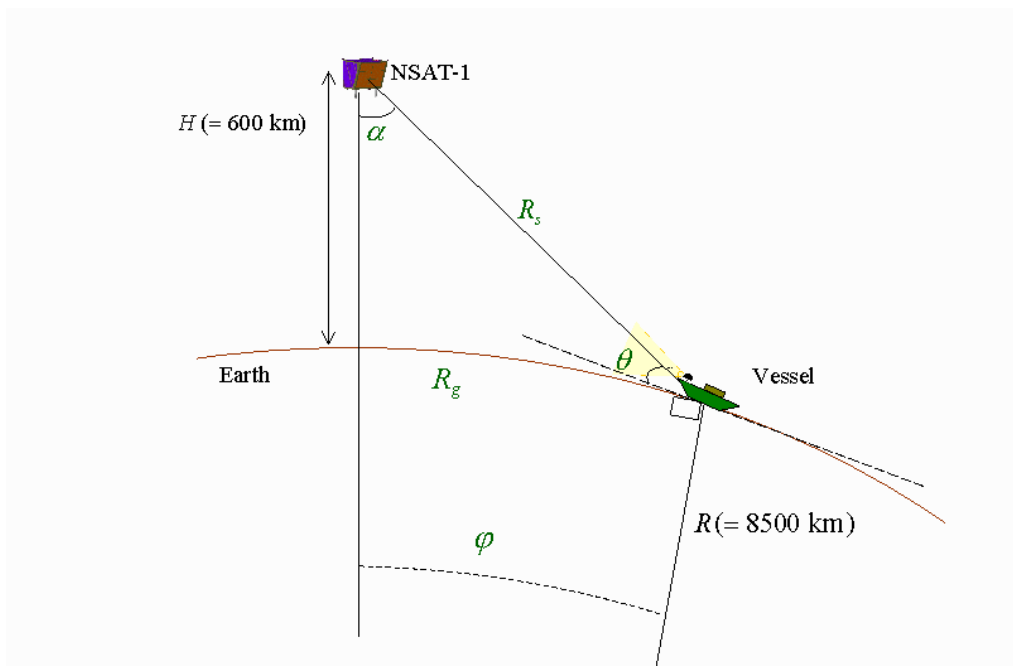
Fartøytype	Dobbeltamplitude for rulling (°)	Dobbeltamplitude for stamping (°)
Fiskefartøy	15-20	5-7
Containerskip	7-15	Noen få
Supplybåt	10-15	4-7
Tankskip	5-8	1-2

Tabell 4.2 Typiske verdier for stamp og rull for ulike fartøy ved ugunstige forhold. Tallene er et uttrykk for signifikant dobbel amplitude og et fartøy vil derfor krenge til en av sidene med halvparten av hva som står i tabellen. Tallene er meget generelle og de er basert på samtaler med Egil Jullumstrø fra Marintek i Trondheim og Kjell Arne Nyhus fra DSND (Det Søndenfjeldske dampskip selskap).

### 4.3 Sensoren

Satellittsensoren som brukes er 600 km over bakken og beveger seg med en hastighet på ca 7.6 km/s. Åpningsvinkelen på sensoren er  $10.5^\circ$  i elevasjon og  $7.5^\circ$  i azimuth. Sensoren peker skrått ned mot jorden, se Figur 4.2. Her er også satellittens ulike parametere og de aktuelle vinklene gitt.

Navigasjonsradarene peker rett fram med en åpningsvinkel på ca  $25^\circ$  ( $\pm 12.5^\circ$ ) i elevasjon, se Figur 4.3. I ytterkant av observasjonsområdet for NSAT-1 vil satellitten se tilnærmet rett inn i radarens hovedlobe. Som vi ser av Tabell 4.2 vil et fartøy som regel ikke rulle eller stampe så mye som  $12.5^\circ$ . For fartøy nær horisonten vil derfor samtlige radarsveip kunne registreres av satellitten.

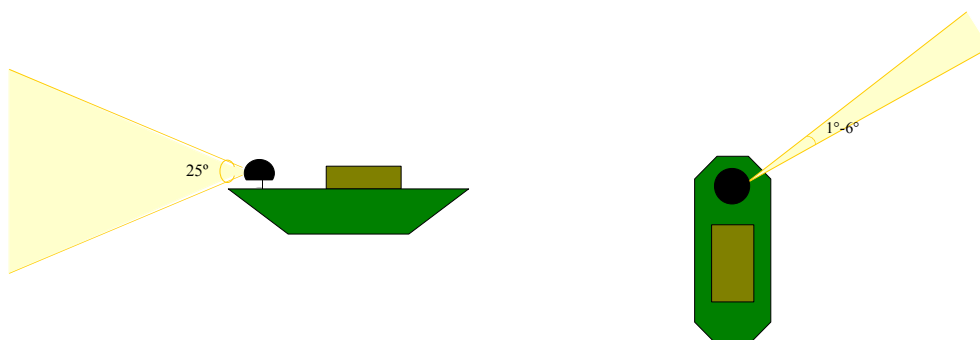


Figur 4.2 Geometriske betraktninger for NSAT-1.

Innerkanten av observasjonsområdet er karakterisert nettopp ved at man er på flanken av radarens hovedlobe. I dette området vil fartøyets bevegelse i bølgene føre til at ca halvparten av sveipene bommer på satellitten.

Midt i sporet vil radarsveip sporadisk kunne bomme på satellitten. På grunn av forskjellen i vinkelutslag mellom rull og stamp, vil satellitten miste noen flere sveip fra fartøy som går parallelt med satellittbanen (azimuth) enn fra fartøy som beveger seg normalt på banen (range). Effekten av fartøyets bølgebevegelse på posisjonsnøyaktigheten, vil altså være en reduksjon av posisjonsnøyaktighet i den indre del av sporet i forhold til hva som er sagt i Fase-A rapporten. I tillegg vil problemet med de-interleaving kompliseres noe, fordi man ikke vet hvor mange sveip man vil motta selv om radarens rotasjonsperiode er kjent a priori.

Til gjengjeld vil radarsveip fra en del fartøy som normalt ville ligget for nær nadir til å kunne detekteres av satellitten, nå kunne detekteres. Dette fordi fartøyets bevegelser gjør at radarens hovedlobe på noen få sveip vil peke mer oppover og treffe satellitten. Det vil være snakk om registrering av ett til tre sveip for slike fartøy.



Figur 4.3 Åpningsvinkler i elevasjon (venstre) og azimuth (høyre) for typiske navigasjonsradarer.

#### 4.4 Oppsummering

Vi ser altså at mens man i Fase-A rapporten antok registrering av et konstant antall sveip fra hvert enkelt fartøy, vil havbølgene gi mer kompliserte forhold. For fartøy nær horisonten vil samtlige sveip i overflyvningsperioden bli detektert. Antall detekterte sveip vil så avta innover i sporet. Ved innerkanten av NSAT-1's nominelle dekningsområde vil bare halvparten av radar-sveipene i virkeligheten bli mottatt.

I praksis vil altså fartøysbevegelser føre til et enda bredere dekningsområde, men redusert posisjonsnøyaktighet. Det er imidlertid interessant at antall registrerte sveip (og dermed antall mottatte pulser) avtar der hvor nominell nøyaktighet er best. Her kan man jo klare seg med noe færre pulser for å oppnå posisjonskravet på 1 km.

Vi kan konkludere med at fartøyenes bevegelse i havbølgene vil gi noe redusert posisjonsnøyaktighet og et bredere dekningsområde i forhold til analysene fra NSAT-1 Fase-A. Dette vil være mest merkbart for fiskebåter, lystfartøy og marinefartøy som ruller mye, mens avvikene vil være mindre for fartøy som ligger mer stabilt i sjøen.

## 5 KONKLUSJON

FFI har gjennomført en full Fase-A studie av en norsk småsatellitt for havovervåkning. Som et supplement til Fase-A rapporten er det i denne rapporten sett på tre ulike aspekter av betydning ved videre vurdering av NSAT-1 konseptet:

- kooperative overvåkningssystemer
- andre frekvensbånd
- innvirkning av havbølger på deteksjon og dekning

De viktigste konklusjonene er:

- De kooperative overvåkningssystemene vil vesentlig forbedre informasjonen om sivil fartøysaktivitet i årene framover.
- Tilleggsverdien av observasjoner fra NSAT-1 vedrørende sivil trafikk og fiske vil variere fra nesten ubetydelig nær kysten, til betydelig i områder som Svalbardsonen, Smutthullet og Smutthavet.
- Militære fartøy er unntatt fra de kooperative systemene.
- En S-bånd kapasitet i tillegg til det X-bånd systemet som er skissert i Fase-A rapporten, er sterkt ønskelig for operative satellitter.
- Fartøyenes bevegelse i havbølgene vil gi noe redusert posisjonsnøyaktighet og et bredere dekningsområde i forhold til analysene fra NSAT-1 Fase-A.

**Litteratur**

- (1) Narheim Bjørn T, Eriksen Torkild, Høye Gudrun K, Sagsveen Bendik A, Wahl Terje (2001): A Norwegian micro-satellite for ocean surveillance, NSAT-1 Phase-A report, FFI/RAPPORT-2001/03049, In confidence
- (2) Lee W. T., Bales W. L. & Sowby S.E. (1985): Standardized wind and wave environments for North Pacific Ocean Areas, R/SPD-0919-02, DTNSRDC, Washington D.C.
- (3) The International Convention for the Safety of Life at Sea (SOLAS), 1974 m/tillegg

## FORDELINGSLISTE

**FFIE**                      **Dato:** 12 desember 2001

RAPPORTTYPE (KRYSS AV) <input checked="" type="checkbox"/> RAPP <input type="checkbox"/> NOTAT <input type="checkbox"/> RR	RAPPORT NR. 2001/05878	REFERANSE FFIE/763/170	RAPPORTENS DATO 12 desember 2001
RAPPORTENS BESKYTTELSESGRAD  UGRADERT		ANTALL EKS UTSTEDT  58	ANTALL SIDER  21
RAPPORTENS TITTEL NSAT-1: NYE MOMENTER VEDRØRENDE KOO- PERATIVE OVERVÅKNINGSSYSTEMER, FLER- FREKVENT SENSOR SAMT HAVBØLGERS INN- VIRKNING PÅ DETEKSJON OG DEKNING		FORFATTER(E) HØYE Gudrun K, ERIKSEN Torkild, LYNGVI Aleksan- der, NARHEIM Bjørn T, WAHL Terje	
FORDELING GODKJENT AV FORSKNINGSSJEF  Vidar S Andersen		FORDELING GODKJENT AV AVDELINGSSJEF:  Johnny Bardal	

### EKSTERN FORDELING

### INTERN FORDELING

ANTALL	EKS NR	TIL	ANTALL	EKS NR	TIL
1		Norsk Romsenter V/Bo Andersen P.O. Box 113, Skøyen OSLO	14		FFI-Bibl
1		FO/E v/Arve Dimmen	1		Adm direktør/stabssjef
1		FO/E v/Audun Strandnæs	1		FFIE
1		KNM T v/Kaptlt Stein Otto Hole	1		FFISYS
1		FKN v/Maj Bjarne Korsgård	1		FFIBM
1		FO/HST v/Maj Svein H Halvorsen	1		FFIN
1		FO/FST v/Oblt Espen Meeg	1		Terje Wahl, FFIE
1		FO/SST v/OK Per A Bakke	1		Bjørn T Narheim, FFIE
1		FKS v/Oblt Gunnar H Aarseth	1		Gudrun K Høye, FFIE
1		Ericsson Radar AS V/Per Atle Våland Hvamstubben 17 2013 SKJETTEN	1		Torkild Eriksen, FFIE
1		Kongsberg Defence and Aerospace V/Åge Skullestad P.O. Box 1003 3601 Kongsberg	1		Vidar S Andersen, FFIE
1		Kongsberg Spacetec AS V/Lennart Berger Prestvannvn. 38 9005 TROMSØ	1		Richard Olsen, FFIE
			1		Trygve Sparr, FFIE
			1		Hans Øhra, FFIE
			1		Svein Haavik, FFIE
			1		Johan Aas, FFIE
			1		Karsten Bråthen, FFIE
			1		Ole M Mevassvik, FFIE
			1		Svein Erik Hamran, FFIE
			1		Knut Eldhuset, FFIE
			1		Per Helge Andersen, FFIE
			1		Vegard Arneson, FFIE
			1		Bendik Sagsveen, FV
			10		Arkiv FFIE
					FFIeven

FFI-K1

Retningslinjer for fordeling og forsendelse er gitt i Oraklet, Bind I, Bestemmelser om publikasjoner for Forsvarets forskningsinstitutt, pkt 2 og 5. Benytt ny side om nødvendig.