

Målekampanjer med PicoSAR i Oslo havn og Kjellerområdet høsten 2011

Atle Onar Knapkog og Nina Ødegaard

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI)

09. november 2011

FFI-rapport 2011/01924

1158

P: ISBN 978-82-464-1989-3

E: ISBN 978-82-464-1990-9

Emneord

Radar

Radar - SAR

Godkjent av

Trygve Sparr

Prosjektleder

Johnny Bardal

Avdelingssjef

Sammendrag

Denne rapporten beskriver en serie av målinger som er gjort med radarsystemet PicoSAR fra helikopter i Oslo havn og Kjellerområdet høsten 2011. Rapporten er hovedsakelig en dokumentasjon av planlegging og gjennomføring av målingene.

Hovedformålet med målingene har vært kunnskapsoppbygging på Syntetisk Aperture Radar (SAR) og Invers Syntetisk Aperture Radar (ISAR) i forbindelse med maritim overvåkning. For å bli bedre i stand til å vurdere bildedannende radarsensorers reelle potensial og gi råd om bruk av slike sensorer har det vært behov for mer konkret kunnskap om radaravbildning under realistiske forhold. Data som nå er samlet inn skal blant annet gi bedre svar på hvordan avbildningsgeometri og fartøysbevegelser innvirker på SAR-bilder av fartøyer og deres omgivelser. Dataene skal videre benyttes til utvikling av ISAR-prosessering og målgjenkjenning og forsøk på forandringsdeteksjon.

De innsamlede dataene omfatter SAR-bilder av havneområdet og flere fartøyer fra mange forskjellige vinkler. Noen av fartøyene er avbildet både når de ligger til kai og når de er i bevegelse. For å dokumentere hva som avbildes i SAR-bildene er målene fotografert og videofilmet. For et av de mindre fartøyene er det også registrert posisjon og bevegelser med måleutstyr om bord.

Fire FFI-prosjekter fra to avdelinger har deltatt på målekampanjene. I tillegg til kunnskapsoppbygging på SAR og ISAR for maritim overvåkning har formålene vært å undersøke georefereringsnøyaktighet, bistatisk SAR og akustisk peiling av helikopter.

English summary

A series of measurements has been done with the radar system PicoSAR from a helicopter in Oslo harbour and the Kjeller area in September and October 2011. This report describes the planning and execution of the trial.

The main purpose of the measurements has been to gain knowledge of the potential and limitations of Synthetic Aperture Radar (SAR) and Inverse Synthetic Aperture Radar (ISAR) in the field of maritime surveillance. Experience with radar imaging under realistic conditions would be required in order to assess the potential of an imaging radar system and be able to give advice regarding the use of such sensors. The data collected in this trial will be used for analyzing how SAR images of a vessel are influenced by the imaging geometry and the motion of the vessel etc. They will further be used for experiments with ISAR processing, target recognition and change detection.

The collected data include SAR images of Oslo harbour and several vessels from many observation angles. Some of the vessels have been observed both as stationary and moving targets. Photographs and videos have been produced as ground truth for the SAR images. For one of the small vessels the positions and motions have been recorded with instruments on board.

Four FFI projects from two departments have contributed to the trial. Besides SAR and ISAR for maritime surveillance, the objectives have been testing of georeferencing accuracy, bistatic SAR and acoustic tracking of the helicopter.

Innhold

1	Innledning	7
2	Deltakere	7
3	Planlegging	8
3.1	Tid og sted for målinger	8
3.2	Avbildningsgeometrier	11
3.3	Operasjonsplaner	15
3.4	Målområder og fartøyer	16
3.5	Utstyr	18
4	Gjennomføring	18
4.1	Testmålinger 22.08.11	18
4.2	Avlyste målinger 13.09.11	19
4.3	Målinger 14.09.11	19
4.3.1	Radarmålinger	19
4.3.2	Instrumentert mål	19
4.3.3	Foto og video	20
4.3.4	Kommunikasjon	22
4.3.5	Radarreflektorer	22
4.3.6	Bistatisk SAR	22
4.3.7	Akustisk peiling	23
4.4	Målinger 20.09.11	24
4.4.1	Radarmålinger	24
4.4.2	Foto og video	25
4.4.3	Kommunikasjon	26
4.4.4	Radarreflektorer	26
4.5	Målinger 11.10.11	26
4.5.1	Radarmålinger	26
4.5.2	Foto og video	26
5	Resultater	28
5.1	SAR-bilder	28
5.2	Bistatisk SAR	32
5.3	Erfaringer	32
6	Konklusjon	33

1 Innledning

Denne rapporten beskriver en serie av målinger som er gjort med radarsystemet PicoSAR i Oslo havn og Kjellerområdet høsten 2011. Rapporten er hovedsakelig en dokumentasjon av planlegging og gjennomføring av målingene, mens resultatene vil bli formidlet senere.

Planene for en målekampanje med PicoSAR ble påbegynt ut fra behov i FFI-prosjekt Luftbåren overvåkning II (LUFO II). Da det viste seg at flere prosjekter kunne ha nytte av å delta, endte målekampanjene opp som et bredt samarbeid på tvers av avdelingsgrenser. Totalt har mer enn 10 personer fra 4 prosjekter deltatt.

Fra LUFO II sin side har hovedformålet vært kunnskapsoppbygging på Syntetisk Aperture Radar (SAR) og Invers Syntetisk Aperture Radar (ISAR) i forbindelse med maritim overvåkning. For å bli bedre i stand til å vurdere bildedannende radarsensorers reelle potensial og gi råd om bruk av slike sensorer har det vært behov for mer konkret kunnskap om radaravbildning under realistiske forhold. Data som nå er samlet inn skal blant annet gi bedre svar på hvordan avbildningsgeometri og fartøysbevegelser innvirker på SAR-bilder av fartøyer og deres omgivelser. Dataene skal videre benyttes til utvikling av ISAR-prosessering og forsøk på målgjenkjenning og forandringsdeteksjon. De er dessuten interessante med tanke på internasjonalt samarbeid, særlig i forbindelse med gruppen SET-163 under NATO RTO og en bilateral avtale med franske samarbeidspartnere.

Formålene til de andre FFI-prosjektene som har deltatt på målekampanjene har vært å teste georeferering, bistatisk SAR og akustisk peiling av helikopter.

2 Deltakere

Målekampanjene hadde deltakere fra prosjektene LUFO II, Støtte til F-35-programmet, OPEK II og Teknologier for militære kjøretøyer. LUFO II hadde ansvar for planlegging og gjennomføring av målinger med radarsystemet PicoSAR fra helikopter samt å skaffe foto, video og annen ”ground truth” fra målområdet. Kampflyprosjektet deltok med utplassering av radarreflektorer på bakken for testing av geolokaliseringsnøyaktigheten til radarsystemet. OPEK II benyttet måleutstyret sitt til testing av bistatisk, haikende SAR. Prosjekt Teknologier for militære kjøretøyer testet akustisk peiling av helikopteret. I tillegg bistod miljølaben med bevegelsesmålinger om bord på Nesoddferga, som vi hadde avtalt med rederiet Tide at vi kunne benytte som instrumentert mål mens den seilte sine ordinære ruter.

Hovedsensoren var PicoSAR. Dette er et kompakt og lett SAR-system som er utviklet av Selex Galileo Ltd i Skottland. Radaren har en aktiv antenne med fasestyring i asimut og opererer i X-bånd med vertikal polarisasjon. FFIs PicoSAR opereres fra et helikopter som leies inn fra HelikopterDrift på Kjeller. Figur 2.1 viser de ulike delene av systemet og monteringen i helikopteret.



Figur 2.1 PicoSAR i helikopter. Øverst fra venstre: Antenne, prosesseringsenhet og styring fra bærbar PC. Nederst montering i helikopteret. Antennen og prosesseringsenheten er montert i en kasse som festes i helikopterets bagasjerom. Radaren kan operere mens kassen og bagasjeromsluken er lukket ettersom radarsignalet passerer vegger av tre og glassfiber uten stor dempning

3 Planlegging

3.1 Tid og sted for målinger

Oslo er et velegnet sted for studier av fartøyer i havneområder. Danskebåtene og Kielfergene seiler regelmessig, en rekke cruiseskip besøker havnen sporadisk, og mange mindre fartøyer er i bevegelse eller ligger ved kaiene. Det er dessuten svært praktisk med kort avstand til FFI og HelikopterDrift sin base på Kjeller.

For å få datasett som egnet seg for testing av målgenkjenning var det ønskelig med avbildning av flere store fartøyer med lignende dimensjoner. Rutetidene til fergeselskapene Stena Line, DFDS og Colorline samt Oslo Havn sin liste med cruiseanløp ble undersøkt for å finne gunstige tidspunkter. Vi ønsket også målinger mot et mindre, instrumentert fartøy, og Nesoddferga (Et av de identiske fartøyene Tidekongen, Tidedronningen og Tideprinsen) ble valgt. Tidsrommet for målekampanjen ble i utgangspunktet satt til 13. og 14. september på grunn av det gode utvalget av fartøyer som var til stede disse dagene. Ettersom helikopterflygning i stor høyde kun kan

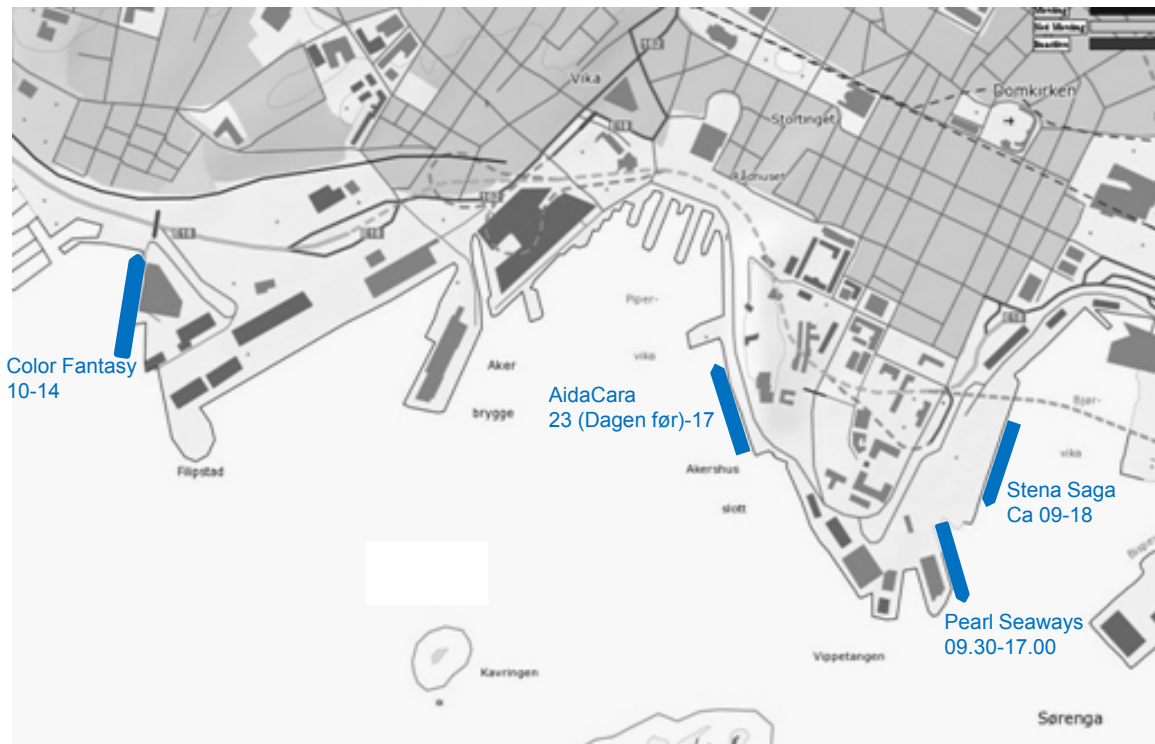
gjøres på dager med klart vær, ble flere alternative datoer valgt ut. Figur 3.1 til Figur 3.4 viser antatt plassering av fartøyer i havnen på fire aktuelle datoer. For cruiseskipene er kai plassene funnet i Oslo Havn sin cruiseliste og for de rutegående fartøyene fra AIS-informasjon fra tidligere dager. De viktigste fartøyene er vist på Figur 3.5.



Figur 3.1 Kai plasser og tidsrom for fartøyer i Oslo havn 13. september 2011



Figur 3.2 Kai plasser og tidsrom for fartøyer i Oslo havn 14. september 2011



Figur 3.3 Kaiplasser og tidsrom for fartøyer i Oslo havn 20. september 2011



Figur 3.4 Kaiplasser og tidsrom for fartøyer i Oslo havn 11. oktober 2011

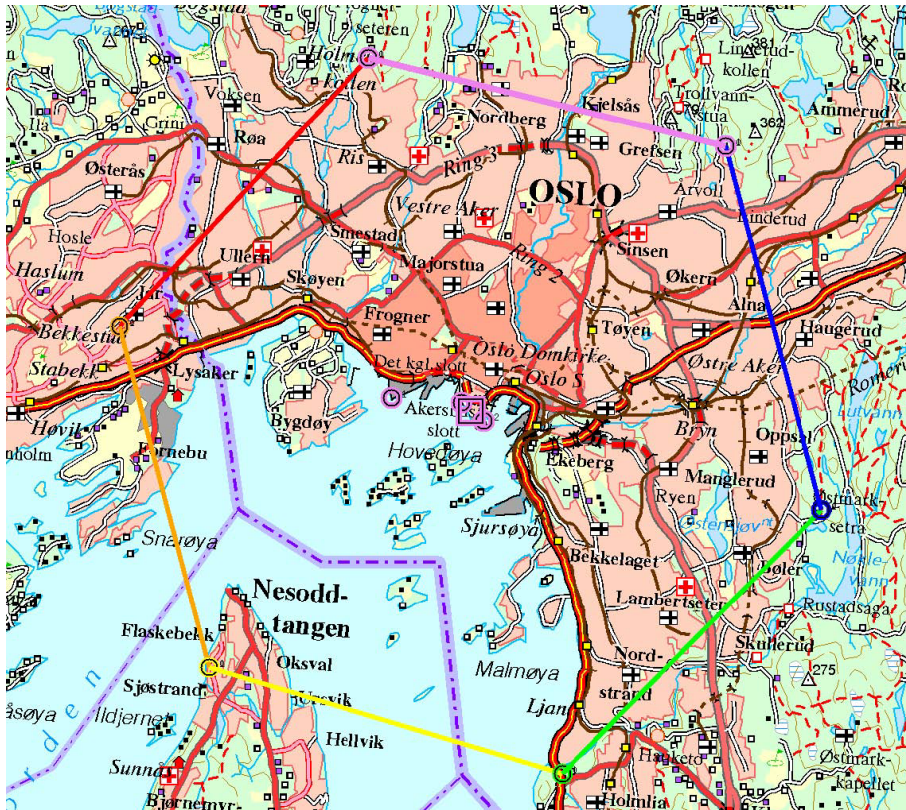


Figur 3.5 De viktigste fartøyene som kan avbildes i havnen

For de andre prosjektene var det hensiktsmessig å gjøre målingene i Kjellerområdet. Flystripa på Kjeller og alpinbakken ved Kjellerholen ble valgt for utplassering av radarreflektorer. Utstyr for bistatisk SAR ble plassert nær FFI, og akustisk peiling av helikopteret foregikk fra FFI.

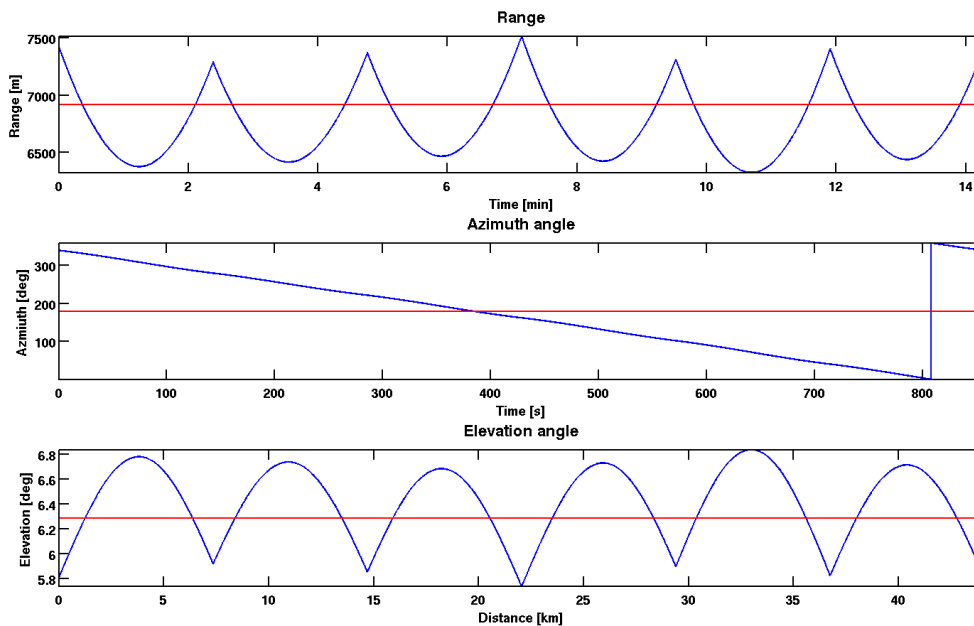
3.2 Avbildningsgeometrier

For å studere hvordan SAR-avbildningen av et fartøy varierer med observasjonsvinkelen er det ønskelig at datasettene omfatter mange vinkler. Det ble planlagt datainnsamling med 360° dekning i asimut og om mulig to elevasjonsvinkler. PicoSAR sin elevasjonsvinkel er fast og må justeres mekanisk på bakken. Målinger med betydelig forskjellige elevasjonsvinkler måtte dermed gjøres i separate økter. Flybanen på Figur 3.6 gir elevasjonsvinkler på ca 6° i målområdet hvis den flys i 2500' høyde og mer enn 20° hvis den flys i 10 000'. Målområdet bør hele tiden være godt innenfor radarens hovedlobe i elevasjon. Med lav elevasjonsvinkel har området på bakken som dekkes av hovedloben stor utstrekning i range. Det gir en viss frihet til plassering av innsamlingsvinduet. Det er for eksempel mulig å avbilde det markerte området på Filipstad på Figur 3.6 selv om dette ligger ca 1.7 km fra Akershus festning som er sentrum i flybanen. Med høy elevasjonsvinkel er et mindre område på bakken dekket av hovedloben, og kun mål nær sentrum av flybanen kan avbildes.

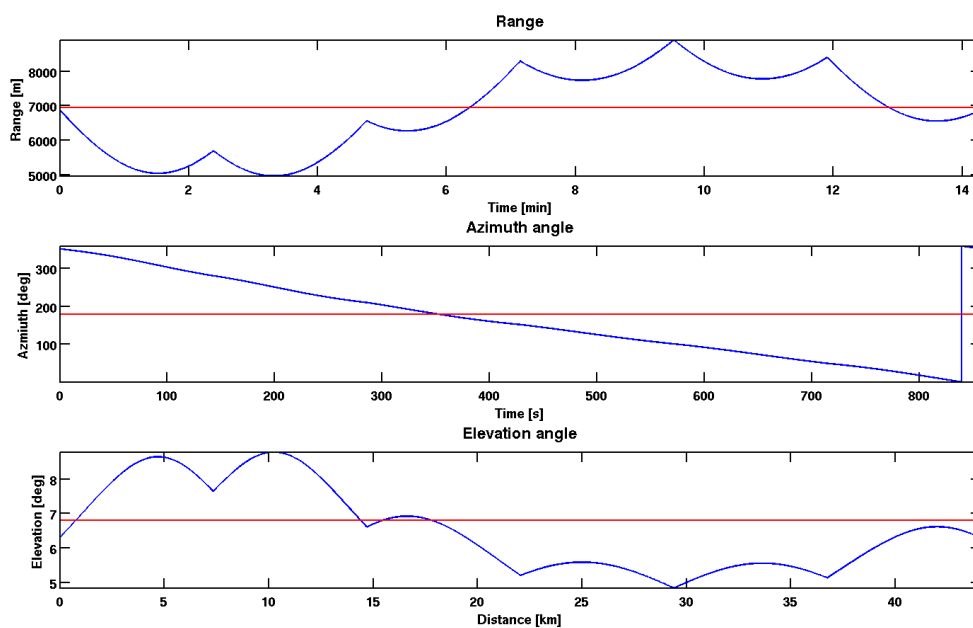


Figur 3.6 Flybane for avbildning av mål i Oslo havn fra 2500' høyde

De eksakte avbildningsgeometriene ble beregnet med et planleggingsverktøy som er utviklet i prosjektet. Dette verktøyet gjør det enkelt å velge flybaner som gir brukbare observasjonsvinkler mot en gitt målposisjon. Under planleggingen av målekampanjen ble alle målposisjonene lagt inn og sjekket. To eksempler er vist på Figur 3.7 og Figur 3.8. Vi ser at elevasjonsvinkelens middelerverdi ligger mellom 6° og 7° .

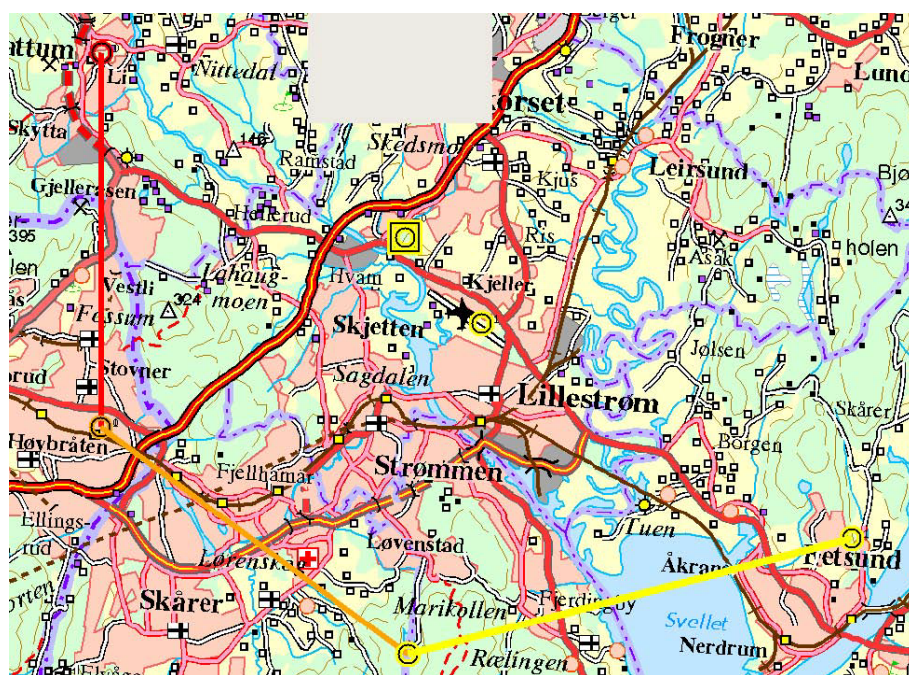


Figur 3.7 Range, asimut og elevasjon for en posisjon på Akershus festning, nær sentrum av flybanen, når flyhøyden er 2500'

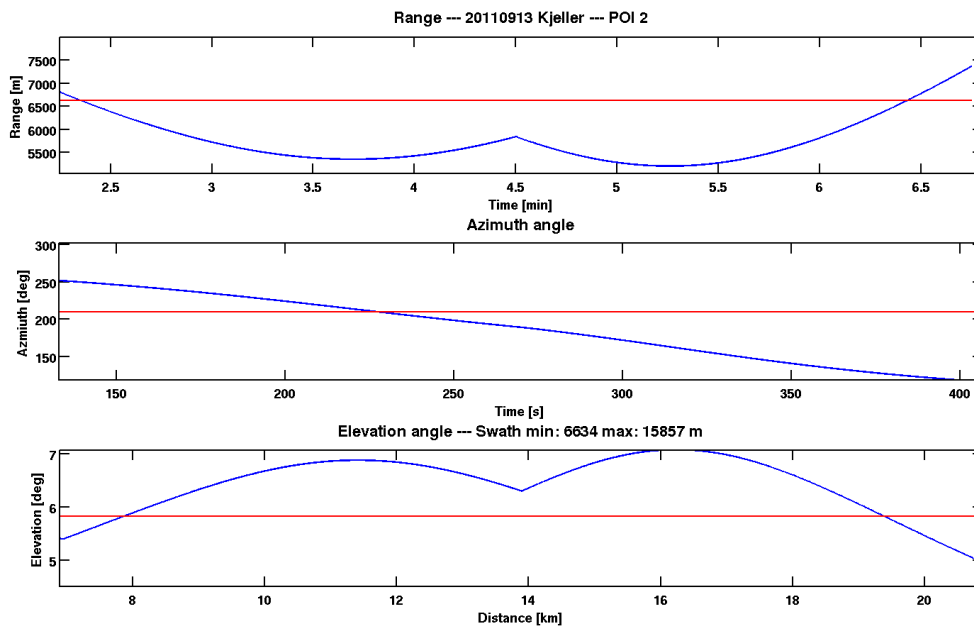


Figur 3.8 Range, asimut og elevasjon for Stena Saga sin kai plass ved Filipstad, ca 1.7 km fra sentrum i flybanen, når flyhøyden er 2500'

Flybanen for avbildning av mål i Kjellerområdet er vist på Figur 3.9, og observasjonsvinkler er vist på Figur 3.10.

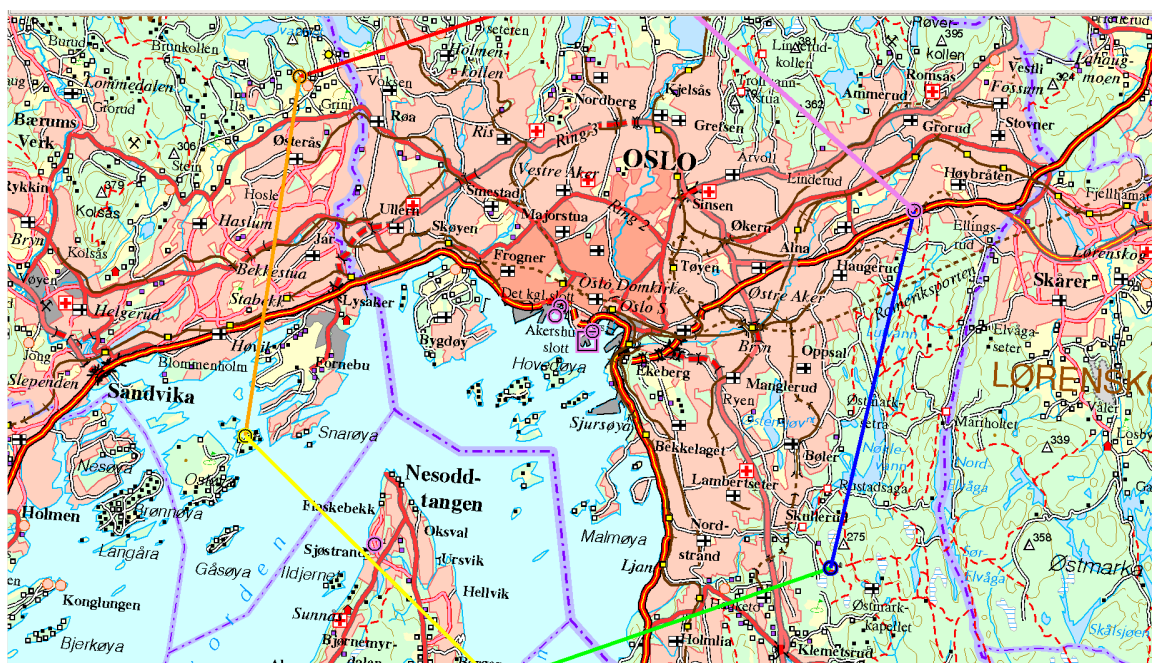


Figur 3.9 Flybane for avbildning av mål i Kjellerområdet

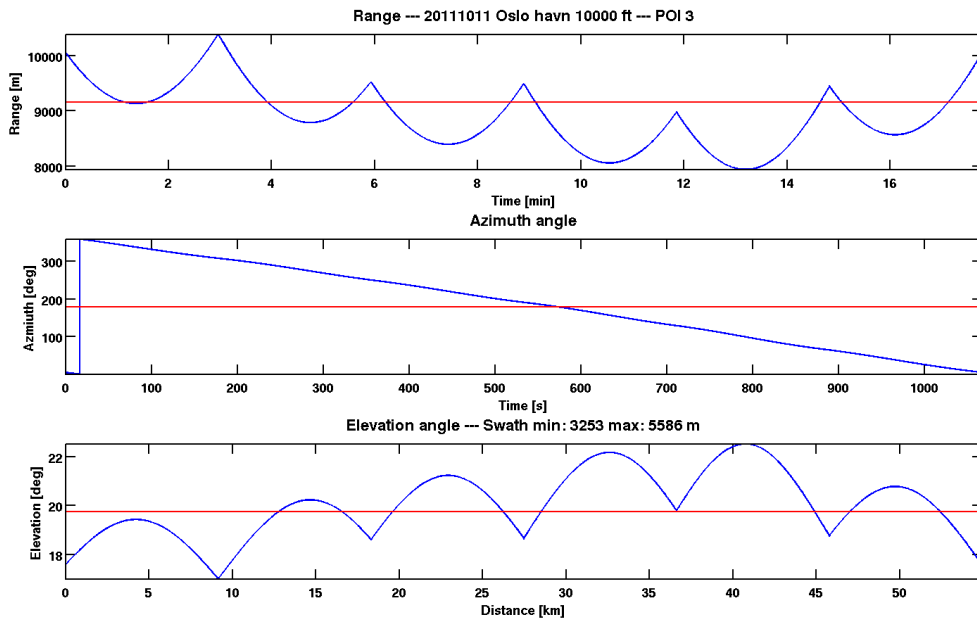


Figur 3.10 Range, asimut og elevasjon for avbildning av flystripen på Kjeller fra 2500' høyde

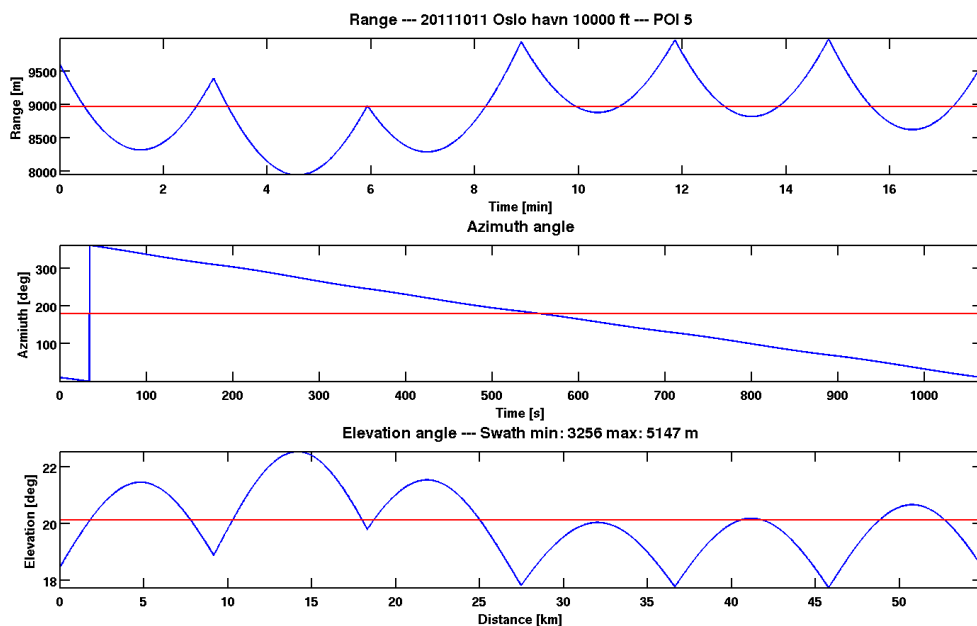
Flybanen for avbildning av Oslo havn fra 10 000' høyde er vist på Figur 3.11, og observasjonsvinkler er vist på Figur 3.12 og Figur 3.13. Vi ser at elevasjonsvinkelen stort sett ligger mellom 18° og 22° .



Figur 3.11 Flybane for avbildning av mål i Oslo havn fra 10 000' høyde



Figur 3.12 Range, asimut og elevasjon for avbildning av Crown of Scandinavia fra 10 000' høyde



Figur 3.13 Range, asimut og elevasjon for avbildning av Pipervika fra 10 000' høyde

3.3 Operasjonsplaner

Det ble utarbeidet planer for målingene som vist i Tabell 3.1 og Tabell 3.2. Disse planene måtte flere ganger modifiseres. For å støtte OPEK II sitt forsøk på bistatisk radar ble det lagt inn SAR-avbildning av FFI etter de oppsatte målingene 14.09. Det ble også lagt inn stripmap-avbildning mens helikopteret fløy transportetapper for at radaren skulle lagre navigasjonsdata til bruk for prosjekt Teknologier for militære kjøretøyer sine forsøk på akustisk peiling. Ettersom helikopterflygningen var væravhengig, måtte man være forberedt på å omgjøre planene på kort varsel.

Start (Lokal tid)	Oppgave/Modus	Mål
12:30	Takeoff	
12:40	Fotografering av fartøyer	
13:00	Spot 30 cm, 10 000' høyde	AidaCara
13:15	Spot 30 cm	Crown of Scandinavia
13:35	Spot 30 cm	Amadea
13:50	Spot 1 m	Festningen
14:20	Lav høyde rundt FFI for akustisk peiling	
14:25	Refuelling og ny innstilling av antenne	
15:25	Takeoff	
15:35	Spot 30 cm/1 m, 2500' høyde	Kjellerholen og flystripa
15:50	Spot 30 cm	Stena Saga
16.05	Spot 30 cm	Marco Polo
16:25	Spot 30 cm	Crown of Scandinavia
16:45	Spot 1 m	Festningen

Tabell 3.1 Planlagte målinger 13.09.11

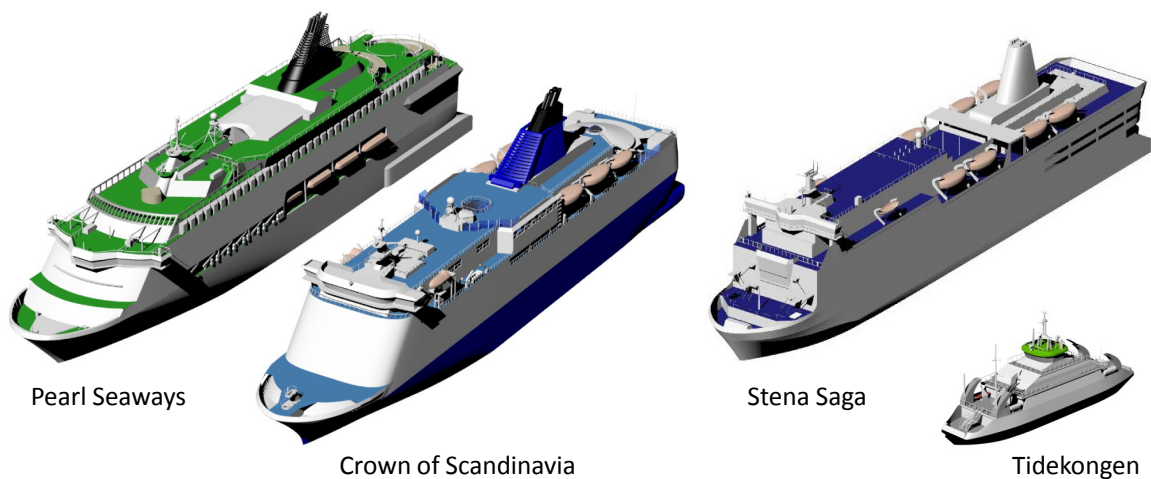
Start (Lokal tid)	Oppgave/Modus	Mål
09:45	Takeoff	
09:55	Fotografering av fartøyer	
10:15	Spot 1 m, 2500' høyde	Tide i fart
10:40	Spot 30 cm	Pearl Seaways
10:55	Spot 30 cm	Tideprinsen i ro
11:15	Spot 1m	Tide i fart
11:50	Spot 30 cm	Kjellerholen
11:53	Spot 1m	Flystripa
11:55	Spot 30 cm	Flystripa

Tabell 3.2 Planlagte målinger 14.09.11

De planlagte flyrutene ble som regel oversendt til HelikopterDrift på forhånd, slik at waypoints kunne bli lagt inn i helikopterets GPS. For flygning i over 2500' høyde trenger HelikopterDrift tillatelse fra Avinor, og de har i så fall kunnet videresende planene som vi har skissert. Bruk av PicoSAR krever tillatelse fra Post- og teletilsynet, og dette har det blitt sendt søknad om.

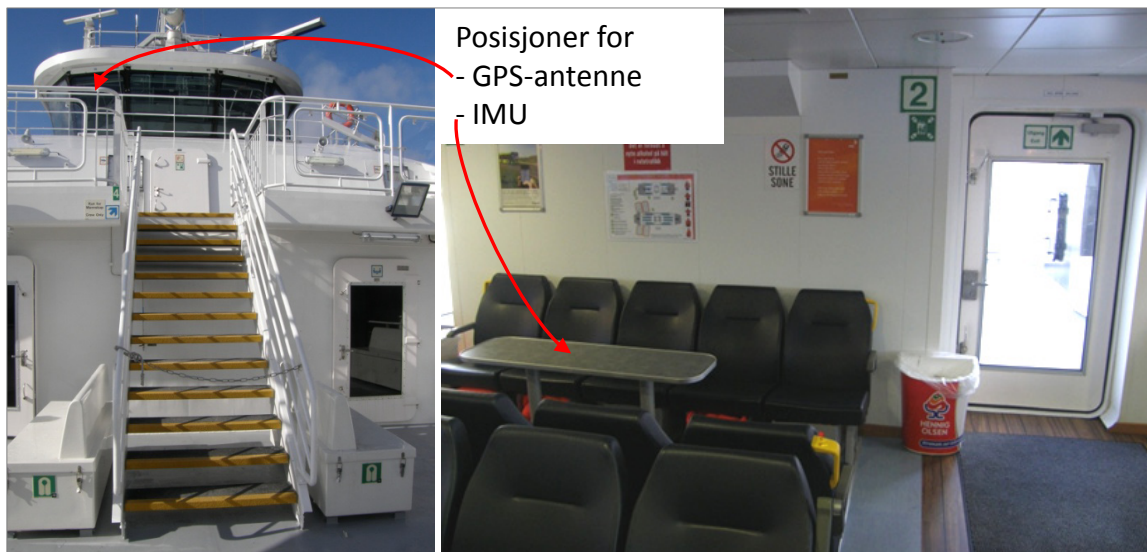
3.4 Målområder og fartøyer

I forberedelsene til denne og tidligere målekampanjer i Oslo havn har vi fått forholdsvis god kjennskap til målområdet og flere av fartøyene. Figur 3.14 viser 3D-modeller av danskebåtene og Nesoddferga. Disse er bygget med utgangspunkt i fotografier ved hjelp av programmet Rhinoceros.



Figur 3.14 3D-modeller av danskebåtene og Nesoddferga

Det ble sendt forespørsel til Tide om å benytte en av Nesoddfergene som instrumentert mål, og vi tok en tur om bord for å se hvor utstyret kunne plasseres.



Figur 3.15 Planlagt plassering av utstyr om bord på Tideprinsen

Det ble tatt mange fotografier i havneområdet for å få klarhet i hva som observeres i radarbildene. Kaikantene er av spesiell interesse, og disse ble undersøkt både fra land- og sjøsiden.



Figur 3.16 Kaikant fotografert fra kajakk

Flystripen på Kjeller og alpinbakken ved Kjellerholen ble undersøkt med tanke på utplassering av radarreflektorer. Det var nødvendig å skaffe opplysninger om hvilke restriksjoner som gjelder for utplassering av objekter ved flystripen og innhente tillatelse fra en ansvarlig for flyplassen.

3.5 Utstyr

Det ble kjøpt inn eller lånt en del utstyr i forbindelse med målekampanjene:

- Inertial Measurement Unit (IMU), GPS og tilhørende PC for registrering av posisjon og bevegelser om bord på fartøy var utlånt av miljølåben, som også stilte med en person som monterte utstyret.
- Fotoapparat og videokamera var utlånt av INFOenheten.
- Jaktradioer for kommunikasjon med helikopteret var kjøpt inn i forkant av målekampanjene.
- Et antall små og rimelige radarreflektorer var kjøpt inn.

4 Gjennomføring

4.1 Testmålinger 22.08.11

Formålet med målingene denne dagen var å teste radarsystemet etter at det i lengre tid hadde vært til oppgradering hos SELEX i Skottland. Det ble lagt en flybane i 2500' høyde med sentrum i Lillestrøm og ca 6 km radius. Området rundt Rælingbrua ble avbildet i spotlight-modus med 1 m og 30 cm oppløsning. Spotlight SAR med 15 cm oppløsning, stripmap SAR og GMTI ble også forsøkt. Før oppgraderingen hos SELEX skjedde det ofte at systemet hengte seg og måtte restarteres. Det forekom ikke under denne testen. SAR-bildene som ble produsert var av brukbar kvalitet i alle moduser bortsett fra med 15 x 15 cm oppløsning. Kommunikasjon med jaktradioer mellom helikopteret og FFI fungerte tilfredsstillende.

4.2 Avlyste målinger 13.09.11

I forkant av de planlagte målingene 13.09 ble det utplassert radarreflektorer i Kjellerområdet, og prosjekt OPEK II hadde rigget opp utstyr for bistatisk SAR på Akershus festning. Det var planlagt to økter med SAR-avbildning, en i 10 000' og en i 2500' høyde. På grunn av dårlig vær måtte alle målingene avlyses.

4.3 Målinger 14.09.11

Denne dagen tillot værforholdene helikopterflygning og gjennomføring av målingene.

4.3.1 Radarmålinger

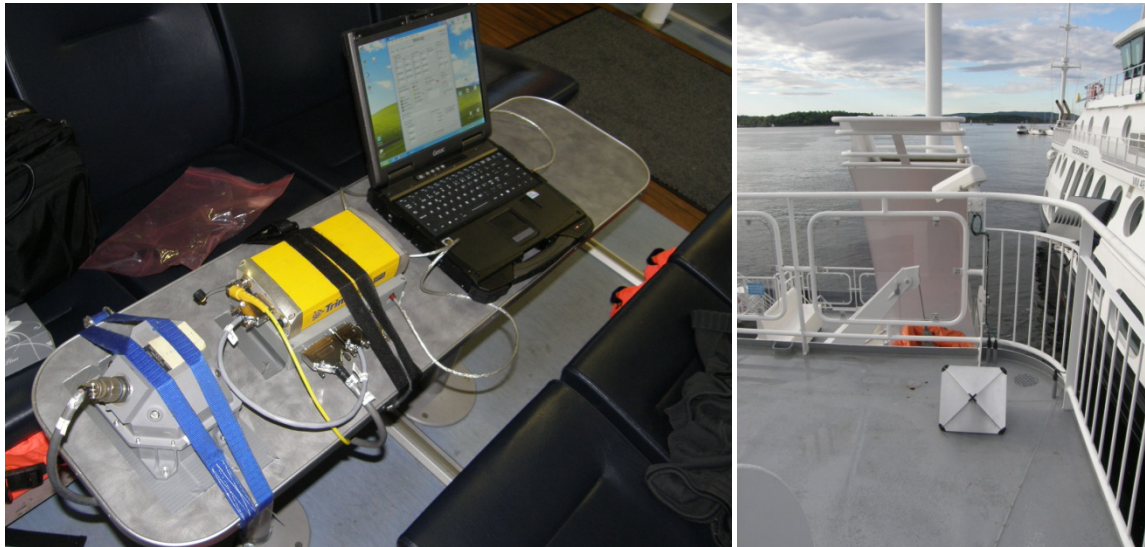
Helikopteret ble noe forsinket ettersom piloten som fløy den aktuelle dagen var ukjent med innlegging av GPS-koordinater. Man hadde en utskrift av et kart som viste flybanen, og det var mulig å følge denne. Tabell 4.1 viser hvilke målinger som ble utført.

Tid (UTC)	Modus	Mål
08:22:56 - 08:38:40	Spot 1 m	Tide i fart
08:39:01 - 09:13:30	Spot 30 cm	Pearl Seaways
09:13:49 - 09:38:40	Spot 1 m	Tide i fart
09:42:34 - 09:47:33	Strip 3 m	
10:41:59 - 10:43:24	Spot 30 cm	Kjellerholen
10:43:41 - 10:45:17	Spot 1 m	Flystripa
10:45:32 - 10:48:08	Spot 30 cm	Flystripa
10:49:43 - 10:52:28	Spot 1 m	FFI
10:56:36 - 10:58:51	Spot 1 m	FFI
10:59:54 - 11:02:39	Strip 3 m	

Tabell 4.1 Utførte radarmålinger 14.09.11

4.3.2 Instrumentert mål

Det instrumenterte målet vårt var Tideprinsen, som var den av Nesoddfergene som seilte i det aktuelle tidsrommet. Fartøyets posisjon og bevegelser ble registrert ved hjelp av IMU og GPS som tilhørte miljølaben. Det ble også utplassert to radarreflektorer om bord som vist på Figur 4.1.



Figur 4.1 Til venstre: Måleoppsett for registrering av fartøyets posisjon og bevegelser. IMU lengst til venstre og GPS-mottaker i midten. Til høyre: Radarreflektor

4.3.3 Foto og video

Det ble tatt bilder fra helikoptret mens målingene pågikk. Helikoptret fløy også en tur nærmere for å få mer detaljerte bilder av fartøyene. Luftfoto er spesielt verdifulle ettersom de store passasjerskipene er så høye at de øvre dekkene, der mye av tilbakespredningen kommer fra, kun kan ses fra luften.

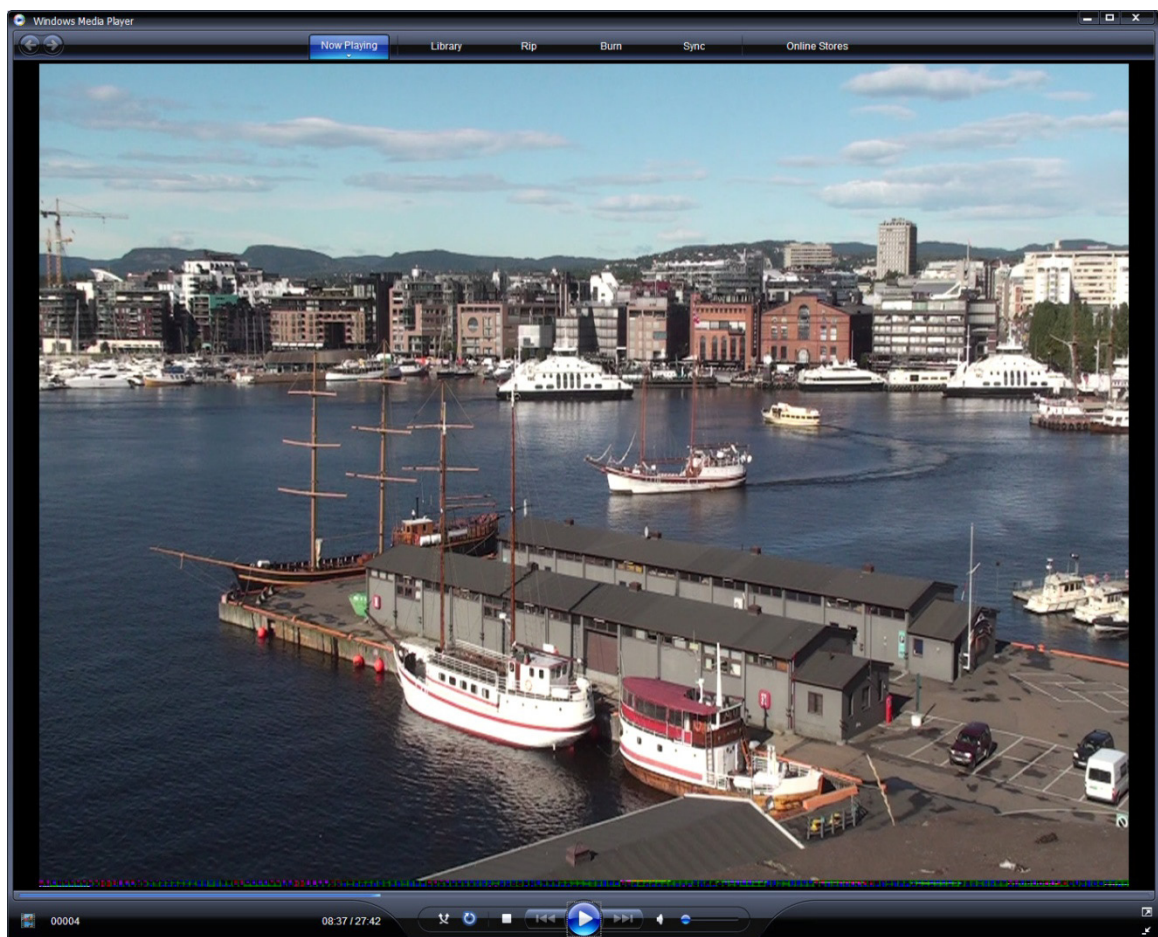


Figur 4.2 Helikopterfoto av Pearl Seaways fra relativt kort avstand



Figur 4.3 Tideprinsen fotografert fra helikopteret i den høyden målingene ble gjort fra. Bildet viser et eksempel på at målet til tider forsvant bak bygninger

Mens SAR-avbildningen av Tideprinsen pågikk, ble det gjort videoopptak fra Akershus festning. Dette viste blant annet hvilke andre båter som befant seg i målområdet.



Figur 4.4 Bilde fra en video av målområdet tatt samtidig med SAR-avbildningen. I det Tideprinsen legger til kai, er både skonnerten Helena og den mindre båten Båtservice IX i bevegelse innenfor området som blir avbildet

4.3.4 Kommunikasjon

Kommunikasjonen mellom helikopteret og fartøyet var planlagt å foregå ved hjelp av jaktradioer. Det viste seg å være vanskelig å høre hva som ble sagt på grunn av støy fra omgivelsene, særlig hvis man ikke snakket rett inn i mikrofonen. Man gikk dermed over til å sende tekstmeldinger med mobiltelefon i helikopteret. Mobiltelefon ble også benyttet til all øvrig kommunikasjon.

4.3.5 Radarreflektorer

Radarreflektorene som var utplassert ved flystripen på Kjeller og alpinbakken ved Kjellerholen 13.09 stod fortsatt i de samme posisjonene. Det var også plassert en reflektor på Rådhusbrygge 3 mens en del av målingene mot Pipervika pågikk.



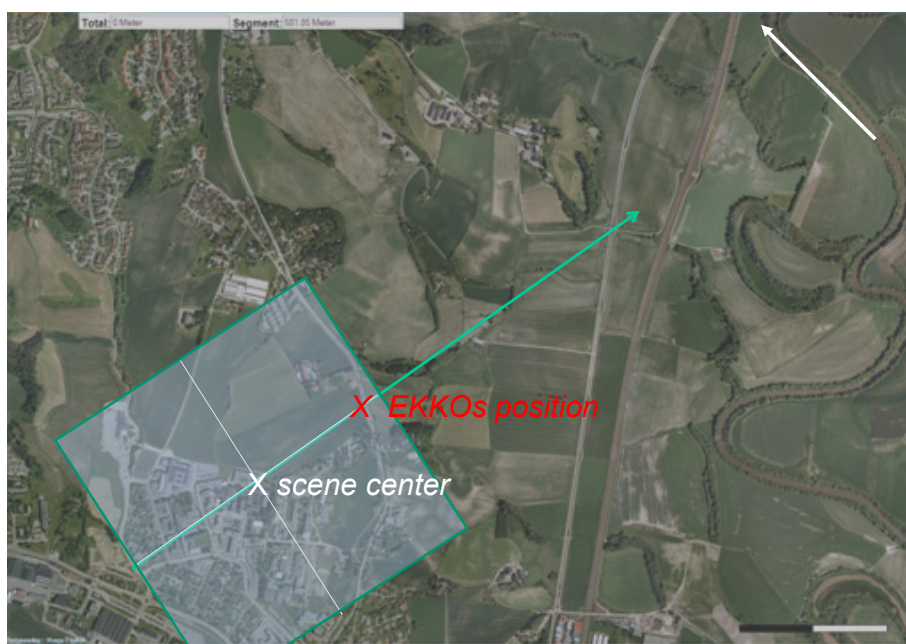
Figur 4.5 Posisjonene til radarreflektorene som var utplassert ved flystripen på Kjeller

4.3.6 Bistatisk SAR

Prosjekt OPEK II gjorde opptak for å prøve bistatisk SAR. Måleutstyret måtte befinne seg innenfor antennebeamen til PicoSAR mens SAR-avbildning pågikk, og man måtte ha sikt til både radaren og scenen som ble avbildet. Én antenne måtte være rettet mot PicoSAR og en annen mot scenen, og det måtte gjøres synkronisert sampling av de to kanalene. Måleutstyret ble plassert i en posisjon ved Kirkeveien ovenfor FFI, og sentrum i scenen var inne på FFI. Utstyret og avbildningsgeometrien er vist på Figur 4.6 og Figur 4.7.



Figur 4.6 Prosjekt OPEK II sitt måleutstyr. En av antennene er rettet mot flybanen til PicoSAR og en annen mot målområdet



Figur 4.7 Posisjoner for bistatisk SAR-avbildning

4.3.7 Akustisk peiling

Prosjekt Teknologier for militære kjøretøyer gjorde målinger med utstyret vist på Figur 4.8 for akustisk deteksjon og peiling av helikopteret.



Figur 4.8 Måleutstyr for akustisk peiling montert på taket på FFI

4.4 Målinger 20.09.11

Målingene denne dagen kom som erstatning for de avlyste målingene 13.09. Det var satt opp en mest mulig tilsvarende måleplan med én økt i 10 000' og én i 2500' høyde. På grunn av ustabil vær måtte økten i 10 000' avlyses. Etter en del forsinkelser kunne økten i 2500' høyde gjennomføres med noen modifikasjoner.

4.4.1 Radarmålinger

En liste over hvilke målinger som ble utført er gitt i Tabell 4.2.

Tid (UTC)	Modus	Mål
13:41:19 - 13:59:28	Spot 30 cm	AidaCara
14:00:08 - 14:06:23	Spot 30 cm	Tide i ro
14:06:50 - 14:30:26	Spot 30 cm	Stena Saga
14:31:00 - 14:38:00	Spot 30 cm	Tide i ro
14:38:00 - 14:48:00	Spot 30 cm	AidaCara
14:48:00 - 15:12:00	Spot 1 m	Festningen
15:41:00 - 15:43:24	Spot 30 cm	Kjellerholen
15:43:41 - 15:45:17	Spot 1 m	Flystripa
15:45:32 - 15:48:08	Spot 30 cm	Flystripa
15:48:10 - 15:50:00	Strip 3 m	

Tabell 4.2 Utførte radarmålinger 20.09.11. Noen av tidspunktene er bare omtrentlige

4.4.2 Foto og video

Fartøyene ble fotografert fra helikopteret fra relativt kort avstand. AidaCara ble også fotografert fra Akershusstranda og festningen.



Figur 4.9 AidaCara og en del av kaien som gir variert tilbakespredning. På kaikanten nede til høyre ses en av de utplasserte radarreflektorene

Det ble gjort videoopptak av målområdet fra Sjømannsskolen på Ekeberg i tidsrommet da to av fartøyene la fra kai. Fra denne posisjonen var det særlig godt sikt til kaien der Pearl Seaways lå.



Figur 4.10 Bilde fra videoopptaket av Pearl Seaways idet den legger fra kai. AidaCara ses i bakgrunnen

4.4.3 Kommunikasjon

Det ble gjort forsøk på å oppnå kontakt via jaktradioene mellom helikopteret og posisjoner langs Akershusstranda, men dette mislyktes. En mulig årsak kan være skjerming fra Akershus festning. Tekstmeldinger ble benyttet i stedet.

4.4.4 Radarreflektorer

Radarreflektorene som var utplassert ved flystripen på Kjeller og alpinbakken ved Kjellerholen før de planlagte målingene 13.09 stod fortsatt i de samme posisjonene. I tillegg ble det utplassert en reflektor på kaikanten i nærheten av AidaCara (se Figur 4.9) og en inne på Akershus festning.

4.5 Målinger 11.10.11

Denne dagen tillot værforholdene flygning i 10 000' høyde, og det var mulig å gjennomføre et sett av målinger som tilsvarte de tidligere avlyste målingene fra denne høyden. Målingene ble gjennomført med et minimum av mannskaper: En radaroperatør og en fotograf i helikopteret, en person som gjorde videoopptak på bakken og en person som opererte utstyr for akustisk peiling. Kommunikasjonen foregikk ved hjelp av tekstmeldinger. Det var ikke utplassert radarreflektorer.

4.5.1 Radarmålinger

En liste over hvilke målinger som ble utført er gitt i Tabell 4.3.

Tid (UTC)	Modus	Mål
13:15:33 - 13:24:22	Spot 1 m	Tide i fart
13:24:30 - 13:30:32	Spot 30 cm	Tide i ro
13:30:51 - 13:37:20	Spot 1 m	Tide i fart
13:37:56 - 13:48:38	Spot 30 cm	Stena Saga
13:53:08 - 13:54:40	Spot 30 cm	Stena Saga
13:55:40 - 14:13:50	Spot 15 cm	Stena Saga
14:15:27 - 14:32:33	Spot 30 cm	Crown of Scandinavia
14:40:25 - 14:43:34	Spot 1 m	Tide i fart
14:46:24 - 14:58:03	Spot 1 m	Crown of Scandinavia i fart
15:01:30 - 15:04:10	Strip 3 m	

Tabell 4.3 Utførte radarmålinger 11.10.11

4.5.2 Foto og video

Fartøyene ble først fotografert fra relativt lav høyde og kort avstand og deretter fra stor høyde mens SAR-avbildningen pågikk. Det ble gjort videoopptak fra Akershus festning mot målområdet i Pipervika mens PicoSAR avbildet Nesoddferga på vei til og fra kai. Personen med videokameraet forflyttet seg til Sjømannsskolen og gjorde opptak av Crown of Scandinavia da den la fra kai. Skipet ble samtidig avbildet med PicoSAR og fotografert fra helikopteret. Samtidige bilder fra helikopteret og Sjømannsskolen er vist på Figur 4.11 og Figur 4.12.



Figur 4.11 Bilde fra 10 000' høyde tatt samtidig som PicoSAR avbildet målområdet mens Crown of Scandinavia la fra kai



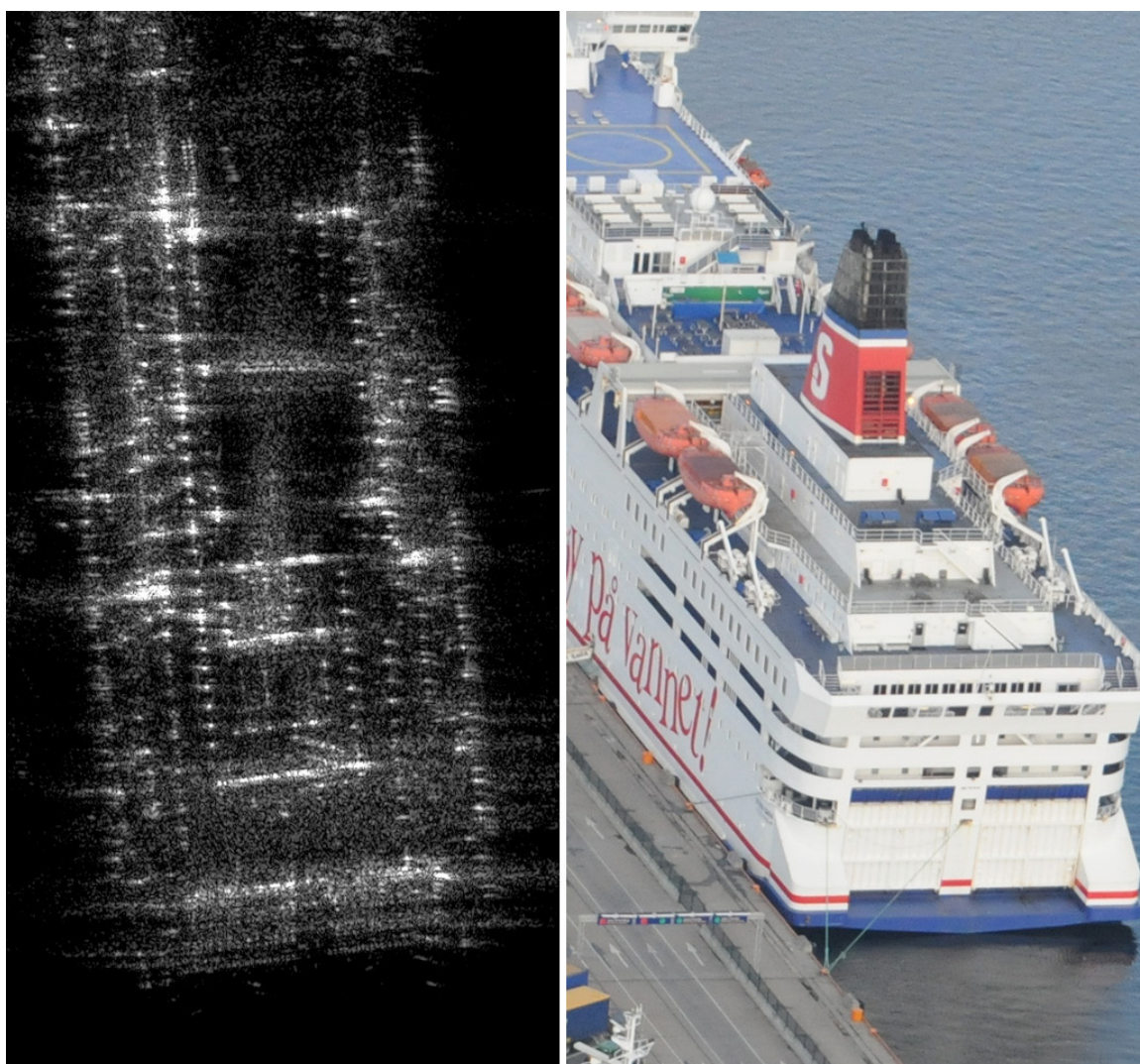
Figur 4.12 Bilde fra videoopptak av Crown of Scandinavia mens den la fra kai

5 Resultater

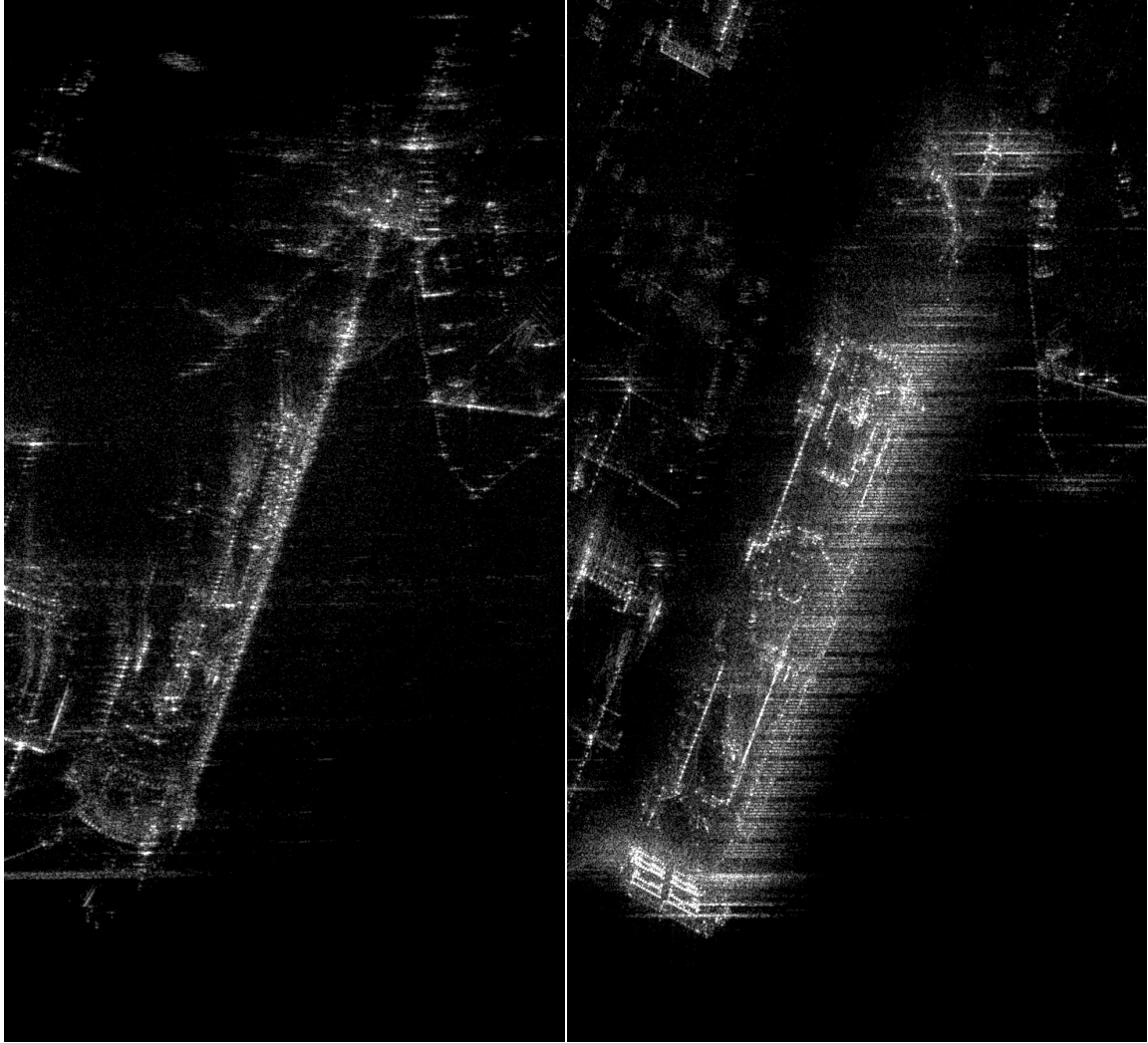
En stor mengde data er samlet inn og vil bli grunnlag for omfattende analyser i tiden fremover. Resultater fra analysene foreligger ikke ennå, men noen førsteinntrykk av det innsamlede materialet kan presenteres.

5.1 SAR-bilder

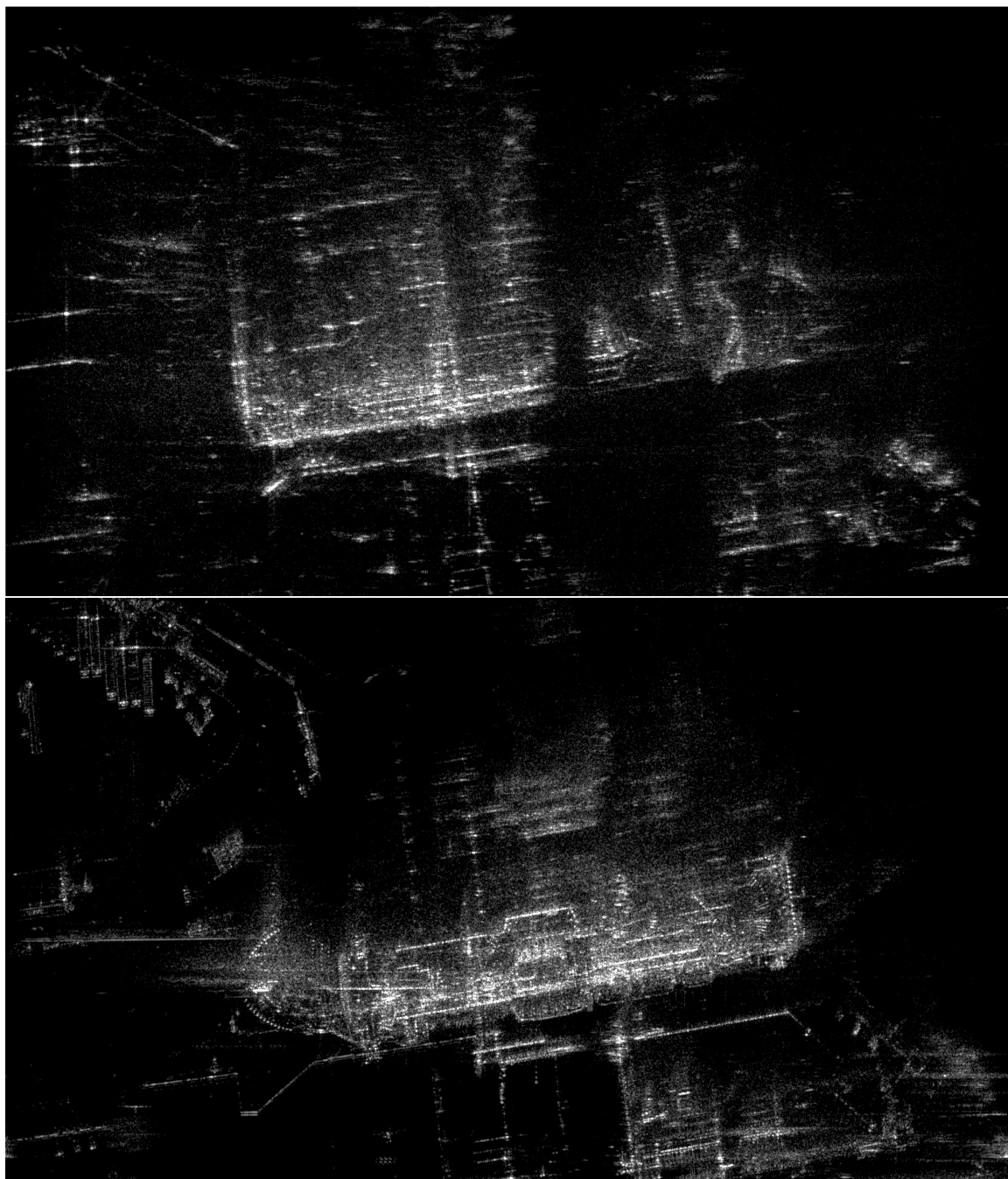
Det er gjort SAR-avbildning av Oslo havn med de store passasjerskipene Stena Saga, Pearl Seaways, Crown of Scandinavia, AidaCara og flere mindre fartøyer fra mange forskjellige vinkler. Noen eksempler på interessante observasjoner er vist på Figur 5.1 til Figur 5.5.



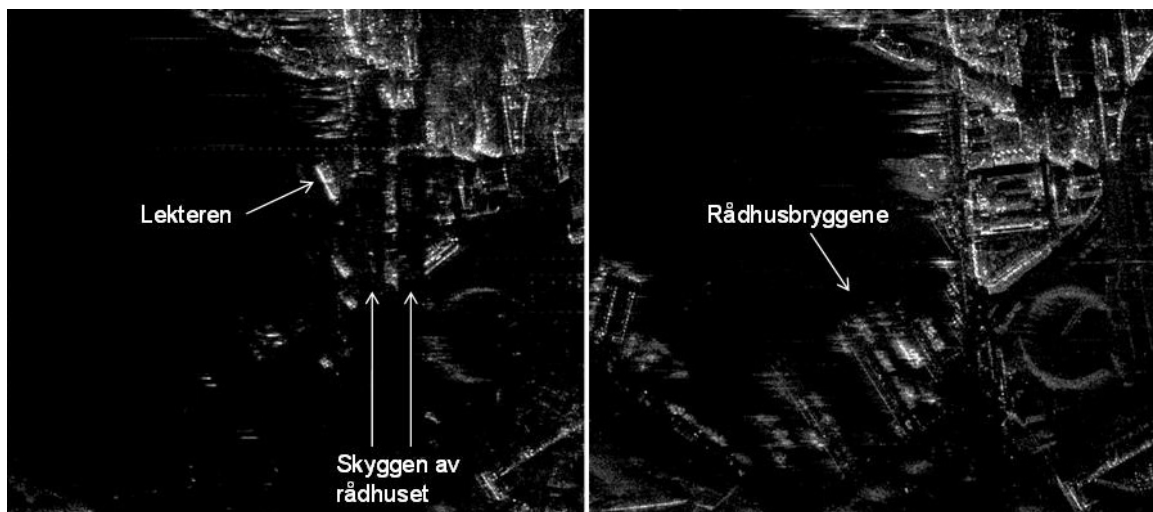
Figur 5.1 Utsnitt fra SAR-bilde med 15 cm oppløsning. Denne SAR-avbildningen av Stena Saga er gjort fra en elevasjonsvinkel på ca 20° og en asimutvinkel som medfører lite forstyrrelser i bildet. Bildet representerer således noe av det beste vi hittil har oppnådd med PicoSAR innenfor avbildning av fartøyer



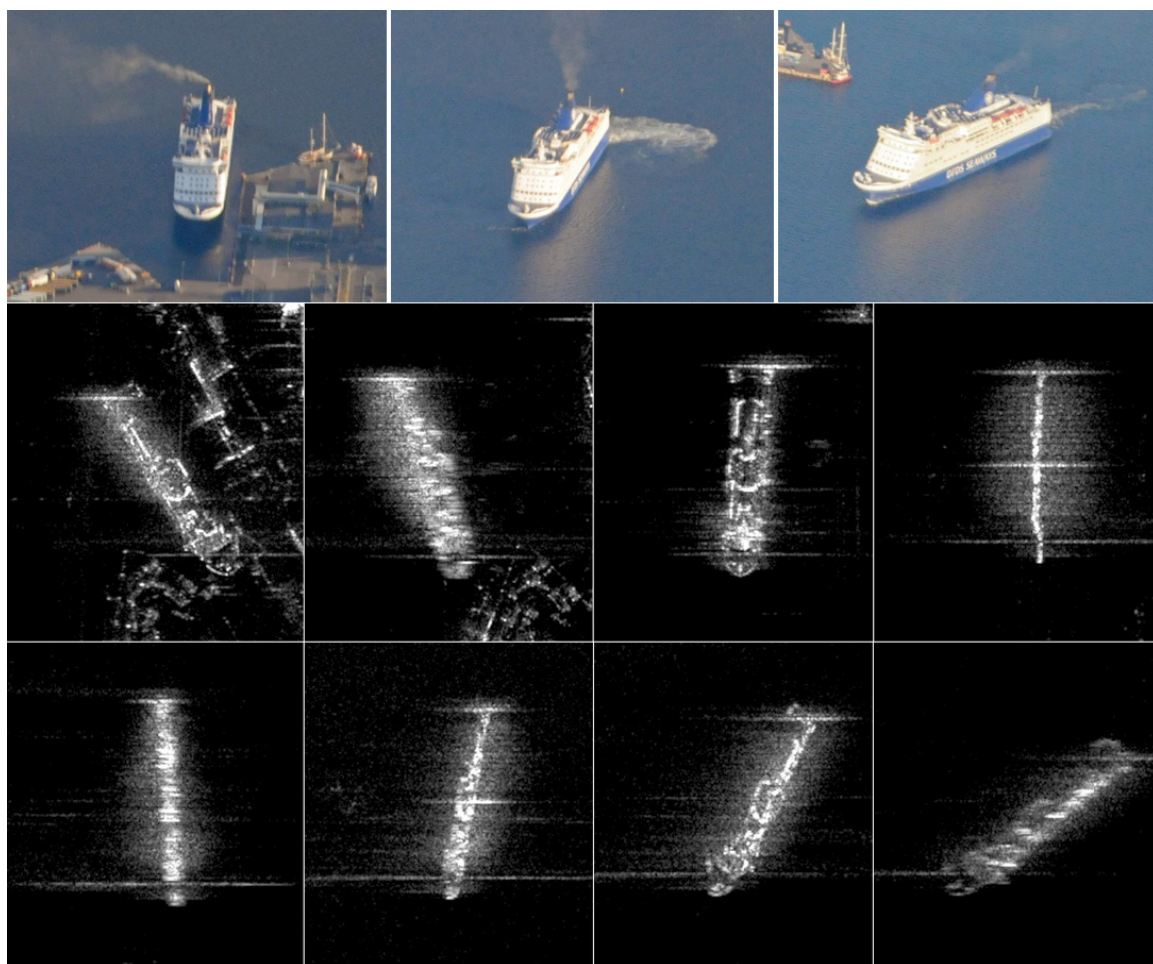
Figur 5.2 Til venstre Pearl Seaways fra ca 6° elevasjon. Til høyre Crown of Scandinavia ved den samme kaien avbildet fra ca 20° elevasjon. Med høy elevasjonsvinkel gir vannflaten opphav til mye multipath langs de sidene av målet og kaiene som vender mot radaren. Dette viser seg som ufokusert tilbakespredning i form av "frynser" i crossrange-retning i bildet til høyre. Denne effekten ser man svært lite av i bildet til venstre som er tatt fra en elevasjonsvinkel nær Brewstervinkelen



Figur 5.3 Øverst Pearl Seaways fra ca 6° elevasjon. Nederst Crown of Scandinavia fra ca 20° elevasjon. Når fartøyene avbildes fra siden og det er bygninger foran dem, vil noe av energien bli reflektert flere ganger mellom fartøy og bygninger og føre til falske spredere i bildet. Det ser ut til at man får mer av denne effekten fra lave elevasjonsvinkler



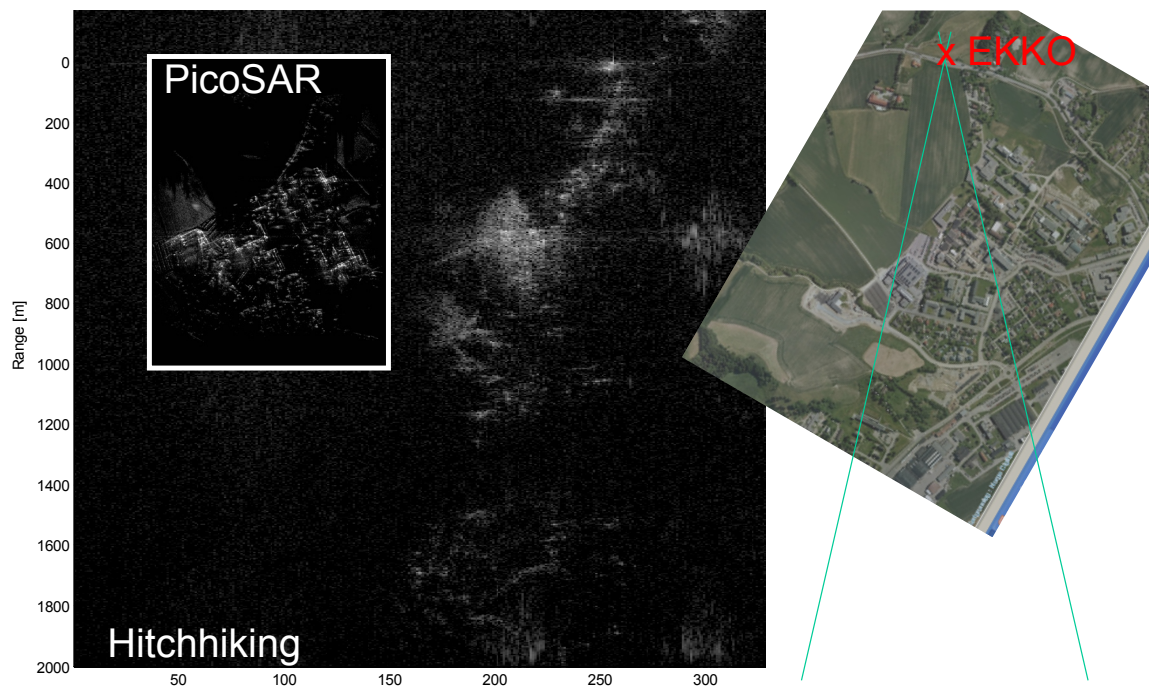
Figur 5.4 Eksempel på at lav elevasjon gir mye mer skygge når havneområdet observeres fra landsiden. Til venstre ca 6° og til høyre ca 20° elevasjon



Figur 5.5 Crown of Scandinavia avbildet mens den legger fra kai. Øverst fotografier tatt samtidig fra helikopteret. Målet blir forflyttet, deformert og utsmurt i SAR-bildene avhengig av bevegelsesretningen i forhold til radaren. Disse dataene kan benyttes til forsøk på ISAR-prosessering for å oppnå fokusert avbildning av mål i bevegelse

5.2 Bistatisk SAR

Et foreløpig resultat fra forsøket på bistatisk, haikende SAR er vist på Figur 5.6.



Figur 5.6 Bistatisk SAR-bilde og innfelt PicoSAR-bilde og flyfoto fra det samme området på Kjeller. De enkle metodene som foreløpig er benyttet for fokusering av det bistatiske SAR-bildet gir ikke tilfredsstillende resultat, men mer avanserte metoder vil bli prøvd

5.3 Erfaringer

Vi har notert noen erfaringer fra planlegging og gjennomføring av målingene:

- Ettersom helikopterflygning krever god sikt, er det vanskelig å få gjort målinger på bestemte tidspunkter. Man må ha alternative planer og mulighet til å omgjøre planene på kort varsel. Dette var vi forberedt på.
- Flygning i over 2500' høyde krever tillatelse fra Avinor. Det lønner seg derfor å sende planlagt flyrute med waypoints på mail til HelikopterDrift slik at de kan videresende det til Avinor.
- Når PicoSAR sin disk er full, er det mulig å lagre data på laptopen. Man bør imidlertid alltid sørge for å ha tom disk før hver innsamling, for lagring på laptop medfører noen ulemper. Det tar litt tid å bytte om fra disken i PicoSAR til laptopen. I tillegg klarer ikke systemet å lage og vise Quick-look-bilder samtidig som data lagres på laptopen.
- Når det gjøres datainnsamling med 1500 MHz båndbredde for SAR-avbildning med 15 cm oppløsning, rekker ikke systemet å lage eller vise Quick look-bilder. Det betyr at man må være nøyer med å sette riktig POI og waypoints på forhånd når denne oppløsningen skal benyttes.

- Det er en stor fordel om koordinatene til flybanen er lagt inn i helikopterets GPS på forhånd, men det er mulig å følge en flybane som er tegnet inn på en kartutskrift hvis waypoints ikke er lagt inn. Man må da følge mer med på hvor man er og eventuelt komme med korreksjoner hvis det blir stort avvik fra den planlagte flybanen.
- Det er til en viss grad mulig å følge bevegelige mål manuelt ettersom POI kan byttes underveis basert på kart, koordinater eller SAR-bilde. Målene bør ha liten hastighet. Det tar litt tid å sette nytt POI manuelt, så man mister fort målet av syne når farten øker.
- Det er i noen tilfeller mulig å benytte jaktradiorer for kommunikasjon med helikopteret, men det kan være vanskelig å høre hva som blir sagt på grunn av støy. Man må være nøye med å snakke rett inn i mikrofonen. Det kan dessuten se ut til at sambandet krever tilnærmet fri sikt til helikopteret på de avstandene PicoSAR benyttes. Som et alternativ er det mulig å benytte mobiltelefon om bord i helikopteret og kommunisere ved hjelp av tekstmeldinger.
- Ved montering av PicoSAR i helikopteret er det viktig å sjekke at kontakten for strøm til radaren er satt inn riktig vei.
- Når en målekampanje planlegges, kan det være nyttig å undersøke om andre prosjektgrupper har interesse av å delta. Informasjonsutveksling mellom prosjektlederne på avdelingen var en viktig grunn til at denne målekampanjen involverte prosjekter som jobber med svært forskjellige problemstillinger. Det deltakende prosjektet fra en annen avdeling kom med på et senere tidspunkt.

6 Konklusjon

Det er gjennomført en serie av målinger med radarsystemet PicoSAR fra helikopter i Oslo havn og Kjellerområdet høsten 2011. Planlegging og gjennomføring av målekampanjene må kunne sies å ha vært vellykket.

De innsamlede dataene fra Oslo havn omfatter SAR-bilder av havneområdet og flere fartøyer fra mange forskjellige vinkler. Noen av fartøyene er avbildet både når de ligger til kai og når de er i bevegelse. For å dokumentere hva som avbildes i SAR-bildene er målene fotografert og videofilmet. For et av de mindre fartøyene er det også registrert posisjon og bevegelser med måleutstyr om bord. Datainnsamlingen hadde blant annet som formål å gi bedre svar på hvordan avbildningsgeometri og fartøysbevegelser innvirker på SAR-bilder av fartøyer og deres omgivelser. Dataene er ennå ikke analysert, men ut fra en rask gjennomgang av det innsamlede materialet kan man si at det stort sett ser ut til å være velegnet for formålet. Man kan umiddelbart gjøre interessante observasjoner av mål i bevegelse og samspillet mellom mål og omgivelser. Den videre analysen vil nokså sikkert frembringe mange nye resultater.

Fire FFI-prosjekter fra to avdelinger har deltatt på målekampanjene. I tillegg til kunnskapsoppbygging på SAR og ISAR for maritim overvåkning har formålene vært å undersøke georefereringsnøyaktighet, bistatisk SAR og akustisk peiling av helikopter. De innsamlede dataene for disse formålene er heller ikke analysert ennå, men førsteinntrykket er at innsamlingen har vært vellykket og gitt datasett som er velegnede for de planlagte analysene.